

**LEMBAR  
HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW  
KARYA ILMIAH : BUKU**

Judul Buku : Ekologi, Pemanasan Global dan Kesehatan, Judul Chapter: Melamin dan Hubungannya dengan Kesehatan

Penulis Buku : Sufyan Anwar, Mirrah Samiyah, Nur Baharia Marasabessy, Darimiyah Hidayati

Identitas Buku : a. ISBN : 978-623-7185-09-3  
b. Edisi : Pertama  
c. Tahun terbit : 2019  
d. Penerbit : ASENI (Anggota IKAPI)  
e. Jumlah halaman : 331 halaman

Kategori Publikasi Karya Ilmiah Buku (beri  pada kategori yang tepat) :  Buku Referensi  
 Buku Monograf  
 Book Chapter

Hasil Penilaian *Peer Review* :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Buku				Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Referensi <input type="checkbox"/>	Monograf <input type="checkbox"/>	Book Chapter		
			Internasional <input type="checkbox"/>	Nasional <input type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan unsur isi buku (20%)					
b. Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)				0,20	
c. Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi (30%)				0,33	
d. Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit (20%)				0,33	
<b>Total = (100%)</b>				0,20	
Nilai Pengusul= BP x NA = ..... X ..... = .....					1,24
<b>Ket. Bobot Peran (BP); sendiri=1; ketua= 0,6; Anggota = 0,4 dibagi jumlah anggota</b>					

Makassar, 30 Agustus 2021

Reviewer 2



Nama : **Dr. Tiar Erawan, S.Ft., Physio., M.Kes**  
NIP : 196606091989031004  
NIDN : 4009066601  
Unit Kerja : Poltekkes Kemenkes Makassar  
Jabatan akademik: Lektor Kepala  
Bidang Ilmu : Kesehatan

**LEMBAR  
HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW  
KARYA ILMIAH : BUKU**

Judul Buku : Ekologi, Pemanasan Global dan Kesehatan, Judul Chapter: Melamin dan Hubungannya dengan Kesehatan

Judul Chapter : Melamin dan Hubungannya dengan Kesehatan

Penulis Buku : Sufyan Anwar, Mirrah Samiyah, Nur Baharia Marasabessy, Darimiyah Hidayati

Identitas Buku : a. ISBN : 978-623-7185-09-3  
 b. Edisi : Pertama  
 c. Tahun terbit : 2019  
 d. Penerbit : ASENI (Anggota IKAPI Pusat)  
 e. Jumlah halaman : 331 halaman

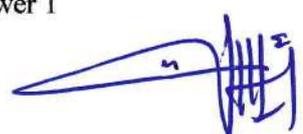
Kategori Publikasi Karya Ilmiah Buku (beri  pada kategori yang tepat) :  Buku Referensi  
 Buku Monograf  
 Book Chapter

Hasil Penilaian Peer Review :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Buku				Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Referensi <input type="checkbox"/>	Monograf <input type="checkbox"/>	Book Chapter		
			Internasional <input type="checkbox"/>	Nasional <input checked="" type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan unsur isi buku (20%)					0,20
b. Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)					0,33
c. Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi (30%)					0,33
d. Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit (20%)					0,20
<b>Total = (100%)</b>					
Nilai Pengusul= BP x NA = ..... X ..... = .....					1,14
Ket. Bobot Peran (BP); sendiri=1; ketua= 0,6; Anggota = 0,4 dibagi jumlah anggota					

Surabaya, *30 Desember 2020*

Reviewer 1



Nama : Dr. Siti Nur Kholifah, SKM,  
 M.Kep.Sp.Kom  
 NIP : 197303101997032002  
 NIDN : 4010037301  
 Unit Kerja: Poltekkes Kemenkes Surabaya  
 Jabatan akademik: Lektor Kepala

Komentar Reviewer

a. Kelengkapan dan Kesesuaian unsur:

Sudah lengkap dan sesuai dengan unsur  
kehidup-kehidup ilmiah

b. Ruang Lingkup dan Kedalaman pembahasan

ruang lingkup keilmuan, pembahasan cukup dalam

c. Kecukupan & kemutakhiran data serta metodologi

Metodologi sudah sesuai dan data cukup  
mutakhir

d. Indikasi plagiasi

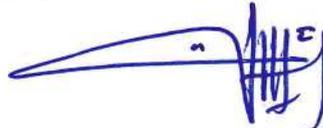
Tidak terdapat unsur plagiasi

e. Kesesuaian bidang ilmu

Pengajaran kesehatan ini sudah bidang Ilmu  
keperawatan

Surabaya, 30 Desember 2020

Reviewer 1



Nama : Dr. Siti Nur Kholifah, SKM, M.Kep.Sp.Kom  
NIP : 197303101997032002  
NIDN : 4010037301  
Unit Kerja: Poltekkes Kemenkes Surabaya  
Jabatan akademik: Lektor Kepala  
Bidang Ilmu : Ilmu Keperawatan



## Ekologi, Pemanasan Global dan Kesehatan

Lingkungan merupakan salah satu determinan status kesehatan masyarakat. Keberadaan lingkungan yang sehat akan mampu menopang sumber daya yang ada di sekitarnya untuk menyediakan kebutuhan dasar manusia dengan optimal. Lingkungan harus dijaga dari kerusakan yang mengakibatkan daya dukungnya menjadi sirna. Sayangnya, manusia lalai dalam menjalankan perannya sebagai salah satu penjaga keseimbangan ekosistem. Berbagai penyakit yang bersumber dari lingkungan bermunculan, yang jamak disebabkan oleh ulah manusia itu sendiri. Sering kali lupa, bahwa suatu proses pembangunan itu harus selaras pula dengan kelestarian lingkungan melalui suatu konsep pembangunan yang berkelanjutan (*sustainability development*).

Buku ini terdiri dari sepuluh bagian yang memberikan deskripsi tentang perubahan lingkungan baik lingkungan alam maupun sosial terhadap status kesehatan masyarakat. Bagian pertama dan kedua mengupas tentang Ekologi Nyamuk sebagai Vektor Penyakit Malaria dan DHF. Bagian ketiga berbicara tentang Interaksi Sosial Manusia di Kota Besar dan Kecelakaan Lalu Lintas. Pembahasan Dampak Pemanasan Global terhadap Malaria dan Penularan Penyakit Melalui Vektor tercantum pada bagian keempat dan keenam. Bagian kelima membahas tentang penyakit dengan air sebagai media perantaranya (*Water Borne Disease*). Bagian ketujuh membahas tentang Dampak Bahan Beracun dan Berbahaya (B3). Bagian kedelapan membahas tentang dampak penggunaan Pestisida Organoklorin dan Organofosfat. Penggunaan berbagai macam teknologi yang menimbulkan radiasi dibahas pada bagian kesembilan tentang Radiasi Ionik dan Radiasi Non Ionik. Bagian kesepuluh membahas tentang isu penggunaan Melamin dan Kesehatan.

Buku ini ditulis dengan harapan dapat memberikan sumbangsih dengan menambah pemahaman, menggugah kesadaran dan kepekaan bahwa apa yang ada di lingkungan sekitar kita perlu dijaga dengan cara berperilaku sehat, selamat dan dengan semangat menjaga kelestarian alam sekitar.



Penerbit Aseni  
Jl. Mambruk, RT 025, Kelurahan Kwamki,  
Mimika Baru, Papua  
www.penerbitaseni.com



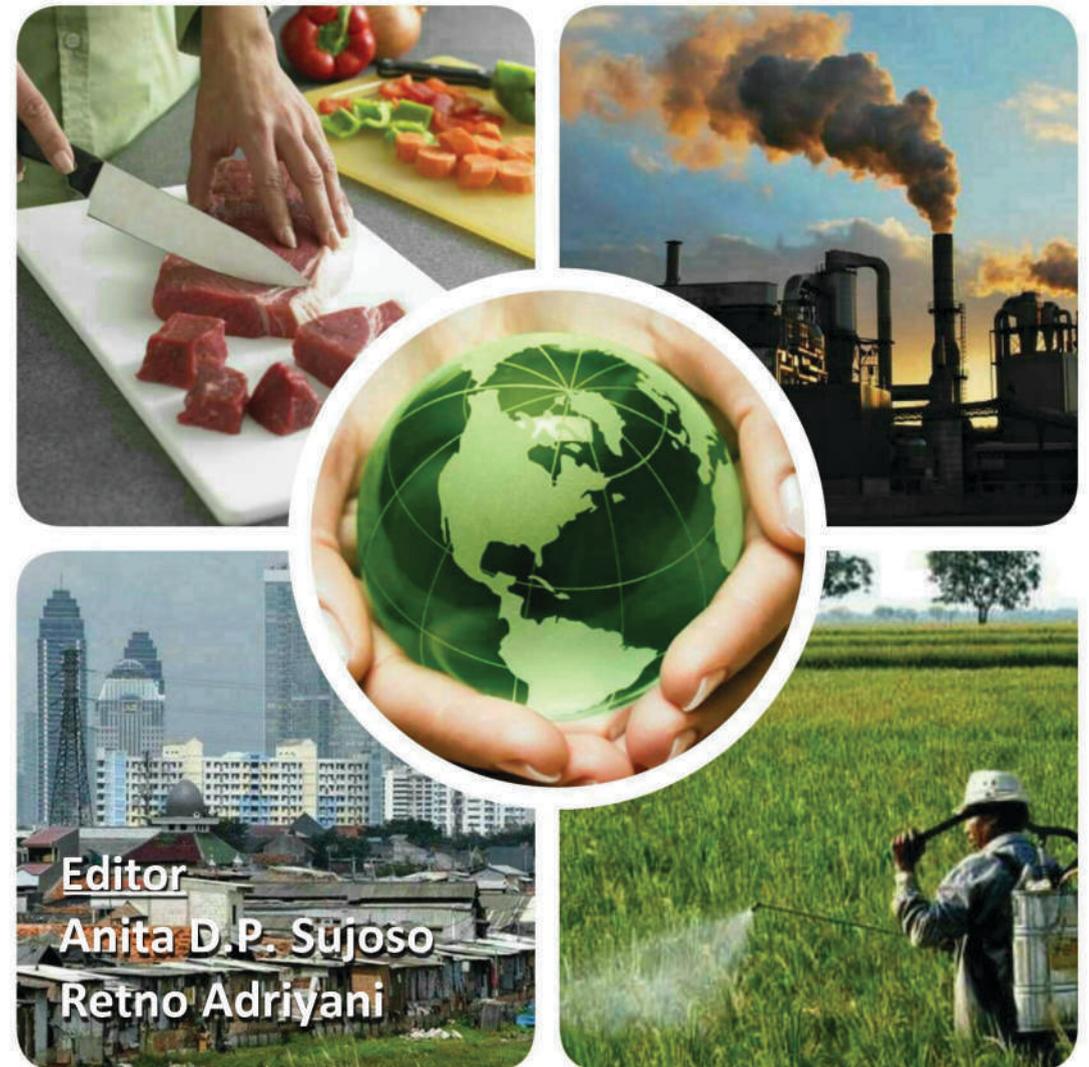
190012



Ekologi, Pemanasan Global dan Kesehatan



# Ekologi, Pemanasan Global dan Kesehatan



Editor  
Anita D.P. Sujoso  
Retno Adriyani

# **Ekologi, Pemanasan Global, dan Kesehatan**

Retno Adriyani dan Anita D.P. Sujoso (editor)



## **EKOLOGI, PEMANASAN GLOBAL, DAN KESEHATAN**

Oleh: Retno Adriyani dan Anita D.P. Sujoso (editor)

190012

©Aseni 2019



**Penerbit Aseni (Anggota IKAPI Pusat)**

Jl. Mambruk, RT 025,  
Kelurahan Kwamki, Mimika Baru, Papua, Indonesia  
Telp. 0877 3849 2767, 0822 3827 8001  
Website: [www.penerbitaseni.com](http://www.penerbitaseni.com)  
Email: [office@penerbitaseni.com](mailto:office@penerbitaseni.com)

Desain sampul:

Tata letak: Mikhael Surya

**ISBN xxx-xxx-xxxx-xx-x**

**Hak cipta dilindungi undang-undang.**

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk dan dengan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

## Kata Pengantar

Assalamualaikum warohmatullohi wabarao katuh,

**A**lhamdulillah puji syukur kami panjatkan kehadirat Alloh SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulisan buku ini telah selesai dengan baik. Buku yang berjudul "Ekologi, Pemanasan Global dan Kesehatan" ini merupakan bunga rampai hasil tulisan mahasiswa Program Studi Doktor Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga Surabaya angkatan tahun 2016.

Lingkungan merupakan salah satu determinan status kesehatan masyarakat. Keberadaan lingkungan yang sehat akan mampu menopang sumber daya yang ada di sekitarnya untuk menyediakan kebutuhan dasar manusia dengan optimal. Lingkungan harus dijaga dari kerusakan yang mengakibatkan daya dukungnya menjadi sirna. Sayangnya, manusia lalai dalam menjalankan perannya sebagai salah satu penjaga keseimbangan ekosistem. Berbagai penyakit yang bersumber dari lingkungan bermunculan, yang jamak disebabkan oleh ulah manusia itu sendiri. Sering kali lupa, bahwa suatu proses pembangunan itu harus selaras pula dengan kelestarian lingkungan melalui suatu konsep pembangunan yang berkelanjutan (*sustainability development*).

Buku ini terdiri dari sepuluh bagian yang memberikan deskripsi tentang perubahan lingkungan baik lingkungan alam maupun sosial terhadap status kesehatan masyarakat. Bagian pertama dan kedua mengupas tentang Ekologi Nyamuk sebagai Vektor Penyakit Malaria dan DHF. Bagian ketiga berbicara tentang Interaksi Sosial Manusia di Kota Besar dan Kecelakaan Lalu Lintas. Pembahasan Dampak Pemanasan Global terhadap Malaria dan Penularan Penyakit Melalui Vektor tercantum pada bagian keempat dan keenam. Bagian kelima

membahas tentang penyakit dengan air sebagai media perantaranya (*Water Borne Disease*). Bagian ketujuh membahas tentang Dampak Bahan Beracun dan Berbahaya (B3). Bagian kedelapan membahas tentang dampak penggunaan Pestisida Organoklorin dan Organofosfat. Penggunaan berbagai macam teknologi yang menimbulkan radiasi dibahas pada bagian kesembilan tentang Radiasi Ionik dan Radiasi Non Ionik. Bagian kesepuluh membahas tentang isu penggunaan Melamin dan Kesehatan.

Buku ini ditulis dengan harapan dapat memberikan sumbangsih dengan menambah pemahaman, menggugah kesadaran dan kepekaan bahwa apa yang ada di lingkungan sekitar kita perlu dijaga dengan cara berperilaku sehat, selamat dan dengan semangat menjaga kelestarian alam sekitar.

Ucapan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kami ucapkan kepada seluruh teman-teman S3 Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga Surabaya angkatan 2016 yang telah memberikan kontribusi tulisan hingga tersusun bunga rampai ini, khususnya untuk mas Agung Dwi Laksono untuk desain cover dan layout buku. Semoga buku ini menjadi bagian kenangan indah angkatan kita dan semangat dalam memberikan karya terbaik untuk negeri ini.

Wassalamu'alaikum warohamatullohi wabarao katuh

Salam "Berani Lulus Bareng"

Surabaya, Maret 2019

## Daftar Isi

### **Bab 1.**

Ekologi Nyamuk Hubungannya dengan Penyakit Malaria

Nasrun Pakaya • Agustina A. Seran • Nikmatur Rohmah

7

### **Bab 2.**

Ekologi Nyamuk Hubungannya dengan Penyakit DBD

Abu Khoiri • Qurnia Andayani • Nuryadi

47

### **Bab 3.**

Ekologi Kota Besar dan Risiko Kecelakaan Lalu Lintas

Anita Dewi Prahastuti Sujoso • Retno Adriyani • Heru Suswojo

79

### **Bab 4.**

*Global Warming* dan *Climate Change* Hubungannya dengan Penyakit Malaria

Maria Florentina Nining Kosad • Emi Kosvianti • Sugeng Mashudi

115

### **Bab 5.**

*Water-Food Borne Disease*

Agung Dwi Laksono • Yoyok Bektu Prasetyo • Yulis Setiya Dewi

151

### **Bab 6.**

*Global Warming* dan *Climate Change* Hubungannya dengan *Vector Borne Diseases*

Wahyudi Iffani • Erlina Suci Astuti • Tri Anjaswarni

175

### **Bab 7.**

Dampak Limbah B3 Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Sigit Nurfiyanto • I Wayan Gede Artawan Eka Putra • Fauzan Adima

203

**Bab 8.**

Dampak Pestisida Jenis Organofosfat dan Organoklorin  
Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Ilyas Ibrahim • Muhammad Suhron • Masruroh

235

**Bab 9.**

Radiasi Ionik dan Non Ionik

Rahmad Suhandi • Suharmanto • Widya Shofa Ilmiah

273

**Bab 10.**

Hubungan Melamin dan Gangguan Kesehatan

Sufyan Anwar • Mirrah Samiyah • Nur Baharia Marasabessy •

Darimiyya Hidayati

307

# Bab 1.

## Ekologi Nyamuk Hubungannya dengan Penyakit Malaria

Nasrun Pakaya  
Agustina A. Seran  
Nikmatur Rohmah

Perubahan iklim secara global dapat berpengaruh terhadap perubahan risiko penularan penyakit yang ditularkan oleh nyamuk seperti malaria, Demam Berdarah Dengue (BDB) dan penyakit-penyakit arbovirus lainnya. Penularan malaria sangat sensitive terhadap variasi perubahan iklim. Kelompok masyarakat sensitif di daerah yang non endemis atau *unstable malaria* tidak memiliki immunitas sebagai proteksi terhadap penyakit sehingga kejadian epidemic mungkin terjadi apabila keadaan iklim mendukung proses epidemi.

Penyakit malaria adalah salah satu penyakit menular yang penyebarannya sangat luas di dunia. Penyakit malaria merupakan penyakit infeksi yang menjadi masalah kesehatan masyarakat dunia terutama di negara-negara yang beriklim tropis dan sub tropis. Kejadian kasus malaria setiap tahunnya berjumlah sekitar 300-500 juta dan mengakibatkan 1,5 – 2,7 juta kematian terutama di negara benua Afrika.

Penyakit malaria di Indonesia memiliki jenis yang berbeda-beda dan jenis yang paling banyak ditemukan adalah *plasmodium falciparum* dan *plasmodium vivax* sedangkan *plasmodium malariae* ditemukan di Provinsi Nusa Tenggara Timur, Papua dan Lampung (Depkes RI, 2008). Penyakit malaria dapat ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles* sp. Penyakit malaria hanya dapat ditularkan melalui

gigitan nyamuk *Anopheles* betina. Diseluruh dunia ditemukan 2.000 spesies *Anopheles* dan 60 diantaranya diketahui sebagai penular malaria. Di Indonesia ada sekitar 80 spesies dengan 24 diantaranya terbukti menularkan malaria. Sifat masing-masing spesies berbeda-beda tergantung dari faktor seperti iklim, geografis, dan tempat perindukannya. Malaria hidup sesuai dengan kondisi lingkungan setempat, misalnya nyamuk yang hidup di air payau (*Anopheles sudaicus* dan *Anopheles subpictus*), di sawah (*Anopheles aconitus*) dan air bersih pegunungan (*Anopheles maculatus*) (Prabowo dan Arlan, 2004).

Menurut Badan Kesehatan Dunia (WHO), pada tahun 2015 terdapat 214 juta kasus malaria baru di dunia. Pada tahun yang sama, terjadi 438.000 kasus malaria yang berujung pada kematian.

Wilayah dengan kematian tertinggi adalah Afrika, yaitu 90 persen, diikuti oleh Asia Tenggara, yaitu 7 persen. Di Indonesia prevalensi malaria pada tahun 2014 adalah 6 persen. Lima propinsi dengan insiden prevalensi tertinggi adalah Papua, Nusa Tenggara Timur, Papua Barat, Sulawesi Tengah, dan Maluku.

## **Ekologi Nyamuk**

Istilah ekologi pada dasarnya berasal dari bahasa Yunani yaitu dari kata *Oikos* yang artinya rumah atau tempat hidup atau habitat dan kata *Logos* yang artinya ilmu pengetahuan. Jadi pengertian ekologi adalah ilmu yang mempelajari makhluk hidup yang berada pada habitatnya atau ilmu yang mempelajari makhluk hidup di dalam tempat tinggalnya. Ekologi dapat diartikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari mengenai interaksi yang terjadi dalam habitat/tempat tinggal makhluk hidup. Pendapat lain mengatakan bahwa ekologi adalah ilmu yang mempelajari tentang hubungan timbal balik suatu organisme atau kelompok organisme dengan lingkungan sekitarnya. Definisi dan pengertian ekologi menurut para ahli atau ilmuwan memberi pengertian yaitu ekologi adalah ilmu untuk mempelajari dan memahami hubungan interaksi antara manusia, binatang, tumbuhan, dan lingkungannya, di mana mereka hidup, cara mereka bertahan hidup serta mengapa mereka hidup di lingkungan sekitarnya.

Pembahasan ekologi tidak lepas dari pembahasan ekosistem dengan berbagai komponen penyusunnya yaitu faktor abiotik dan biotik. Biotik adalah jenis- jenis makhluk hidup yang merujuk kepada organisme-organisme kelompok maupun individual. Faktor biotik adalah makhluk hidup yang terdiri dari manusia, hewan, tumbuhan dan mikroba. Sedangkan abiotik adalah segala sesuatu yang tak bernyawa atau tidak hidup. Faktor abiotik antara lain suhu, air, kelembapan, cahaya dan topografi. Ekologi juga berhubungan erat dengan tingkatan-tingkatan, organisasi makhluk hidup yaitu populasi, komunitas, dan ekosistem. Lebih spesifik lagi disebutkan bahwa ekologi merupakan sebuah area belajar yang di mana pokok kajiannya mengenai struktur dan fungsi ekosistem atau alam, termasuk manusia yang terdapat di dalamnya (Soemarwotto, 1988 dan Mukono, 2006). Berdasarkan sekian banyak pengertian ekologi yang diutarakan oleh beberap ilmuwan tersebut dapat disimpulkan bahwa ekologi adalah ilmu yang mempelajari baik interaksi antar makhluk hidup maupun interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya. Pelajari ekologi berarti kita mempelajari makhluk hidup sebagai kesatuan atau sistem dengan lingkungannya.

Prinsip-prinsip ekologi dapat menerangkan dan memberikan ilham dalam mencari jalan untuk mencapai kehidupan yang layak. Apalagi sejak timbulnya gerakan kesadaran lingkungan di seluruh dunia mulai tahun 1968 yaitu: penghematan sumber daya, penghematan energi, masalah pencemaran udara, pencemaran air, pencemaran tanah dan degradasi/kerusakan hutan dan sebagainya. Prinsip ekologi menurut para praktisi ekologi menerapkan beberapa prinsip-prinsip ekologi adalah: interaksi, keanekaragaman, kemampuan berkelanjutan, saling ketergantungan dan keharmonisan. Sedangkan tiga aspek dasar dari dalam mempelajari ekologi adalah hubungan organisme dengan lingkungan, hubungan organisme terhadap lingkungannya dan hubungan struktur kehidupan beserta dengan fungsi alam. Ekologi berkepentingan dalam menyelidiki interaksi organisme dengan lingkungannya. Pengamatan ini bertujuan untuk menemukan prinsip-prinsip yang terkandung dalam hubungan timbal balik tersebut. Dalam studi ekologi digunakan metoda pendekatan secara menyeluruh pada komponen-komponen yang berkaitan dalam suatu sistem yaitu mempelajari makhluk hidup sebagai kesatuan atau sistem dengan lingkungannya.

Tempat atau daerah yang ideal untuk perindukan nyamuk *Anopheles* adalah hal yang penting. Kehidupan nyamuk sangat ditentukan oleh kondisi lingkungan yang ada seperti kondisi suhu, kelembapan, curah hujan, salinitas, derajat keasaman, oksigen terlarut, tumbuhan air dan hewan air lainnya. Lingkungan dapat mempengaruhi kehidupan nyamuk. Lingkungan yang dimaksud adalah lingkungan fisik, kimia, dan biologi. Lingkungan fisik mempengaruhi tempat berkembangbiakan (*breeding places*) nyamuk *Anopheles* (Depkes RI, 2001 dan Sucipto, 2011).

### 1. Lingkungan fisik

Faktor lingkungan fisik yang mempengaruhinya adalah musim, kelembapan, angin, air, ketinggian lokasi, dan sinar matahari. Air adalah tempat perindukan nyamuk. Fauna *Anopheles* dengan berbagai spesiesnya dapat dijumpai pada lingkungan dengan genangan air payau misalnya di tambak udang, kolam terlantar, dan genangan air. Beberapa spesies *Anopheles* yang dapat kontak dengan manusia antara lain: *Anopheles sondaicus*, *Anopheles vagus*, *Anopheles tessellatus*, *Anopheles aconitus*, *Anopheles subpictus*, *Anopheles annularis*, *Anopheles kochi*, *Anopheles minimus*, *Anopheles barbirostris* dan *Anopheles maculatus*. Nyamuk *Anopheles sondaicus* merupakan spesies paling dominan ditunjukkan dari angka gigitan per orang per jam (Suwito, Hadi, Sigit dan Sukowati, 2010).

Curah hujan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi banyaknya nyamuk *Anopheles*. Air hujan menambah jumlah dan jenis genangan air, yang sebelumnya sedikit atau tidak ada pada musim kemarau sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya siklus akuatik dalam siklus hidup nyamuk. Tambak terbengkalai dan kubangan yang kering menjadi berisi air, kondisi air lagun dan rawa menjadi lebih payau. Hujan yang diselingi dengan cuaca panas akan meningkatkan berkembangbiaknya nyamuk *Anopheles*. Kondisi di perairan ini merupakan habitat yang disenangi oleh *Anopheles sondaicus* untuk perkembangan larva.

Pengaruh dari curah hujan adalah arus air yang tinggi karena berpengaruh pada *breeding site*, jika sangat lebat diikuti dengan angin dalam waktu yang relatif lama, justru dapat menghilangkan

tempat perindukan. Aliran air yang deras membawa larva dalam tempat perindukannya dan pada akhirnya larva akan mati atau hanyut pindah lokasi, dengan demikian siklus hidup nyamuk akan terputus mata rantainya. Kolam yang terlantar dan ketika hujan datang akan menimbulkan genangan air, genangan air tersebut tidak dapat mengalir sehingga menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk. Selain itu ketika intensitas hujan rendah, banyak kubangan, rawa, dan muara yang terisi air tetapi air tidak mengalir atau mengalir pelan. Hal ini menjadikan tempat tersebut banyak ditemukan larva nyamuk *Anopheles*. Suhu air sangat berpengaruh pada perkembangbiakan larva, umumnya larva lebih menyukai tempat yang hangat. Oleh sebab itu larva *Anopheles* lebih banyak dijumpai di daerah tropis. Waktu tetas telur *Anopheles* tergantung suhu air, semakin tinggi suhu air (dalam batas tertentu) akan lebih cepat menetas menjadi instar. Hasil penelitian menunjukkan pada suhu 20°C telur menetas selama 3,5 hari, sedangkan jika suhu dinaikkan sampai 35°C telur menetas selama 2 hari. Pada penelitian yang dilakukan Setyaningrum, didapatkan suhu air berkisar 32-33,5°C,6 sedangkan menurut DepKes RI suhu air optimum untuk *Anopheles sp* adalah 25-27°C (Depkes RI, 2008).

Genangan dan ketinggian air serta derasnya arus air pada rawa tergantung dari deras tidaknya curah hujan di daerah tersebut. Kedalaman berkisar antara 15-100 cm, sedangkan arus air yang deras akan menghilangkan larva karena terbawa arus air. Curah hujan yang tinggi berpengaruh pula terhadap kelembapan udara. Pada penelitian Suwito, kelembapan tertinggi pada bulan Desember sekitar kurang lebih 84 persen dan terendah pada bulan Agustus 76 persen. Suhu air juga mempengaruhi perkembangbiakan nyamuk. didapatkan berkisar antara 25-27°C untuk perkembangbiakan nyamuk DepKes RI (2008). Perkembangan alamiah *Anopheles sp.* menyesuaikan dengan suhu lingkungannya sekitarnya. Ketika suhu lingkungan turun di bawah ambang tertentu, betina dari beberapa *Anopheles sp.* mengalami proses *hibernasi* selama mereka mengembangkan bagian lemak dan berhenti memproduksi telur (*gonothrophic dissociation*) dan mungkin terjadi pada *Anopheles sp.* tropis selama musim kering.

Periode inaktivitas reproduktif adalah *diapauses*. Telur disimpan pada atau dekat air, jumlah per kumpulan yang bervariasi antara 100-200. Kumpulan telur berikutnya cenderung menurun ukurannya dan mungkin menunjukkan satu variasi musiman. Telur yang dikeluarkan biasanya membutuhkan periode istirahat 2-3 hari sebelum menetas, meskipun pada beberapa spesies *Anopheles sp.* telur bisa tetap dorman selama 16 hari bahkan lebih lama pada lumpur basah, ketika banjir telur dorman menetas dalam 3-4 menit. Sedangkan telur *Anopheles* tidak dapat terus hidup sesudah pengeringan meskipun beberapa spesies lebih resisten terhadap kondisi tersebut.

Larva *Anopheles sp.* mudah dikenali dengan tampilan mereka mengambang horizontal di permukaan air dan makan dengan sarana sikat mulut mereka yang menyapu partikel yang mengambang ke mulutnya. Permukaan air yang dibutuhkan adalah permukaan air yang tenang. Sebaliknya pada daerah yang airnya mengalir deras biasanya bebas dari *Anopheles sp.* (Astuti, 1998). Larva bergerak dengan sentakan yang kuat dan jika terganggu tenggelam di bawah permukaan air. Sesudah pergantian bulu ketiga, larva *Anopheles sp.* instar keempat berkembang pada pupa yang masih akuatik berbentuk koma. Pupa tidak makan tapi sangat aktif dan merespon dengan cepat semua rangsangan eksternal. Mereka menyelam dalam air tetapi muncul lagi di permukaan dan mereka bernapas melalui *trumpet* pernapasan mereka. Sesudah 2-4 hari yang bergantung pada suhu dan faktor lain, kulit pupa membelah secara dorsal dan serangga dewasa (*imago*) mulai muncul. Proses munculnya (*eklosi*) perlu beberapa menit dan memperkuat sayapnya untuk terbang.

Setiap spesies mempunyai rentang suhu optimum. Lama hidup *Anopheles sp.* dewasa bergantung pada karakteristik internal mereka seperti tenaga yang lebih besar dari beberapa spesies tetapi lebih banyak pada faktor eksternal diantara suhu, kelembaban, keberadaan musuh alami. Durasi siklus telur *Anopheles sp.* dewasa bervariasi antara 7 hari dengan suhu 31°C dan 20 hari pada suhu 20°C. Saat suhu rata-rata lebih dari 35°C atau kelembaban kurang dari 50 persen lama hidup *Anopheles sp.* menurun secara drastis kecuali bila mereka menemukan lebih banyak kondisi yang

menguntungkan pada iklim mikro di tempat istirahat mereka. Nyamuk *Anopheles sp.* lebih senang temperatur tropis. Durasi rata-rata kehidupan *Anopheles sp.* pada betina dalam kondisi iklim yang menguntungkan lebih dari 3-4 minggu dan kadang jauh lebih lama jantan hidup kurang lama dibandingkan betina. Lama hidup populasi *Anopheles sp.* lokal memiliki satu hubungan langsung pada potensi penularan malaria. Jika rata-rata mortalitas populasi tertentu adalah 35 persen kemudian kurang dari 1 persen dari mereka akan terus hidup diperlukan 10 hari untuk perkembangan *plasmodium falciparum* (Sucipto, 2011).

Faktor lain (fisik) seperti kondisi geografis memiliki angin yang cukup kuat juga berpengaruh terhadap jarak terbang nyamuk. Curah hujan yang tinggi disertai angin yang berpengaruh terhadap jarak terbang nyamuk. Faktor lingkungan fisik yang berpengaruh lainnya adalah ketinggian lokasi. Malaria berkurang pada ketinggian yang semakin bertambah. Daya terbang nyamuk berbeda-beda menurut spesies. Khususnya nyamuk *Anopheles* dapat terbang pada hingga 1,6 km. Nyamuk betina mempunyai jarak terbang lebih jauh daripada nyamuk jantan.

Sinar matahari merupakan energi alam yang mempengaruhi keberadaan nyamuk dan berpengaruh pada kelembapan dan suhu sehingga berdampak pada kehidupan larva dan nyamuk. Nyamuk *Anopheles sundaicus* menyukai tempat yang teduh, pada jenis yang lain menyukai tempat yang terbuka seperti *Anopheles punctulatus* dan *Anopheles hyrcanus*. Larva *Anopheles sundaicus* suka bersembunyi di bawah lumut untuk menghindari dari sinar matahari (Pentury dan Nusaly, 2014). Tiga kelompok nyamuk yang berhubungan dengan sinar matahari serta terlindung tidaknya tempat perindukannya yaitu *heliophilic* (*Anopheles maculates*) dimana jenis ini senang sinar matahari, *heliophobic* (*Anopheles umbrosus*) yaitu nyamuk yang tidak senang dengan sinar matahari dan nyamuk yang hidup di habitat yang terlindung (*shaded*) (Effendy, 2003, Depkes RI, 2008 dan Suwito, Hadi, Sigit dan Sukowati, 2013, Setianingrum, Rosa, Murwani dan Andananta, 2013).

Faktor lingkungan fisik yaitu salinitas, pH, dan oksigen terlarut mempengaruhi keberadaan nyamuk *Anopheles sudaicus*. Salinitas air sangat mempengaruhi ada tidaknya nyamuk malaria di suatu daerah. Salinitas merupakan ukuran yang dinyatakan dengan jumlah garam-garam yang larut dalam suatu volume air. Daerah yang berada di pesisir pantai memiliki angin yang cukup kuat dapat berpengaruh terhadap nyamuk pada beberapa aspek yaitu jarak terbang, evaporasi cairan dalam tubuh nyamuk, dan suhu udara. Pada kecepatan angin 11-14 meter perdetik akan menghambat kemampuan terbang nyamuk. Pada keadaan tenang, suhu tubuh nyamuk lebih tinggi dari lingkungan, tetapi ketika berangin maka suhu akan turun dengan demikian evaporasi akan berkurang. Semua desa yang berada di pinggir pantai memiliki angka kejadian malaria yang tinggi. Hal ini merupakan salah satu akibat dari angin yang membawa dan mempengaruhi jarak payau. Dan hal ini didukung oleh tempat perindukan yang sesuai dengan nyamuk *Anopheles* seperti yang ditemukan oleh Suwito yaitu tambak terbengkalai, bak benur terbengkalai, kolam, lagun, rawa, parit, kubangan air, kobakan, dan bak air (Prabowo dan Arlan, 2004).

## 2. Lingkungan kimia

Lingkungan kimia juga merupakan faktor lain yang mempengaruhi perkembangbiakan nyamuk. Lingkungan kimia yang terdiri dari derajat keasaman (pH), kadar garam, salinitas, dan oksigen terlarut. Derajat keasaman air, nilai pH sangat berpengaruh terhadap proses biokimiawi suatu perairan, sebagian besar biota akuatik menyukai nilai pH sekitar 7- 8,5. Nyamuk *Anopheles sudaicus* menyukai genangan air payau yang berkisar antara 5-30 ‰. Menurut Effendi salinitas air payau berkisar antara 0,5 – 30‰. Untuk menopang kehidupan organisme akuatik, diperlukan kadar oksigen terlarut (DO) yang optimum yaitu berkisar 5,0 – 9,0 mg/L. Tingkat keasaman sangat mempengaruhi kehidupan larva nyamuk. Banyak spesies *Anopheles sp.* yang senang hidup di air garam atau air payau dan air jernih. *Anopheles sudaicus* tumbuh pada air payau yang kadar garamnya 12 -18 persen dan tidak berkembang pada kadar garam 40 persen ke atas. Derajat keasaman (pH air) mempunyai peranan penting dalam pengaturan respirasi dan

potosintesis (Efendi, 2003). Dengan bertambahnya kedalaman maka pH cenderung menurun, hal ini diduga berhubungan dengan kandungan CO<sub>2</sub>. Sebagian besar biota akuatik menyukai nilai pH sekitar 7-8,5. Oksigen terlarut dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer dan aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air.

Proses respirasi tumbuhan air dan hewan serta proses dekomposisi bahan organik dapat menyebabkan hilangnya oksigen dalam suatu perairan, selain itu peningkatan suhu akibat semakin meningkatnya intensitas cahaya juga mengakibatkan berkurangnya oksigen. Oksigen terlarut (DO) memiliki kaitan dengan kemampuan untuk menopang kehidupan organisme akuatik, kadar DO optimum yang baik berkisar antara 5,0-9,0 mg/L (Effendi, 2013). Pada penelitian Setyaningrum pada tempat perindukan nyamuk didapatkan DO berkisar antara 5,3-6,4 mg/L. Hal ini merupakan kondisi yang cocok untuk tempat perindukan nyamuk (Setyaningrum, Rosa, Murwani dan Andananta, 2014).

### 3. Lingkungan biologik

Jenis tanaman air merupakan indikator bagi beberapa jenis nyamuk tertentu. Berbagai jenis tumbuhan air seperti seperti bakau, lumut, ganggang, dan berbagai jenis tumbuh-tumbuhan lain dapat mempengaruhi kehidupan larva nyamuk. Tumbuhan dapat melindungi kehidupan larva nyamuk karena dapat menghalangi matahari yang masuk atau melindungi dari serangan makhluk hidup lain atau predator dan kemungkinan hanyut terbawa oleh aliran air. Predator larva juga mempengaruhi kepadatan larva nyamuk. Beberapa predator larva nyamuk yaitu ikan kepala timah (*Panchax spp*), ikan cere (*Gambusia affinis*), ikan mujair (*Tilapia mossambica*) dan nila (*Oreochromis niloticus*) dan anak katak. Predator ini banyak dijumpai di rawa dan muara yang banyak ditumbuhi tumbuhan (Harijanto, 2000). Tumbuhan bakau, lumut, ganggang vegetasi, dan tumbuhan lain di sekitar tempat perindukan dan musim alami dapat melindungi larva nyamuk dari sinar matahari (Depkes RI, 2006). Tumbuh-tumbuhan dapat mempengaruhi kehidupan dan kepadatan larva nyamuk karena dapat dihalangi oleh sinair matahariatau melindungi dari serangan makhluk hidup lainnya/ predator dan kemungkinan hanyut terbawa

oleh aliran air. Predator ini banyak dijumpai di rawa dan muara yang banyak ditumbuhi tumbuhan (Febriani dan Devita, 2011, Sandjaka dan Aris, 2013).

Hewan air yang umumnya sebagai predator larva nyamuk terdiri dari vertebrata dan invertebrata, seperti kepala timah (*Panchax spp*), ikan cere (*Gambusia affinis*), ikan mujair (*Tilapia mossambica*) dan nila (*Oreochromis niloticus*), dan anak katak yang akan mempengaruhi populasi nyamuk di suatu daerah. Ikan kepala timah, ikan cere, udang, dan ikan mujair merupakan pemakan larva. Rawa yang banyak tumbuhan sehingga akan mempengaruhi keberadaan oksigen yang dibutuhkan oleh biota air untuk hidup, hal ini memungkinkan hewan air dapat hidup dengan baik di rawa dan akan memangsa larva yang terdapat pada habitat yang sama.

### **Nyamuk *Anopheles***

Nyamuk *Anopheles* merupakan nyamuk malaria. Terdapat 400 spesies nyamuk *Anopheles*, namun hanya 30-40 menyebarkan malaria (contoh, merupakan "vektor" secara alami. *Anopheles gambiae* adalah paling terkenal akibat peranannya sebagai penyebar parasit malaria (*plasmodium falciparum*) dalam kawasan endemik di Afrika, sedangkan *Anopheles sudaicus* adalah penyebar malaria di Asia. *Anopheles* juga merupakan vektor bagi cacing jantung anjing *dirofilaria immitis*.

Nyamuk *Anopheles* dikenal sebagai salah satu jenis nyamuk yang menyebabkan penyakit malaria. Nyamuk malaria banyak terdapat di rawa-rawa, saluran-saluran air, dan permukaan air yang terekspos sinar matahari. Ia bertelur di permukaan air. Nyamuk ini hinggap dengan posisi menukik atau membentuk sudut. Sering hinggap di dinding rumah atau kandang. Warnanya bermacam-macam, ada yang hitam, ada pula yang kakinya berbercak-bercak putih. Waktu menggigit biasanya dilakukan malam hari. Banyak jenis nyamuk *Anopheles* yang bisa menyebabkan penyakit malaria. Ada *Anopheles sudaicus* yang banyak terdapat di air payau, seperti di Kepulauan Seribu. Nyamuk ini berkembang biak di lingkungan yang banyak ditumbuhi ganggang. Ia akan meletakkan telurnya di ganggang hijau yang banyak reniknya, sehingga begitu menetas, jentiknya langsung mendapat makanan renik yang hidup di antara ganggang tersebut. Ada lagi *Anopheles*

*maculatus* dan *Anopheles balabacensis* yang banyak terdapat di perbukitan dan bertelur di mata air, di air rembesan atau di sungai yang tak deras airnya. Nyamuk *Anopheles aconitus* banyak hidup di daerah pesawahan atau saluran-saluran air yang ada rumputnya. Menurut Soeroto ada sekitar 70 jenis nyamuk ini. Penyakit malaria yang ditimbulkan pun jenisnya bermacam-macam, tergantung jenis parasitnya (malaria falsiparum, vivax, ovale, dan malariae). Selain itu, nyamuk *Anopheles* bisa juga menyebabkan penyakit kaki gajah.

1. Ciri-ciri nyamuk *Anopheles*: sangat dipengaruhi kelembapan, dan suhu, menggigit pada malam hari, jarak terbang 0,5-3 km, umur di laboratorium dewasanya 3-5 minggu.
2. Ciri-ciri jentik nyamuk *Anopheles*: Bentuk siphon seperti tanduk, jentik nyamuk mansoniana menempel pada akar tumbuhan air, bagian toraks terdapat *stout spine*.
3. Ciri-ciri nyamuk *Anopheles*
  - a. Bentuk tubuh kecil dan pendek.
  - b. Antara palpi dan proboscis sama panjang
  - c. Menyebabkan penyakit malaria
  - d. Pada saat hinggap membentu sudut 90°
  - e. Warna tubuhnya coklat kehitam
  - f. Bentuk sayap simetris
  - g. Berkembang biak di air kotor atau tumpukan sampah

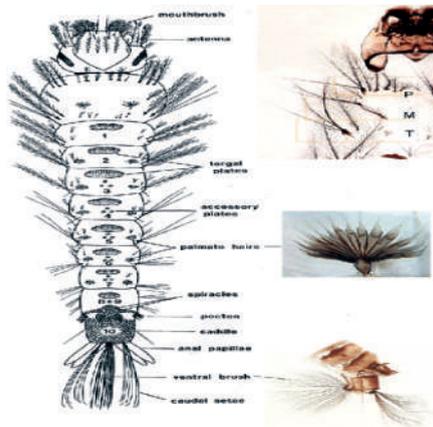
Nyamuk *Anopheles* mempunyai siklus hidup yang termasuk dalam metamorfosa sempurna, yang berarti dalam siklus hidupnya terdapat stage/fase pupa. Lama siklus hidup dipengaruhi kondisi lingkungan, misal : suhu, adanya zat kimia/biologi di tempat hidup. Siklus hidup nyamuk *Anopheles* secara umum adalah:

- a. Telur  
Nyamuk dewasa mampu menghasilkan 50-200 buah telur langsung air dan terpisah dan sifatnya tidak bergabung menjadi satu. Waktu yang dibutuhkan untuk menetas kurang lebih 2-3 hari, kecuali daerah beriklim dingin bisa 2-3 minggu).
- b. Larva  
Larva terbagi dalam 4 instar dengan posisi larva saat istirahat adalah sejajar dengan permukaan perairan karena mereka tidak mempunyai siphon (alat bantu pernafasan). Lama hidup kurang

lebih 7 hari. Makanan untuk mempertahankan hidup dengan memakan algae, bakteri dan mikroorganisme lainnya yang berada disekitarnya.



Gambar 1.1. Larva *Anopheles* sp. perbesaran (2015)



Gambar 1.2. Larva *Anopheles* sp: (1. a) Thorax, (1.b) Palmate hairs, dan (1. c) Ventral brush. (Sumber: [http://fr.impact malaria.com/web/formation\\_paludisme/morphologie\\_taxonomie/larves\\_nymphes\\_anopheles/morphologie\\_larves](http://fr.impact malaria.com/web/formation_paludisme/morphologie_taxonomie/larves_nymphes_anopheles/morphologie_larves)).

c. Pupa (kepompong)

Bentuk seperti koma dan setelah beberapa hari pada bagian dorsal terbelah sebagai tempat keluar nyamuk dewasa.

d. Dewasa

Nyamuk dewasa mempunyai *proboscis* yang berfungsi untuk menghisap darah atau makanan lainnya. Lama hidup nyamuk jantan bisa hidup sampai seminggu, sedangkan nyamuk betina bisa mencapai sebulan. Perkawinan terjadi setelah beberapa hari setelah menetas dan kebanyakan perkawinan terjadi di sekitar rawa (*breeding place*). Untuk membantu pematangan telur, nyamuk menghisap darah dan beristirahat sebelum bertelur. Salah satu ciri khas dari nyamuk *Anopheles* adalah pada saat posisi istirahat menungging.



Gambar 1.3. Anoples dewasa, [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/Anopheles\\_stephensi.jpeg/](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/Anopheles_stephensi.jpeg/)

Nyamuk *Anopheles* di seluruh dunia kurang lebih 2000 spesies, yang ada di Indonesia berjumlah lebih dari 80 spesies, namun tidak semua jenis spesies *Anopheles* berperan penting dalam penularan. Di Indonesia telah ditemukan sejumlah 24 spesies *Anopheles* yang dapat menularkan malaria. Semua vektor tersebut hidup sesuai dengan kondisi ekologi setempat. Berikut beberapa jenis vektor *Anopheles* yang dominan di Nusa Tenggara Timur (Gunawan,2000):

1. *Anopheles aconitus*

*Anopheles aconitus* pertama kali di temukan oleh Donitz pada tahun 1902. Tempat perindukan vektor *Anopheles aconitus* terutama di daerah persawahan dan saluran irigasi. Persawahan yang berteras merupakan tempat yang baik untuk perkembangan nyamuk ini. Vektor jenis *Anopheles aconitus* betina paling sering menghisap darah ternak dibandingkan darah manusia. Perkembangan vektor jenis ini sangat erat hubungannya dengan lingkungan dimana kandang ternak yang ditempatkan satu atap

dengan rumah penduduk. Nyamuk ini suka hinggap di daerah-daerah yang lembap seperti pinggir parit, tebing sungai, dekat air yang selalu basah dan lembab. Vektor *Anopheles aconitus* biasanya aktif menggigit pada waktu malam hari, hampir 80 persen dijumpai di luar rumah penduduk antara pukul 18.00 - 22.00. Nyamuk jenis ini hanya mencari darah di dalam rumah penduduk dan langsung keluar.



Gambar 1.4. Sumber <https://www.google.com/search?q=anoples+aconicus&client=firefox>

## 2. *Anopheles sundaicus*

Ciri morfologi palpi gelang pucat, urat sayap dengan noda gelap, percabangan urat sayap 5 dengan noda pucat, kaki bertitik (bercak bercak). Pada vektor jenis ini umurnya lebih sering menghisap darah manusia dari pada darah binatang. Nyamuk ini aktif menggigit sepanjang malam tetapi paling sering antara pukul 22.00 - 01.00 dini hari. Pada waktu malam hari nyamuk masuk ke dalam rumah untuk mencari darah, hinggap di dinding baik sebelum maupun sesudah menghisap darah.

Vektor *Anopheles sundaicus* biasanya berkembang biak di air payau dengan kadar garam optimum antara 12 -18 persen. Biasanya penyebaran jentik di tempat-tempat tertutup seperti di antara tanaman air yang mengapung, sampah dan rumput - rumput di pinggir sungai atau parit.



Gambar 1.5. Sumber <https://www.google.com/search?q=anopheles+sundaicus&client=>

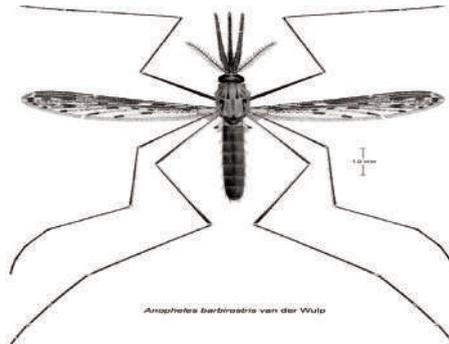
### 3. *Anopheles maculatus*.

Menurut Hiswani 2005, vektor *Anopheles maculatus* pertama kali ditemukan oleh Theobaldt pada tahun 1901. Vektor *Anopheles maculatus* betina lebih sering menghisap darah binatang daripada darah manusia. Vektor jenis ini aktif mencari darah pada malam hari antara pukul 21.00 hingga 03.00. Nyamuk ini berkembang biak di daerah pegunungan. Tempat perindukan yang spesifik vektor ini di sungai yang kecil dengan air jernih, mata air yang mendapat sinar matahari langsung, kolam dengan air jernih. Densitas tinggi pada musim kemarau, sedangkan pada musim hujan vektor jenis ini agak berkurang karena tempat perindukan hanyut terbawa banjir.

### 4. *Anopheles barbirostris*.

*Anopheles barbirostris* pertama kali diidentifikasi oleh Van Der Wulp pada tahun 1884. Ciri ciri palpi tanpa gelang pucat, palpi dan *proboscis* dengan bulu yang kasar, kosta, dengan noda gelap kurang dari 4, kaki tidak bertitik, bagian bawah abdomen tidak terdapat bulu bersisik putih. Di Sumatera dan Jawa jenis nyamuk ini jarang menggigit orang tetapi lebih sering menggigit binatang, sedangkan daerah sulawesi, NTT, dan Timor Leste lebih sering menggigit manusia daripada binatang. Jenis nyamuk ini biasanya mencari darah pada waktu malam hingga dini hari berkisar antara pukul 23.00 - 05.00. Frekuensi mencari darah tiap tiga hari sekali. Pada siang hari nyamuk jenis ini hanya sedikit yang dapat ditangkap, di dalam rumah penduduk, karena tempat istirahat nyamuk ini adalah di alam terbuka, paling sering hinggap pada pohon-pohon dan tanaman disekitar rumah. Tempat perindukan

vektor ini biasanya di sawah-sawah dengan saluran irigasinya, kolam, dan rawa-rawa (Hiswani, 2004).



Gambar 1.6. Sumber <https://www.google.com/search?q=Anopheles+barbirostris&client=firefox>

#### 5. *Anopheles balabacensis*

Menurut Kirnowardoyo (2005) *Anopheles balabacensis* merupakan nyamuk hutan dan telah terbukti berperan sebagai vektor malaria di Kalimantan Timur, dekat Balikpapan. Ciri cirinya palpi dengan gelang pucat, *proboscis* seluruhnya gelap, costa dengan noda gelap lebih dari 4, kaki bertitik (bercak bercak, bagian *tibia tarsal* terdapat gelang putih yang lebar. Nyamuk yang ini merupakan spesies yang antropofilik, lebih menyukai darah manusia ketimbang darah binatang. Nyamuk ini mempunyai kebiasaan menggigit pada tengah malam hingga menjelang fajar sekitar jam 4 pagi di luar rumah. Spesies ini berkembang biak di genangan air tawar. Mereka lebih menyukai hutan-hutan atau semak di sekitar pekarangan rumah.



Gambar 1.7. Sumber [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chironomus\\_plumosus\\_MHNT](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chironomus_plumosus_MHNT)

#### 6. *Anopheles subpictus*

Habitat ini menyukai kumpulan air yang permanen / sementara, celah tanah bekas kaki binatang, tambak ikan dan bekas galian pantai (pantai utara pulau Jawa). Bersifat antropofilik > zoofilik menggigit waktu malam di dalam maupun luar rumah. Jenis nyamuk yang satu ini lebih menyukai darah ternak ketimbang darah manusia. Nyamuk ini aktif sepanjang malam dan beristirahat di dinding rumah. Jentik nyamuk ini sering dijumpai bersama jentik *Anopheles sundaicus*, namun lebih toleran terhadap salinitas yang rendah mendekati tawar (Achmadi, 2005). Nyamuk ini dapat menyesuaikan diri terhadap lingkungan yang berbeda beda kadar garamnya sehingga *Anopheles subpictus* dapat ditemukan bersama *Anopheles sundaicus* atau spesies lain yang berkembang biak di air tawar. Terbukti sebagai vektor malaria di Sulawesi Selatan tahun 1940 – 1941, Sulawesi Tenggara 1942, Cirebon 1952, Banyuwangi dan Flores Barat 1979.

#### 7. *Anopheles flavirostris*

*Anopheles flavirostris* pernah ditemukan positif mengandung sporozoit di Malili (Sulawesi Selatan tahun 1949). Nyamuk ini berkembang biak dengan baik di air jernih yang mengalir lambat dan kena sinar matahari, seperti sungai dan terutama mata air dan apabila bagian tepinya berumput. Nyamuk ini bersifat zoofilik.



Gambar 1.8. Sumber [http://www.wrbu.org/mqID/mq\\_medspc/AD/ANfla\\_hab.html](http://www.wrbu.org/mqID/mq_medspc/AD/ANfla_hab.html)

#### 8. *Anopheles barbumbrosus*.

Habitat di pinggir sungai yang terlindung dengan air yang mengalir lambat dekat hutan di dataran tinggi. Perilaku menggigit bionomiknya belum banyak di pelajari antropofilik. Pernah di temukan positif mengandung sporozoid di Malili, Sulawesi Selatan

(1949). Data yang dapat menerangkan tata hidup nyamuk ini belum diketahui dengan baik.

#### 9. *Anopheles farauti*

Habitat kebun kangkung, kolam, genangan air dalam perahu, genangan air hujan, rawa, dan saluran air bersifat perilaku menggigit antropofilik zoofilik eksofagik menggigit malam hari di dalam dan di luar rumah.

Ditemukan positif mengandung sporozoid di Digul (1929) dan Nimboran Irianjaya (1957). Tempat berkembang biak di sembarang tempat, berair baik alamiah maupun buatan. Dapat menyesuaikan diri terhadap bermacam-macam kadar garam. Tempat perindukan nyamuk ini antara lain kebun kangkung, rawa, genangan air dalam perahu, saluran air, dan sebagainya.

Nyamuk ini bersifat antropofilik, eksofilik dan eksofagik, keaktifan menggigit sepanjang malam, meskipun paling banyak dapat di tangkap pada tiga jam pertama setelah matahari terbenam. Penyebaran nyamuk ini sangat luas yaitu dari daerah pantai hingga pedalaman yang cukup tinggi.



Gambar 1.9. Sumber : <https://www.google.com/search?q=Anopheles+farauti&client=firefox>

#### 10. *Anopheles punctulatus*

Habitatnya air di tempat terbuka dan terkena sinar matahari, pantai (dalam musim hujan) tetapi sungai bersifat perilaku menggigit antropofolik > zoofolik menggigit di malam hari di luar rumah.

Ditemukan positif mengandung sporozoid di Digul (1929) dan Mapura Jaya, Irian jaya (1982). Nyamuk ini berkembang biak di sembarangan tempat air yang terbuka. Dalam musim penghujan

ditemukan di pantai tetapi tidak pernah ditemukan di air payau. Nyamuk betina bersifat *antropofilik*.

11. *Anopheles koliensis*

Di Irian jaya di cantumkan sebagai vektor malaria yang berbahaya. Tempat bersarang adalah bekas roda kendaraan yang berair, lubang lubang dalam tanah yang berair, saluran, kolam, kebun kangkung, dan rawa yang tertutup. Nyamuk betinanya bersifat *antropofilik*, ditemukan positif sporozoid di Fak-fak (1979).

12. *Anopheles karwari*

Nyamuk ini didaerah asalnya (daerah oriental) tidak pernah di temukan positif mengandung sporozoid. Di beberapa daerah Irian Jaya merupakan vektor malaria, misalnya ditemukan positif di Sentani, Nomboran dan Keerom (1955). Berkembang biak di air tawar yang jernih dan kena sinar matahari, di daerah pegunungan. Nyamuk betina berifat zoofilik tetapi waktu densitas tinggi, akan menggigit manusia pula.

13. *Anopheles ketifer*

Habitat air tergenang (tahan hidup di tempat asam) terutama dataran pinggir pantai) bersifat perilaku menggigit antropofilik > zoofilik di bagian bawah di luar atap rumah. Spesies ini pernah di temukan positif sporozoid di Bangka (1929) Belawan Deli (1919) Sanggau Kalimantan Barat (1931). Spesies ini tahan hidup di bawah asam, dan sebagai tempat perindukan adalah air genang. Nyamuk betinanya bersifat antropofilik.

14. *Anopheles bancrofti*.

Danau dengan tumbuhan bakung, air tawar yang tergenang, rawa dengan tumbuhan pakis, perilaku menggigit zoofilik > antropofilik ditemukan positif mengandung sporozoid di Irian Jaya (1935). Data yang menerangkan tata hidup nyamuk ini belum diketahui dengan baik.

15. *Anopheles lundlowi*

Habitat sungai di daerah pegunungan perilaku menggigit antropofilik > zoofilik. Pernah ditemukan positif mengandung sporozoid di Kanjiro Sulawesi Selatan (1940), Kalena Sulawes Selatan (1940) dan Malili (Sulawesi Selatan 1941). Data yang menerangkan tata hidup belum diketahui.

### 16. *Anopheles punctulatus*

Habitat air di tempat terbuka dan terkena sinar matahari, pantai (dalam musim penghujan) tapi sungai bersifat perilaku menggigit antropofilik > zoofilik menggigit di malam hari di luar rumah.

Ditemukan positif mengandung sporozoid di Digul (1929) dan Mapura Jaya Irian Jaya (1982). Nyamuk ini berkembang biak di sembarang tempat air yang terbuka. Dalam musim penghujan di temukan di pantai tetapi tidak pernah ditemukan di air payau. Nyamuk betinanya bersifat antropofilik (Sucipto, 2011).

## **Penyakit Malaria**

Nyamuk sangat berperan terhadap penularan penyakit-penyakit tular vector diantaranya adalah malaria. Khususnya nyamuk *Anopheles sp.* ada sekitar 400 spesies diseluruh dunia dan hanya 69 spesies merupakan vektor malaria dalam kondisi alamiah. Pada infeksi dengan spesies parasit malaria tertentu sebagian besar tidak dapat dijelaskan meskipun ini tentu saja berhubungan dengan proses biokimia dalam tubuh nyamuk dan kebutuhan nutrisi. Frekuensi pencarian makanan pada manusia adalah suatu relevansi khusus. Faktor lain adalah rata-rata lama hidup dari populasi lokal dari suatu spesies *Anopheles sp.* densitasnya dalam hubungannya dengan manusia. Penyebaran nyamuk dapat berlangsung dengan 2 cara yaitu cara aktif yang ditentukan oleh kekuatan terbang dan cara pasif dengan perantara angin. Pada kecepatan angin 11-14 meter per detik atau 25-31 mil per jam akan menghambat terbang nyamuk (Santoso, 2008). Penularan malaria dipengaruhi oleh faktor parasit (*Plasmodium*), faktor manusia (*Host*), faktor nyamuk *Anopheles* (vektor) dan faktor lingkungan baik lingkungan fisik, kimia maupun biologi di sekitar habitat perkembangbiakan nyamuk dan musuh alami. Nyamuk *Anopheles* sangat banyak macamnya dan berbeda-beda jenisnya antara daerah yang satu dengan daerah yang lainnya. Jenis nyamuk *Anopheles* yang berperan dalam penularan penyakit malaria di daerah tertentu sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan (Soedarto, 1992).

Nyamuk *Anopheles* berkurang pada ketinggian yang semakin bertambah. Semakin tinggi suhu udara akan memperpendek waktu terbentuknya sporogoni sehingga tidak cukup umur untuk ditularkan kepada *host*, sebaliknya semakin rendah (dalam batas tertentu)

semakin panjang waktu terbentuknya. Penyakit malaria disebabkan oleh protozoa genus *plasmodium* yang ditandai dengan demam, panas dingin, berkeringat, anemia hemolitik dan splenomegali. Penyebar malaria adalah nyamuk *Anopheles* sp. yaitu spesies yang telah terbukti mengandung sporozoit di dalam kelenjar ludahnya. (Munif dan Imron, 2010).

Faktor yang mempengaruhi kepadatan larva vektor malaria, yaitu faktor biotik dan faktor abiotik. Faktor biotik antara lain tumbuhan dan hewan, interaksi antara jasad, pemangsa, pemakan bangkai, simbiosis parasitisme, dan manusia, sedangkan faktor abiotik antara lain cahaya, suhu, curah hujan, arah dan kecepatan angin, dan kelembapan. Bila lingkungan nyamuk sesuai dengan keadaan yang dibutuhkan maka nyamuk dapat berkembang biak dengan baik (Ewusie, 1980). Kondisi ekologi perindukan vektor malaria di pantai mendukung kehidupan larva vektor malaria (Pebrianto, 2008). Berdasarkan hasil survei nyamuk *Anopheles* yang dilakukan oleh Departemen Kesehatan RI pada tahun 2009, jenis *Anopheles* yang ditemukan adalah *Anopheles kochi*, *Anopheles vagus*, *Anopheles aconitus* dan *Anopheles sundaicus*. Jenis nyamuk *Anopheles sundaicus* merupakan vektor penyakit penular malaria utama yang berkembang biak pada air payau daerah pantai.

### 1. Definisi malaria

Malaria merupakan penyakit menular yang menjadi masalah kesehatan dunia dan disebabkan oleh *plasmodium* sp. yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles* sp. Malaria merupakan penyakit yang penyebarannya sangat luas salah satu penyakit menular yang bersifat akut dan kronis. Penyakit malaria ini ditemukan dengan derajat dan berat infeksi yang bervariasi. Penyakit malaria ini ditemukan dengan derajat dan berat infeksi yang bervariasi. Penyakit malaria disebabkan oleh protozoa genus *plasmodium* yang ditandai dengan demam, panas dingin, berkeringat, anemia hemolitik dan splenomegali. Penyebar malaria adalah nyamuk *Anopheles* spp. yaitu spesies yang telah terbukti mengandung sporozoit di dalam kelenjar ludahnya (Munif, Imron, 2010).

Malaria merupakan penyakit menular yang bersifat akut maupun kronis. Terdiri dari kata *mal* dan *area* yang berarti udara yang busuk, diambil

dari kondisi yang terjadi yaitu suatu penyakit yang banyak diderita masyarakat yang tinggal di sekitar rawa-rawa yang mengeluarkan bau busuk (Gandahusada dkk, 1998). Penyakit malaria merupakan infeksi yang disebabkan oleh parasit malaria, suatu protozoa darah genus plasmodium yang ditularkan oleh nyamuk *Anopheles* betina yang terinfeksi (Nugroho,2000).

## 2. Gejala klinis malaria

Gejala klinis malaria yang ditunjukkan oleh penderita malaria sangat menentukan diagnosis jenis malaria. Berat ringannya pun tergantung pada jenis plasmodium yang menyebabkan infeksi. Gejala klinis malaria sangat khas adalah serangan demam yang intermiten, anemia dan splenomegali. Selama stadium akut terdapat masa demam yang intermiten. Gejala klinis pada infeksi oleh *plasmodium vivax*, panas bersifat ireguler, kadang-kadang remiten atau intermiten dan pada stadium menahun terdapat masa laten yang diselingi kambuh beberapa kali. Kambuhnya penyakit ini menunjukkan gejala sangat mirip dengan serangan pertama. Sedangkan rekrudensi sering terjadi pada infeksi yang disebabkan *plasmodium malariae* (Harijanto, 2010).

Manifestasi demam yang terjadi pada penderita berhubungan dengan proses skizogoni (pecahnya merozoit/skizon) dalam tubuh penderita. Di Indonesia sampai saat ini terdapat empat macam plasmodium penyebab infeksi malaria yaitu:

- a. *Plasmodium falciparum* penyebab malaria tropika yang menimbulkan demam tiap 24-48 jam.
- b. *Plasmodium vivax* penyebab malaria tertiana yang menimbulkan demam tiap hari ke 3
- c. *Plasmodium malariae* penyebab malaria kuartana yang menimbulkan demam tiap hari ke 4
- d. *Plasmodium ovale* penyebab malaria ovale, memberikan infeksi yang paling ringan dan sering sembuh spontan tanpa pengobatan (Harijanto, 2010).

Sumber lain menjelaskan, infeksi malaria terdapat gejala klasik malaria akut yang sering di sebut Trias Malaria yaitu:

a. Periode dingin.

Gejala awal yang dirasakan oleh penderita dimulai dengan menggigil, kulit dingin dan kering. Gigi gemeretak dan penderita biasanya menutup tubuhnya dengan selimut yang tebal diikuti denyutan nadi cepat tetapi lemah, bibir dan jari pucat kebiru-biruan, kulit kering dan pucat. Periode dingin ini berlangsung antara 15 menit sampai 1 jam selanjutnya diikuti meningkatnya suhu badan penderita.

b. Periode demam.

Penderita merasa kepanasan setelah merasa kedinginan, suhu badan dapat meningkat sampai  $\geq 40^{\circ}\text{C}$ , muka merah, kulit kering dan terasa sangat panas, sakit kepala, nadi cepat, respirasi meningkat, muntah-muntah dan dapat terjadi tekanan darah menurun kadang terjadi syok bahkan sampai terjadi kejang pada anak. Gejala pada periode ini antara 2 - 4 jam. Demam disebabkan oleh pecahnya sison darah yang telah matang dan masuknya merozoit ke dalam aliran darah.

c. Periode berkeringat.

Penderita akan berkeringat setelah melewati demam yang begitu lama disertai suhu badan menurun. Kondisi penderita kelihatan capek dan biasanya dapat tidur nyenyak. Periode berkeringat ini berlangsung antara 2 - 4 jam. Gejala-gejala yang tidak selalu sama tergantung dari spesies parasit dan umur dari penderita, gejala klinis yang berat biasanya terjadi pada malaria tropika.

### 3. Diagnosis malaria

Untuk menentukan diagnosis malaria umumnya didasarkan pada manifestasi klinis saat melakukan anamnesis pada pasien, uji imunoserologis dan ditemukannya plasmodium dalam darah penderita. Diagnose malaria tidak cukup hanya mengandalkan pengamatan secara klinis saja, namun perlu dilakukan pemeriksaan laboratorium untuk menunjang diagnosis malaria sedini mungkin. Pemeriksaan mikroskopis membutuhkan ketentuan atau syarat tertentu agar diperoleh nilai diagnostik yang tinggi yaitu dengan sensitivitas dan spesifitas yang tinggi (Purwaningsih, 2000) yaitu:

- a. Waktu pengambilan sampel harus pada akhir periode demam memasuki periode berkeringat karena pada periode ini jumlah trofozoit mencapai jumlah maksimal dalam sirkulasi.
- b. Volume darah yang diambil sebagai sampel cukup untuk sediaan darah tipis (1 – 1,5 mikroliter) dan sediaan darah tebal (3-4 mikroliter)
- c. Kualitas preparat harus baik agar terjamin kualitas identifikasi spesies plasmodium dengan tepat.

#### 4. Epidemiologi malaria

Menurut Nelson (2000) penularan malaria banyak terjadi pada daerah yang beriklim tropis dan sub tropis, terutama terdapat pada daerah dimana orang-orang mempunyai gametosit dalam darahnya sehingga menjadikan nyamuk *Anopheles* terinfeksi dan menularkan pada orang yang sehat. Walaupun Amerika Serikat, Kanada, Eropa, Australia, dan Israel sekarang bebas malaria lokal, wabah setempat dapat terjadi melalui infeksi nyamuk lokal oleh wisatawan yang datang dari daerah endemis. Daerah yang sejak semula bebas malaria adalah Pasifik Tengah dan Selatan (Hawaii dan Selandia Baru). Ini terjadi karena di daerah tersebut malaria tidak dapat berlangsung dalam tubuh nyamuk *Anopheles* (*Anophelism without malaria*) karena kondisi iklim/temperatur yang tidak sesuai (Sutanto dkk, 2008).

Batas dari penyebaran malaria adalah 64°LU (Rusia) dan 32°LS (Argentina) dengan ketinggian yang dimungkinkan adalah 400 meter di bawah permukaan laut (Laut mati) dan 2600 meter di atas permukaan laut (Bolivia). *Plasmodium vivax* mempunyai distribusi geografis yang paling luas, mulai dari daerah beriklim dingin, subtropik sampai ke daerah tropik. *Plasmodium ovale* pada umumnya dijumpai di Afrika di bagian yang beriklim tropik, kadang-kadang dijumpai di Pasifik Barat (Rampengan, 2010). Di Asia Tenggara negara-negara yang termasuk wilayah endemi malaria adalah: Bangladesh, Bhutan, India, Indonesia, Maldives, Myanmar, Nepal, Srilanka, dan Thailand.

Di Indonesia penyakit malaria tersebar di seluruh pulau dengan derajat endemisitas yang berbeda-beda dan dapat berjangkit di daerah dengan ketinggian sampai 1800 meter di atas permukaan laut. Penduduk yang paling berisiko terkena malaria adalah anak balita, wanita hamil dan penduduk non imun yang mengunjungi daerah endemik malaria.

Angka API di pulau Jawa dan Bali pada tahun 2000 ialah 0,81 per 1000 penduduk turun menjadi 0,15 per 1000 penduduk pada tahun 2004. Sedangkan di luar Jawa-Bali angka AMI tetap tinggi yaitu 31,09 per 1000 penduduk pada tahun 2000, turun menjadi 20,57 per 1000 penduduk tahun 2004. Spesies yang terbanyak dijumpai adalah *Plasmodium falciparum* dan *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malaria* banyak dijumpai di Indonesia bagian Timur sedangkan *Plasmodium ovale* pernah ditemukan di Irian dan Nusa Tenggara Timur (Rampengan, 2010).

#### 5. Siklus hidup parasit malaria

##### a. Siklus aseksual dalam tubuh manusia

##### i). Siklus di luar sel darah merah

Siklus di luar sel darah merah (eksoeritrositer) berlangsung dalam hati. Stadium ini dimulai saat nyamuk *Anopheles* betina menggigit manusia dan memasukan sporozoit yang terdapat pada air liurnya ke dalam darah manusia. Beberapa menit kemudian (0,5-1 jam) sporozoit tiba di hati dan menginfeksi hati. Di hati sporozoit mengalami reproduksi aseksual (skizogoni) atau proses pemisahan dan menghasilkan parasit anak (merozoit) yang kemudian akan di keluarkan dari sel hati. Pada *plasmodium vivax* dan *plasmodium ovale* ditemukan dalam bentuk laten dalam hati yang disebut hipnosoit, yang merupakan suatu fase hidup parasit malaria yang nantinya dapat menyebabkan kumat/kambuh/rekurensi (*long term relapse*). *P.vivax* dapat kambuh berkali-kali sampai jangka waktu 3-4 tahun sedangkan *P. Ovale* sampai bertahun-tahun jika tidak di obati dengan baik.

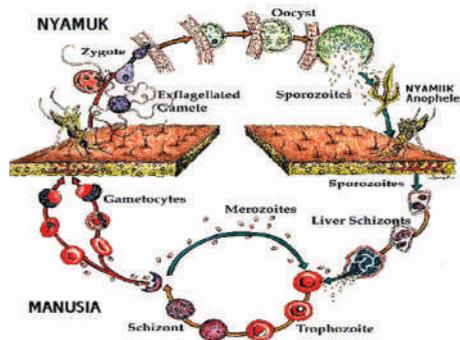
##### ii). Siklus dalam sel darah merah

Siklus dalam darah dimulai dengan keluarnya merozoit dari skizon matang di hati ke sirkulasi. Siklus dalam sel darah merah (eritrositer) ini terbagi menjadi siklus sisogoni yang menimbulkan demam dan siklus gametogoni yang menyebabkan seseorang menjadi sumber penularan bagi nyamuk (Depkes RI,1999).

##### b. Siklus seksual dalam tubuh nyamuk

Gametosit matang dalam darah penderita yang terhisap oleh nyamuk akan mengalami pematangan menjadi gamet (gametogenesis) sedangkan parasit malaria yang berbentuk trofozoit, skizon,

merozoit dicerna dalam lambung nyamuk. Mikro gametosit membelah menjadi 4-8 mikro gamet (gamet jantan) dan makro gametosit mengalami kematangan menjadi makro gamet (gamet betina). Kemudian pembuahan terjadi antara mikro gamet dan makro gamet yang disebut zigot. Pada mulanya berbentuk bulat kemudian berubah menjadi memanjang dan dapat bergerak dan disebut ookinet. Ookinet menembus dinding lambung dan menjadi bentuk bulat disebut ookista. Ookista makin lama makin besar dan di dalamnya intinya membelah-belah dan masing-masing inti diliputi protoplasma dan mempunyai bentuk memanjang (10-15 mikron) di sebut sporozoit. Ookista akan pecah dan ribuan sporozoit akan dibebaskan dalam rongga nyamuk yang kemudian akan mencapai kelenjar liur. Nyamuk *Anopheles* betina menjadi siap menularkan penyakit malaria. Prinsip pemberantasan malaria antara lain didasarkan pada siklus ini yaitu dengan mengusahakan umur nyamuk lebih pendek dari masa inkubasi ekstrinsik sehingga siklus sporogoni (karena menghasilkan sporozoit) tidak dapat berlangsung (Gandahusada,1998). Berikut gambar siklus hidup parasit malaria dalam tubuh nyamuk dan manusia (Tetiana, 2007):



Gambar 1.10. Siklus hidup parasit malaria

## 6. Cara penularan

- a. Penularan secara alamiah (*natural infection*) terjadi pada nyamuk *Anopheles*.
- b. Penularan tidak alamiah
  - i). Malaria bawaan

Terjadi pada bayi yang baru dilahirkan karena ibunya menderita malaria, penularan terjadi melalui tali pusat atau plasenta.

ii). Secara mekanik

Penularan terjadi melalui transfusi darah atau melalui jarum suntik yang tidak steril. Penularan lewat jarum suntik juga banyak terjadi pada pecandu obat bius yang menggunakan jarum suntik yang tidak steril. Malaria lewat transfusi hanya menghasilkan siklus eritrositer karena tidak melalui sporozoit yang memerlukan siklus hati sehingga dapat diobati dengan mudah

iii). Secara oral

Cara penularan ini pernah dibuktikan pada burung, ayam (*P.gallinasium*), burung dara (*P.Relection*) dan monyet (*P.Knowlesi*) yang akhir-akhir ini dilaporkan menginfeksi manusia (Rampengan, 2010).

## 7. Penilaian situasi malaria

Surveilans epidemiologi terhadap penyakit dapat menentukan penilaian situasi suatu penyakit, di antaranya malaria. Pengamatan yang terus menerus atas distribusi dan kecenderungan penyakit malaria melalui pengumpulan data yang sistematis sangat diperlukan untuk penentuan penanggulangan yang terbaik dan tepat sasaran. Untuk pengamatan rutin malaria beberapa parameter yang digunakan seperti di bawah ini:

- a. *Annual Parasite Incidence* (API) yaitu jumlah sediaan darah yang positif dari sejumlah sediaan darah yang diperiksa per tahun, biasanya dinyatakan dalam per 1000 penduduk. Angka ini dipakai untuk wilayah Jawa dan Bali.
- b. *Annual Malaria Incidence* (AMI) yaitu jumlah malaria klinis tanpa pemeriksaan laboratorium per tahun dibandingkan dengan jumlah penduduk. Angka ini dinyatakan dalam per 1000 penduduk dan dipakai untuk wilayah luar Jawa dan Bali yang belum semuanya dapat dilakukan pemeriksaan laboratorium akibat keterbatasan sumber daya.
- c. *Parasite Rate* (PR) adalah persentase penduduk yang darahnya mengandung parasit malaria pada saat tertentu. Kelompok umur yang dicakup biasanya yang berusia 2-9 tahun dan 0 -1 tahun. PR pada golongan 0 -1 disebut *Infant Parasite Rate* (IPR) yang bermakna adanya transmisi lokal.

- d. *Spleen Rate* (SR), merupakan persentase orang dengan pembesaran limfa dalam masyarakat. Angka limfa ini merupakan petunjuk bahwa suatu daerah endemis malaria.
- e. *Slide Positive Rate* (SPR), adalah persentase sediaan darah yang positif pada kegiatan penemuan kasus, dilakukan secara aktif maupun pasif dibandingkan dengan seluruh sediaan darah yang diperiksa.

#### 8. Pemberantasan malaria

Setiap upaya pemberantasan malaria yang dilakukan bertujuan untuk menurunkan angka kesakitan dan kematian sedemikian rupa sehingga penyakit ini tidak lagi merupakan masalah kesehatan. Hal mendasar yang dilakukan untuk pemberantasan penyakit ini adalah dengan memutuskan mata rantai daur hidup parasit dalam tubuh manusia serta mengendalikan nyamuknya.

Berbagai kegiatan yang dapat dilakukan untuk mengurangi kejadian malaria ialah:

- a. Menghindari/mengurangi gigitan nyamuk *Anopheles* dengan pemakaian kelambu, repelen dan obat nyamuk.
- b. Membunuh nyamuk dewasa dengan menggunakan insektisida
- c. Membunuh jentik baik secara kimiawi (larvasida ) maupun secara biologik (ikan pemakan jentik, tumbuhan, penggunaan *bacillus thurigiensis*).
- d. Mengurangi tempat perindukan (*source reduction*) dengan modifikasi dan manipulasi lingkungan. Modifikasi dilakukan seperti menimbun tempat-tempat tergenang atau mengeringkannya sedangkan manipulasi merupakan upaya mengubah keadaan lingkungan sedemikian rupa sehingga tidak cocok untuk perkembangan vektor.
- e. Mengobati penderita malaria.
- f. Pemberian pengobatan pada penderita.

Pemberian profilaksis, terutama bagi mereka yang akan berpergian ke tempat-tempat yang endemis malaria

#### 9. Pengobatan malaria

Pengobatan malaria didasarkan pada ada tidaknya parasit malaria dan seharusnya tidak hanya didasarkan pada gejala klinis. Sebaliknya pada banyak individu yang imun (tinggal di daerah endemik)

ditemukan parasit malaria dalam darahnya namun tidak ditemukan gejala malaria seperti demam. Pada keadaan ini seharusnya diberikan pengobatan untuk mencegah transmisi dan kemungkinan menjadi malaria berat, terutama pada anak-anak dan orang dewasa non imun, malaria dapat berkembang cepat menjadi keadaan yang buruk. Kegagalan pada pengobatan malaria ringan dapat menyebabkan terjadinya malaria berat, meluasnya malaria karena transmisi infeksi, menyebabkan infeksi berulang dan bahkan timbulnya resistensi.

Tujuan pengobatan secara umum adalah untuk mengurangi kesakitan, mencegah kematian, menyembuhkan penderita dan mengurangi kerugian akibat sakit. Selain itu upaya pengobatan mempunyai peranan penting yaitu mencegah kemungkinan terjadinya penularan penyakit dari seorang yang menderita malaria kepada orang-orang sehat lainnya.

Pengobatan malaria yang tidak tepat dapat menyebabkan resistensi, sehingga menyebabkan meluasnya malaria dan meningkatnya morbiditas. Untuk itu WHO telah merekomendasikan pengobatan malaria secara global dengan penggunaan regimen obat ACT (*Artemisin Combination Therapy*) dan telah disetujui oleh Depkes RI sejak tahun 2004 sebagai obat lini I diseluruh Indonesia. Pengobatan dengan ACT harus disertai dengan kepastian ditemukannya parasit malaria secara mikroskopik atau sekurang-kurangnya dengan pemeriksaan RDT (*Rapid Diagnostic Test*). Pengobatan ACT yang direkomendasikan meliputi:

- a. Kombinasi *artemeter* + *lumefantrin* (AL)
- b. Kombinasi *artesunate* + *amodikuin*
- c. Kombinasi *artesunate* + *meflokuin*
- d. Kombinasi *artesunate* + *sulfadoksin* – *pirimetamin*

Berikut ini adalah penatalaksanaan malaria ringan/tanpa komplikasi berdasarkan konsensus Departemen Kesehatan, rekomendasi Tim ahli Malaria Depkes RI serta pedoman WHO tahun 2006:

- a. Pengobatan Malaria *P. falciparum*

Lini I : Artesunate + Amodikuin (1 tablet artesunate 50 mg dan 1 tablet amodikuin 200 mg. Dosis artesunate ialah 4 mg/kg BB/hari selama 3 hari dan dosis amodiakuin ialah 10 mg/kg BB/hari selama 3 hari.

Tabel 1.1. Pengobatan Lini I, Plasmodium Falciparum berdasarkan Usia

Hari	Jenis Obat	Jumlah tablet menurut kelompok umur					
	Dosis Tunggal	0-1 bulan	2-11 bulan	1-4 tahun	5-9 tahun	10-14 tahun	> 15 tahun
1	Artesunate	1/4	1/2	1	2	3	4
	Amodiakuin	1/4	1/2	1	2	3	4
	Primakuin	-	-	3/4	1 1/2	2	2-3
2	Artesunate	1/4	1/2	1	2	3	4
	Amodiakuin	1/4	1/2	1	2	3	4
	Artesunate	1/4	1/2	1	2	3	4
3	Artesunate	1/4	1/2	1	2	3	4
	Amodiakuin	1/4	1/2	1	2	3	4

Pada kasus-kasus dengan kegagalan artesunate + amodiakuin maka Kombinasi artemeter-lumefantrin (AL) dapat di pakai sebagai obat pilihan pertama

b. Pengobatan Malaria oleh *P. vivax/ovale/malariae*

Tabel 1.2. Pengobatan Lini I malaria vivaks dan malaria ovale

Hari	Jenis Obat	Jumlah tablet menurut kelompok umur					
	Dosis Tunggal	0-1 bulan	2-11 bulan	1-4 tahun	5-9 tahun	10-14 tahun	> 15 tahun
1	Artesunate	1/4	1/2	1	2	3	4
	Amodiakuin	1/4	1/2	1	2	3	4
	Primakuin	-	-	1/4	1/2	3/4	1
2	Artesunate	1/4	1/2	1	2	3	4
	Amodiakuin	1/4	1/2	1	2	3	4
	Primakuin	-	-	1/4	1/2	3/4	1
3	Artesunate	1/4	1/2	1	2	3	4
	Amodiakuin	1/4	1/2	1	2	3	4
	Primakuin	-	-	1/4	1/2	3/4	1
4-14	Primakuin	-	-	1/4	1/2	3/4	1

Jika terjadi kegagalan pengobatan lini I maka dapat digunakan kombinasi dihidroartemisin + piperakuin atau artemeter-lumefantrin atau artesunate + meflokuin (Harijanto, 2010)

**Faktor yang Mempengaruhi Kejadian Malaria**

1. Faktor manusia (*Host*)

a. Karakteristik manusia

i). Umur

Usia anak-anak lebih rentan terhadap infeksi malaria. Anak yang bergizi baik justru lebih sering mendapat kejang dan malaria serebral dibanding dengan anak yang bergizi buruk. Akan tetapi anak yang bergizi baik dapat mengatasi malaria berat dengan lebih cepat dibandingkan anak bergizi buruk (Gunawan, 2000).

ii). Jenis Kelamin

Infeksi malaria tidak membedakan jenis kelamin, tetapi apabila menginfeksi ibu yang sedang hamil akan menyebabkan anemia yang berat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perempuan mempunyai respon yang kuat dibandingkan laki-laki, namun kehamilan menambah risiko malaria.

iii). Imunitas

Orang yang pernah terinfeksi malaria sebelumnya biasanya terbentuk imunitas dalam tubuhnya, demikian juga yang tinggal di daerah endemis biasanya mempunyai imunitas alami terhadap malaria.

iv). Ras

Beberapa ras di Afrika mempunyai kekebalan terhadap malaria, misalnya *sickle cell* anemia dan ovalositas. *Plasmodium falciparum* dapat gagal matang pada anak dengan sel sabit serta tidak mampu mencapai densitas tinggi pada anak dengan defisiensi *glukose-6-fosfat dehidrogenase* (Nelson,2000).

v). Status gizi

Masyarakat dengan gizi kurang baik dan tinggal di daerah endemis malaria lebih rentan terhadap infeksi malaria. Hubungan antara penyakit malaria dan kejadian Kurang Energi Protein (KEP) merupakan masalah yang hingga saat ini masih kontroversial. Ada kelompok peneliti yang berpendapat bahwa penyakit malaria menyebabkan kejadian KEP, tetapi sebagian peneliti berpendapat bahwa keadaan KEP yang menyebabkan anak mudah terserang penyakit malaria. Rice *et. al.* mengatakan terdapat hubungan yang kuat antara malnutrisi dalam hal meningkatkan risiko kematian pada penyakit infeksi termasuk malaria pada anak-anak di negara berkembang. Penelitian Shankar yang menguji hubungan antara malaria dan status gizi menunjukkan bahwa malnutrisi protein dan energi mempunyai hubungan dengan morbiditas dan mortalitas pada berbagai malaria (Wanti,2008). Penelitian yang dilakukan oleh Suwadera menunjukkan bahwa balita dengan status gizi kurang berisiko menderita malaria 1,86 kali dibandingkan dengan yang berstatus gizi baik.

b. Perilaku manusia

Manusia dalam keseharian mempunyai aktifitas yang berisiko untuk terkena penyakit malaria, diantaranya:

- i. Kebiasaan untuk berada di luar rumah sampai larut malam, dimana vektornya bersifat eksofilik dan eksofagik akan memudahkan kontak dengan nyamuk. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Suwito (2005) menunjukkan bahwa responden yang mempunyai kebiasaan keluar rumah pada malam hari mempunyai risiko menderita malaria 4 kali lebih besar di banding dengan yang tidak mempunyai kebiasaan keluar pada malam hari.
- ii. Tingkat kesadaran masyarakat tentang bahaya malaria akan mempengaruhi kesediaan masyarakat untuk memberantas malaria dengan menyehatkan lingkungan, menggunakan kelambu. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Babba (2009) diperoleh bahwa orang yang tidur malam tidak menggunakan kelambu, mempunyai risiko terjangkit malaria sebesar 2,28 kali lebih besar dibandingkan yang menggunakan kelambu.
- iii. Memasang kawat kasa pada rumah dapat mengurangi masuknya nyamuk ke dalam rumah untuk menggigit manusia. Hasil penelitian Suwadera (2003) bahwa ada hubungan ventilasi yang di lengkapi kasa dengan kejadian malaria pada balita. Balita yang tinggal dalam rumah tidak dilengkapi dengan kawat kasa akan berisiko terkena malaria sebesar 3,41 kali dibandingkan balita yang tinggal di rumah dengan ventilasi memakai kawat kasa.
- iv. Menggunakan obat nyamuk maupun repelen dapat menghindarkan diri dari gigitan nyamuk, baik hanya bersifat menolak ataupun membunuh nyamuk. Mereka yang mempunyai kebiasaan tidak menggunakan obat nyamuk mempunyai risiko terkena malaria sebesar 10,8 kali lebih besar dibandingkan dengan mereka yang menggunakan obat anti nyamuk (Suwito, 2005).

Selain perilaku-perilaku tersebut, berbagai kegiatan manusia seperti pembendungan, pembuatan jalan, pertambangan dan pembangunan pemukiman/transmigrasi sering mengakibatkan perubahan lingkungan yang menguntungkan penularan malaria.

Selain hal tersebut diatas, terdapat juga beberapa karakteristik dari manusia yang dapat menyebabkan terjadinya malaria seperti pendidikan, pekerjaan, pengetahuan dan pendapatan.

Pendidikan yang semakin tinggi diharapkan berbanding lurus dengan tingkat pengetahuan, terutama untuk pencegahan malaria. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yahya, dkk (2005) makin tinggi tingkat pendidikan ibu cenderung makin tinggi tingkat pengetahuannya tentang malaria pada anak. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Babba (2008) bahwa ada hubungan antara pendidikan yang rendah dengan kejadian malaria dengan risiko terkena malaria sebesar 2,23 kali dibanding dengan orang yang berpendidikan tinggi.

Pekerjaan yang dilakukan seseorang mempunyai peranan dalam kejadian malaria. Hasil penelitian oleh Balai Penelitian Vektor dan Reservoir Penyakit (BPVRP) juga menunjukkan hasil bahwa pekerjaan yang berkaitan dengan pertanian mempunyai risiko untuk menderita malaria sebesar 4,1 kali lebih besar daripada yang bekerja selain dibidang pertanian.

Pendapatan berkaitan dengan kemampuan responden untuk mengupayakan pencegahan atau meminimalkan kontak dengan nyamuk misalnya dengan penggunaan kawat kasa atau membeli obat anti nyamuk. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Babba (2008) menunjukkan bahwa orang yang mempunyai penghasilan yang kurang mempunyai risiko sebesar 4, 32 kali untuk menderita malaria.

## 2. Nyamuk

Nyamuk *Anopheles* terutama hidup didaerah tropik dan sub tropik, namun dapat juga hidup di daerah beriklim sedang bahkan dapat hidup di daerah Arktika. Jarang ditemukan pada ketinggian lebih dari 2000-2500 m. Efektifitas vektor untuk menularkan dipengaruhi hal-hal berikut:

- a. Kepadatan vektor dekat pemukiman manusia
- b. Kesukaan menghisap darah manusia
- c. Frekuensi menghisap darah (tergantung pada suhu)
- d. Lamanya sporogoni (berkembangnya parasit dalam nyamuk sehingga menjadi infeksi)

- e. Lamanya hidup nyamuk harus cukup untuk sporogoni dan kemudian menginfeksi (Gunawan,2000).

Selain itu, perilaku nyamuk sangat menentukan dalam proses penularan malaria. Beberapa yang penting meliputi:

- a. Tempat istirahat di dalam rumah atau luar rumah (endofilik dan eksofilik)
- b. Tempat menggigit di dalam rumah atau luar rumah (endofagik dan eksofagik)
- c. Obyek yang di gigit, suka menggigit manusia atau hewan (antrofilik dan zoofilik).

### 3. Faktor Lingkungan

#### a. Lingkungan Fisik

##### i. Suhu udara

Suhu udara berpengaruh terhadap lamanya masa inkubasi ekstrinsik (panjang pendeknya siklus sporogoni). Hal ini berperan dalam transmisi malaria. Semakin tinggi suhu antara 20-30°C akan berakibat pada makin pendeknya masa inkubasi ekstrinsik, begitu juga sebaliknya. Pengaruh suhu terhadap masing-masing spesies tidak sama. Pada suhu 26,7°C masa inkubasi ekstrinsik pada spesies plasmodium berbeda yaitu: *plasmodium falciparum* (10-12 hari), *P. Vivax* (8-11hari), *P. Malariae* (14 hari) dan *P. Ovale* ( 15 hari) ( Subbarao, 1998)

##### ii. Kelembapan udara

Kelembapan yang rendah memperpendek umur nyamuk, dengan tingkat kelembapan 60% merupakan batas paling rendah untuk hidupnya nyamuk. Pada kelembapan yang lebih tinggi nyamuk menjadi lebih aktif dan lebih sering menggigit.

##### iii. Ketinggian

Secara umum malaria berkurang pada ketinggian yang semakin bertambah, ini berkaitan dengan menurunnya suhu rata-rata. Pada ketinggian diatas 2000 m jarang ada transmisi malaria, namun ini bisa berubah dengan adanya pemanasan bumi dan pengaruh dari El-Nino. Ini menyebabkan terjadinya perubahan pola musim di Indonesia yang berpengaruh terhadap perilaku nyamuk.

iv. Angin

Kecepatan dan arah angin berpengaruh terhadap kemampuan jarak terbang (*flight range*) nyamuk. Kecepatan angin pada saat matahari terbit dan terbenam berpengaruh terhadap nyamuk yang keluar masuk rumah. Jarak terbang nyamuk dapat diperpendek atau diperpanjang sebagai akibat pengaruh adanya kecepatan angin.

v. Hujan

Siklus hidup dan perkembangan nyamuk dapat dipengaruhi oleh fluktuasi curah hujan. Hujan yang diselingi panas akan memperbesar kemungkinan perkembangan biakan nyamuk *Anopheles* berlangsung sempurna. Tetapi tidak semua spesies mempunyai kecenderungan yang sama.

vi. Sinar matahari

Sinar matahari memberikan pengaruh berbeda pada spesies nyamuk. Nyamuk *An. Aconitus* lebih menyukai tempat untuk berkembang biak dalam badan air yang ada sinar mataharnya dan ada peneduh. Spesies yang lain lebih menyukai tempat yang rindang. Pengaruh sinar matahari terhadap pertumbuhan larva nyamuk berbeda-beda. *Anopheles sundaicus* lebih suka di tempat yang teduh, *Anopheles hyrcarnus spp.* Lebih suka di tempat yang terbuka sedangkan *Anopheles balabacensis* dapat hidup beradaptasi baik di tempat yang teduh maupun yang terang. Jentik *An. maculatus* di Kabupaten Banjarnegara (Yunianto,dkk.,2002) banyak ditemukan di antara batuan atau di bawah tanaman air yang terlindung dari sinar matahari langsung.

vii. Arus air

*An. Balabacensis* lebih menyukai tempat perindukan yang airnya tergenang atau mengalir sedikit, *An. minimus* menyukai tempat perindukan yang aliran airnya cukup deras dan *An. letifer* menyukai tempat yang airnya tergenang. Menurut laporan penelitian (Yunianto, 2002) menyatakan bahwa *Anopheles. maculatus* berkembangbiak pada genangan air di pinggir sungai dengan aliran lambat atau berhenti. Selain hal tersebut diatas, beberapa lingkungan fisik yang terdapat disekitar manusia dan dalam kondisi yang sesuai dapat meningkatkan risiko kontak

dengan nyamuk infeksius, diantaranya seperti keberadaan tempat perindukan nyamuk, tempat pemeliharaan ternak besar serta konstruksi dinding rumah. Depkes RI (1999), adanya ternak besar seperti sapi dan kerbau dapat mengurangi gigitan nyamuk pada manusia apabila kandang tersebut diletakan di luar rumah pada jarak tertentu (*cattle barrier*). Demikian juga lokasi rumah dekat tempat perindukan vektor serta desain, konstruksi rumah dapat mengurangi kontak antara manusia dengan vektor. Rumah dengan dinding yang terbuka karena konstruksi yang tidak lengkap ataupun karena bahan baku yang membuatnya bercelah, meningkatkan resiko kontak dengan nyamuk (Suwadera, 2003).

b. Lingkungan kimia

Dari lingkungan ini yang baru di ketahui pengaruhnya adalah kadar garam dari tempat perindukan. Sebagai contoh *An. sondaicus* tumbuh optimal pada air payau yang kadar garamnya berkisar antara 12-18 persen dan tidak dapat berkembang biak pada kadar garam 40 persen keatas. Meskipun di beberapa tempat di sumatra Utara *Anopheles sondaicus* ditemukan pula dalam air tawar dan *Anopheles letifer* dapat hidup di tempat yang PH rendah.

c. Lingkungan biologi

Lingkungan biologi berpengaruh terhadap kehidupan nyamuk, baik bersifat menguntungkan maupun merugikan. Keberadaan tanaman air seperti tanaman bakau, ganggang, lumut dapat melindungi larva nyamuk dari sinar matahari langsung maupun serangan makhluk lainnya. Demikian juga keberadaan binatang pemakan jentik seperti ikan nila, mujair, gambusia dan ikan kepala timah.

4. Faktor parasit

Parasit harus ada dalam tubuh manusia untuk waktu yang cukup lama dan menghasilkan gametosit jantan dan betina pada saat yang sesuai untuk penularan. Parasit juga harus menyesuaikan diri dengan sifat spesies vektor *Anopheles* agar sporogoni di mungkinkan dan menghasilkan sporozoit yang infeksiif.

Sifat parasit berbeda-beda untuk setiap spesies dan mempengaruhi terjadinya manifestasi klinis dan penularan. *Plasmodium falciparum* mempunyai masa infeksi yang paling pendek namun menghasilkan parasitemia paling tinggi, gejala yang paling berat dan masa inkubasi

yang paling pendek. *P. falciparum* baru berkembang setelah 8-15 hari sesudah masuknya parasit ke dalam darah. Gametosit *P.falciparum* menunjukkan periodisitas dan infektivitas yang berkaitan dengan kegiatan menggigit vektor. *P. vivax* dan *P. ovale* pada umumnya menghasilkan parasitemia yang rendah, gejala yang lebih ringan dan masa inkubasi yang lebih lama. Sporozoit *P. vivax* dan *ovale* dalam hati berkembang menjadi sizon jaringan primer dan hipnozoit. Hipnozoit ini yang menjadi sumber untuk terjadinya relaps (Gunawan, 2000).

Sebagian besar kematian karena malaria disebabkan oleh malaria berat karena infeksi *plasmodium falciparum*. Penelitian in vitro Chotivanich, dkk menunjukkan parasit pasien malaria berat mempunyai kemampuan multiplikasi 3 kali lebih besar dibandingkan parasit yang didapat dari pasien malaria tanpa komplikasi. Selain itu parasit malaria berat juga mampu menghasilkan toksin yang sangat banyak (Nugroho, 2010).

## **Penutup**

Terdapat berbagai macam spesies nyamuk *Anopheles sp.* yang tersebar di seluruh Indonesia. Pembahasan ekologi tidak lepas dari pembahasan ekosistem dengan berbagai komponen penyusunnya, yaitu faktor abiotik dan biotik, faktor abiotik antara lain suhu, air, kelembapan, cahaya dan topografi, sedangkan faktor biotik adalah makhluk hidup yang terdiri dari manusia, hewan, tumbuhan, dan mikroba. Hubungan keterkaitan malaria akan memengaruhi komponen lainnya dan demam berdarah.

Hendaknya dilakukan pencegahan sejak dini terhadap kejadian malaria sehingga angka kematian dapat diturunkan. Hendaknya dapat dilakukan penelitian lanjut tentang pencegahan malarian khususnya daerah endemis malaria.

## **Daftar Pustaka**

- Achmadi, 2005, Nyamuk anoples, Penerbit Jakarta
- Depkes RI, 2001, *Pedoman Pelaksanaan Sanitasi Lingkungan dalam Pengendalian Vektor*, Ditjen PPM & PL, Jakarta
- Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan, 2008. *Pedoman Penatalaksanaan Kasus*

- Malaria Di Indonesia*. Jakarta: Departemen Kesehatan RI.
- Effendi, H. 2013. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Kanisius
- Febriani, Devita. Studi Fauna Vektor Malaria Di Daerah Endemis Malaria Desa Way Muli Kabupaten Lampung Selatan. [Skripsi]. Lampung : Universitas Malahayati; 201 Ernamiyanti., A. Kasry., Z. Abidin. Faktor-faktor Ekologi Habitat Larva Nyamuk *Anopheles sp* di Desa Muara Kelantan Kecamatan Sungai Mandau Kabupaten Siak Provinsi Riau Tahun 2009. Journal of Environmental Science. [internet]. 2010. [disitasi 10 November 2014]. Tersedia dari: <http://ejournal.unri.ac.id/findindex.php.pdf> (Gunawan, 2000).
- Kaswaini, M. Ekologi *Anopheles* spp di Kabupaten Lombok Tengah. Buletin Penelitian Kesehatan. [internet]. 2014 [disitasi 10 November 2014] Tersedia dari: <http://ejournal.unri.com/findindex.pmhpdf>.
- Pentury K, Nusaly W. Analisa Kepadatan Larva Nyamuk Culicidae Dan Anophelidae Pada Tempat Perindukan Di Negeri Kamarian Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat (SBB). Molucca Medica. [internet]. 2011 [disitasi 10 November 2014]. Tersedia dari: [http://paparisa.unpatti.ac.id/paperrepo/pp\\_r\\_paperinfo\\_ink.php](http://paparisa.unpatti.ac.id/paperrepo/pp_r_paperinfo_ink.php)
- Mukono H.J. 2006. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Airlangga Univerty Press. Surabaya
- Munif A. dan Imron M. 2010 *Panduan Pengamatan Nyamuk Vektor Malaria*. Jakarta: CV. Sagung Seto Setyaningrum E, Rosa E, Murwani S, Andananta K. Studi Ekologi Perindukan Nyamuk Vektor Malaria Di Desa Way Muli, Kecamatan Rajabasa Lampung Selatan. Prosiding Seminar Hasil dan Pengabdian Kepada Masyarakat Karya Peneliti Universitas Lampung. Lembaga Penelitian Universitas Lampung [internet]. 2008. [disitasi 10 November 2014]. Tersedia dari: <http://blog.u.ac.id/enianitaq/files/2013/06/jurnal-Perindukan-Nyamuk-Vektor-Malaria.pdf>

- Prabowo, Arlan, 2004 *Malaria, Mencegah dan Mengatasinya*. Jakarta: Puspa Swara
- Santoso L. 2008 *Pengantar Entomologi Kesehatan*. Jilid 2. Semarang: Fakultas Kesehatan Masyarakat UNDIP Soemawotto O. 1988. *Analisis Dampak Lingkungan*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Pers.
- Setyaningrum E, dkk 2008 Studi Ekologi Perindukan Nyamuk Vektor Malaria di desa Way Muli, Kecamatan Rajabasa Lampung Selatan. Prosiding Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Lampung
- Sucipto, C.D, 2011 *Vektor Penyakit Tropis*, Pontianak. Gosyen Suwadera, 2003.
- Suwito, Hadi, Sigit dan Sukowati, 2010 Hubungan Iklim, Kepadatan Nyamuk *Anopheles* dan Kejadian Penyakit Malaria. Jurnal Entomologi Indonesia. [internet]. 2010.[disitasi 10 November 2014]. Tersedia dari:<http://ilkom.journal.ipb.ac.id/index.php/entomologi/article/view/6069/4713>)



## Bab 2.

# Ekologi Nyamuk Hubungannya dengan Penyakit DBD

Abu Khoiri  
Qurnia Andayani  
Nuryadi

Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan salah satu masalah umum kesehatan masyarakat di Indonesia, sejak tahun 1968 jumlah kasusnya cenderung meningkat dan penyebarannya bertambah luas (Depkes RI, 2005). Indonesia mempunyai risiko besar untuk terjangkit penyakit demam berdarah dengue karena virus *Dengue* dan nyamuk penularnya yaitu *Aedes aegypti* tersebar luas di seluruh daerah-daerah pedesaan maupun perkotaan, baik di rumah-rumah maupun di tempat-tempat umum, kecuali daerah yang ketinggiannya lebih dari 1.000 meter dari permukaan air laut. Iklim tropis juga mendukung berkembangnya penyakit ini, lingkungan fisik (curah hujan) yang menyebabkan tingkat kelembapan tinggi, merupakan tepat potensial berkembangnya penyakit ini (Depkes RI, 1999). Penyakit ini termasuk salah satu penyakit menular yang dapat menimbulkan wabah, maka setiap penderita termasuk tersangka DBD harus segera dilaporkan selambat-lambatnya dalam jangka waktu 24 jam oleh unit pelayanan kesehatan (rumah sakit, puskesmas, poliklinik, balai pengobatan, dokter praktik swasta, dan lain-lain) (Depkes RI, 2005).

Pada tahun 2015 jumlah penderita DBD yang dilaporkan sebanyak 129.650 kasus dengan jumlah kematian sebanyak 1.071 orang ( $IR/Angka\ kesakitan = 50,75$  per 100.000 penduduk dan  $CFR/angka\ kematian = 0,83\%$ ). Dibandingkan tahun 2014 dengan kasus



provinsi tersebut masih perlu upaya peningkatan kualitas pelayanan kesehatan dan peningkatan kualitas dan kuantitas SDM kesehatan di rumah sakit dan puskesmas (dokter, perawat dan lain-lain) termasuk peningkatan sarana-sarana penunjang diagnostik dan penatalaksanaan bagi penderita di sarana-sarana pelayanan kesehatan. Sedangkan menurut jumlah kematian, jumlah kematian tertinggi terjadi di Jawa Timur sebanyak 283 kematian, diikuti oleh Jawa Tengah (255 kematian) dan Kalimantan Timur (65 kematian) (Sekjen Kemenkes RI, 2016).

Kejadian luar biasa (KLB) atau wabah masih sering terjadi di berbagai daerah di Indonesia. Pada tahun 1998 terjadi wabah dengan jumlah penderita sebanyak 72.133 orang dan merupakan wabah terbesar sejak kasus DBD pertama kali ditemukan di Indonesia. Pada tahun 2001, KLB terjadi di 8 propinsi meliputi 18 kabupaten/kota dengan 1.444 penderita dan 23 kematian (Suroso, 2003).

Faktor yang mempengaruhi peningkatan dan penyebaran kasus DBD antara lain: pertumbuhan penduduk yang tinggi, urbanisasi yang tidak terencana dan tidak terkendali, berkembangnya penyebaran dan kepadatan nyamuk, tidak adanya kontrol vektor nyamuk yang efektif di daerah endemis, meningkatnya pergerakan dan penyebaran virus dengue, dan peningkatan sarana transportasi (Suharmiati, Handayani, 2007).

Pendekatan dalam pengendalian DBD di Indonesia cukup berkembang pada 30 tahun terakhir. Pada tahun 1970, metode yang direkomendasikan yaitu penyemprotan fogging untuk membunuh nyamuk dewasa. Karena fogging hanya efektif selama 3 bulan, program dirubah menjadi penggunaan larvasida selektif dari tahun 1986 – 1991. Tahun 1992 sampai dengan sekarang, penekanan dalam pengendalian nyamuk menggunakan partisipasi masyarakat, pendidikan kesehatan dan koordinasi intersektoral. Pada tahun terakhir, kegiatan mencakup dengan menggerakkan kelompok masyarakat dibawah kendali puskesmas yang disebut gerakan 3 M (menguras, menutup dan mengubur) (WHO, 2001).

Cara yang tepat dalam mencegah dan menanggulangi demam berdarah dengue saat ini adalah dengan memberantas sarang nyamuk penularnya, oleh karena itu partisipasi tersebut perlu lebih

ditingkatkan melalui strategi baru, yaitu strategi yang lebih bersifat akomodatif, fasilitatif/*bottom up*, kemitraan dimana masyarakat termasuk lembaga swadaya masyarakat dan swasta mempunyai peran yang lebih besar dari pada pemerintah, terfokus (prioritas, *local specific*, bertahap), lebih mengutamakan kerjasama lintas sektor, didukung data (*evidence base*) terutama data sosial budaya serta diprogramkannya Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) secara luas (Suroso, 2003).

## **Ekologi Nyamuk**

Ekologi berasal dari kata *oikos* (rumah/ tempat tinggal), dan *logos* (telaah/ studi). Kata ekologi tersebut digunakan pertama kali oleh seorang ahli biologi dari Jerman bernama Ernest Haeckel pada tahun 1869. Ekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya (Ralph and Mildred B., 1970:3 dalam Mukono, 2006). Studi ekologi adalah suatu studi penemuan secara empirik terhadap suatu kelompok yang berlaku sebagai unit analisis. (Mukono, 2002)

Ekologi terbagi menurut bidang kajiannya menjadi autekologi yaitu mempelajari interaksi organisme dengan lingkungan yaitu siklus hidup organisme, adaptasi terhadap lingkungan, sinekologi mempelajari interaksi kelompok organisme di daerah tertentu yaitu ekologi populasi, ekologi komunitas. Menurut habitat terbagi menjadi ekologi darat, perairan, dan lain-lain. Menurut taksonomi terbagi menjadi ekologi tumbuhan, manusia, dan lain-lain, menurut hubungan keilmuan terbagi menjadi ekologi kesehatan.

Ilmu lingkungan merupakan hasil akhir dari bermacam-macam ilmu antara lain ilmu biologi, sosial/ekonomi, politik dan kedokteran. Dari masing-masing bidang ilmu tersebut antara lain akan muncul ilmu ekologi, dan makro ekonomi. Ilmu-ilmu yang jangkauannya masih luas tersebut akan menjadi ilmu yang jangkauannya makin sempit antara lain: ekologi manusia, ekologi lingkungan, ekologi politik. Pengkhususan ekologi manusia akan menjadi ekologi kesehatan dan seterusnya (misalkan ekologi DHF) (Mukono, 2006).

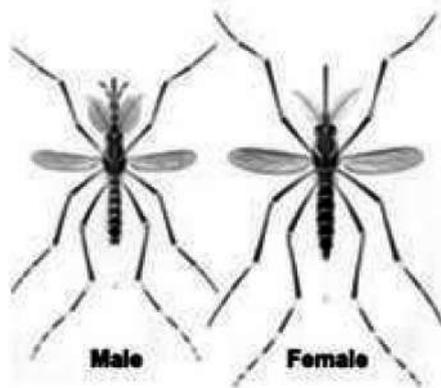
### **Karakteristik Nyamuk *Aedes aegypti***

Menurut Richard dan Davis (1977) yang dikutip oleh Soegijanto (2006), kedudukan nyamuk *Aedes aegypti* dalam klasifikasi hewan adalah sebagai berikut:

- Kingdom : Animalia
- Filum : Arthropoda
- Kelas : Insecta
- Bangsa : Diptera
- Suku : Culicidae
- Marga : *Aedes*
- Jenis : *Aedes aegypti* L. (Soegijanto, 2006)

### **Morfologi Nyamuk *Aedes aegypti***

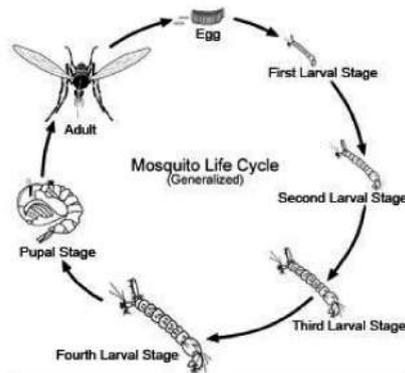
Menurut Gillot (2005), nyamuk *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) disebut *black-white mosquito*, karena tubuhnya ditandai dengan pita atau garis-garis putih keperakan di atas dasar hitam. Panjang badan nyamuk kini sekitar 3-4mm dengan bintik hitam dan putih pada badan dan kepalanya, dan juga terdapat ring putih pada bagian kakinya. Di bagian dorsal dari toraks terdapat bentuk bercak yang khas berupa dua garis sejajar di bagian tengah dan dua garis lengkung di tepinya. Bentuk abdomen nyamuk betinanya lancip pada ujungnya dan memiliki cerci yang lebih panjang dari cerci pada nyamuk-nyamuk lainnya. Ukuran tubuh nyamuk betinanya lebih besar dibandingkan nyamuk jantan (Gillot, 2005).



Gambar 2.3. Perbandingan nyamuk aedes aegypti jantan dan betina

## Siklus Hidup Nyamuk *Aedes aegypti*

Menurut Soegijanto (2006), masa pertumbuhan dan perkembangan nyamuk *Aedes aegypti* dapat dibagi menjadi empat tahap, yaitu telur, larva, pupa, dan nyamuk dewasa, sehingga termasuk metamorfosis sempurna atau *holometabola* (Soegijanto, 2006).



Gambar 2.4. Siklus hidup nyamuk *Aedes aegypti*

### 1. Stadium Telur

Menurut Herms (2006), telur nyamuk *Aedes aegypti* berbentuk ellipsis atau oval memanjang, berwarna hitam, berukuran 0,5 – 0,8mm, dan tidak memiliki alat pelampung. Nyamuk *Aedes aegypti* meletakkan telur-telurnya satu persatu pada permukaan air, biasanya pada tepi air di tempat-tempat penampungan air bersih dan sedikit diatas permukaan air. Nyamuk *Aedes aegypti* betina dapat menghasilkan hingga 100 telur apabila telah menghisap darah manusia. Telur pada tempat kering (tanpa air) dapat bertahan sampai 6 bulan. Telur-telur ini kemudian akan menetas menjadi jentik setelah sekitar 1-2 hari terendam air (Herms, 2006).

### 2. Stadium Larva (Jentik)

Menurut Herms (2006), larva nyamuk *Aedes aegypti* mempunyai ciri khas memiliki siphon yang pendek, besar dan berwarna hitam. Larva ini tubuhnya langsing, bergerak sangat lincah, bersifat fototaksis negatif dan pada waktu istirahat membentuk sudut hampir tegak lurus dengan permukaan air. Larva menuju kepermukaan air dalam waktu kira-kira setiap  $\frac{1}{2}$ -1 menit, guna mendapatkan oksigen untuk

bernapas. Larva nyamuk *Aedes aegypti* dapat berkembang selama 6-8 hari (Herms, 2006).

Berdasarkan data dari Depkes RI (2005), ada empat tingkat (instar) jentik sesuai dengan pertumbuhan larva tersebut, yaitu:

- a. Instar I: berukuran paling kecil, yaitu 1-2mm
- b. Instar II: 2,5-3,8mm
- c. Instar III: lebih besar sedikit dari larva instar II
- d. Instar IV: berukuran paling besar, yaitu 5 mm (Depkes RI, 2005)

### 3. Stadium Pupa

Menurut Achmadi (2011), pupa nyamuk *Aedes aegypti* mempunyai bentuk tubuh bengkok, dengan bagian kepala dada (*cephalothorax*) lebih besar bila dibandingkan dengan bagian perutnya, sehingga tampak seperti tanda baca 'koma'. Tahap pupa pada nyamuk *Aedes aegypti* umumnya berlangsung selama 2-4 hari. Saat nyamuk dewasa akan melengkapi perkembangannya dalam cangkang pupa, pupa akan naik ke permukaan dan berbaring sejajar dengan permukaan air untuk persiapan munculnya nyamuk dewasa (Achmadi, 2011).

### 4. Nyamuk Dewasa

Menurut Achmadi (2011), nyamuk dewasa yang baru muncul akan beristirahat untuk periode singkat di atas permukaan air agar sayap-sayap dan badan mereka kering dan menguat sebelum akhirnya dapat terbang. Nyamuk jantan dan betina muncul dengan perbandingan jumlahnya 1:1. Nyamuk jantan muncul satu hari sebelum nyamuk betina, menetap dekat tempat perkembangbiakan, makan dari sari buah tumbuhan dan kawin dengan nyamuk betina yang muncul kemudian. Setelah kemunculan pertama nyamuk betina makan sari buah tumbuhan untuk mengisi tenaga, kemudian kawin dan menghisap darah manusia. Umur nyamuk betinanya dapat mencapai 2-3 bulan (Achmadi, 2011).

## **Bionomik Nyamuk *Aedes aegypti***

### 1. Tempat Perindukan atau Berkembang Biak

Berdasarkan data dari Departemen Kesehatan Republik Indonesia tahun 2005 yang dikutip oleh Supartha (2008), tempat perkembangbiakan utama nyamuk *Aedes aegypti* adalah tempat-tempat penampungan air bersih di dalam atau di sekitar rumah, berupa genangan air yang

tertampung disuatu tempat atau bejana seperti bak mandi, tempayan, tempat minum burung, dan barang-barang bekas yang dibuang sembarangan yang pada waktu hujan akan terisi air. Nyamuk ini tidak dapat berkembang biak di genangan air yang langsung berhubungan dengan tanah (Supartha,2008).

Menurut Soegijanto (2006), tempat perindukan utama tersebut dapat dikelompokkan menjadi: (1) Tempat Penampungan Air (TPA) untuk keperluan sehari-hari seperti drum, tempayan, bak mandi bak WC, ember, dan sejenisnya, (2) Tempat Penampungan Air (TPA) bukan untuk keperluan sehari-hari seperti tempat minuman hewan, ban bekas, kaleng bekas, vas bunga, perangkap semut, dan sebagainya, dan (3) Tempat Penampungan Air (TPA) alamiah yang terdiri dari lubang pohon, lubang batu, pelepah daun, tempurung kelapa, kulit kerang, pangkal pohon pisang, dan lain-lain (Soegijanto,2006).

## 2. Perilaku Menghisap Darah

Berdasarkan data dari Depkes RI (2004), nyamuk betina membutuhkan protein untuk memproduksi telurnya. Oleh karena itu, setelah kawin nyamuk betina memerlukan darah untuk pemenuhan kebutuhan proteinnya. Nyamuk betina menghisap darah manusia setiap 2-3 hari sekali. Nyamuk betina menghisap darah pada pagi dan sore hari dan biasanya pada jam 09.00–10.00 dan 16.00–17.00 WIB. Untuk mendapatkan darah yang cukup, nyamuk betina sering menggigit lebih dari satu orang. Posisi menghisap darah nyamuk *Aedes aegypti* sejajar dengan permukaan kulit manusia. Jarak terbang nyamuk *Aedes aegypti* sekitar 100 meter (Depkes RI, 2004).

## 3. Perilaku Istirahat

Berdasarkan data dari Depkes RI (2004), setelah selesai menghisap darah, nyamuk betina akan beristirahat sekitar 2–3 hari untuk mematangkan telurnya. Nyamuk *Aedes aegypti* hidup domestik, artinya lebih menyukai tinggal di dalam rumah daripada di luar rumah. Tempat beristirahat yang disenangi nyamuk ini adalah tempat-tempat yang lembap dan kurang terang seperti kamar mandi, dapur, dan WC. Di dalam rumah nyamuk ini beristirahat dibaju-baju yang digantung, kelambu, dan tirai. Sedangkan di luar rumah nyamuk ini beristirahat pada tanaman-tanaman yang ada di luar rumah (Depkes RI, 2004).

#### 4. Penyebaran

Menurut Depkes RI (2005), nyamuk *Aedes aegypti* tersebar luas di daerah tropis dan subtropis. Di Indonesia, nyamuk ini tersebar luas baik dirumah-rumah maupun tempat-tempat umum. Nyamuk ini dapat hidup dan berkembang biak sampai ketinggian daerah  $\pm 1.000\text{m}$  dari permukaan air laut. Diatas ketinggian 1.000m nyamuk ini tidak dapat berkembang biak, karena pada ketinggian tersebut suhu udara terlalu rendah, sehingga tidak memungkinkan bagi kehidupan nyamuk tersebut (Depkes RI, 2005).

#### 5. Variasi Musim

Menurut Depkes RI (2005), pada saat musim hujan tiba, tempat perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* yang pada musim kemarau tidak terisi air, akan mulai terisi air. Telur-telur yang tadinya belum sempat menetas akan menetas. Selain itu, pada musim hujan semakin banyak tempat penampungan air alamiah yang terisi air hujan dan dapat digunakan sebagai tempat berkembang biaknya nyamuk ini. Oleh karena itu, pada musim hujan populasi nyamuk *Aedes aegypti* akan meningkat. Bertambahnya populasi nyamuk ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan penularan penyakit dengue (Depkes RI, 2005).

### **Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD)**

Berdasarkan data dari Depkes RI (2004), penyakit demam berdarah dengue (DBD) merupakan penyakit endemis di Indonesia. Sejak pertama sekali ditemukan pada tahun 1968 di Surabaya dan Jakarta, jumlah kasus terus meningkat baik dalam jumlah maupun luas wilayah yang terjangkau, dan secara sporadis selalu terjadi KLB setiap tahun. KLB yang terbesar terjadi pada tahun 1998 dimana dilaporkan dari 16 propinsi diperoleh  $IR=35,19$  per 100.000 penduduk dengan CFR 2,0%. Pada tahun 1999, IR menurun menjadi 10,17%. Akan tetapi, pada tahun-tahun berikutnya IR cenderung meningkat, yaitu 15,99% tahun 2000, 21,66% tahun 2001, 19,24% tahun 2002, dan 23,87% pada tahun 2003. Penyebab meningkatnya jumlah kasus dan semakin bertambahnya wilayah terjangkau disebabkan oleh peningkatan sarana transportasi penduduk dari satu wilayah ke wilayah lain sehingga mempermudah mobilisasi dalam waktu singkat, adanya pemukiman-pemukiman baru, adanya tempat-tempat

penyimpanan air tradisional yang masih dipertahankan, perilaku masyarakat terhadap pembersihan sarang nyamuk yang masih kurang, vektor nyamuk yang terdapat diseluruh pelosok tanah air (kecuali di ketinggian > 1000m dari permukaan air laut) dan adanya empat serotipe virus yang bersirkulasi sepanjang tahun (Depkes RI, 2004).

Menurut Kementerian Kesehatan RI (2010), penyakit demam berdarah dengue (DBD) disebabkan oleh *virus dengue*. Virus dengue adalah virus penyebab Demam Dengue (DD), Demam Berdarah Dengue (DBD) dan *Dengue Shock Syndrome* (DSS), yang termasuk dalam kelompok B *Arthropod Virus* (Arbovirosis), yang sekarang dikenal sebagai genus *Flavivirus*, famili *Flaviviride*, dan mempunyai 4 jenis serotipe, yaitu: Den-1, Den-2, Den-3, Den-4. DBD ditularkan ke manusia melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti* yang terinfeksi virus dengue. (Kementerian Kesehatan RI, 2010).

Menurut Soedarto (2009), virus penyebab demam berdarah dengue (DBD) yaitu virus dengue mempunyai ukuran virion virus 40 nm dan terbungkus oleh kapsid. Virus ini dapat berkembang biak pada berbagai macam kultur jaringan, misalnya sel mamalia dan sel arthropoda seperti *Aedes aegypticell* (Soedarto, 2009).

Menurut Sembel (2009), vektor utama penularan DBD adalah nyamuk *Aedes aegypti*, yang biasanya aktif pada pagi dan sore hari dan lebih suka menghisap darah manusia daripada darah hewan. Nyamuk ini berkembang biak dalam air bersih pada tempat-tempat penampungan air yang tidak beralaskan tanah. Sampai saat ini penyebaran DBD masih terpusat di daerah tropis disebabkan oleh rata-rata suhu optimum pertumbuhan nyamuk adalah 25-27°C. Namun, dengan adanya pemanasan global, DBD diperkirakan akan meluas sampai ke daerah-daerah beriklim dingin (Sembel, 2009).

### **Gambaran Klinis Demam Berdarah Dengue (DBD)**

Berdasarkan data dari Depkes RI (2005), tanda-tanda dan gejala penyakit demam berdarah dengue (DBD) antara lain:

#### 1. Demam

Penyakit DBD didahului terjadinya demam tinggi mendadak secara terus-menerus yang berlangsung selama 2-7 hari. Panas dapat turun

pada hari ke-3 yang kemudian naik lagi, dan pada hari ke-6 atau ke-7 panas mendadak turun.

## 2. Manifestasi Perdarahan

Perdarahan dapat terjadi pada semua organ tubuh dan umumnya terjadi pada 2-3 hari setelah demam. Bentuk-bentuk perdarahan yang terjadi dapat berupa:

- *ptechiae* (bintik-bintik darah pada permukaan kulit)
- *purpura*
- *ecchymosis* (bintik-bintik darah di bawah kulit)
- perdarahan konjungtiva
- perdarahan dari hidung (mimisan atau *epistaksis*)
- perdarahan gusi
- *hematemesis* (muntah darah)
- *melena* (buang air besar berdarah)
- *hematuria* (buang air kecil berdarah)

## 3. *Hepatomegaly* atau Pembesaran Hati

Sifat pembesaran hati antara lain:

- ditemukan pada permulaan penyakit
- nyeri saat ditekan dan pembesaran hati tidak sejajar beratnya penyakit

## 4. *Shock* atau Renjatan

*Shock* dapat terjadi pada saat demam tinggi yaitu antara hari ke 3-7 setelah terjadinya demam. *Shock* terjadi karena perdarahan atau kebocoran plasma darah ke daerah ekstrasvaskuler melalui pembuluh kapiler yang rusak. Tanda-tanda terjadinya *shock* antara lain:

- kulit terasa dingin pada ujung hidung, jari, dan kaki
- perasaan gelisah
- nadi cepat dan lemah
- tekanan nadi menurun (menjadi 20 mmHg atau kurang)
- tekanan darah menurun (tekanan sistolik menjadi 80mmHg atau kurang) (Depkes RI, 2005)

## 5. Komplikasi

Menurut Sembel (2009), penyakit DBD dapat mengakibatkan komplikasi pada kesehatan, komplikasi tersebut dapat berupa kerusakan atau perubahan struktur otak (*encephalopathy*), kerusakan hati bahkan kematian (Sembel, 2009).

## **Mekanisme Penularan DBD**

Menurut Soedarto (2009), demam berdarah dengue (DBD) di Indonesia endemis baik di daerah perkotaan (urban) maupun di daerah pedesaan (rural). Di daerah perkotaan vektor penular utamanya adalah nyamuk *Aedes aegypti* sedangkan di daerah pedesaan oleh nyamuk *Aedes albopictus*. Namun sering terjadi bahwa ke dua spesies nyamuk tersebut terdapat bersama-sama pada satu daerah, misalnya di daerah yang bersifat semi-urban (Soedarto, 2009).

Menurut Yatim (2007), penularan *virus dengue* melalui gigitan nyamuk lebih di tempat yang padat penduduknya seperti di perkotaan dan pedesaan di pinggir kota. Oleh karena itu, penyakit demam berdarah dengue (DBD) ini lebih bermasalah di daerah sekitar perkotaan (Yatim, 2007).

Menurut Achmadi(2008), kota-kota di Indonesia merupakan kota endemis DBD yang setiap tahunnya berkembang menjadi Kejadian Luar Biasa (KLB). Di Indonesia terdapat dua vektor yang menularkan dengue, yaitu *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Akan tetapi, saat ini, *Aedes aegypti* adalah vektor yang mendapat perhatian terbesar terhadap penyebaran penyakit DBD karena distribusi dan hubungannya yang erat dengan manusia (Achmadi, 2008).

Menurut Soegijanto (2006), tahap-tahap replikasi dan penularan *virus dengue* terdiri dari:

- a. virus ditularkan ke manusia melalui saliva nyamuk
- b. virus bereplikasi dalam organ target
- c. virus menginfeksi sel darah putih dan jaringan limfatik
- d. virus dilepaskan dan bersirkulasi dalam darah
- e. virus yang ada dalam darah terhisap nyamuk yang lain
- f. virus bereplikasi atau melipat gandakan diri dalam tubuh nyamuk, lalu menginfeksi kelenjar saliva
- g. virus bereplikasi dalam kelenjar saliva nyamuk *Aedes aegypti* untuk kemudian akan ditularkan kembali ke manusia (Soegijanto, 2006).

## **Pencegahan Penularan DBD**

Menurut Soedarto (2009), pencegahan terhadap penularan DBD dapat dilakukan dengan pemberantasan larva dan nyamuk *Aedes aegypti* dewasa. Pemberantasan nyamuk *Aedes aegypti* dewasa merupakan

cara terbaik mencegah penyebaran virus dengue. Selain itu, repellen dapat digunakan untuk mencegah gigitan nyamuk (Soedarto, 2009).

### 1. Pemberantasan Nyamuk Dewasa

Berdasarkan data dari Depkes RI (2005), pemberantasan nyamuk dewasa dapat dilakukan dengan cara penyemprotan (pengasapan atau pengabutan, yang sering disebut dengan istilah *fogging*) dengan menggunakan insektisida.

Insektisida yang dapat digunakan antara lain insektisida golongan:

- *organophosphate*, misalnya *malathion*
- *pyretroid sintetic*, misalnya *lamda sihalotrin*, *cypermetrin*, dan *alfametrin*
- *carbamat*

Alat yang digunakan untuk menyemprot adalah mesin Fog atau mesin ULV. Untuk membatasi penularan virus dengue, penyemprotan dilakukan dua siklus dengan interval 1 minggu. Dalam waktu singkat, tindakan penyemprotan dapat membatasi penularan virus dengue, akan tetapi tindakan ini harus diikuti dengan pemberantasan terhadap jentiknya agar populasi nyamuk penular dapat ditekan serendah-rendahnya (DepkesRI, 2005).

### 2. Pemberantasan Larva atau Jentik

Menurut Depkes RI (2005), pemberantasan terhadap jentik *Aedes aegypti* yang dikenal dengan istilah Pemberantasan Sarang Nyamuk Demam Berdarah Dengue (PSN DBD) dilakukan dengan cara:

#### a. Fisik

Pemberantasan jentik secara fisik dikenal dengan kegiatan 3M, yaitu:

1. Menguras (dan menyikat) tempat penampungan air (TPA) seperti bak mandi, bak WC, dan lain-lain seminggu sekali secara teratur untuk mencegah perkembang biakan nyamuk di tempat tersebut. Pengurasan tempat-tempat penampungan air (TPA) perlu dilakukan secara teratur sekurang-kurangnya seminggu sekali agar nyamuk tidak dapat berkembang biak ditempat tersebut.
2. Menutup tempat penampungan air rumah tangga (tempayan, drum, ember, dan lain-lain)
3. Mengubur, menyingkirkan atau memusnahkan barang-barang bekas (kaleng, ban, dan lain-lain) yang dapat menampung air hujan. Selain itu, ditambah dengan cara lain seperti:

- a. Mengganti air vas bunga, tempat minum burung atau tempat-tempat lainnya yang sejenis seminggu sekali
- b. Memperbaiki saluran dan talang air yang tidak lancar atau rusak
- c. Menutup lubang-lubang pada potongan bambu dan pohon dengan tanah
- d. Menaburkan bubuk larvasida di tempat-tempat penampungan air yang sulit dikuras atau dibersihkan dan didaerah yang sulit air
- e. Memelihara ikan pemakan jentik di kolam atau bak penampungan air
- f. Memasang kawat kasa
- g. Menghindari kebiasaan menggantung pakaian dalam kamar
- h. Mengupayakan pencahayaan dan ventilasi ruang yang memadai
- i. Menggunakan kelambu
- j. Memakai obat yang dapat mencegah gigitan nyamuk

Keseluruhan cara tersebut di atas dikenal dengan istilah 3M Plus (Depkes RI, 2005).

#### b. Kimia

Menurut Widyastuti (2007), pengendalian jentik *Aedes aegypti* secara kimia adalah dengan menggunakan insektisida pembasmi jentik. Insektisida pembasmi jentik ini dikenal dengan istilah larvasida. Larvasida yang biasa digunakan adalah temephos. Formulasi temephos yang digunakan adalah granules (*sand granules*). Dosis yang digunakan adalah 1 ppm atau 10 gram ( $\pm$  1sendok makan rata) temephos untuk setiap 100 liter air. Larvasida dengan temephos ini mempunyai efek residu 3 bulan (Widyastuti, 2007).

#### c. Biologi

Menurut Gandahusada (2008), pengendalian jentik secara biologi adalah dengan menggunakan ikan pemangsa sebagai musuh alami bagi jentik. Beberapa jenis ikan sebagai pemangsa untuk pengendalian jentik *Aedes aegypti* adalah *Gambusia affinis* (ikan gabus), *Poecilia reticulata* (ikan guppy), *Aplocheilus panchax* (ikan kepala timah), *Oreochromis mossambicus* (ikan mujair), dan *Oreochromis niloticus* (ikan nila). Penggunaan ikan pemakan larva ini umumnya digunakan untuk mengendalikan larva nyamuk *Aedes aegypti* pada kumpulan air yang banyak seperti kolam atau di kontainer air yang besar.

Sedangkan untuk kontainer air yang lebih kecil dapat menggunakan *Bacillusthuringlensis* var. *Israeliensis* sebagai pemakan jentik (Gandahusada, 2008).

### **Ukuran Kepadatan Populasi Nyamuk Penular**

Berdasarkan data dari Depkes RI (2005), untuk mengetahui kepadatan populasi nyamuk *Aedes aegypti* di suatu lokasi dapat dilakukan beberapa survei di beberapa rumah, seperti:

#### 1. Survei Nyamuk

Survei nyamuk dilakukan dengan cara penangkapan nyamuk dengan umpan orang di dalam dan di luar rumah, masing-masing selama 20 menit per rumah dan penangkapan nyamuk yang hinggap di dinding dalam rumah yang sama. Penangkapan nyamuk biasanya dilakukan dengan menggunakan aspirator.

Indeks nyamuk yang digunakan:

#### 1. Biting/Landing Rate =

$$\frac{\text{Jumlah Aedes aegypti betina tertangkap umpan orang}}{\text{Jumlah penangkapan} \times \text{Jumlah jam penangkapan}}$$

#### 2. Resting per rumah =

$$\frac{\text{Jumlah Aedes aegypti betina tertangkap pada penangkap nyamuk hinggap}}{\text{Jumlah rumah yang dilakukan penangkapan}}$$

#### 2. Survei Jentik (Pemeriksaan Jentik)

Menurut Depkes RI (2005), untuk mengetahui keberadaan jentik *Aedes aegypti* di suatu lokasi dapat dilakukan survei jentik sebagai berikut:

- a. semua tempat atau bejana yang dapat menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* diperiksa (dengan mata telanjang) untuk mengetahui ada tidaknya jentik.
- b. untuk memeriksa tempat penampungan air yang berukuran besar, seperti: bak mandi, tempayan, drum, dan bak penampungan air lainnya, jika pandangan atau penglihatan pertama tidak menemukan jentik, tunggu kira-kira  $\frac{1}{2}$ –1 menit untuk memastikan bahwa benar jentik tidak ada.

- c. untuk memeriksa tempat-tempat perkembang biakan yang kecil, seperti vas bunga/pot tanaman air/botol yang airnya keruh, seringkali airnya perlu dipindahkan ke tempat lain.
- d. untuk memeriksa jentik di tempat yang agak gelap atau airnya keruh biasanya digunakan senter.

Metode survei jentik antara lain:

a. *Single larva*

Cara ini dilakukan dengan mengambil satu jentik disetiap genangan air yang ditemukan jentik untuk diidentifikasi lebih lanjut.

b. Visual

Cara ini cukup dilakukan dengan melihat ada tidaknya jentik disetiap tempat genangan air tanpa mengambil jentiknya.

Ukuran kepadatan populasi jentik dapat ditentukan dengan mengukur:

1. Angka Bebas Jentik (ABJ) :

$$\frac{\text{rumah bangunan yang tidak ditemukan jentik}}{\text{Jumlah rumah bangunan yang diperiksa}} \times 100 \%$$

2. House Index (HI) :

$$\frac{\text{rumah bangunan yang ditemukan jentik}}{\text{Jumlah rumah bangunan yang diperiksa}} \times 100 \%$$

3. Container Index (CI) :

$$\frac{\text{container dengan jentik}}{\text{Jumlah container yang diperiksa}} \times 100 \%$$

4. Breteau Index (BI)

$$\frac{\text{container dengan jentik}}{\text{Jumlah rumah yang diperiksa}} \times 100 \%$$

3. Survei Perangkap Telur

Menurut Depkes RI (2005), survei perangkap telur dilakukan dengan cara memasang *ovitrap* yaitu berupa bejana, seperti potongan bambu, kaleng, atau gelas plastik, yang bagian dalam dindingnya dicat warna hitam, kemudian diberi air secukupnya. Ke dalam bejana tersebut dimasukkan *padel* berupa potongan bambu yang berwarna gelap

sebagai tempat untuk meletakkan telur bagi nyamuk. Kemudian ovitrap diletakkan di tempat gelap di dalam dan luar rumah. Setelah 1 minggu dilakukan pemeriksaan ada tidaknya telur nyamuk di padel.

Perhitungan *ovitrap* index adalah:

$$\frac{\text{Jumlah padel dengan telur}}{\text{Jumlah padel diperiksa}} \times 100\%$$

Untuk mengetahui gambaran kepadatan populasi nyamuk penular secara lebih tepat, telur-telur pada *padel* tersebut dikumpulkan dan dihitung jumlahnya. Kepadatan populasi nyamuk berdasarkan jumlah telur pada *padel*:

$$\frac{\text{telur}}{\text{Jumlah ovitrap yang digunakan}} = \dots \text{ telur / ovitrap}$$

## **Ekologi Nyamuk *Aedes Aegypti* Kaitannya dengan Penyakit DBD**

Nyamuk dapat berkembang biak dengan baik apabila lingkungan dimana nyamuk berada sesuai dengan kebutuhannya. Kepentingan manusia dalam mengelola lahan pertanian, perikanan, perkebunan, peternakan akan dimanfaatkan untuk perkembangbiakan larva nyamuk, sehingga berpengaruh terhadap kepadatan maupun perilaku nyamuk di suatu tempat. Penyebaran DHF ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya *Agent*, *Host* (penjamu) dan lingkungan yang saling berinteraksi. *Agent* (parasit) hidup dalam tubuh manusia (*intermediate*) dan tubuh nyamuk (definitif). Dalam tubuh nyamuk *agent* berkembang menjadi bentuk infeksius, siap menularkan ke manusia yang berfungsi sebagai *host intermediate* bisa terinfeksi dan menjadi tempat berkembangnya *agent*. (Vytilingam, 1992). Vektor utama yang berperan dalam penyebaran penyakit DHF adalah nyamuk *Aedes aegypti*. Nyamuk ini tersebar luas di daerah tropik dan subtropik. Nyamuk *Aedes aegypti* hidup di sekitar pemukiman manusia, di dalam dan di luar rumah terutama di daerah perkotaan dan berkembang biak dalam berbagai macam penampungan air bersih yang tidak berhubungan langsung dengan tanah dan terlindung dari sinar matahari. Larvanya tumbuh subur sebagai pemakan di dasar

(*bottom feeder*) dalam air bersih yang mengandung bahan organik, sehingga larvisida bentuk granul sangat sesuai untuk membasmi nyamuk ini.

Faktor lingkungan merupakan faktor utama yang menentukan dalam penularan DBD. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Azizah dan dkk. (2010) menyatakan bahwa mobilitas penduduk yang tinggi menjadi salah satu faktor yang berperan dalam status endemisitas suatu wilayah. Faktor kepadatan penduduk juga dinyatakan sebagai salah satu faktor yang berperan dalam endemisitas DBD. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Setianingsih (2009), Rahayani (2010), dan Munsyir (2010). Faktor lain yang dianggap berperan dalam endemisitas DBD adalah lingkungan biologi berupa densitas larva *Aedes aegypti*. Penelitian Ishak dkk (2009) serta Sudibyo dkk (2012) menyatakan bahwa densitas larva mempunyai hubungan yang signifikan dengan tinggi rendahnya endemisitas DBD.

Hasil studi epidemiologi lingkungan memperlihatkan kejadian suatu penyakit pada suatu kelompok masyarakat merupakan *resultance* dan hubungan timbal balik antara masyarakat itu sendiri dengan lingkungan. Perubahan atau kerusakan lingkungan membawa pengaruh terhadap nyamuk sebagai vektor penyebar penyakit. Semakin besar dukungan lingkungan terhadap kehidupan nyamuk, semakin kuat penyebaran penyakit. Namun seiring dengan rusaknya lingkungan ekosistem hutan, kehidupan dan keseimbangan alami tempat hidup mereka pun terganggu. Nyamuk pun menulari sumber dan lokasi kehidupan baru.

Penyakit DHD melibatkan 3 organisme yaitu: Virus Dengue, nyamuk *Aedes*, dan *host* manusia. Secara alamiah ketiga kelompok organisme tersebut secara individu atau populasi dipengaruhi oleh sejumlah faktor lingkungan biologik dan lingkungan fisik. Pola perilaku yang terjadi dan status ekologi dari ketiga kelompok organisme tadi dalam ruang dan waktu saling berkaitan dan saling membutuhkan, menyebabkan penyakit DBD berbeda derajat endemisitasnya pada suatu lokasi ke lokasi yang lain, dan dari tahun ke tahun. Untuk memahami kejadian penyakit yang ditularkan vektor dan untuk pemberantasan penyakit melalui pemberantasan vektornya perlu mempelajari penyakit sebagai bagian ekosistem alam yaitu: *Anthoropho Ecosystem*. Subsistem yang

terkait dalam ekosistem ini adalah: virus, nyamuk aedes, manusia lingkungan fisik dan lingkungan biologik.

Virus dengue ditularkan dari orang sakit ke orang sehat melalui gigitan nyamuk aedes subgenus Stegornia. Di Indonesia ada 3 jenis nyamuk aedes yang bisa menularkan virus Dengue yaitu: *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, dan *Aedes scutellaris*. Dari ketiga jenis nyamuk tersebut aedes aegypti lebih berperan dalam penularan penyakit DHF. Perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* sp. dan *Aedes albopictus* sp. mengalami metamorfosa lengkap (helometabola) yakni dari telur, larva, pupa dan nyamuk dewasa. Melihat meta morfosa pada umumnya nyamuk *Aedes aegypti* sp. dan *Aedes albopictus* sp. dari telur sampai menjadi larva dalam kurung waktu selama 2 hari, dari larva menjadi pupa membutuhkan waktu 6 – 8 hari dan sampai menjadi nyamuk dewasa selama 2 hari (Rozilawati & Zairi, 2007). Selama masa bertelur, seekor nyamuk betina mampu meletakkan 100 - 400 butir telur. Telur-telur tersebut diletakkan dibagian yang berdekatan dengan permukaan air. Setiap kali nyamuk betina bertelur, mengeluarkan telur  $\pm$  100 butir yang diletakkan satu-satu pada dinding ovitrap yang telah diberi kertas saring. Telur warna hitam, ukuran  $\pm$  0,8 mm. Telur akan menetas menjadi jentik dalam waktu kurang 2 hari setelah terendam air.

Nyamuk ini banyak ditemukan di dalam rumah atau bangunan dan tempat perindukannya juga lebih banyak di dalam rumah. Manusia sebagai sumber penularan dan sebagai penderita DBD lebih banyak pada golongan umur kurang dari 15 tahun. Dari ekologi vektor dapat kita ketahui bahwa ada nyamuk *Aedes aegypti* dan ada berbagai faktor pendukung sehingga menjadi *infected* dan dapat menularkan penyakit DHF. Dari suatu populasi nyamuk yang ada, pada musim penularan mungkin hanya beberapa persen saja dari populasi nyamuk tersebut yang menjadi vektor, mungkin kurang dari 5 %.

Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) adalah penyakit yang disebabkan oleh virus dengue yang tergolong *Arthropod-Borne Virus*, genus *Flavivirus*, dan famili *Flaviviridae*. DBD ditularkan melalui gigitan nyamuk dari genus *Aedes*, terutama *Aedes aegypti* atau *Aedes albopictus*. Penyakit DBD dapat muncul sepanjang tahun dan dapat menyerang seluruh kelompok umur. Penyakit ini berkaitan dengan

kondisi lingkungan dan perilaku masyarakat. Walaupun beberapa spesies dari *Aedes* sp. dapat pula berperan sebagai vektor, tetapi *Aedes aegypti* tetap merupakan vektor utama dalam penyebaran penyakit Demam Berdarah Dengue (Lawuyan S, 1996; Yotoprano S dkk., 1998; Soegijanto S, 2003).

Virus Dengue merupakan virus RNA yang menyebabkan penyakit dengan manifestasi klinis berupa Demam Dengue, yaitu DBD dan *Dengue Shock Syndrome*. Penyakit ini termasuk penyakit yang ditularkan atau disebarkan melalui nyamuk genus *Aedes* sp. terutama *Aedes aegypti* melalui gigitannya karena nyamuk ini akan mengandung virus Dengue pada kelenjar ludahnya setelah menghisap darah penderita Dengue. Nyamuk ini mempunyai siklus hidup metamorfosis sempurna dengan bentuk siklus hidup berupa tingkatan telur, larva, pupa dan dewasa. Berbagai upaya dapat dilakukan untuk mengontrol populasi nyamuk ini dengan tujuan utama adalah menurunkan kepadatan populasi nyamuk *Aedes aegypti* sampai serendah – rendahnya sehingga kemampuan sebagai vektor akan menghilang dengan cara kimiawi, biologik, radiasi, mekanik terhadap telur, larva, pupa, dewasa maupun terhadap tempat perindukannya.

Upaya pencegahan DBD dengan pemberantasan vektor penular penyakit ditentukan oleh berbagai faktor, antara lain sarana, prasarana maupun sumber daya manusia. Dalam hal upaya pengendalian *Aedes aegypti*, perlu kiranya pemahaman ilmu entomologi diantaranya adalah taksonomi, morfologi, ekologi dan siklus hidup dari vektor. Secara taksonomi nyamuk *Aedes aegypti* merupakan anggota dari *phylum arthropoda*, kelas *insecta* atau *hexapoda* (mempunyai enam kaki), subkelas *pterygota* (mempunyai sayap), divisi *endopterygota* atau *holometabola* (mempunyai sayap di bagian dalam dengan metamorfosanya lengkap), ordo diptera ( hanya mempunyai sepasang sayap depan sedangkan sepasang sayap bagian belakang rudimenter dan berubah fungsi sebagai alat keseimbangan atau halter), subordo *nematocera*, famili *culicidae*, subfamili *culicinae* dan genus *Aedes*. *Breeding Place* (tempat perindukan ) bagi *Aedes* sp. termasuk nyamuk yang aktif pada siang hari dan biasanya akan berkembang biak dan meletakkan telurnya pada tempat–tempat penampungan air bersih atau genangan air hujan misalnya pada bak mandi, tangki penampungan air, vas bunga (baik di lingkungan dalam rumah,

sekolah, perkantoran maupun pekuburan), kaleng bekas, kantung plastik bekas, di atas lantai gedung terbuka, talang rumah, pagar bambu, kulit buah (rambutan, tempurung kelapa), ban bekas ataupun semua bentuk kontainer yang dapat menampung air bersih (Sembel DT, 2009).

Secara morfologi, nyamuk ini dikenal juga sebagai *Tiger Mosquito* atau *Black White Mosquito* karena tubuhnya mempunyai ciri khas berupa adanya garis – garis dan bercak bercak putih keperakan di atas dasar warna hitam. Dua garis melengkung berwarna putih keperakan di kedua sisi lateral serta dua buah garis putih sejajar di garis median dari punggungnya yang berwarna dasar hitam (James MT and Harwood RF, 1969). Nyamuk dewasa *Aedes albopictus* mudah dibedakan dengan *Aedes aegypti* karena garis thorax hanya berupa dua garis lurus di tengah thorax (Soedarto, 2008). Mulut nyamuk termasuk tipe menusuk dan mengisap (*rasping – sucking*), mempunyai enam stilet yaitu gabungan antara mandibula, maxilla yang bergerak naik turun menusuk jaringan sampai menemukan pembuluh darah kapiler dan mengeluarkan ludah yang berfungsi sebagai cairan racun dan antikoagulan (Sembel DT, 2009).

Ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara organisme dengan lingkungannya dan yang lainnya. Berasal dari kata Yunani *oikos* ("habitat") dan *logos* ("ilmu"). Ekologi diartikan sebagai ilmu yang mempelajari baik interaksi antar makhluk hidup maupun interaksi antara makhluk hidup dan lingkungannya. Faktor fisik lingkungan yang terutama mempengaruhi penularan dan peningkatan kasus DDB di Indonesia selama ini hanya diketahui disebabkan karena pemukiman penduduk yang padat, tidak teratur dengan sanitasi buruk tanpa adanya air bersih yang mengalir. Selain itu kontrol nyamuk yang kurang efektif di daerah endemis serta belum terkumpulnya data dan informasi detail tentang kondisi lingkungan tempat kejadian penyakit dan kondisi penderita baik sosial ekonomi serta perilaku maupun kesehatan secara umum. Oleh karena itu kajian tentang ekologi nyamuk *aedes* perlu menjadi perhatian mengingat korelasi yang sangat kuat antara kepadatan nyamuk dengan terjadinya DBD di Indonesia.

Gambaran masalah DBD di Indonesia terlihat dalam profil kesehatan Indonesia dimana pada tahun 2014 jumlah penderita DBD yang

dilaporkan sebanyak 100.347 kasus dengan jumlah kematian sebanyak 907 orang (IR/Angka kesakitan= 39,8per 100.000 penduduk dan CFR/angka kematian = 0,9%). Dibandingkan tahun 2013 dengan kasus sebanyak 112.511 serta IR 45,85 terjadi penurunan kasus pada tahun 2014. Target Renstra Kementerian Kesehatan untuk angka kesakitan DBD tahun 2014 sebesar  $\leq 51$  per 100.000 penduduk, dengan demikian Indonesia telah mencapai target Renstra 2014. Selama tahun 2014 terdapat 7 kabupaten/kota di 5 provinsi yang melaporkan terjadinya KLB DBD yaitu Kabupaten Dumai (Provinsi Riau), Kabupaten Belitung dan Kabupaten Bangka Barat (Provinsi Bangka Belitung), Kabupaten Karimun (Provinsi Kepulauan Riau), Kabupaten Sintang dan Kabupaten Ketapang (Provinsi Kalimantan Barat) serta Kabupaten Morowali (Provinsi Sulawesi Tengah). Kematian akibat DBD dikategorikan tinggi jika CFR  $> 2\%$ . Dengan demikian pada tahun 2014 terdapat 5 provinsi yang memiliki CFR tinggi yaitu Provinsi Bengkulu, Kep. Bangka Belitung, Kalimantan Selatan, Gorontalo, dan Maluku. Pada provinsi tersebut masih perlu upaya peningkatan kualitas pelayanan kesehatan dan peningkatan kualitas dan kuantitas SDM kesehatan di rumah sakit dan puskesmas (dokter, perawat dan lain-lain) termasuk peningkatan sarana-sarana penunjang diagnostik dan penatalaksanaan bagi penderita di sarana-sarana pelayanan kesehatan. Sedangkan menurut jumlah kematian, jumlah kematian tertinggi terjadi di Jawa Barat sebanyak 178 kematian, diikuti oleh Jawa Tengah (159 kematian) dan Jawa Timur (107 kematian).

Indikator lain yang digunakan untuk upaya pengendalian penyakit DBD yaitu angka bebas jentik (ABJ). Sampai tahun 2014, ABJ secara nasional belum mencapai target program yang sebesar  $\geq 95\%$ . Pada tahun 2014 ABJ di Indonesia sebesar 24,06%, menurun secara signifikan dibandingkan dengan rata-rata capaian selama 4 tahun sebelumnya. Namun validitas data ABJ di atas belum dapat dijadikan ukuran pasti untuk menggambarkan kepadatan jentik secara nasional. Hal tersebut dikarenakan pelaporan data ABJ belum mencakup seluruh wilayah kabupaten/kota di Indonesia. Sebagian besar puskesmas tidak melaksanakan kegiatan Pemantauan Jentik Berkala (PJB) secara rutin, disamping itu kegiatan kader Juru Pemantau Jentik (JUMANTIK) tidak

berjalan di sebagian besar wilayah dikarenakan keterbatasan alokasi anggaran di daerah untuk kedua kegiatan tersebut.

Jentik nyamuk *Aedes aegypti* banyak ditemukan di dalam rumah berupa bak mandi, kolam ikan dan wadah-wadah yang tidak jauh dari rumah, sedangkan jentik nyamuk *Aedes albopictus* ditemukan di bawah pohon yang terdapat tumpukan batok kelapa/kulit coklat dengan lokasi agak jauh dari rumah. Hal ini sesuai dengan pembagian tempat perkembangbiakan dan jenis nyamuk menurut DepKes (2003), dimana tempat perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* dibedakan menjadi 3, yaitu: 1. Tempat penampungan air (TPA), yaitu tempat untuk menampung air guna keperluan sehari-hari seperti tempayan, bak mandi, bak WC, ember, dan lain-lain. 2. Bukan TPA, seperti tempat minum hewan peliharaan, barang-barang bekas (ban bekas, kaleng bekas, botol, pecahan piring/gelas), vas bunga, dan lain-lain. 3. Tempat penampungan air alami (natural/alamiah) misalnya tempurung kelapa, lubang di pohon, pelepah daun, lubang batu, potongan bambu, kulit kerang dan lain-lain. Kontainer ini pada umumnya ditemukan diluar rumah.

Berdasarkan hasil penelitian Sundari (2007) tentang karakter ekologi yang berhubungan nyata dengan kepadatan populasi larva nyamuk *Aedes aegypti* L. antara lain kelembapan ruang, intensitas cahaya dan suhu air. Kelembapan ruang berkorelasi positif dengan kepadatan populasi larva nyamuk *Aedes aegypti* L., artinya semakin tinggi kelembapan udara maka kepadatan populasi larva nyamuk *Aedes aegypti* L. juga semakin tinggi. Sedangkan intensitas cahaya dan suhu air berkorelasi negatif dengan kepadatan populasi larva nyamuk *Aedes aegypti* L., artinya memiliki hubungan yang berlawanan dimana semakin tinggi intensitas cahaya dan suhu air maka kepadatan populasi larva nyamuk *Aedes aegypti* L. semakin rendah. Frekuensi pengurusan kontainer mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap kepadatan populasi larva. Semakin banyak frekuensi pengurusan maka kepadatan populasi larva nyamuk *Aedes aegypti* L. semakin rendah. Perbedaan bahan kontainer mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kepadatan populasi larva nyamuk *Aedes aegypti* L. Kontainer dari bahan plastik merupakan kontainer yang paling disukai sebagai tempat perindukan nyamuk *Aedes aegypti* L.

Menurut Sintorini (2006) bahwa faktor cuaca sebagai komponen lingkungan yang mempunyai nilai kebermaknaan terhadap angka gigit nyamuk *Aedes* atau *Man Hour Density* (MHD) adalah temperatur dalam ruang, kelembapan dalam ruang, intensitas cahaya dalam ruang dan perilaku masyarakat. Keaktifan nyamuk untuk mendatangi manusia bergantung pada keadaan kelembapan sekitarnya terutama di dalam ruangan. Tetapi data kelembapan yang tersedia sebagai data retrospektif adalah kelembapan ambien karena merupakan data klimatologi dan secara umum hampir sama sepanjang tahun. Berbeda jika perbandingan dilakukan pada wilayah dengan kelembapan yang relatif lebih kering, maka keaktifan nyamuk diduga juga berkurang, karena umumnya parameter kelembapan tidak dapat dipisahkan dengan parameter temperatur dalam mempengaruhi sesuatu objek. Intensitas cahaya terutama dalam ruang ternyata juga mempengaruhi keaktifan nyamuk untuk mendatangi manusia. Nyamuk lebih suka tempat yang cenderung lebih gelap (Christopher, S.R., 1960), dan hasil analisis secara bivariat juga menunjukkan kebermaknaan dengan nilai  $p$  dibawah 0.05. Terakhir adalah faktor perilaku masyarakat ternyata berperan besar pada keaktifan nyamuk untuk menghampiri manusia. Didalam variabel ini tercakup bagaimana perilaku masyarakat dalam mengelola sanitasi khususnya air bersih, sampah dan benda-benda lain yang dapat digunakan sebagai tempat perindukan nyamuk *Aedes* serta status sosial masyarakat. Banyaknya tempat perindukan yang ditemui di wilayah pengamatan mendorong banyaknya populasi nyamuk.

Banyak peneliti telah melaporkan adanya *transovarial transmission* virus Dengue yang ada di dalam tubuh nyamuk betina *Aedes aegypti* ke dalam telur – telurnya. Dengan dibuktikannya adanya *transovarial transmission* virus Dengue dalam tubuh nyamuk *Aedes aegypti* maka diduga kuat bahwa nyamuk ini di alam memegang peranan penting yang bermakna dalam mempertahankan virus Dengue, khususnya pada keadaan dimana tidak ada *hospes susceptible* atau kondisi iklim yang tidak menguntungkan bagi nyamuk. (Soegijanto S, 2003) Pengaruh lingkungan yaitu suhu udara dan kelembapan nisbi udara juga berpengaruh bagi viabilitas nyamuk *Aedes* maupun virus Dengue. Suhu yang relatif rendah atau relatif tinggi, serta kelembapan nisbi udara yang rendah dapat mengurangi viabilitas virus Dengue yang

hidup dalam tubuh nyamuk maupun juga mengurangi viabilitas nyamuk itu sendiri. Sehingga pada waktu musim kemarau penularan penyakit Demam Berdarah Dengue sangat rendah dibandingkan dengan pada waktu musim hujan. (Yotoprano S dkk., 1998)

## **Penutup**

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa densitas atau kepadatan larva *Aedes aegypti* pada suatu wilayah dapat menjadi ancaman bagi kesehatan masyarakat jika terjadi kontak dengan manusia. Kontak nyamuk *Aedes aegypti* dengan penderita DBD akan menyebabkan nyamuk terinfeksi dan jika menggigit manusia sehat akan dapat menyebabkan terjadinya penularan DBD. Menurut Soegijanto S. (2003) secara garis besar terdapat empat cara pengendalian vektor yakni secara kimiawi, biologik, radiasi dan mekanik atau pengelolaan lingkungan. Pengendalian secara kimiawi dengan menggunakan insektisida dapat ditujukan terhadap nyamuk dewasa maupun larva. Insektisida untuk nyamuk dewasa *Aedes aegypti* antara lain dari golongan organoklorin, organofosfor, karbamat dan piretroid. Insektisida tersebut dapat diaplikasikan dalam bentuk spray terhadap rumah-rumah penduduk. Sedangkan insektisida untuk larva *Aedes aegypti* yaitu dari golongan organofosfor (Temephos) dalam bentuk *sand granules* yang dilarutkan dalam air di tempat perindukannya (tindakan abatisasi). Pengendalian secara radiasi dilakukan dengan bahan radioaktif dosis tertentu terhadap nyamuk dewasa jantan sehingga menjadi mandul, meskipun nantinya akan berkopulasi dengan nyamuk betina tetapi tidak akan menghasilkan telur yang fertile. Pengendalian lingkungan dilakukan dengan cara mencegah nyamuk kontak dengan manusia misalnya memasang kawat kasa pada lubang ventilasi rumah serta menggalakkan gerakan 3 M yaitu menguras tempat-tempat penampungan air dengan menyikat dinding bagian dalam paling sedikit seminggu sekali, menutup rapat tempat penampungan air sehingga tidak dapat diterobos oleh nyamuk dewasa, menanam atau menimbun dalam tanah barang-barang bekas yang dapat menampung air hujan. Cara lain lagi yang disebut autocidal ovitrap menggunakan suatu tabung silinder warna gelap dengan diameter 10 cm dengan salah satu ujung tertutup rapat dan ujung lainnya terbuka. Tabung tersebut diisi air tawar kemudian ditutup

dengan kasa nylon. Secara periodik air dalam tabung ditambah untuk mengganti penguapan yang terjadi. Nyamuk yang bertelur disini dan telurnya menetas menjadi larva dalam air tadi, maka akan menjadi nyamuk dewasa yang tetap terperangkap di dalam tabung tadi. Dari cara pengendalian tersebut diatas tidak ada satupun yang paling unggul. Untuk menghasilkan cara yang efektif maka perlu dilakukan kombinasi dari beberapa cara-cara tersebut diatas.

Disarankan juga agar pemasyarakatan kegiatan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) secara mandiri perlu dilakukan secara terus menerus untuk mencegah berkembangbiakan nyamuk *Aedes*. Masyarakat dan lintas sektor terkait perlu bekerja sama dalam menciptakan lingkungan sehat serta bebas dari penularan DBD, dan tidak hanya pada upaya kuratif. Diharapkan Dinas Kesehatan setempat khususnya Puskesmas agar lebih mengefektifkan penggunaan media dalam rangka penggalangan kegiatan pemberantasan sarang nyamuk secara terpadu serta memberikan pemahaman kepada masyarakat tentang pentingnya kegiatan pemberantasan sarang nyamuk tersebut. Kegiatan Pemantauan Jentik Berkala perlu diaktifkan pada setiap wilayah untuk dapat mendeteksi adanya vektor penular DBD serta mencegah terjadinya penularan DBD.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa ekologi nyamuk *Aedes aegypti* berhubungan dengan terjadinya kasus DBD di suatu masyarakat. Oleh karena itu diperlukan upaya pengendalian terhadap berkembang biakan nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor dengan tujuan utama adalah untuk menurunkan kepadatan populasi nyamuk *Aedes aegypti* sampai serendah-rendahnya sehingga kemampuan sebagai vektor akan menghilang. Upaya pengendalian nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor terjadinya DBD tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara, meliputi: perlindungan perseorangan, mencegah nyamuk meletakkan telurnya, mencegah pertumbuhan jentik dan membunuh telur, pemberian larvisida, melakukan fogging dan pendidikan kesehatan masyarakat. Perlindungan perseorangan untuk mencegah terjadinya gigitan nyamuk ini yaitu dengan memasang kawat kasa di lubang angin; tidur dengan menggunakan kelambu; penyemprotan dinding rumah dengan insektisida malathion dan penggunaan repellent pada kulit saat berkeburung. Mencegah nyamuk meletakkan telurnya dengan cara membuang, membakar

atau mengubur benda-benda di pekarangan atau di kebun yang dapat menampung air hujan seperti kaleng, botol, ban mobil dan tempat-tempat lain yang menjadi tempat perindukan *Aedes aegypti*. Mencegah pertumbuhan jentik dan membunuh telur dengan cara mengganti air atau membersihkan tempat air secara teratur tiap minggu sekali, pot bunga, tempayan dan bak air mandi. Pemberian larvisida (abate) ke dalam tempat penampungan air atau penyimpanan air bersih (abatisasi). Melakukan fogging dengan malathion untuk membunuh nyamuk dewasa sekurangnya dua kali dengan jarak waktu sepuluh hari misalnya di daerah yang terkena wabah dan daerah endemik yang indeks kepadatan nyamuknya relatif tinggi. Pendidikan kesehatan masyarakat melalui ceramah agar masyarakat dapat memelihara kebersihan lingkungan dan turut secara perseorangan memusnahkan tempat perindukan *Aedes aegypti* disekitar rumahnya masing-masing. Disamping itu pemantauan kepadatan populasi nyamuk dapat meningkatkan pengendalian vektor. Pengukuran kepadatan populasi larva dilakukan dengan cara pemeriksaan tempat perindukan di dalam dan di luar rumah dari 100 rumah yang terdapat di daerah pemeriksaan. Ada tiga angka indeks yang perlu diketahui yaitu indeks rumah (*house index*) yaitu suatu persentase rumah yang positif dengan larva *Aedes aegypti* dari 100 rumah yang diperiksa; indeks wadah (*container index*) yaitu persentase tempat perindukan yang positif dengan larva *Aedes aegypti* dari 100 wadah yang diperiksa; indeks breteau (*breteau index*) ialah jumlah tempat perindukan yang positif dengan larva *Aedes aegypti* dalam tiap 100 rumah. Dengan memperhatikan ekologi nyamuk aedes aegypti sebagai vektor, diharapkan pencegahan terjadinya kasus DBD di masyarakat akan lebih efektif.

### **Daftar Pustaka**

- Achmadi UF.,2008.*Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah*.Rajawali Pers, Jakarta.
- \_\_\_\_\_, 2011. *Dasar-Dasar Penyakit Berbasis Lingkungan*. Rajawali Pers, Jakarta.
- Azizah dan Betty. 2010. *Analisis Faktor Risiko Kejadian Demam Berdarah Dengue di Desa Mojosongo Kabupaten Boyolali*. Eksplanasi Volume 5 Nomor 2 Edisi Oktober 2010.

- Christophers, S. Rickard. 1960. *Aedes aegypti (L.), The Yellow Fever Mosquito, its life history, bionomics and structure*, Cambridge at The University Press.
- Dahlan, MS. ,2006. *Besar Sampel dalam Penelitian Kedokteran dan Kesehatan*. Arkans, Jakarta.
- DepkesRI, 1999. *Demam Berdarah dapat Dicegah Dengan Pemberantasan Jentik Nyamuknya*. Jakarta: Ditjen PPM & PLP.
- \_\_\_\_\_, 2003. *Pencegahan dan Penanggulangan Penyakit Demam Dengue dan Demam Berdarah Dengue. Petunjuk lengkap Terjemahan dari WHO Regional Publication SEARO no 29, "Prevention and Control of Dengue and Dengue Haemorrhagic Fever"*, Kerjasama WHO dan Depkes, Jakarta.
- \_\_\_\_\_, 2004. *Buletin Harian Perilaku dan Siklus Hidup Nyamuk Aedes aegypti Sangat Penting Diketahui dalam Melakukan Kegiatan Pemberantasan Sarang Nyamuk Termasuk Pemantauan Jentik Berkala*. Ditjen P2M & PL. Jakarta
- \_\_\_\_\_, 2005. *Pencegahan dan Pemberantasan Demam Berdarah Dengue di Indonesia*. Ditjen PP & PL. Jakarta.
- Dinkes Kota Medan, 2009. *Profil Kesehatan Kota Medan 2008*. Medan.
- \_\_\_\_\_, 2012. *Profil Kesehatan Kota Medan 2011*. Medan
- Dinkes Propinsi Sumatera Utara, 2011. *Profil Kesehatan Provinsi Sumatera Utara*. Medan.
- Gandahusada, 2008. *Parasitologi Kedokteran*. Balai Penerbit Fakultas Kedokteran UI, Jakarta.
- Gillot, C., 2005. *Entomology*. Plenum Press, New York.
- Herms, W. ,2006. *Medical Entomology*. The Macmillan Company, United States of America.
- Ishak, Hasanuddin dkk. (2009). *Analisis Faktor Faktor Densitas Larva Aedes aegypti dan Endemisitas Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan*. Disajikan pada Seminar Nasional Hari Nyamuk 2009 Tanggal

10 Agustus 2009.

- James, MT. and Harwood, RF. 1969. *Herm's Medical Entomology*. 6th Ed. The Macmillan Company USA.
- Kementrian Kesehatan RI, 2010. *Demam Berdarah Dengue*. Buletin Jendela Epidemiologi. Pusat Data dan Surveilans Epidemiologi Kementrian Kesehatan RI. Jakarta.
- \_\_\_\_\_, 2011. *Informasi Umum Demam Berdarah Dengue*. Subdirektorat Pengendalian Arbovirosis DitPPBB dan Ditjen PP dan PL Kementrian Kesehatan RI. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2015. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2014*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- LAWUYAN, S. 1996. *Demam Berdarah Dengue di Kotamadya Surabaya*. Seminar Sehari Demam Berdarah Dengue. Tropical Disease Center, Universitas Airlangga, Surabaya 28 Oktober 1996.
- Mukono, H.J., 2002. *Epidemiologi Lingkungan*. Airlangga University Press, Surabaya.
- \_\_\_\_\_, 2006. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan*. Airlangga University Press, Surabaya.
- Murti, B., 2003. *Penerapan Metode Statistik Non-Parametrik dalam Ilmu-Ilmu Kesehatan*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Munsiyir, Mujida Abdul. 2010. *Pemetaan dan Analisis Kejadian Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Bantaeng Propinsi Sulawesi Selatan Tahun 2009*. Thesis tidak diterbitkan. Universitas Hasanuddin: Makassar
- Rahayani, Berta Ratri. 2010. *Analisis Spasial Faktor Kepadatan Penduduk, Angka Bebas Jentik, dan Cakupan Penanggulangan Fokus dengan Kejadian Demam Berdarah Dengue di Kot Surabaya Tahun 2006 – 2009*. Skripsi tidak diterbitkan. Fakultas Kesehatan Masyarakat.
- Rahim, S. dkk. 2013. *Hubungan Faktor Lingkungan Dengan Tlingkat Endemisitas DBD Di Kota Makassar*. Diunduh pada tanggal 29 Oktober 2016 melalui: <https://www.researchgate>.

net/profile/Isra\_Wahid/publication/273774233\_The\_relationship\_of\_the\_environmental\_factors\_to\_the\_level\_of\_dengue\_endemicity\_in\_the\_city\_of\_Makassar/links/550c97990cf275261096642d.pdf?origin=publication\_list

- Rozilawati, H. & Zairi J. 2007. *Seasonal abundance of Aedes albopictus in selected urban and suburban areas in Penang*. Malaysia Tropical Biomedicine 24 (1): 83-94.
- Sastroasmoro, S. & Ismael S., 2011. *Dasar-dasar Metodologi Penelitian Klinis*. Bina Rupa Aksara, Jakarta.
- Sekretariat Jenderal Kementerian Kesehatan RI. 2016. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2015*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Sembel, D., 2009. *Entomologi Kedokteran*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Setianingsih, Rien. (2009). *Hubungan Kepadatan Penduduk, Kepadatan Rumah, Kepadatan Jentik, dan Ketinggian Tempat dengan Kejadian Penyakit DBD di Kota Semarang Tahun 2007 dengan Pendekatan Spasial I*. Skripsi tidak diterbitkan. Universitas Diponegoro: Semarang
- Sintorini, 2006. *Dinamika Kasus Demam Berdarah Dengue (Analisis Ekologi Pada Studi Kasus DKI Jakarta)*. Jurnal Teknologi Lingkungan , Vol. 3, No. 1, Juni 2006: 21 – 32. Diunduh pada tanggal 29 Oktober 2016 melalui : [www.journal.trisakti.ac.id/index.php/teknologilingkungan/article/download/.../118](http://www.journal.trisakti.ac.id/index.php/teknologilingkungan/article/download/.../118)
- Soedarto, 2009. *Penyakit Menular di Indonesia*. Sagung Seto, Jakarta.
- Soegijanto, S., 2006. *Demam Berdarah Dengue*. Edisi 2. Airlangga University Press, Surabaya.
- Sudiby, dkk. 2012. *Kepadatan Larva Aedes aegypti pada Musim Hujan di Kelurahan Petemon, Surabaya*. Skripsi tidak diterbitkan. Universitas Airlangga: Surabaya
- Suharmiati, Handayani, L., 2007. *Tanaman Obat Pencegah Demam Berdarah Dengue*, Jakarta: Agro Medika Pustaka.
- Sundari. 2007. *Identifikasi Dan Kepadatan Populasi Larva Nyamuk*

*Aedes aegypti* L. Di Lingkungan FKIP Universitas Jember. Skripsi. Jember: FKIP Universitas Jember.

- Suroso, T., 2003. *Strategi Baru dalam Penanggulangan Demam berdarah Dengue (DBD) di Indonesia*. Malang: Pra Kongres Jaringan Epidemiologi Nasional.
- Vytilingam, I., Chiang, G.L. and Shing, K.I., 1992. *Bionomic of important mosquito vector in Malaysia*. Southeast Asean. J. Trop.Public. Hlth: 23 (4), 587-603.
- WHO, 2001. *Dengue Haemorrhagic Fever Prevention and Control Programme in Indonesia*, Report of an External Review. New Delhi.
- Widyastuti, P., 2007. *Panduan Lengkap Pencegahan dan Pengendalian Dengue dan Demam Berdarah Dengue*. EGC, Jakarta.
- Yatim, F., 2007. *Macam-macam Penyakit Menular dan Cara Pencegahannya*. Jilid 2. Pustaka Obor Populer, Jakarta.
- Yotopranoto, S., Rosmanida, Salamun. 1998. Analisis Dinamika Populasi Vektor pada Lokasi dengan Kasus Demam Berdarah Dengue yang Tinggi di Kotamadya Surabaya. *Majalah Kedokteran Tropis Indonesia*, 9 (1-2) : 23-31.
- Zen, S. 2013. *Sudi Ekologi Tempat Berkembang Biak Nyamuk Aedes sp Di Kota Metro Sebagai Sumber Belajar Biologi Materi Pokok Insekta*. Diunduh pada tanggal 29 Oktober 2016 melalui: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=391916&val=7292&title=Studi%20Ekologi%20Tempat%20Berkembangbiak%20%20Nyamuk%20Aedes%20sp%20%20Di%20%20Kota%20Metro%20%20Sebagai%20Sumber%20Belajar%20Biologi%20Materi%20Pokok%20Insekta>



## Bab 3.

# Ekologi Kota Besar dan Risiko Kecelakaan Lalu Lintas

Anita Dewi Prahastuti Sujoso  
Retno Adriyani  
Heru Suswojo

### **Pendahuluan**

Ekologi perkotaan (*urban ecology*) berkembang menjadi salah satu cabang ekologi. Ekologi perkotaan merupakan kajian interdisiplin, yang mempelajari bagaimana aktifitas manusia dapat membahayakan lingkungan perkotaan dan juga bagaimana cara untuk dapat meningkatkan kondisi kehidupan tanpa merusak lingkungan perkotaan (Cengiz, 2013). Singkatnya, ekologi perkotaan adalah studi yang mempelajari kehidupan di kota.

Konsep sentral dalam ekologi adalah ekosistem, yaitu suatu sistem yang terbentuk oleh hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Sistem terdiri atas beberapa komponen penyusun yang terintegrasi bekerja secara teratur sebagai satu kesatuan. Masing-masing komponen penyusun tersebut memiliki fungsi atau relung. Keteraturan ekosistem menunjukkan bahwa ekosistem tersebut berada dalam suatu keseimbangan tertentu. Keseimbangan ini bersifat dinamis (Soemarwoto, 2004). Biasanya ekosistem banyak dihubungkan dengan kondisi alami lingkungan, misalnya ekosistem danau, ekosistem hutan bakau dan sebagainya. Sebaliknya ekologi perkotaan mempelajari ekosistem wilayah perkotaan yang sifatnya antropogenik, yang berarti merupakan hasil rekayasa manusia.

Faktor ekonomi dan kebijakan pemerintah sangat mempengaruhi dalam pembentukan dan pemeliharaan ekosistem perkotaan. Dalam perspektif ekosistem perkotaan, ahli ekologi akan memperhatikan data mengenai keberagaman spesies, jumlah penduduk dan aliran energi. Ekologi perkotaan juga mencakup kajian mengenai hal yang berkaitan dengan persepsi penduduk, pemerintah, dan organisasi masyarakat, budaya, akses terhadap pendidikan, sarana rekreasi, ekonomi, desain dan estetika kota, serta kesehatan masyarakat. Sub ekosistem perkotaan antara lain meliputi tipe perekonomian (uang sebagai "energi" dalam ekosistem perkotaan), perkembangan pusat kota, area industri, perdagangan, pemukiman penduduk, area terbuka dan rekreasi, lalu lintas kendaraan, lalu lintas pejalan kaki, polusi udara dan kontaminasi bahan beracun, bentang alam, tanaman, dan satwa liar. Banyaknya faktor yang mempengaruhi lingkungan perkotaan menunjukkan perlunya disiplin ilmu lain untuk dapat memahami kompleksitas perkotaan (*Environmental Encyclopedia*, 2016).

Perkotaan tidak lepas dari fenomena urbanisasi, yaitu perpindahan penduduk dari desa ke kota. Urbanisasi banyak memberikan dampak pada berbagai aspek kehidupan di perkotaan. Dampaknya antara lain adalah kepadatan penduduk di kota besar dan prasarana mobilisasi penduduk atau sistem transportasi. Kedua hal tersebut juga menjadi ciri kota besar yang memerlukan penanganan yang komprehensif.

Sistem transportasi yang tidak terencana dengan baik pada akhirnya akan menimbulkan dampak bagi kesehatan masyarakatnya. Di negara berkembang kejadian kecelakaan lalu lintas yang menyebabkan korban luka dan kematian merupakan masalah kesehatan masyarakat. Hampir 85% kematian dan 90% kecacatan yang dapat menurunkan kemampuan seseorang dalam menjalani kehidupan disebabkan oleh kecelakaan di negara berkembang (Nantulya dan Reich, 2002).

### **Ekologi Kota Besar**

Perhatian manusia tentang lingkungan hidup sejatinya bukanlah perhatian mengenai lingkungan hidup itu sendiri melainkan hubungan timbal balik antara manusia dengan lingkungan hidupnya. Sehingga, pada hakekatnya yang menjadi perhatian ialah masalah ekologi. Ekologi adalah ilmu yang mempelajari tentang hubungan timbal balik makhluk hidup dengan lingkungan hidupnya. Istilah ini pertama

kali diperkenalkan oleh Ernst Haeckel pada tahun 1860-an. Ernst Haeckel adalah seorang ilmuwan berkebangsaan Jerman yang ahli dalam bidang biologi dan evolusi. Ekologi berasal dari bahasa Yunani, *oikos* yang berarti rumah dan *logos* yang berarti ilmu, sehingga secara harfiah ekologi berarti ilmu yang mempelajari tentang makhluk hidup dalam rumahnya (Soemarwoto, 2004 dan Kristanto, 2004).

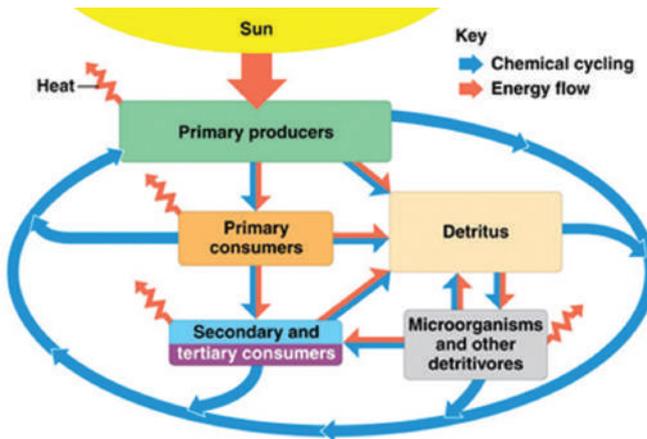
Makhluk hidup biasanya selalu dinyatakan dalam suatu unit populasi. Populasi adalah kumpulan individu yang memiliki potensi untuk berkembang biak. Populasi dianggap sebagai sistem yang dinamis yang selalu berinteraksi satu dengan lainnya. Jika jumlah individu per satuan luas bertambah dalam suatu kurun waktu tertentu, dikatakan bahwa kepadatan populasi meningkat. Dengan meningkatnya kepadatan populasi, terjadilah persaingan terhadap pemenuhan kebutuhan akan pangan, tempat tinggal dan kebutuhan hidup lainnya, yang pada suatu saat bisa terjadi bahwa lingkungan tidak mampu dalam memenuhi kebutuhan tersebut. Persaingan dalam pemenuhan kebutuhan hidup menimbulkan dua akibat yaitu dapat menimbulkan efek ekologi dalam jangka pendek dan efek evolusi dalam jangka panjang. Dalam jangka pendek, individu ataupun populasi akan berjuang untuk mempertahankan hidup, menjaga kelangsungan hidup dan melakukan perpindahan (migrasi). Dalam jangka panjang, individu yang tidak mampu bertahan akan mengalami efek evolusi, dimana populasi akan diisi oleh individu yang lebih kuat, cerdas dan besar. Faktor lingkungan yang dapat menurunkan daya berkembang biak populasi adalah faktor yang bergantung pada kepadatan populasi (*density dependent factor*), contohnya kekurangan bahan pangan, kekurangan ruang hidup dan faktor yang tak tergantung pada kepadatan populasi (*density independent factor*) contohnya bencana alam yang mengakibatkan kematian individu (Kristanto, 2004).

Ekosistem adalah sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal-balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Supaya kesatuan dalam ekosistem teratur, dibutuhkan adanya arus materi, energi yang dikendalikan oleh arus informasi antar komponen dalam ekosistem tersebut.

Tubuh makhluk tersusun oleh materi yang terdiri dari unsur kimia seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan seterusnya. Dari

siklus rantai makanan nampak bahwa materi mengalir dari mata rantai makanan yang satu ke rantai makanan yang lain. Materi tidak ada habisnya. Materi mengalir dari tubuh makhluk hidup yang satu ke tubuh makhluk hidup yang lain, dan dari dunia yang hidup (mahluk hidup) ke dunia tak hidup (tanah, air, udara) dan begitu seterusnya.

Energi dapat diartikan sebagai kemampuan melakukan kerja. Energi tidak dapat dilihat, yang terlihat adalah akibat adanya energi tersebut. Semua makhluk hidup membutuhkan energi. Dalam ekosistem yang kompleks, semua makhluk hidup saling berhubungan dalam pemenuhan kebutuhan hidupnya. Misalnya dalam pemenuhan kebutuhan makanan, proses pencarian makan membutuhkan energi. Dalam tubuh, makanan akan mengalami metabolisme dimana energi dalam makanan diubah menjadi energi yang dapat digunakan untuk melakukan kerja, dalam hal ini mencari makanan tentunya. Gambar 1 menunjukkan aliran energi dan materi kimia dalam ekosistem, yang dijelaskan berdasarkan pada piramida makanan.



Gambar 3.1. Aliran Energi dan Materi Kimia pada Rantai Makanan  
 Sumber: Campbell dan Reece, 2005

Dalam piramida makanan, organisme atau sel autotrof menduduki tingkat pertama, sedangkan organisme atau sel heterotrof yang mendapatkan energi dari ototrof menduduki peringkat ke dua dan organisme heterotrof yang memperoleh energi dua tahap menduduki peringkat ke tiga. Energi yang diterima oleh energi di tingkat berikut semakin kecil seiring dengan tingginya tingkatan. Diperkirakan

tanaman memperoleh energi dari matahari 1000 kalori tiap hari. Energi matahari mengalami fotosintesis yang digunakan oleh tanaman untuk bertahan hidup, sebagian disimpan dalam jaringan tanaman, dan simpanan inilah yang digunakan sebagai makanan organisme di tingkat atasnya.

Informasi dapat diartikan sebagai sesuatu yang memberikan pengetahuan tambahan. Kandungan informasi menunjukkan banyaknya pengetahuan tambahan yang dapat diperoleh dari suatu pesan. Semakin banyak pengetahuan tambahan yang diperoleh dari suatu pesan, semakin tinggi kandungan informasinya. Dalam hukum ekologi, tukar-menukar informasi antara dua sistem yang berbeda kandungan informasinya, hasil yang diperoleh bukan pemerataan kandungan informasi melainkan akan memperbesar perbedaan antara dua sistem yang berbeda tersebut. Misalkan tukar menukar informasi yang terjadi antara negara maju dan negara berkembang. Dengan teknologi dan ekonomi yang tinggi di negara maju, maka negara maju akan lebih dapat merealisasikan informasi yang diterimanya. Bila informasi ini berupa sumber daya alam, maka negara maju akan lebih mudah dalam memanfaatkan sumber daya alam, jika dibandingkan dengan negara berkembang yang memiliki keterbatasan dalam ekonomi dan teknologi. Negara berkembang dapat memanfaatkan sumber daya alamnya secara optimal dengan bantuan teknologi dan modal dari negara maju. Hasilnya yang diperoleh dari proses tukar-menukar informasi tersebut bukanlah pemerataan sumber daya alam, namun akan semakin memperbesar perbedaan yang terjadi antara negara maju dan negara berkembang (Kristanto, 2004)

Ekologi juga dapat dikatakan sebagai ekonomi alam, yang melakukan transaksi dalam bentuk materi, energi dan informasi. Setiap komponen dalam ekosistem memiliki peran dan fungsi masing-masing, jika peran dan fungsi tersebut berlangsung dengan teratur, dikatakan bahwa ekosistem tersebut berada dalam keseimbangan. Keseimbangan ekosistem adalah kondisi di mana interaksi antar komponen-komponen penyusun ekosistem berlangsung secara harmonis dan seimbang. Keseimbangan ekosistem atau kondisi homeostatis secara tidak langsung akan berdampak signifikan terhadap kesejahteraan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Keseimbangan ekosistem bersifat dinamis dan selalu berubah. Perubahan ini dapat terjadi

secara alamiah ataupun karena ulah manusia (Kristanto, 2004 dan Yuonodkk, 2015)

Ekosistem berdasarkan komponen pembentuknya dibagi menjadi 2, yaitu (Yuono dkk, 2015):

a. Ekosistem Alami (*Natural ecosystem*)

Ekosistem alami dibentuk dan berlangsung berkelanjutan (*self-sustain*) secara alami, tanpa ada campur tangan manusiadan diatur oleh alam itu sendiri. Ekosistem alami terdiri dari tanaman dan hewan liar. Terdapat 2 tipe ekosistem alami yaitu ekosistem darat atau terrestrial (contohnya: ekosistem hutan mangrove, ekosistem hutan rawa air tawar, ekosistem hutan tepi sungai, ekosistem pantai, ekosistem padang rumput, dan ekosistem padang ilalang) dan ekosistem perairan (contohnya: ekosistem air tawar dan ekosistem air laut).Komunitas biologis ekosistem alami terbentuk melalui evolusi, dan adaptasi secara alamiah. Ekosistem ini bergantung pada input alamiah seperti sinar matahari dan air. Input dan output ekosistem alami saling bertukar dengan ekosistem di dekatnya. Material yang mengandung energi dan informasi dibawa oleh angin, air, gravitasi bumi dan hewan berpindah dari satu ekosistem ke ekosistem lainnya (Marten, 2001).

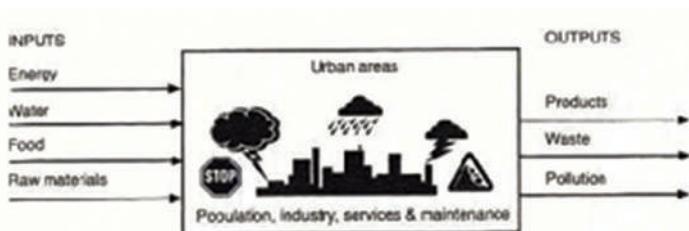
b. Ekosistem Buatan (*Artificial ecosystem*)

Ekosistem buatan memiliki kondisi lingkungan dan keberadaan hewan dan tumbuhan yang ada di dalamnya lebih banyak didominasi oleh perlakuan manusia. Contoh ekosistem buatan misalnya ekosistem bendungan, ekosistem sawah, ekosistem hutan produksi, ekosistem tambak dan ekosistem pemukiman.Ekosistem pemukiman adalah ekosistem buatan yang sengaja dibangun sebagai lingkungan tempat tinggal atau hunian serta sebagai kegiatan yang mendukung berlangsungnya kehidupan manusia. Ekosistem pemukiman terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu ekosistem perkotaan (*urban*), ekosistem peralihan, dan ekosistem pedesaan (*rural*) (Yuono dkk, 2015).

Manusia merupakan bagian dari sistem ekologi (ekosistem).Ekologi manusia adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal-balik antara manusia dengan lingkungannya. Kehidupan manusia berkaitan erat dengan keberadaan makhluk yang lain yang menempati suatu ruang tertentu. Ruang yang ditempati manusia dengan makhluk lainnya

disebut dengan lingkungan hidup manusia. Terdapat beberapa faktor yang turut menentukan sifat lingkungan hidup, diantaranya adalah jenis dan kepadatan unsur lingkungan hidup, interaksi antar unsur dalam lingkungan, perilaku dan kondisi unsur lingkungan serta faktor lingkungan fisik misalnya suhu, kelembapan, cahaya, kebisingan dan lainnya. Manusia dipengaruhi dan mempengaruhi lingkungan hidupnya.

Gambar 2. memperlihatkan tentang komponen yang membentuk lingkungan perkotaan (*urban environment*). Lingkungan perkotaan merupakan suatu sistem yang disusun oleh faktor input, proses, dan output. Faktor input ekosistem perkotaan terdiri dari energi, air, makanan, dan bahan baku. Di dalam lingkungan perkotaan terjadi proses perumbuhan penduduk, kegiatan industri, pelayanan publik dan kegiatan pemeliharaannya. Proses kehidupan yang berlangsung di area perkotaan menghasilkan produk khas perkotaan yaitu produk yang dihasilkan dari industri dan perdagangan, limbah dapat berbentuk fisik (cair, padat dan gas) dan sosial (informasi "sampah", pergaulan bebas), yang bila tidak ditangani dengan baik akan menimbulkan dampak pencemaran tanah, air dan udara serta kerusakan pada aspek sosial dan kesehatan masyarakat dan akhirnya menyebabkan penurunan kualitas hidup masyarakat.



Gambar 3.2. Komponen Sistem Ekologi Perkotaan, Sumber : Bennet dan Doyle, 1997

Pada faktor input, energi yang dimaksud adalah produk akhir dari sumber daya alam yang digunakan sebagai pemenuhan kebutuhan energi terutama energi listrik di suatu kota. Sumber daya alam yang dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik ini dapat berupa sumber daya alam tidak terbarukan (*non renewable resources*) ataupun sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*). Sumber energi tidak terbarukan contohnya antara lain adalah batu bara, minyak bumi, uranium, dan gas bumi. Sedangkan sumber energi terbarukan

misalnya adalah angin, matahari, gelombang air laut, panas bumi, dan tumbuhan. Air yang terdapat di lingkungan perkotaan tersebut ataupun dari sumber air yang terdapat di sekitar lingkungan perkotaan. Sumber air ini dapat berupa sungai, air tanah, mata air, bahkan air laut yang dioleh menjadi air tawar. berasal dari reservoir dan sungai disekitarnya. Makanan juga merupakan faktor input yang sangat penting bagi ekosistem perkotaan. Pada ekosistem perkotaan, makanan dipenuhi dari daerah pedesaan (*rural*) karena keterbatasan ruang atau lahan untuk bercocok tanam di daerah perkotaan. Bahan mentah atau bahan baku berbentuk sumber daya mineral dan konstruksi, misalnya pasir, batu, besi dan lain sebagainya untuk keperluan industri dan konstruksi (Bennet dan Doyle, 1997).

Kota merupakan dasar peradaban manusia. Kota pertama muncul sekitar 6000 tahun yang lalu. Hampir setengah dari populasi manusia di dunia sekarang tinggal di kota. Pertumbuhan kota dipercepat sangat setelah Revolusi Industri. Kota bermula dari ekosistem perkotaan yang kecil dan sederhana seperti desa. Penduduk perkotaan di negara industri sekarang meningkat sangat lambat, sebaliknya di negara berkembang, penduduk perkotaan tumbuh pesat. Banyak kota di negara berkembang yang tidak dapat memberikan layanan dasar seperti air, pengumpulan sampah, listrik, pendidikan dan pelayanan kesehatan dasar yang layak untuk penduduk kotanya (Marten, 2001).

Lingkungan perkotaan mengalami perkembangan pembangunan yang sangat cepat dan mudah berubah-ubah. Urbanisasi, permukiman dan gedung pencakar langit, ketersediaan makanan, migrasi organisme, moda transportasi, sampah, energi dan air bersih menjadi masalah yang pelik di kota-kota besar. Transportasi termasuk bagian penting untuk menunjang berbagai kegiatan pada ekosistem perkotaan. Dalam pemenuhan kebutuhannya ekosistem perkotaan memerlukan sarana dan prasarana transportasi yang menghubungkan antara desa dan kota.

Transportasi adalah perpindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Transportasi dibagi 3 yaitu, transportasi darat, laut, dan udara. Prasarana transportasi yang dimaksud adalah jaringan jalan, jembatan, rel, terminal, dan sistem kendali lalu lintas

kendaraan (*Area Traffic Control System/ATCS*). Sarana transportasi misalnya angkutan jalan, kereta api, kapal, pesawat dan banyak lagi (Wikipedia, 2016).

Transportasi memungkinkan terjadinya interaksi antara desa dan kota. Interaksi dapat diartikan sebagai hubungan timbal balik yang saling mempengaruhi, yang dapat melahirkan gejala, kenampakan dan permasalahan baru, secara langsung maupun tidak langsung memberikan efek bagi kedua belah pihak. Interaksi antara desa dan kota dipengaruhi oleh munculnya keinginan untuk memenuhi kebutuhan dari kedua tempat. Pola interaksi desa dan kota tidak hanya terbatas pada faktor ekonomi saja tetapi lebih dari itu pola interaksinya berlangsung dalam seluruh aspek kehidupan. Selain itu, interaksi ini akan memunculkan pergerakan, baik pergerakan manusia (mobilitas penduduk), pergerakan informasi, dan pergerakan materi atau benda kedua tempat sebagai bentuk nyatanya.

Transportasi lebih didominasi oleh transportasi darat, hal ini dikarenakan dominasi aktifitas manusia yang berada di darat, sehingga kegiatan transportasi pun lebih banyak dilakukan di darat daripada di laut maupun di udara, yang hanya digunakan untuk menempuh perjalanan jarak jauh. Representasi transportasi di Indonesia adalah transportasi darat, meskipun negara Indonesia berbentuk kepulauan, moda laut atau udara tidak menjadi moda yang dominan. Disparitas ekonomi dan kewilayahan yang terjadi mengakibatkan pergerakan penumpang sangat bertumpu di Pulau Sumatera dan Jawa. Moda jalan masih menjadi moda utama dalam pergerakan di dalam dan antar Pulau Jawa dan Pulau Sumatera. Transportasi darat lebih banyak diminati oleh masyarakat karena aksesnya yang mudah, serta harganya yang terjangkau (Bappenas, 2012).

Permasalahan transportasi darat di Indonesia cukup beragam, mulai dari kemacetan, kurangnya fasilitas transportasi, rendahnya kualitas pelayanan dan fasilitas transportasi, kurangnya koordinasi antar sistem dan jaringan, masalah internal dari pemegang kekuasaan atau pemerintah, tingkat keamanan yang masih belum terjamin, hingga masalah lingkungan. Penyebabnya pun beragam dan saling berkaitan, mulai dari kurangnya perhatian pemerintah, perilaku oknum yang tidak bertanggung jawab, kurangnya dana pengadaan

dan perbaikan, serta tingginya pemakaian kendaraan bermotor. Penyebab adanya permasalahan ini dapat saling berkaitan misalnya karena rendahnya kualitas angkutan umum, masyarakat lebih memilih untuk menggunakan kendaraan pribadi, hal ini menimbulkan peningkatan kebutuhan atau pembelian kendaraan bermotor sehingga menyebabkan terjadinya kemacetan dan polusi udara. Gambar 3 merupakan gambaran dari kondisi lalu lintas di kota besar. Banyaknya kendaraan menyebabkan kondisi jalan menjadi macet dan polusi udara menjadi tidak terhindarkan.



Gambar 3.3. Kemacetan dan Polusi Udara akibat Kegiatan Transportasi di Perkotaan  
Sumber : salam-online.com, 2012.

Transportasi darat Indonesia cukup tertinggal dari negara-negara tetangganya, semisal Singapura yang sudah menggunakan sistem ERP (*Electronic Road Pricing*) untuk mengatasi kemacetan di titik-titik rawan macet dan bisa dikatakan berhasil dalam upaya penerapan sistem ini, belum lagi bila membandingkan kualitas jalur pedestrian di Orchard Road Singapura. Jalur pedestrian atau pejalan kaki di Orchard Road yang lebar, nyaman, terjaga kondisinya juga teduh seakan sangat jauh bila dibandingkan dengan kondisi jalur pedestrian atau biasa dikenal dengan trotoar di Indonesia yang kondisinya kebanyakan sudah rusak, sempit, tidak aman, serta dipenuhi pedagang kaki lima. Sistem Jalan Berbayar (ERP) merupakan sistem skema pengumpulan tol elektronik untuk mengatur lalu lintas dengan cara jalan berbayar, sebagai mekanisme perpajakan penggunaan jalan pembelian hak sistem. Dengan sistem ini memungkinkan diterapkannya tarif yang berbeda-beda sesuai kondisi kemacetan lalu lintas. Terdapat dua macam *Electronic Road Pricing* berdasarkan teknologinya, yaitu:

### 1. Kamera Elektronik

Pada titik-titik masuk kawasan penerapan jalan berbayar dipasang beberapa kamera elektronik yang dapat merekam nomor polisi setiap kendaraan yang masuk ke lokasi jalan berbayar. Rekaman ini kemudian dimasukkan ke dalam basis data kendaraan untuk kemudian dilakukan penagihan sesuai tarif yang berlaku.

### 2. Pemindai Elektronik

Setiap kendaraan dilengkapi dengan alat pemindai elektronik yang diletakkan di dalam kendaraan. Alat pemindai ini dapat berkomunikasi secara elektronik dengan alat-alat pemindai di titik-titik masuk jalan berbayar. Alat pemindai elektronik ini memuat data kendaraan dan dapat berlaku sebagai mesin pembayaran tunai yang akan langsung dipotong sejumlah besarnya tarif jalan berbayar. Penggunaan pemindai elektronik sangat sesuai diterapkan jika tarif jalan berbayar bersifat fluktuatif sesuai dengan kondisi lalu lintas dan kemacetan.

Perkembangan transportasi darat dinilai cukup lambat dibanding negara-negara seperti negara Jepang yang telah memiliki Shinkansen, yaitu kereta api yang kecepatannya bisa mencapai 300 km/jam, hal ini sangat berbanding jauh dengan kondisi perkeretaapian di Indonesia yang sampai saat ini masih terus berkutat dengan masalah keamanan dan tingkat kecelakaan perjalanan yang tinggi (Bappenas, 2012).

## **Transportasi Darat dan Kecelakaan Lalu Lintas**

Pengangkutan atau transportasi adalah pemindahan barang dan manusia dari tempat asal ke tempat tujuan. Proses pengangkutan merupakan gerakan dari tempat asal ke tempat tujuan - darimana kegiatan itu dimulaikan mana kegiatan itu berakhir. Secara umum, transportasi darat memiliki peranan penting sebagai urat nadi pembangunan nasional. Bila dijabarkan tiap bidang, peran transportasi darat adalah sebagai berikut (Alimoeso, 2009):

### a. Bidang ekonomi

Transportasi darat merupakan infrastruktur untuk mobilitas orang dan mendistribusikan barang, mendorong pertumbuhan ekonomi regional (*ship promote the trade*), mendukung perdagangan dan sektor ekonomi lainnya (*ship follow the trade*).

b. Bidang sosial budaya

Transportasi darat merupakan infrastuktur untuk meningkatkan mobilitas sosial budaya diantara penduduk di suatu wilayah atau suku/bangsa.

c. Bidang politik

Transportasi darat merupakan infrastruktur yang mendukung penyelenggaraan administrasi seluruh daerah di Indonesia, sebagai jembatan dan sarana penguatan integritas bangsa.

d. Bidang pertahanan dan keamanan

Keterpasuan antar moda jalan dan penyeberangan menghubungkan seluruh tanah air sebagai perwujudan wawasan nusantara dan memperkokoh ketahanan nasional.

Transportasi di lingkungan perkotaan ditujukan untuk mendukung kegiatan kota, sehingga keberhasilan kegiatan kota sangat dipengaruhi sistem transportasinya. Jenis sarana angkutan darat di perkotaan sangat bervariasi, tergantung pada kegiatannya. Karakteristik di daerah pariwisata akan berbeda dengan daerah perdagangan dan industri (Rahmadi, 2011). Gambar 4 menampilkan beberapa contoh moda transportasi darat di Indonesia.

Dua jenis moda transportasi darat untuk angkutan penumpang yang banyak digunakan di kota besar adalah transportasi jalan raya dan transportasi jalan rel. Dua unsur pokok transportasi jalan raya adalah jalan dan kendaraan. Keunggulan transportasi jalan raya adalah mudah dikembangkan, biaya operasional relatif murah, serta dapat membuka, membangkitkan, dan mengembangkan wilayah. Kekurangan transportasi jalan raya antara lain adalah kurang efisien, pemborosan energi, tingkat keselamatan rendah, di perkotaan menimbulkan polusi udara dan dan tempat parkir. Transportasi jalan rel menggunakan sarana kereta api, kereta diesel ataupun kereta listrik. Tiga unsur utamanya adalah rel, stasiun dan kereta. Kelebihan transportasi jalan rel adalah efisien dan ekonomis. Kekurangannya adalah pembangunan prasarana berupa rel yang relatif mahal, penerapannya banyak dipengaruhi oleh peraturan dan politik.



Gambar 3.4. Moda Transportasi Darat di Indonesia  
Sumber : Handayani, 2012

Permasalahan transportasi darat di Indonesia diidentifikasi oleh Alimoeso, 2009 Direktur Jendral Perhubungan Darat Departemen Perhubungan dan disampaikan dalam Acara Diklat Pembekalan Kepala Dinas Perhubungan Propinsi dan Kabupaten/Kota adalah pertumbuhan kendaraan bermotor cukup tinggi (khususnya sepeda motor di kota besar sekitar 21% per tahun), menurunnya kualitas dan keberlanjutan pelayanan infrastruktur transportasi darat (kemacetan lalu lintas, tingginya tingkat kecelakaan, polusi, pemborosan energi dan kurang memadainya angkutan umum), muatan lebih (*overload*) masih memerlukan penanganan secara intensif, kerusakan infrastruktur (sekitar 70% sistem jaringan jalan nasional, provinsi dan lokal yang terbatas dan berfungsi optimal). Kendaraan angkut yang kelebihan muatan dapat menyebabkan kecelakaan dan kerusakan jalan. Selain masalah *overload*, faktor cuaca, sistem saluran drainase yang kurang baik, kondisi dasar tanah yang labil dan material dan konstruksi jalan yang kurang baik juga menyebabkan kerusakan jalan sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 3.5. Penyebab Kerusakan Jalan  
Sumber : Alimoeso, 2009

Permasalahan transportasi perkotaan yang diungkapkan sebelumnya oleh Munawar, (2004) juga sejalan, yaitu meliputi kemacetan lalu lintas, parkir, angkutan umum, polusi dan masalah ketertiban lalu lintas. Banyaknya kendaraan pribadi di jalan raya, kurangnya ruas jalan dan buruknya sistem angkutan massal sering dituding menjadi penyebab timbulnya kemacetan lalu lintas. Kemacetan lalu lintas menimbulkan dampak negatif, baik terhadap pengguna jalan, perekonomian dan lingkungan. Bagi pengguna jalan, kemacetan akan menimbulkan ketegangan (*stress*). Dampak negatif kemacetan dari segi ekonomi berupa kehilangan waktu karena waktu perjalanan yang lama dan bertambahnya biaya operasional kendaraan (bensin dan perawatan mesin). Dampak negatif dari segi lingkungan adalah pemborosan energi bahan bakar minyak (BBM) serta polusi udara, akan terus menjadi menu sehari-hari dari para pengguna jalan di perkotaan (*urban trip makers*) (Munawar, 2007).

Masalah parkir tidak hanya terbatas di kota-kota besar saja. Tidak adanya fasilitas parkir di dekat pasar, supermarket hanya mempunyai lahan parkir yang begitu sempit, gedung pertunjukan, gedung bioskop, gedung pertemuan dan hotel tidak memikirkan fasilitas parkir yang memadai bagi pengunjungnya menyebabkan jalan umum dijadikan lahan parkir insidental.

Masalah lain yang tak kalah pentingnya ialah fasilitas angkutan umum. Angkutan umum perkotaan, saat ini didominasi oleh angkutan bus dan mikrolet masih terasa kurang nyaman, kurang aman dan kurang efisien. Angkutan massal (*mass rapid transit*) seperti kereta api masih kurang berfungsi untuk angkutan umum perkotaan. Berdesak-desakan di dalam angkutan umum sudah merupakan pandangan sehari-hari di kota besar. Pemakai jasa angkutan umum masih terbatas pada kalangan bawah dan sebagian kalangan menengah (Munawar, 2007).

Kenyamanan angkutan umum relatif masih rendah, jika dibandingkan dengan kendaraan pribadi. Kendaraan pribadi memiliki keunggulan dapat melayani angkutan dari rumah ke rumah, dapat menjangkau hingga ke pelosok, memberi kebebasan bagi pengemudi dalam ruang dan waktu. Sistem Angkutan Umum Massal (SAUM) yang modern sebagai bagian integral dari ketahanan daya dukung kota (*city survival*) pada sebagian besar kota besar di Indonesia masih dalam tahap

rancangan dan perencanaan. Kebijakan dan keputusan pemerintah yang menjadi payung hukum dalam hal perwujudan SAUM untuk menciptakan sistem transportasi kota yang berimbang, efisien dan berkualitas belum berada di dalam arus utama (*mainstream*). Belum terciptanya SAUM modern sebagai atribut menuju kota "metropolitan" yang patut diperhitungkan bagi masyarakat merupakan pembenaran dari pemakaian kendaraan pribadi dengan okupansi rendah (Munawar, 2007).

Terjadinya peningkatan polusi udara karena gas sisa pembakaran kendaraan bermotor, partikulat dan kebisingan karena deru suara kendaraan serta penggunaan klakson untuk menyalurkan stress para pengemudi juga merupakan suatu permasalahan transportasi darat. Ketertiban transportasi darat di Indonesia masih sangat rendah. Tingkat kecelakaan, kematian akibat kecelakaan dan pelanggaran lalu lintas yang tinggi, menunjukkan kurang sadarnya sebagian besar lapisan masyarakat terhadap ketertiban lalu lintas (Munawar, 2007).



Gambar 3.6. Pelanggaran Berlalulintas yang Dilakukan Pengendara Sepeda Motor  
Sumber: banyakbaca.com, 2016

Gambar 6 merekam kejadian yang sering terjadi di perempatan jalan yang terdapat lampu pengatur lalu lintas. Nampak bahwa sepeda motor berhenti di zona *zebra cross* dimana tempat tersebut seharusnya digunakan oleh pengguna jalan yang berjalan kaki untuk menyeberang.

Fakta mengenai kejadian kecelakaan di jalan raya dilaporkan oleh WHO sebagaimana yang dirilis oleh media Koran Sindo, 25 Oktober 2015, jalanan di Indonesia masih belum dapat menjamin keselamatan penggunaannya. Setiap jam, 3-4 orang meninggal akibat kecelakaan lalu lintas. Berdasarkan data pemerintah dan Organisasi Kesehatan Dunia

(WHO), korban mayoritas pengendara motor dari kalangan remaja. Menurut WHO, Kepolisian Republik Indonesia (Polri) pada 2013 mencatat korban meninggal akibat kecelakaan lalu lintas mencapai 26.416 orang dari seluruh Indonesia. Tingkat kecelakaan lalu lintas (laka lintas) per 100.000 populasi di Indonesia adalah 15,3. Sesuai data yang ada, WHO menyebutkan kematian pengemudi kendaraan roda dua atau tiga di Indonesia adalah yang terbesar. Korban meninggal mencapai 36% dari keseluruhan. Berikutnya menyusul pengemudi atau penumpang bus mencapai 35%, pejalan kaki sebanyak 21%, penumpang mobil roda empat atau kendaraan ringan sebesar 5%, pengendara sepeda sebanyak 2% dari total keseluruhan. Data yang dirilis WHO ini sejalan dengan data yang dikeluarkan pemerintah beberapa waktu lalu. Direktur Keselamatan Transportasi Darat Kementerian Perhubungan, Cucu Mulyana pada keterangan persnya mengatakan kendaraan roda dua mendominasi angka kecelakaan di Indonesia. Di urutan kedua serta ketiga, penyumbang korban terbanyak adalah bus dan kendaraan roda empat.

Bila dilihat dari umur korban kecelakaan lalu lintas tersebut didominasi usia muda, yaitu usia 16-30 tahun (41%) kemudian usia 31-40 tahun (17%). Jika melihat data tersebut, pemerintah tampaknya harus fokus pada sosialisasi keselamatan berlalu lintas pada remaja SMA. Selain sepeda motor, 13% kecelakaan dialami mobil barang, 12% mobil penumpang, 3% bus, dan 1% kendaraan khusus. Adapun angka kecelakaan di dunia menurut data WHO menyatakan pula bahwa sepeda motor adalah kendaraan paling rawan kecelakaan di jalan raya. Sebanyak 23% kematian di jalan raya dialami pengendara sepeda motor.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Singh (2015) korban kecelakaan lalu lintas di Bagian Forensik RSUP Dr. Mohammad Hoesin Palembang periode Januari 2011-Desember 2013 menyatakan bahwa berdasarkan kategori usia yang terbanyak dijumpai adalah usia 21-30 tahun (36,4%). Berdasarkan kategori jenis kelamin yang terbanyak dijumpai adalah laki-laki (78,3%). Berdasarkan kategori jenis kendaraan yang terbanyak dijumpai adalah pengendara sepeda motor (89,1%). Berdasarkan kategori jenis luka yang terbanyak dijumpai adalah luka robek (40,0%).

Pernyataan Ketua Forum Warga Kota Jakarta Azas Tigor Nainggolan dalam media Koran Sindo, 25 Oktober 2015, menyebutkan minimnya kesadaran masyarakat pengguna jalan raya membuat situasi jalan Ibu Kota semakin semrawut dan menjadi penyebab kemacetan. Banyak pengendara yang asal potong jalur sehingga membuat pengguna jalan lainnya celaka. Disayangkan pengawasan orang tua yang lemah sehingga masih mengizinkan anak di bawah umur mengendarai sepeda motor. Dalam hal ini, orang tua memegang peranan penting. Disamping itu, banyak pengemudi angkutan umum yang tidak sesuai dengan aturan, misalnya pengemudi bus hanya memiliki SIM A, padahal itu SIM tersebut hanya untuk membawa mobil kecil. Kabid Humas Polda Metro Jaya Kombes Pol Muhammad Iqbal mengatakan, banyaknya kecelakaan di jalan Ibu Kota disebabkan karena pengguna jalan kurang sadar akan tertib berlalu lintas. Pelanggaran yang sering terjadi adalah para pengendara sepeda motor tidak menggunakan dan membawa kelengkapan kendaraan seperti helm, SIM, STNK, dan lampu kendaraan. Banyak juga yang bertindak 'ugal-ugalan' saat mengemudi, tidak disiplin saat berkendara.

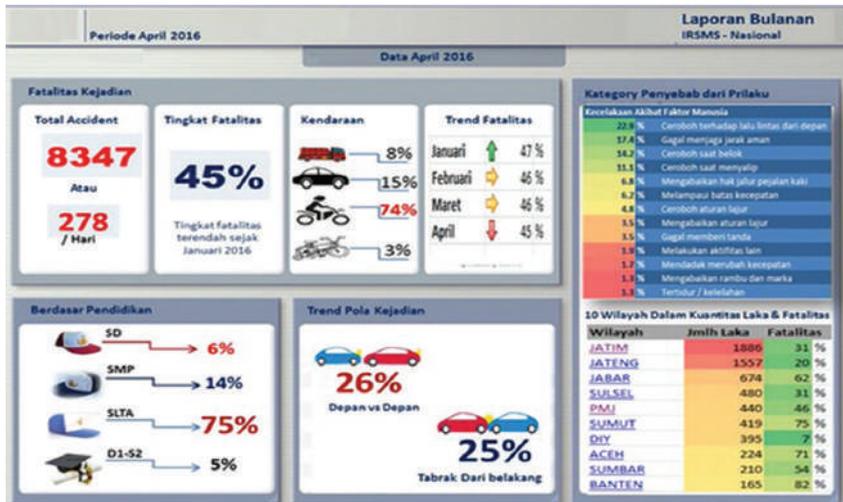
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pomuri (2014) kecelakaan lalu lintas yang melibatkan pengendara sepeda motor di Kota Manado, korban pelajar menduduki dominasi terbesar (34,1%) dan faktor risiko terjadinya kecelakaan lalu lintas adalah kepemilikan SIM, dimana pengendara sepeda motor yang tidak memiliki SIM berisiko 3,78 kali mengalami kecelakaan lalu lintas.

Konsumsi alkohol saat berkendara meningkatkan risiko kecelakaan. Risiko terlibat kecelakaan akan meningkat apabila konsentrasi alkohol dalam darah di atas 0,04 g/dl. Risiko untuk meninggal atau cedera serius meningkat dua kali lipat. Data AIS IRSMS- Polda Jateng (Jan-Nov 2012) menyebutkan 21% korban meninggal atau cedera serius sebagai akibat dari mengemudi dalam keadaan mabuk (Korlantas, 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Linggiallo (2015) terhadap pengendara sepeda motor yang terlibat kecelakaan dan di rawat di sebuah rumah sakit di Manado menyebutkan bahwa 49,1% korban mengkonsumsi minuman beralkohol sebelum berkendara. Mengendarai sepeda motor setelah mengkonsumsi alkohol meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan lalu lintas karena terjadi penurunan kesadaran setelah seseorang mengkonsumsi alkohol dan

mengakibatkan kehilangan konsentrasi saat mengemudi (WHO, 2013 dalam Linggiallo dkk, 2015). Konsumsi alkohol yang berlebihan akan menimbulkan efek rasa lebih bebas untuk mengekspresikan diri tanpa ada perasaan terhambat, menjadi lebih emosional (sedih, senang, marah secara berlebihan), fungsi fisik motorik akan terganggu (bicara tidak jelas, pandangan kabur dan hingga tidak sadarkan diri), terjadi gangguan untuk memusatkan perhatian dan daya ingat (Direktorat Pengendalian Penyakit Tidak Menular, 2012 dalam Linggiallo dkk, 2015). Efek alkohol dalam darah bila tidak ada faktor toleransi, 20 mg/dl dapat menyebabkan keracunan ringan, 80 mg/dl dapat menyebabkan penurunan fungsi kesadaran dan tampilan motorik, 200 mg/dl menyebabkan bicara meracau, gerak motorik tidak terkoordinasi, 300 mg/dl menyebabkan koma ringan, dan 400 mg/dl menyebabkan meninggal (Sudoyo dkk, 2009 dalam Linggiallo dkk, 2015).

Menurut Ohkuba (1966) dalam Rahmadi (2011), penyebab kecelakaan lalu lintas antara lain disebabkan karena daya konsentrasi yang kurang baik (65,5%), pelanggaran terhadap peraturan (17,0%), ketrampilan kurang (6,1%), mabuk (3,1%), kelelahan (1,7%), kepribadian (1,5%), psikiatrik (0,4%), lain-lain (4,7%).

Kecenderungan fakta yang terekam pada tahun 2014 dan 2015 tersebut masih sama dengan yang terjadi pada tahun 2016. Data statistik kecelakaan dalam periode April-Juni 2016 yang dihimpun oleh Korlantas Polri jumlah kecelakaan lalu lintas tercatat sebanyak 26.875 kasus, dengan jumlah korban meninggal sebanyak 5.615 jiwa. Jenis kendaraan sepeda motor yang paling banyak terlibat dalam kecelakaan. Menurut kelompok umur yang terlibat kecelakaan tertinggi adalah kelompok umur 15-19 tahun dengan 4.482 kasus, dan tertinggi ke dua adalah kelompok umur 20-24 tahun dengan 3.901 kasus. Data statistik kecelakaan lalu lintas bulan April 2016 diilustrasikan pada Gambar 7 berikut ini (Korlantas, 2016).



Gambar 3.7. Statistik Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia periode April 2016  
Sumber: IRSMS (Integrated Road Safety Management System) Korlantas, 2016

Bila dilihat dari perkembangan transportasi perkotaan yang ada, kendaraan pribadi (mobil dan sepeda motor) tetap merupakan moda transportasi yang dominan, baik untuk daerah urban maupun suburban. Populasi pergerakan kendaraan pribadi yang begitu besar di daerah perkotaan ditambah dengan pola angkutan umum yang masih tradisional, menimbulkan biaya sosial yang sangat besar, pemborosan bahan bakar minyak, depresi kendaraan yang terlalu cepat, kecelakaan lalulintas, timbulnya stress, meningkatnya polusi udara dan kebisingan. Hal ini sejalan dengan pembangunan ekonomi dan makin bertumbuhnya jumlah masyarakat golongan menengah dan menengah atas di daerah perkotaan. Kenyamanan, keamanan, privacy, fleksibilitas pergerakan dan prestise merupakan beberapa faktor utama yang menyebabkan kendaraan pribadi tetap memiliki keunggulan sebagai moda transportasi, khususnya di daerah urban (Munawar, 2007).



Gambar 3.8. Populasi Sepeda Motor di Indonesia tahun 1987-2012  
 Sumber : BPS, 2013

Sepeda motor adalah moda transportasi yang paling diminati oleh masyarakat Indonesia. Populasinya terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan kebijakan yang longgar akan kepemilikan kendaraan bermotor. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang tercantum pada gambar 8 nampak bahwa peningkatan jumlah pengguna sepeda motor sangat konsisten bahkan dalam 10 tahun terakhir dari 2002-2012, peningkatan rata-rata mencapai 450%. Kondisi meningkatnya kepemilikan sepeda motor juga menyebabkan risiko kecelakaan lalu lintas semakin meningkat pula.

Beberapa faktor yang dapat mengakibatkan kecelakaan lalu lintas antara lain adalah tercampurnya penggunaan jalan dan tata guna lahan disekitarnya (*mixed used*) menciptakan adanya lalu lintas campuran (*mixed traffic*). Desain geometrik jalan yang tidak memenuhi syarat sangat potensial menimbulkan terjadinya kecelakaan, misalnya tikungan yang terlalu tajam, kondisi lapis perkerasan jalan yang tidak memenuhi syarat, dan rusaknya kondisi jalan. Pelanggaran persyaratan teknis maupun pelanggaran peraturan lalu lintas yang dilakukan oleh pengemudi juga dapat menimbulkan kecelakaan lalulintas. Penempatan serta pengaturan kontrol lalu lintas seperti, rambu lalu

lintas, marka jalan, pengatur arah yang kurang tepat dan minim dapat juga menimbulkan masalah kecelakaan lalu lintas (Muslim, 2013).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rahmadi (2011) menyatakan bahwa keberadaan pusat keramaian perkantoran, pertokoan, dan mal menimbulkan hambatan berupa kendaraan keluar masuk dan kendaraan berhenti. Kondisi inilah yang menyebabkan gangguan pada arus lalu lintas yang berdampak terjadinya kecelakaan lalu lintas. Penelitian ini menganalisis penyebab kecelakaan lalu lintas di daerah Duren Sawit, Jakarta dengan memperhatikan pola keruangan. Teknik analisis dalam ilmu rekayasa lalu lintas (*traffic engineering*) semakin berkembang dan memperhatikan lingkungan sekitarnya sebagai satu kesatuan yang utuh. Rahmadi (2011) membuat peta administrasi wilayah yang dikaji, memetakan persebaran kejadian kecelakaan lalu lintas sehingga diperoleh ruas jalan mana yang perlu dianalisis, kemudian pada tiap ruas jalan tersebut dihitung volume lalu lintas, kapasitas jalan, tingkat pelayanan jalan, hambatan samping (yaitu hambatan lalu lintas jalan karena adanya pusat keramaian) sehingga diperoleh peta kondisi arus lalu lintas, dan kemudian menghitung tingkat kecelakaan lalu lintas kemudian dipetakan. Langkah terakhir adalah melakukan *overlay* peta tingkat kecelakaan lalu lintas dengan peta kondisi arus lalu lintas. Hal ini menguatkan bahwa penyebab kecelakaan lalu lintas juga dapat disebabkan oleh kondisi lingkungannya, dalam hal ini yaitu jalan yang terletak di pusat-pusat keramaian.

Berdasarkan data dan fakta yang telah diuraikan sebelumnya banyak sekali faktor yang dapat menyebabkan kecelakaan lalu lintas. Berdasarkan Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Lalu Lintas di wilayah Perkotaan, Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas dan Angkutan Kota Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, menyatakan bahwa faktor penyebab kecelakaan biasanya diklasifikasikan identik dengan unsur – unsur sistem transportasi, yaitu pemakai jalan (pengemudi dan pejalan kaki), kendaraan, jalan dan lingkungan, atau kombinasi dari dua unsur atau lebih (Simanungkalit dan Aswad, 2012). Hal yang sama juga diungkapkan oleh Fachrurrozy (2000), yang mengklasifikasikan penyebab kecelakaan lalu lintas menjadi 4 faktor yaitu:

1. Faktor manusia

Faktor manusia yang dimaksud adalah pengemudi dan pejalan kaki sebagai pengguna jalan.

2. Faktor kendaraan

Kendaraan dapat menjadi faktor penyebab kecelakaan bila tidak dapat dikendalikan sebagai akibat kondisi teknis yang tidak laik jalan atau penggunaan yang tidak sesuai ketentuan, misalnya rem blong, kerusakan mesin, ban pecah, lampu kendaraan mati, *overload*, desain kendaraan yang kurang aman.

3. Faktor jalan

Lebar jalan, permukaan jalan, kelengkungan dan jarak pandang jalan dapat memberikan efek psikologis dan mempengaruhi kecepatan gerak pengemudi. Pada jalan yang lebar dan permukaan jalan yang halus, jarak pandang yang lapang dapat memberikan efek psikologis aman, sehingga membuat pengemudi cenderung meningkatkan kecepatan laju kendaraan.

4. Faktor lingkungan

Kondisi hujan dapat mengakibatkan kendaraan slip atau tergelincir, jalan yang berlubang dan tertutup genangan air hujan, hujan deras hingga mengurangi jarak pandang, angin kencang dan banyak lagi contoh kondisi cuaca tidak menguntungkan yang dapat menjadi penyebab kecelakaan. Peletakan lampu penerangan jalan tepat dan kekuatan penerangan yang cukup harus direncanakan dan diperhitungkan dengan tepat oleh *traffic engineer* agar dapat mereduksi kecelakaan lalu lintas. Penggunaan lahan di sekitar jalan juga turut mempengaruhi kejadian kecelakaan lalu lintas. Jalan yang terletak di pusat keramaian, misalnya *mall*, sekolah, pasar, daerah industri tentunya lebih rawan kecelakaan bila dibandingkan dengan jalan yang terletak di areal perumahan.

Dengan mengklasifikasikan faktor penyebab kecelakaan transportasi darat, akan dapat mempermudah penyusunan alternatif pemecahan masalah, sehingga peran transportasi darat sebagai urat nadi pembangunan Indonesia dapat terwujud.

## Penyelesaian Masalah

Sistem jaringan transportasi dapat dikatakan efektif dan efisien jika dapat memenuhi keselamatan pengguna, aksesibilitas tinggi, terpadu, kapasitas mencukupi, teratur, lancar dan cepat, mudah dicapai, tepat waktu, nyaman, tarif terjangkau, tertib, aman, rendah polusi, beban publik rendah dan utilitas tinggi. Untuk daerah perkotaan, masalah transportasi yang terjadi adalah bagaimana memenuhi permintaan jumlah perjalanan yang semakin meningkat, seiring dengan pertumbuhan penduduk dengan segala aktivitas khas daerah perkotaan tanpa menimbulkan permasalahan.

Sebagaimana telah diidentifikasi di bagian sebelumnya permasalahan transportasi darat di perkotaan antara lain adalah kemacetan, kekurangan lahan parkir, angkutan umum yang tidak "bersahabat", konstruksi jalan yang buruk, dan pelanggaran ketertiban lalu lintas. Permasalahan tersebut apabila tidak diatasi dengan baik angka kecelakaan lalu lintas di jalan raya kawasan perkotaan akan semakin meningkat.

Data dan informasi mengenai profil kejadian kecelakaan dapat menjadi dasar untuk menyusun kebijakan dalam meningkatkan pencegahan dan mengendalikan kejadian kecelakaan lalu lintas. Perlindungan sangat diperlukan bagi 3 (tiga) kelompok pengguna jalan yang sering menjadi korban, yaitu pejalan kaki, penumpang kendaraan umum (bis, minibus dan truk) dan pengendara sepeda motor. Agar lebih efektif, kebijakan keselamatan lalu lintas juga harus berdasarkan informasi dan data lokal dan di desain menurut kondisi sosial, politik, dan ekonomi. Pada negara berkembang kebijakan tersebut harus lebih memberikan perlindungan kepada masyarakat tidak mampu. Korban kecelakaan lalu lintas di negara berkembang banyak didominasi oleh masyarakat dengan tingkat ekonomi rendah dimana kondisi lalu lintasnya campuran (*mixed traffic*) dan tidak adanya perlindungan khusus bagi 3 jenis pengguna jalan (pejalan kaki, penumpang kendaraan umum dan pengendara sepeda motor) yang memiliki kerentanan tinggi (Nantulya dan Reich, 2002).

Secara nasional, dalam mengatasi masalah kecelakaan lalu lintas telah dilakukan secara melembaga mulai dari tingkat pusat hingga daerah. Pemerintah dituntut untuk menjadikan Keselamatan Jalan

ini menjadi prioritas nasional. Pada tahun 2013, Presiden Bambang Soesilo Yudhoyono telah mengeluarkan Instruksi Presiden RI No 4 tahun 2013 tentang Program Dekade Aksi Keselamatan Jalan sebagai bukti pelaksanaan Resolusi Perserikatan Bangsa-Bangsa Nomor 64/255 tanggal 10 Maret 2010 tentang *Improving Global Road Safety* melalui Program *Decade of Action for Road Safety 2011-2020* dan memperkuat koordinasi antar stakeholder di bidang keselamatan jalan. Selain itu Kampanye PBB "Membuat Jalan Aman" telah mendesak pemerintah, pelaku bisnis dan tokoh masyarakat untuk mendukung Dekade Aksi Keselamatan Jalan yang dicanangkan oleh PBB. Para ahli keselamatan jalan raya percaya bahwa, dengan tindakan yang tepat, hingga 5 juta jiwa akan bisa diselamatkan dan 50 juta cedera akibat kecelakaan akan dapat dicegah selama Dekade Aksi Keselamatan Jalan ini. Diharapkan terjadi pengurangan sekitar 50% perkiraan angka kematian kecelakaan global pada tahun 2020 nantinya (Korlantas, 2016).

Guna mewujudkan hal tersebut, pemangku kepentingan yang terkait dengan keselamatan jalan, yaitu Kementerian Perhubungan, Kementerian Pekerjaan Umum, Kementerian Perindustrian, Kementerian Riset dan Teknologi, Kementerian Kesehatan, Kementerian Pendidikan Nasional, Kementerian Komunikasi dan Informatika, Kementerian Dalam Negeri, Kementerian Keuangan, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi, Kementerian Lingkungan Hidup, Gubernur, Bupati/Walikota bersama Kepolisian Republik Indonesia bersama dengan masyarakat dan dunia usaha, harus memastikan bahwa program kerjanya mengutamakan keselamatan. Penyusunan dan pelaksanaan program dilakukan secara terkoordinasi dalam semangat kebersamaan dengan menghilangkan ego sektoral. Adapun target nasional yang ingin dicapai adalah menurunkan tingkat fatalitas korban kecelakaan lalu lintas sebesar 80% pada tahun 2035 yang diukur berdasarkan tingkat fatalitas per 10.000 kendaraan (indeks fatalitas). Pada tahun 2035, indeks fatalitas yang diinginkan sebesar 0,79, yang dicapai secara bertahap dalam periode 5 tahunan. Baseline data tahun 2010 indeks fatalitas sebesar 3,93 per 10.000 kendaraan (RUNK Jalan, 2010).

Program Dekade Aksi Keselamatan Jalan ini dituangkan dalam Rencana Umum Nasional Keselamatan (RUNK) Jalan 2011-2035 melibatkan seluruh stakeholder berpedoman kepada 5 (lima) Pilar Program Dekade Aksi Keselamatan Jalan yang meliputi:

1. Pilar I yaitu Manajemen Keselamatan Jalan, yang fokus kepada:
  - a. Penyelarasan dan Koordinasi Keselamatan Jalan;
  - b. Protokol Kelalulintasan Kendaraan Darurat;
  - c. Riset Keselamatan Jalan;
  - d. Surveilans Cedera (*Surveillance Injury*) dan Sistem Informasi Terpadu;
  - e. Dana Keselamatan Jalan;
  - f. Kemitraan Keselamatan Jalan;
  - g. Sistem Manajemen Keselamatan Angkutan Umum;
  - h. Penyempurnaan Regulasi Keselamatan Jalan;Pelaksanaan pilar I dikoordinasikan oleh Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, yang bertanggung jawab untuk mendorong terselenggaranya koordinasi antar pemangku kepentingan dan terciptanya kemitraan sektoral guna menjamin efektivitas dan keberlanjutan pengembangan dan perencanaan strategi keselamatan jalan pada level nasional, termasuk di dalamnya penetapan target pencapaian dari keselamatan jalan dan melaksanakan evaluasi untuk memastikan penyelenggaraan keselamatan jalan telah dilaksanakan secara efektif dan efisien.
2. Pilar II yaitu Jalan yang Berkeselamatan, yang fokus kepada:
  - a. Badan Jalan yang Berkeselamatan;
  - b. Perencanaan dan Pelaksanaan Pekerjaan Jalan yang Berkeselamatan;
  - c. Perencanaan dan Pelaksanaan Perlengkapan Jalan;
  - d. Penerapan Manajemen Kecepatan;
  - e. Menyelenggarakan Peningkatan Standar Kelaikan Jalan yang Berkeselamatan;
  - f. Lingkungan Jalan yang Berkeselamatan;
  - g. Kegiatan Tepi Jalan yang Berkeselamatan;Penyelenggaraan Pilar II dikoordinasikan oleh Menteri Pekerjaan Umum, yang bertanggung jawab untuk menyediakan infrastruktur

jalan yang lebih berkeselamatan dengan melakukan perbaikan mulai tahap perencanaan, desain, konstruksi dan operasional jalan.

3. Pilar III yaitu Kendaraan yang Berkeselamatan, yang fokus kepada:
  - a. Penyelenggaraan dan Perbaikan Prosedur Uji Berkala dan Uji Tipe;
  - b. Pembatasan Kecepatan pada Kendaraan;
  - c. Penanganan Muatan Lebih (*Overloading*);
  - d. Penghapusan Kendaraan (*Scrapping*);
  - e. Penetapan Standar Keselamatan Kendaraan Angkutan Umum;

Penyelenggaraan Pilar III dikoordinasikan oleh Menteri Perhubungan, yang bertanggung jawab untuk memastikan bahwa setiap kendaraan yang digunakan di jalan telah memenuhi standar keselamatan.
4. Pilar IV yaitu Perilaku Pengguna Jalan yang Berkeselamatan, yang fokus kepada:
  - a. Kepatuhan Pengoperasian Kendaraan;
  - b. Pemeriksaan Kondisi Pengemudi;
  - c. Pemeriksaan Kesehatan Pengemudi;
  - d. Peningkatan Sarana dan Prasarana Sistem Uji Surat Izin Mengemudi;
  - e. Penyempurnaan Prosedur Uji Surat Izin Mengemudi;
  - f. Pembinaan Teknis Sekolah Mengemudi;
  - g. Penanganan terhadap 5 (lima) Faktor Risiko Utama Plus;
  - h. Penggunaan Elektronik Penegakan Hukum;
  - i. Pendidikan Formal Keselamatan Jalan;
  - j. Kampanye Keselamatan;

Penyelenggaraan Pilar IV dikoordinasikan oleh Kepala Kepolisian Negara Republik Indonesia, yang bertanggung jawab untuk memperbaiki perilaku pengguna jalan melalui pendidikan keselamatan berlalu lintas, meningkatkan kualitas sistem uji surat izin mengemudi dan penegakan hukum di jalan serta mengembangkan sistem pendataan kecelakaan lalu lintas.
5. Pilar V yaitu Penanganan Pra dan Pasca Kecelakaan, yang fokus kepada:
  - a. Penanganan Pra Kecelakaan;
  - b. Penanganan Pasca Kecelakaan;

- c. Penjaminan Korban Kecelakaan yang Dirawat di Rumah Sakit Rujukan;
  - d. Pengalokasian Sebagian Premi Asuransi untuk Dana Keselamatan Jalan;
  - e. Riset Pra dan Pasca Kejadian Kecelakaan pada Korban.
- Penyelenggaraan Pilar V dikoordinasikan oleh Menteri Kesehatan, yang bertanggung jawab meningkatkan penanganan pra kecelakaan meliputi promosi dan peningkatan kesehatan pengemudi pada keadaan/situasi khusus dan penanganan pasca kecelakaan dengan Sistem Penanggulangan Gawat Darurat Terpadu (SPGDT).



Gambar 3.9. Koordinasi Lima Pilar Keselamatan Jalan  
 Sumber: Rencana Umum Nasional Keselamatan (RUNK) Jalan, 2010

Penerapan RUNK Jalan dilakukan oleh seluruh *stakeholder*, sebagai contohnya adalah yang dilakukan oleh Korlantas Polri. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia no 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Polisi Lalu Lintas bertanggung jawab atas keselamatan di jalan dan berlalu lintas termasuk di dalamnya pengumpulan, pemantauan, pengolahan dan penyajian data lalu lintas dan angkutan jalan serta penegakan hukum. Oleh karena itu, sumber data kecelakaan lalu lintas di jalan yang handal dan efisien merupakan hal yang penting bagi Polisi Lalu Lintas untuk memenuhi tanggung jawabnya. Untuk mewujudkannya Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia (Korlantas Polri) membuat Sistem Manajemen Keselamatan Jalan Terpadu (*Integrated Road Safety Management System/ IRSMS*). Evaluasi statistik yang akurat

dari intervensi oleh Sistem Manajemen Keselamatan Jalan Terpadu (IRSMS) telah cukup terbukti berguna dalam melacak akan kemajuan sehingga diharapkan nantinya akan membuat jalanan menjadi lebih aman.

Kementerian Perhubungan mengadakan Pekan Nasional Keselamatan Jalan pada tanggal 24 – 30 Oktober 2016 untuk mensosialisasikan gerakan melaksanakan Dekade Aksi Keselamatan Jalan. Kampanye ini diharapkan membantu meningkatkan kesadaran publik tentang permasalahan keselamatan lalu lintas jalan. Program yang dilakukan kemenhub antara lain adalah Pembangunan ZoSS (Zona Selamat Sekolah), Program RASS (Rute Aman Selamat Sekolah) dan Program LRK (Lokasi Rawan Kecelakaan).

Selain tindakan penyelesaian masalah kecelakaan lalu lintas dilakukan secara nasional dan sektoral, pemecahan masalah kecelakaan lalu lintas juga dapat dilakukan dengan melakukan analisis kecelakaan di suatu daerah yang sifatnya lokal spesifik. Peran ini banyak dilakukan oleh kalangan akademisi melalui penelitian dan sumbangsih ide mengenai sistem transportasi yang aman dan berkelanjutan.

Misalnya saja sepertipada penelitian yang dilakukan Simanungkalit dan Aswad (2012), untuk menurunkan kejadian kecelakaan di ruas Jalan Sisingamangaraja Kota Medan direkomendasikan adanya pemeliharaan jalan yang baik pada perkerasan jalan sehingga meminimalisir permukaanjalan yang berlubang atau bergelombang, penerangan jalan yang cukup untuk memberikan pencahayaan di malam hari dan kelengkapan fasilitas jalan (marka, median, bahu jalan serta rambu-rambu lalu lintas).

Di tingkat kota, terutama kota besar, permasalahan kecelakaan lalu lintas dapat diatasi melalui banyak program, antara lain adalah:

- a. Melakukan koordinasi dengan semua stakeholder terkait di lingkungan kota sehingga dapat saling bersinergi dalam mewujudkan keselamatan di jalan raya.

Koordinasi merupakan salah satu kata yang banyak digunakan dikalangan pemerintahan, namun kenyataannya perwujudan koordinasi di Indonesia masih sangat sulit. Hal ini disebabkan karena egosektoral yang sangat kental dikalangan penyelenggara pemerintahan. Oleh karena itu, dalam mewujudkan Keselamatan

Jalan Raya, pemerintah kota harus melakukan upaya koordinasi antar Unit Pelaksana Teknis Kedinasan di lingkungannya. Agar UPT dapat saling mensinergikan upayanya dalam mewujudkan Keselamatan Jalan Raya, pemerintah kota dapat mengadopsi RUNK Jalan 2011-2035 yang sudah memiliki semangat koordinasi antar stakeholder yang terlibat.

- b. Meningkatkan efisiensi dan efektivitas penyelenggaraan transportasi perkotaan berbasis angkutan massal.

Transportasi perkotaan berbasis angkutan massal yang aman dan nyaman harus terus diupayakan oleh pemerintah kota. Transportasi umum perkotaan di kota besar Indonesia sangat beragam. Masing-masing kota memiliki ciri khasnya. Hal ini perlu ditangkap oleh pemerintah kota, sehingga tidaklah perlu untuk meniru sistem transportasi kota lain yang dianggap baik hingga ke seluruh komponen pembentuknya. Angkutan umum yang memiliki ciri khas daerah dapat menjadi daya tarik tersendiri yang menguntungkan bagi sektor pariwisata kota tersebut. Selain itu seluruh masyarakat dapat berkontribusi aktif dalam mewujudkan transportasi di kotanya. Sebagai contoh keberadaan becak di kota-kota besar di Indonesia seharusnya perlu dilestarikan. Jika diamati bentuk becak di kota-kota besar di Indonesia cukup bervariasi. Gambar 10 menyajikan beberapa bentuk becak dari kota Jogja, Aceh dan Surabaya.



Gambar 3.10. Variasi Bentuk Becak di Beberapa Kota Besar Indonesia  
Sumber: antarafoto.com; kompasiana.com; latihanmotret.wordpress.com

Jenis angkutan umum becak dapat menjangkau dari rumah ke rumah dengan jalan akses yang kecil. Angkutan umum ini sebaiknya dirancang untuk jarak dekat dan menjadi *feeder* bagi angkutan perkotaan yang lebih besar, misalnya mobil angkot. Sekarang juga berkembang jenis angkutan umum berupa ojek sepeda motor baik yang dikelola secara konvensional ataupun yang dapat dipesan menggunakan sistem *on-line*. Untuk angkutan umum massal dapat berupa mobil angkutan kota, minibus dan bus kota. Pembinaan bagi para pengemudi angkutan umum yang bersifat informal misalnya becak dan mobil angkutan kota dapat dilakukan dengan menginisiasi pembentukan paguyuban pengemudi. Melalui paguyuban tersebut pemerintah dapat melakukan pengawasan dan pembinaan lebih mudah. Melalui paguyuban, para pengemudi angkutan umum informal akan lebih terwadahi aspirasinya dan dapat turut berperan aktif mewujudkan kenyamanan dan keamanan berlalu lintas di kotanya. Bagi angkutan massal yang dikelola oleh perusahaan swasta ataupun pemerintah, tentunya akan lebih mudah melakukan pembinaan terhadap pengemudinya, misalnya dengan memberikan advokasi pada para pimpinan perusahaan terkait untuk membuat prosedur berkendara yang aman yang mengikat pada seluruh karyawannya.

Melakukan uji layak jalan bagi kendaraan umum juga perlu dilakukan, sehingga faktor penyebab kecelakaan akibat kondisi kendaraan yang tidak aman dapat dikendalikan. Uji emisi kendaraan umum dapat dilakukan, sehingga dapat diperoleh gambaran perawatan kendaraan umum yang dilakukan. Semakin kendaraan umum dirawat dengan baik, maka kendaraan tersebut semakin efisien, tidak mudah rusak dan pada akhirnya dapat memberikan kenyamanan dan keamanan bagi masyarakat. Sungguh tidak mengenakkan jika menumpang kendaraan umum, mobil angkutan kota misalnya, kemudian mobil angkutan kota tersebut mogok di tengah jalan dikarenakan perawatan yang minimal dari si pengemudi. Bahkan ekstrimnya, kejadian rem blong saat kendaraan umum beroperasi dimana kendaraan umum tersebut tidak dilakukan perawatan dan pengecekan sebelum digunakan akan dapat menimbulkan kecelakaan yang memakan

korban masyarakat pengguna angkutan umum dan pengguna jalan lainnya.

c. Meningkatkan tertib lalu lintas dan keselamatan pengguna jalan raya

Pemerintah kota dapat menggandeng Kepolisian Resor Kota (Polresta) untuk penegakan penyelenggaraan ketertiban lalu lintas. Melalui berbagai program dari yang sifatnya himbauan melalui pemasangan poster di kawasan tertib lalu lintas, kampanye, penyuluhan di berbagai lapisan masyarakat dapat dilakukan. Penyuluhan pada siswa setingkat SMA/SMK dapat dilakukan bersama antara UPT Dinas Pendidikan, Polresta dan kalangan Perguruan Tinggi. Hal ini sangat perlu mengingat korban kecelakaan lalu lintas sebagian besar berusia remaja dan dewasa muda sebagaimana telah diulas di bagian sebelumnya pada makalah ini. Subtansi penyuluhan terkait dengan peraturan lalu lintas, *safety driving* dan *eco driving*. Metode penyuluhan yang dilakukan hendaknya tidak bersifat satu arah, dimana siswa seolah hanya dijadikan objek penyuluhan. Sebaiknya dilakukan penyuluhan yang dapat membuat siswa berperan aktif, misalnya dengan menggunakan metode permainan atau *game* yang inovatif, FGD (*focus group discussion*), penghargaan bagi siswa yang memiliki pemahaman terbaik dan lain sebagainya. Penyuluhan juga dapat dilakukan secara TOT (*training of trainee*) oleh *peer group*, semisal penyuluhan dilakukan oleh mahasiswa yang telah dilatih oleh pihak kepolisian, kemudian mahasiswa yang telah terlatih tersebut diberikan tantangan untuk dapat memberikan penyuluhan dengan metode yang inovatif kepada siswa setingkat SMA. Dengan demikian, kelompok yang memahami peraturan lalu lintas semakin banyak, disamping juga diperoleh generasi yang peduli dan kreatif. Selain langsung kepada siswa, penyuluhan pada orang tua siswa juga diperlukan. Tidak sedikit orang tua yang memberikan ijin kepada anaknya untuk mengendarai sepeda motor, padahal yang sebenarnya anaknya belum cukup umur untuk memperoleh Surat Izin Mengemudi (SIM). Dengan alasan yang bervariasi mulai dari tidak ada kendaraan umum sebagai alat transportasi anak ke sekolah, tidak dapat mengantar ke sekolah karena kesibukan hingga tidak tahan terhadap renekan putra-

putrinya untuk memiliki sepeda motor, sudah seharusnya orang tua menyadari bahwa dengan mengizinkan anak mengemudikan sepeda motor tanpa SIM akan dapat memperbesar risiko kecelakaan bagi anaknya. Di kota Surabaya, beberapa tahun yang lalu, pihak kepolisian menggandeng media massa untuk memberikan *reward* bagi pengguna jalan raya yang tertib lalu lintas melalui Program Klik Jawa Pos. Bagi pengguna jalan raya terutama pengendara sepeda motor yang taat menggunakan helm secara benar, mengenakan helm bertali dan dipasang hingga berbunyi "Klik" difoto secara tersembunyi oleh pihak media, kemudian ditayangkan di media massa untuk diberikan penghargaan. Program-program semacam ini dapat membangkitkan kesadaran pengendara sepeda motor untuk lebih *aware* terhadap keselamatan diri saat berkendara di jalan.

- d. Meningkatkan inovasi pengembangan teknologi transportasi perkotaan yang ramah lingkungan.

Pencegahan kecelakaan lalu lintas dapat pula dilakukan dengan melakukan pengembangan sistem transportasi yang ramah lingkungan. Sistem transportasi yang ramah lingkungan melibatkan seluruh sektor untuk bersinergi sesuai dengan peran masing-masing dengan memperhatikan kondisi lingkungan jalan. Ekosistem perkotaan yang merupakan ekosistem buatan manusia perlu ditata menjadi lingkungan perkotaan yang berkelanjutan. Komposisi antara hunian, area perdagangan dan perkantoran, area hiburan dan pariwisata, area layanan publik, area industri dan pergudangan ditata sedemikian rupa sehingga kondisi *mixed used* dan *mix traffic* dapat dihindari. Sebagai ilustrasi jika suatu wilayah terdapat pabrik, perumahan, pasar dan pergudangan dikatakan bahwa tata guna lahannya tidak tertata dengan baik (kondisi *mixed used*), hal ini menyebabkan kondisi lalu lintas di daerah tersebut menjadi semrawut. Jalanan akan dilalui oleh berbagai jenis kendaraan (*mix traffic*). Truk besar yang mengangkut barang keluar masuk pabrik dan pergudangan akan bercampur dengan kendaraan pribadi berupa mobil penumpang dan sepeda motor. Belum lagi jika terdapat kendaraan umum berupa becak, ojek dan mobil angkutan kota yang biasa mangkal di area pasar dan industri pada jam-jam tertentu. Hal ini menyebabkan daerah tersebut

menjadi daerah *black spot* atau rawan terjadi kecelakaan lalu lintas. Belum lagi jika kondisi jalan yang dilalui tidak dibangun untuk dilewati kendaraan berat, jalan akan mudah rusak, bergelombang dan pada akhirnya berlubang, tentu saja kondisi fisik jalan seperti ini akan mengakibatkan pengendara sepeda motor mudah terlibat kecelakaan. Dengan adanya pengaturan tata kota yang baik dan melakukan zonasi wilayah, akan memudahkan pengaturan lalu lintas dan pembangunan jalan akan lebih efisien sesuai dengan peruntukannya, sehingga kejadian kecelakaan akan dapat diminimalkan. Dengan keteraturan zonasi wilayah, kemacetan akan semakin kecil terjadi, pemakaian bahan bakar cenderung lebih hemat, terlebih jika transportasi massal yang tersedia aman dan nyaman, dan pengendara menguasai cara berkendara yang hemat energi, dampak polusi udara di lingkungan perkotaan akibat sumber bergerak akan dapat berkurang. Pembangunan jalan kota sebaiknya juga ditunjang dengan pembangunan drainase di kiri dan kanan jalan yang baik untuk menghindari genangan air di jalan, selain itu juga perlu dilengkapi dengan jalur hijau sehingga asap kendaraan dapat terserap oleh tumbuhan dan mengurangi polusi udara perkotaan.

## **Penutup**

Dalam mempertahankan dan menjaga keberlangsungan hidup manusia diperlukan suatu pendekatan berlogika untuk menentukan strategi umum untuk menentukan beberapa sasaran dan tujuan hidup tertentu dan kemudian menentukan langkah untuk mencapainya. Tujuan hidup yang wajar manusia adalah menyesuaikan keseimbangan antara populasi manusia dengan lingkungannya. Tujuan berikutnya adalah secara sistematis menghindari kegiatan yang memperbesar simpangan yang terjadi dalam lingkungan dari kondisi keseimbangan yang dimiliki oleh ekosistem tersebut. Prinsip ekologi dapat digunakan untuk pencegahan dan pengurangan risiko kecelakaan lalu lintas di daerah kota besar. Keseimbangan ekosistem perkotaan, dalam hal ini sistem transportasi jalan di perkotaan dapat dirancang sedemikian rupa sehingga tercapai kondisi seimbang. Dengan memperhatikan kondisi lingkungan perkotaan, yaitu dengan cara menata penggunaan lahan perkotaan yaitu membagi zonasi penggunaan wilayah, akan

mempermudah pengaturan lalu lintas jalan, baik dari pengaturan kendaraan yang lewat, konstruksi jalan, *pedestrian*, peletakan rambu lalu lintas dan pemeliharaan jalan. Selain pengaturan lingkungan dan jalan juga diperlukan penyuluhan kepada pengguna jalan raya. Materi penyuluhan antara lain adalah peraturan lalu lintas, *safety driving* dan *eco driving*, sehingga dapat tercipta lalu lintas jalan yang aman, nyaman dan ramah lingkungan.

### **Daftar Pustaka**

- Bappenas. 2012. Kajian Evaluasi Pembangunan Bidang Transportasi di Indonesia. Kedeputian Evaluasi Kinerja Pembangunan, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas).
- Bennet, M.R.dan Doyle, P. 1997.Environmental Geology: Geology and the Human Environment. John Wiley & Son Inc.
- Campbell, N. dan J. Reece. 2005. Ecosytems hand out. Pearson Education Inc., Publishing as Benjamin Cummings.
- Cengiz, C.2013. Urban Ecology, Advances in Landscape Architecture, Murat Ozyavuz (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/56314. Available from: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-landscape-architecture/urban-ecology>. Disitasi tanggal 4 Desember 2016.
- Environmental Encyclopedia. 2016. Urban Ecology.Disitasi tanggal 4 Desember 2016 dari Encyclopedia.com: <http://www.encyclopedia.com/environment/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/urban-ecology>.
- Fachrurrozy. 2000. Keselamatan Lalu Lintas. Diktat Mahasiswa UGM : Yogyakarta
- Handayani, 2012. Perkembangan transportasi di Indonesia. Disitasi tanggal 4 Desember 2016 dari :<http://ayoraihprestasi.blogspot.co.id/2012/11/makalah-perkembangan-transportasi-di.html>.
- Instruksi Presiden RI No 4 tahun 2013 tentang Program Dekade Aksi Keselamatan Jalan

- Koran Sindo, 2015. Pengendara motor paling terancam. Diakses tanggal 6 Desember 2016: <http://koran-sindo.com/news.php?r=0&n=0&date=2015-10-25>.
- Korlantas Polri. 2016. Data Laka di Indonesia triwulan April-Juni 2016. Diakses tanggal 6 Desember 2016 : <http://www.korlantas-irsms.info/graph/accidentData>.
- Kristanto, P. 2004. Ekologi Industri. Edisi ke 2. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Linggiallo, M. Budi T, Ratag, dan R.C.Sondakh. 2015. Faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian kecelakaan lalu lintas pada pengendara sepeda motor yang dirawat di BLU RSUP Prof. Dr. R.D Kandou Manado Tahun 2014. Diakses tanggal 6 Desember 2016 : [fkm.unsrat.ac.id/wp-content/uploads/2014/11/melsy.pdf](http://fkm.unsrat.ac.id/wp-content/uploads/2014/11/melsy.pdf)
- Marten, G.G. 2001. Human Ecology - Basic Concepts for Sustainable Development. Earthscan Publication. Available from:<http://gerrymarten.com/human-ecology/chapter05.html#p3>. Disitasi tanggal 4 Desember 2016.
- Munawar, A. 2004. Manajemen Lalu lintas Perkotaan. Yogyakarta: Beta Offset.
- Munawar, A. 2007. Pengembangan Transportasi yang Berkelanjutan. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- Muslim, V.Z., J. A. Timboeleng, T. K. Sendow, F. Jansen. 2013. Studi peningkatan keselamatan transportasi jalan raya (Studi kasus ruas jalan arteri Kota Bitung). *Jurnal Sipil Statik* Vol.1 No.2, Januari 2013, hal:133-140.
- Nantulya, V.N. dan M.R. Reich. 2002. The neglected epidemic: road traffic injuries indeveloping countries. *BMJ* Volume 324:1139-1141. Available from [bmj.com](http://bmj.com).
- Pomuri, M.E., W.B.S. Joseph, dan B.J. Kepel. 2014. Faktor-faktor Risiko terjadinya kecelakaan lalu lintas sepeda motor pada pasien di BLU RSUP Prof. Dr. R. D. Kandau Kota Manado tahun 2014. Universitas Sam Ratulangi Manado. Tersedia

- di [fkm.unsrat.ac.id/wp-content/uploads/2015/.../Jurnal-Fix-Effendi.pdf](http://fkm.unsrat.ac.id/wp-content/uploads/2015/.../Jurnal-Fix-Effendi.pdf). Disitasi tanggal 4 Desember 2016.
- Rahmadi, S. 2011. Kecelakaan Lalu Lintas di Kecamatan Duren Sawit Jakarta Timur. *Skripsi*. FMIPA Universitas Indonesia.
- RUNK Jalan, 2010. Rencana Umum Nasional Keselamatan Jalan 2011-2035. Disitasi tanggal 4 Desember 2016 dari :[http://perpustakaan.bappenas.go.id/lontar/file?file=digital/117404-\[\\_Konten\\_\]Konten%20C7887.pdf](http://perpustakaan.bappenas.go.id/lontar/file?file=digital/117404-[_Konten_]Konten%20C7887.pdf)
- Salam on-line.com. 2012. Polusi udara kian mengancam, masker solusinya? Disitasi tanggal 4 Desember 2016 dari :<https://www.salam-online.com/2012/06/polusi-udara-menggila-masker-solusinya.html>.
- Simanungkalit, H.M.T.R.P. dan Y. Aswad. 2012. Analisa faktor penyebab kecelakaan lalu lintas di ruas Jalan Sisingamangaraja (STA 00+000 – STA 10+000) Kota Medan. Disitasi tanggal 4 Desember 2016 dari <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=164218>
- Singh, S.K.A., I.S Nasution dan L. Hayati. 2015. Angka Kejadian Korban Kecelakaan Lalu Lintas Berdasarkan Hasil Pemeriksaan Luar Visum Et Repertum di RSUP Dr. MohammadHoesin Palembang Tahun 2011-2013. *MKS*, Th. 47, No. 2, April 2015 : 105-109.
- Soemarwoto, O. 2004. *Ekologi, Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Edisi ke 10. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Wikipedia, 2016. Transportasi. Disitasi tanggal 2 Desember 2016 :<https://id.wikipedia.org/wiki/Transportasi>.
- Yuono, T., L.D. Syahfitri, Gyarti, dan I.R. Ningtyas. 2015. *eBiologi*. Disitasi tanggal 2 Desember 2016 :<http://www.ebiologi.com/2015/06/pengertian-ekosistem-dan-macam-macam.html>

## Bab 4.

# *Global Warming dan Climate Change* Hubungannya dengan Penyakit Malaria

Maria Florentina Nining Kosad

Emi Kosvianti

Sugeng Mashudi

### **Pendahuluan**

*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007)* menyebutkan bahwa rata-rata kenaikan suhu permukaan bumi secara global rata-rata meningkat 0,6°C sejak 1850 dan peningkatan tinggi permukaan laut selama abad 20 meningkat dengan kisaran 1 sampai 2 mm per tahun. Demikian juga curah hujan mengalami peningkatan di lintang tinggi dan penurunan di lintang rendah. Perubahan iklim yang sedang berlangsung diprediksi akan terus mengalami peningkatan suhu, curah hujan, dan penguapan (*UN Scientific Expert Group on Climate Change & Sustainable Development, 2007*). Perubahan iklim merupakan salah satu fenomena alam yang terjadi sejak lama. Namun masalah ini mulai menyedot perhatian masyarakat global dengan adanya hasil kajian *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* yang menyatakan bahwa pemanasan global yang terjadi saat ini erat kaitannya dengan aktivitas manusia sejak pertengahan abad ke-20 (IPCC, 2007).

Biosfer adalah bagian luar dari planet Bumi, mencakup udara, daratan, dan air, yang memungkinkan kehidupan dan proses biotik berlangsung. Dalam pengertian luas menurut geofisiologi, biosfer adalah sistem ekologis global yang menyatukan seluruh makhluk hidup dan hubungan antar mereka, termasuk interaksinya dengan

unsur litosfer (batuan), hidrosfer (air), dan atmosfer (udara) Bumi. Bumi hingga sekarang adalah satu-satunya tempat yang diketahui yang mendukung kehidupan. Biosfer dianggap telah berlangsung selama sekitar 3,5 milyar tahun dari 4,5 milyar tahun usia Bumi.

Biosfer merupakan lapisan tipis, hanya 9.000 meter di atas permukaan bumi, beberapa meter di bawah permukaan tanah, dan beberapa ribu meter di bawah permukaan laut. Biosfer merupakan organisasi kehidupan yang sangat kompleks dan hanya dijumpai di planet Bumi dalam Tata Surya, bahkan sampai saat ini belum ditemukan adanya kehidupan di planet lain seperti di bumi.

*Global Warming* menyebabkan melelehnya es di kutub yang menaikkan tinggi permukaan air laut kemudian menyebabkan berkurangnya luas daratan, kekacauan waktu panen beberapa komoditi pertanian, dan berbagai macam peristiwa buruk lain yang berhubungan dengan suhu bumi. Berbagai macam penyakit infeksi telah lama diketahui ada kaitannya dengan suhu sehingga fluktuasi kejadian dan persebarannya dapat dimonitor dengan menggunakan fluktuasi perubahan cuaca terkait suhu udara. Tidak mengherankan jika isu *global warming* dan perubahan iklim juga dikaitkan dengan temuan-temuan perubahan persebaran penyakit infeksi yang disebabkan oleh parasit.

Salah satu gejala pemanasan global yang dapat kita lihat antara lain terjadinya ketidakpastian batas antar musim hujan dan musim kemarau. Suhu udara yang semakin panas, kemarau yang sangat panjang atau curah hujan yang sangat tinggi menyebabkan berbagai bencana seperti banjir dan longsor. Perubahan iklim tersebut juga menimbulkan dampak di berbagai bidang kehidupan manusia, dan menimbulkan ancaman terhadap upaya pembangunan yang dilakukan termasuk dalam bidang kesehatan. Perubahan suhu, kelembaban dan kecepatan angin dapat meningkatkan populasi, memperpanjang umur, dan memperluas penyebaran vektor (hewan pembawa penyakit tertentu). Nyamuk merupakan contoh vektor yang terpengaruh oleh perubahan iklim dunia. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah kasus penyakit bawaan nyamuk, seperti malaria, demam berdarah Dengue (DBD), Schistosomiasis, Filariasis, dan pes (Situmorang, *et.al*; 2012). Pemanasan global telah memperluas wilayah bersuhu hangat di lintang tinggi dan dataran tinggi tropis, pertanyaan umum

yang selalu tersirat dikedepankan dalam kajian suhu dan penyakit malaria adalah: Apakah ada kaitan antara pemanasan global yang sedang terjadi dengan perubahan sebaran penularan penyakit malaria? Review ini ditulis berdasarkan hasil kajian para ahli di bidangnya yang telah dipublikasikan. Penulis menarik benang merahnya kemudian disimpulkan sebagai jawaban dari pertanyaan di atas.

### **Definisi Perubahan Iklim dan Pemanasan Global**

Pemanasan global (*global warming*) adalah proses meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi (Budiman, 2014). Selama kurun waktu 100 tahun terakhir, suhu rata-rata permukaan bumi telah mengalami peningkatan sebesar  $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$  ( $1,33^{\circ}\text{F} \pm 0,32^{\circ}\text{F}$ ). Kesimpulan yang diambil oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), yang telah disepakati oleh setidaknya 30 badan ilmiah dan akademik yang tergabung dalam negara-negara G8, bahwa peningkatan suhu rata-rata global yang terjadi sejak pertengahan abad ke-20 ini kemungkinan dipicu oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia, meskipun disisi lain hal ini masih diperdebatkan oleh beberapa ilmuwan.

### **Penyebab Pemanasan Global**

Beberapa hal yang dapat menjadi penyebab terjadinya pemanasan global telah dikemukakan oleh beberapa ilmuwan, antara lain; efek rumah kaca dan beberapa proses umpan balik yang dihasilkannya. Panas bumi sebagian besar berasal dari matahari. Sebagian besar energi yang berbentuk radiasi gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Ketika energi ini sampai di permukaan bumi kemudian berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Sebagian panas tersebut akan di serap oleh permukaan bumi dan sebagian lainnya akan dipantulkan kembali. Sebagian panas ini berwujud radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar. Namun sebagian panas terperangkap di atmosfer bumi akibat penumpukan gas rumah kaca antara lain, uap air, karbon dioksida, sulfur dioksida, dan metana yang menjadi perangkap gelombang radiasi.

Gas ini akan menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi dan akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi. Keadaan ini terus terjadi dan meningkatkan suhu

rata-rata tahunan bumi. Gas-gas tersebut berfungsi sebagai gas dalam rumah kaca. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi gas ini di atmosfer maka semakin banyak pula panas yang terperangkap di bawahnya. Pada dasarnya, efek rumah kaca ini sangat dibutuhkan untuk menjaga suhu bumi tetap berada dalam kondisi hangat.

Indonesia termasuk salah satu negara penghasil gas rumah kaca terbesar ketiga di dunia. Emisi gas rumah kaca tersebut sebagian besar dihasilkan oleh aktivitas manusia melalui penebangan hutan, pembakaran, degradasi lahan terbuka hijau (Measey; 2010).

### **Dampak Pemanasan Global**

Meningkatnya suhu global diperkirakan akan menyebabkan perubahan yang lain seperti naiknya permukaan air laut, meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi. Selain itu, pemanasan global juga berdampak pada hasil pertanian, hilangnya gletser dan punahnya berbagai jenis hewan. Beberapa hal yang masih menjadi perbincangan para ilmuwan adalah mengenai jumlah pemanasan serta perubahan yang terjadi tersebut akan bervariasi dari satu daerah dengan daerah lain.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim berdampak pada kesehatan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung (WHO, 2003; McMichael dkk, 2006; UNDP Indonesia, 2007; Achmadi, 2008). Beberapa dampak langsung yang dapat ditimbulkan berupa kematian dan kesakitan seperti *heat stroke*, *frozenbite*, *sunburn*, dan *stress*. Sementara itu, dampak lainnya bencana seperti banjir dan tanah longsor juga dapat menimbulkan cedera dan kematian. Dampak tidak langsung dari pemanasan global menyebabkan perubahan lingkungan yang pada akhirnya berdampak pada pola penyebaran penyakit, seperti malaria.

Perubahan suhu, kelembaban dan kecepatan angin juga menyebabkan peningkatan populasi, perpanjangan umur dan perluasan daerah penyebaran vektor seperti nyamuk dan tikus sehingga terjadi peningkatan jumlah kasus penyakit menular. Beberapa dampak negatif dari perubahan iklim juga sudah dirasakan oleh masyarakat Indonesia, seperti peningkatan suhu, perubahan curah hujan, permukaan air laut yang semakin naik, ancaman ketahanan pangan, berbagai ancaman

terhadap kesehatan, ekonomi dan masyarakat miskin serta lingkungan hidup (Measey; 2010).

## **Penyakit Malaria**

Istilah malaria diambil dari dua kata bahasa Italia, yaitu mal (buruk) dan area (udara) atau udara buruk karena dulu terdapat di daerah rawa-rawa berbau busuk. Penyakit malaria merupakan salah satu penyakit yang penularannya melalui gigitan nyamuk anopheles betina. Penyebab penyakit malaria adalah *genus plasmodia family plasmodiidae*.

Malaria merupakan masalah kesehatan penting di dunia. Secara umum terdapat 4 jenis malaria, yaitu: *tropika*, *tertiana*, *ovale* dan *quartana*. Di dunia terdapat lebih dari 1 juta orang yang meninggal karena penyakit ini (Dirjen P2PI; 2011 dalam Arsin; 2012)

Adanya jarak dari distribusi penyakit dan aktivitas musiman adalah hal yang sensitif terhadap faktor iklim, sesuai dengan kemampuan kapasitas lokal dalam mengendalikan penyakit. Pada daerah endemik dimana terjadi penularan secara regular pada musim yang panjang, *fatality rate* terjadi pada anak-anak yang belum berkembang imunitasnya terhadap penyakit (Caminadea *et al.* 2013).

Lebih lanjut Caminadea *et al.* (2013), menjelaskan bahwa, pada daerah epidemik dimana penularan malaria terjadi dalam waktu yang singkat atau secara sporadis dalam bentuk epidemi biasanya menyebabkan jumlah kematian yang tinggi pada semua kategori umur. Mengacu pada program eradikasi malaria yang diluncurkan oleh WHO pada tahun 1950an, sebanyak 79 negara tereliminasi malaria. Sebagian besar kemajuan tersebut tergantung pada variabilitas dari input yang berbeda dan metode dalam estimasi dampak. Malaria merupakan epidemik tinggi di Eropah Utara-Tengah, Rusia Utara, Australia utara, dan Amerika Utara. Terjadi penularan yang stabil di Mississippi Valley (AS), Amerika Tengah dan Selatan, Afrika Utara, India, Malaysia, Indonesia, China dan selebihnya di sepanjang Timur Tengah dan Rusia Selatan-Tengah.

Sejalan dengan peta distribusi terbaru yang dibuat untuk parasit *Plasmodium Falciparum*. Distribusi secara kontemporer saat ini terbatas pada daerah tropis, dan terjadi penurunan endemisitas

malaria yang diamati di seluruh dunia, terutama karena adanya intervensi manusia. Malaria sudah tereliminasi di eropa, Amerika, Rusia, sebagian besar Cina, dan Australia yang secara signifikan terjadi penurunan di Amerika tengah dan selatan dan India dan mulai merambah ke wilayah Afrika (Caminadea *et al.* 2013). Studi menunjukkan bahwa efek perubahan iklim yang paling signifikan hanya terbatas pada daerah tertentu (dataran tinggi di Afrika dan bagian dari Amerika Selatan dan Asia Tenggara); sedangkan di daerah lain perubahan iklim cenderung tidak berdampak atau berdampak lebih rendah pada malaria karena faktor sosial ekonomi lainnya.

Di Indonesia malaria dapat berjangkit di daerah dengan ketinggian 1.800 m di atas permukaan laut. Spesies yang paling banyak dijumpai adalah *plasmodium falciparum* dan *plasmodium vivax*. *Plasmodium malariae* dijumpai di Indonesia bagian timur, sedangkan *plasmodium ovale* pernah ditemukan di Papua dan Nusa Tenggara Timur. Walaupun ditularkan oleh nyamuk, penyakit malaria sebenarnya merupakan suatu penyakit ekologis. Air tergenang dan udara panas masing-masing diperlukan untuk pembiakan nyamuk menunjang endemisitas penyakit malaria (Eding, 2007).

#### **i). Penyebab Malaria**

Malaria disebabkan oleh protozoa dari genus plasmodium, yang selain menginfeksi manusia juga menginfeksi binatang seperti golongan burung, reptil dan mamalia. Parasit ini tidak dapat hidup sendiri tetapi harus mendapat makanan dari organisme lain untuk hidup dan berkembang (Kementerian kesehatan RI, 2011).

Plasmodium terdiri dari 4 spesies:

- a. *Plasmodium falciparum* menyebabkan malaria tropika (Malignan malaria) , malaria berat / malaria otak yang fatal, gejala serangannya timbul berselang setiap dua hari (48 jam) sekali.
- b. *Plasmodium vivax* menyebabkan malaria tertiana (Benigna malaria), gejala serangannya timbul berselang setiap tiga hari ( 72 jam ) sekali.
- c. *Plasmodium malariae* menyebabkan malaria Quartana. Gejala serangannya timbul berselang setiap empat hari sekali.

- d. *Plasmodium Ovale*. Jenis ini jarang sekali dijumpai di Indonesia, umumnya banyak di Afrika. Gejala paroksismal berulang pada interval sekitar 48 jam.

Baru-baru ini ditemukan 1 jenis plasmodium yang secara mikroskopis menyerupai *Plasmodium malariae* yaitu *plasmodium knowlesi* ditemukan di Kalimantan (Kementerian Kesehatan RI, 2011 : 12). Didokumentasikan beberapa malaria monyet yang didapat secara alami, tidak jelas bagaimana penyebaran malaria ini dapat terjadi (Rudolph, 2008: 847 ). *Plasmodium Falciparum*, atau malaria tertian maligna, menimbulkan paling banyak komplikasi berat dan bertanggung jawab untuk hampir semua kematian (Rudolph, 2008: 849).

Seorang penderita dapat terinfeksi oleh lebih dari satu jenis plasmodium. Infeksi demikian disebut infeksi campuran (*Mix infection*). Infeksi campuran biasanya terjadi di daerah yang tinggi angka penularannya (Rampengan, 2007: 191).

#### **ii). Vektor Malaria**

Parasit malaria mempunyai siklus hidup yang rumit dan membutuhkan inang yaitu manusia dan nyamuk *anopheles* betina untuk menyelesaikan siklus hidupnya. Manusia tertular malaria oleh gigitan nyamuk yang terinfeksi parasit malaria. Pada saat nyamuk betina menggigit dia memasukkan air liurnya yang mengandung parasit ke dalam peredaran darah di dalam tubuh manusia dan selanjutnya masuk dalam sel darah dan hati (Kementerian Kesehatan RI, 2010 : 13-14).



Gambar 4.1. Nyamuk Anopheles – Sumber: Eding, 2007

Vektor malaria di Indonesia telah dikonfirmasi sebanyak 25 jenis nyamuk *Anopheles* yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia (Ditjen

PP & PL Kemenkes RI, 2014: 5). Menurut tempat berkembang biak, vektor malaria dapat dikelompokkan dalam tiga tipe yaitu berkembang biak di persawahan, perbukitan / hutan dan pantai / aliran sungai. Vektor malaria yang berkembang biak di daerah persawahan adalah *An. aconitus*, *An. Annularis*, *An. barbirostris*, *An. kochi*, *An karwari*, *An.nigerrimus*, *An.sinensis*, *An.tesellatus*, *An.Vagus*, *An. letifer*. Vektor malaria yang berkembang biak di perbukitan/ hutan adalah *An.balabacensis*, *An.bancrofti*, *An.punculatus*, *An.Umbrosus*. Sedangkan untuk daerah pantai / aliran sungai jenis vektor malaria adalah *An. flavirostris*, *An. Koliensis*, *An.Ludlowi*, *An.minimus*, *An.punctulatus*, *An.parangensis*, *An.sundaicus*, *An.subpictus* (Kementerian Kesehatan RI , 2011: 9).

### **iii). Siklus Hidup Anopheles**

Nyamuk *Anopheles* termasuk hewan yang mengalami metamorphosis sempurna, karena perkembangannya mulai dari telur, jentik (larva), kepompong (pupa), dan dewasa. Waktu yang diperlukan untuk pertumbuhan sejak telur diletakkan sampai menjadi dewasa bervariasi antara 2-5 minggu, tergantung kepada spesies, makanan yang tersedia dan suhu udara (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2011).

#### **a. Perkembangan telur *anopheles***

Telur *anopheles* diletakkan di permukaan air atau benda-benda lain di permukaan air. Ukuran telur kurang lebih 0,5 mm. Jumlah telur dalam sekali bertelur 100 sampai 300 butir, rata-rata 100 butir. Frekuensi bertelur dua atau tiga hari. Lama menetas dapat beberapa saat setelah kena air, hingga dua sampai tiga hari, kemudian telur menetas menjadi larva.

Telur-telur *Anopheles* yang terdapat di bawah permukaan air dalam waktu lama ( melebihi 92 jam) akan gagal menetas, sedangkan kondisi suhu yang menguntungkan bagi telur *Anopheles* adalah antara 28°C - 36°C. Suhu di bawah 20°C dan di atas 40°C adalah suhu yang tidak menguntungkan bagi perkembangan telur. Pada suhu 52°C seluruh telur akan mati dan suhu 50°C adalah suhu terendah bagi telur untuk dapat bertahan (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2011).

b. Perkembangan larva *Anopheles*

Terdapat di air dan mengalami empat masa pertumbuhan (Instar) yaitu instar I (1 hari), instar II (1-2 hari), instar III (2 hari) dan instar IV (2-3 hari). Masing-masing instar ukurannya berbeda. Tiap pergantian instar disertai dengan pergantian kulit. Pada tahap ini belum ada perbedaan antara jantan dan betina. Pada pergantian kulit yang terakhir larva *Anopheles* akan berubah menjadi kepompong (Ditjen PP & PL Kemenkes RI , 2011).

c. Perkembangan pupa *Anopheles*

Terdapat di air, tidak memerlukan makanan, belum diketahui perbedaan jantan dan betina. Pupa akan menetas dalam 1 – 2 hari dan menjadi nyamuk. Tetapi hal ini akan sangat bergantung pada kondisi lingkungan terutama suhu. Umumnya nyamuk jantan akan menetas lebih dahulu dari pada betina (Ditjen PP & PL Kemenkes RI , 2011).

d. Nyamuk dewasa

Lama pertumbuhan dari jentik sampai dewasa berkisar antara 8 – 14 hari. Umumnya jumlah nyamuk jantan dan nyamuk betina yang menetas dari kelompok telur hampir sama banyak (1:1). Setelah menetas, nyamuk melakukan perkawinan yang biasanya terjadi pada waktu senja. Perkawinan hanya sekali, sebelum nyamuk betina pergi untuk menghisap darah .Umur nyamuk jantan lebih pendek dari nyamuk betina (seminggu). Makanannya adalah cairan buah-buahan atau tumbuhan. Jarak terbangnya tidak jauh dari tempat perindukannya. Sementara umur nyamuk betina lebih panjang dari nyamuk jantan. Nyamuk betina perlu menghisap darah untuk pertumbuhan telurnya. Nyamuk betina dapat terbang jauh antara 0,5 sampai 5 km (Ditjen PP & PL Kemenkes RI , 2011).

Aspek perilaku atau bionomik vektor meliputi:

a. Perilaku berkembang biak

Nyamuk *Anopheles* betina mempunyai kemampuan untuk memilih tempat berkembang biak sesuai dengan kesenangannya. Ada jenis yang senang kena sinar matahari (*An. sundaicus*) ada pula yang senang di tempat-tempat yang teduh (*An. umbrosus*). Spesies yang

satu berkembang biak di air payau dan yang lain berkembang biak di air tawar (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014 : 8).

b. Perilaku mencari darah

1. Berdasarkan waktu

Nyamuk *Anopheles* pada umumnya aktif mencari darah pada waktu malam hari. Waktu aktivitas menggigit vektor malaria yang sudah diketahui yaitu jam 17.00 - 18.00, sebelum jam 24 (20.00 - 23.00), setelah jam 24 (00.00 - 4.00). Vektor malaria yang aktivitas menggigitnya jam 17.00 - 18.00 adalah *An. tessellatus*, sebelum jam 24 adalah *An. aconitus*, *An. annularis*, *An. barbirostris*, *An. kochi*, *An. sinensis*, *An. vagus*. Sedangkan yang menggigit setelah jam 24 adalah *An. farauti*, *An. koliensis*, *An. leucosphyrosis*, *An. unctullatus* (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 8).

2. Berdasarkan tempat

Kebiasaan menggigit dari nyamuk dewasa ada yang eksofagik (mencari mangsa di luar rumah) dan ada pula yang endofagik (mencari mangsa di dalam rumah) (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 8).

3. Berdasarkan sumber darah

Kebiasaan menggigit nyamuk ada yang sifatnya antropofilik (mencari darah manusia), dan ada pula yang sifatnya zoofilik (mencari darah hewan) (Ditjen PP & PL Kemenkes RI , 2014: 9).

4. Berdasarkan frekuensi menggigit

Setelah kawin nyamuk betina memerlukan darah untuk proses pertumbuhan telurnya guna mempertahankan dan memperbanyak keturunannya. Frekuensi menggigit untuk memenuhi kebutuhan darah tergantung spesiesnya dan dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban, yang disebut siklus gonotrofik. Untuk iklim tropis biasanya siklus ini berlangsung sekitar 48 - 96 jam (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 9).

c. Perilaku istirahat

Nyamuk mempunyai dua cara beristirahat yaitu istirahat yang sebenarnya, yaitu selama waktu menunggu proses perkembangan telur, dan istirahat sementara, yaitu pada waktu sebelum dan sesudah mencari darah, ada yang di dalam rumah (endofilik)

dan ada yang di luar rumah (eksofilik). Pada umumnya nyamuk mempunyai perilaku istirahat yang berbeda-beda. *An.aconitus* hanya beristirahat atau hinggap ditempat dekat tanah, sedangkan *An.sundaicus* di tempat yang lebih tinggi. Pada malam hari ada nyamuk yang masuk ke rumah hanya untuk menghisap darah lalu keluar, ada pula sebelum maupun sesudah menghisap darah hinggap di dinding untuk beristirahat terlebih dahulu (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 9).

**iv). Penularan malaria**

Penyakit malaria ditularkan melalui dua cara , yaitu alamiah dan non alamiah.

a. Secara alamiah

Penularan secara alamiah adalah melalui gigitan nyamuk *Anopheles* yang mengandung parasit malaria (Prabowo, 2004: 12).

b. Secara non alamiah

Penularan secara non alamiah terjadi jika penularan bukan melalui gigitan nyamuk *Anopheles*. Berikut beberapa penularan malaria secara non alamiah:

1. Malaria bawaan (Kongenital)

Malaria kongenital adalah malaria pada bayi yang baru dilahirkan karena ibunya menderita malaria. Disebabkan adanya kelainan pada sawar plasenta sehingga tidak ada penghalang infeksi dari ibu kepada bayi yang dikandungnya. Selain melalui plasenta penularan ibu ke bayi melalui tali pusat (Rampengan, 2007: 192). Gejala pada bayi yang baru lahir berupa demam, iritabilitas (mudah terangsang sehingga sering menangis / rewel), pembesaran hati dan limpa, anemia, tidak mau makan / minum, serta kuning pada kulit dan selaput lendir (Prabowo, 2004:13).

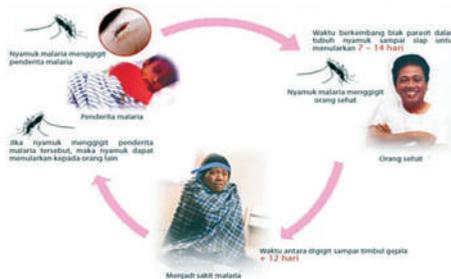
2. Penularan mekanik (*Transfusion malaria*)

*Transfusion malaria* adalah infeksi malaria yang ditularkan melalui transfusi darah dari donor yang terinfeksi malaria, pemakaian jarum suntik secara bersama-sama pada pecandu narkoba, atau melalui transplantasi organ. Parasit malaria dapat hidup selama tujuh hari dalam darah donor (Prabowo, 2004: 14). Infeksi malaria melalui transfusi hanya menghasilkan siklus eritrositer karena tidak melalui

sporozoit yang memerlukan siklus hati sehingga dapat hidup dengan mudah (Rampengan, 2007: 192).

### 3. Penularan secara oral

Pernah dibuktikan pada ayam (*Plasmodium gallinasiun*), burung dara (*Plasmodium relection*) dan monyet (*Plasmodium knowlesi*) (Rampengan, 2007: 193).



Gambar 4.2. Proses penularan malaria (Sumber: Kementerian Kesehatan RI, 2010)

### v). Siklus hidup plasmodium

Untuk menyempurnakan siklus hidupnya dengan sukses *Plasmodium* harus berselang seling antara hospes vertebrata dengan nyamuk *Anopheles* betina (Direktorat Pengendalian Penyakit Bersumber Binatang Kementerian Kesehatan RI; 2011).

#### a. Siklus pada manusia

Siklus aseksual di dalam hospes vertebrata dikenal sebagai skizogoni. Sporozoit yang aktif dapat ditularkan ke dalam tubuh manusia melalui ludah nyamuk, kemudian menempati jaringan parenkim hati dan tumbuh sebagai skizon (stadium eksoeritositer atau stadium pra-eritositer). Sebagian sporozoit tidak tumbuh dan tetap tidur (dormant) yang disebut hipnozoit. *Plasmodium falciparum* hanya terjadi satu kali stadium pra-eritositer sedangkan spesies yang lain mempunyai hipnozoit bertahun-tahun sehingga suatu saat dapat aktif dan terjadi relaps.

Sel hati yang berisi parasit akan pecah dan terjadilah merozoit yang jumlahnya bisa 10.000 - 30.000 merozoit tergantung spesiesnya (Rampengan, 2007: 191). Selama siklus pre-eritositer ini, darah penderita bebas parasit dan tidak dapat menularkan penyakit. Ketika periode ini berakhir (minimum 5,5 hari pada malaria

falciparum), merozoit meninggalkan hati dan menginvasi eritrosit, memulai siklus eritrositer.

Merozoit akan masuk ke dalam eritrosit tampak sebagai kromatin kecil dikelilingi oleh sedikit sitoplasma yang mempunyai bentuk cincin disebut disebut tropozoit. Tropozoit membentuk skizon muda dan setelah matang membelah menjadi merozoit. Kejadian ini sering disertai dengan gejala malaria klinis. Setelah proses pembelahan eritrosit akan hancur, merozoit, pigmen dan sel sisa akan keluar dan berada di dalam plasma.

Pecahnya sel darah merah yang terinfeksi plasmodium ini dapat menyebabkan gejala demam disertai menggigil. Parasit akan difagositosis oleh RES. Plasmodium yang dapat menghindar akan masuk kembali ke dalam eritrosit lain untuk mengulangi stadium skizogoni. Beberapa merozoit tidak membentuk skizon tetapi memulai dengan bagian gametogoni, yaitu mikro dan makro gametosit (stadium seksual) (Rampengan, 2007: 191). Ini selanjutnya harus ditelan oleh nyamuk betina yang sesuai agar mengalami perkembangan lebih lanjut.

b. Siklus pada Nyamuk *Anopheles* Betina

Dalam tubuh nyamuk, parasit berkembang secara seksual (sporogoni). Sporogoni memerlukan waktu 8 - 12 hari. Dalam lambung nyamuk, makro dan mikrogamet yang akan membentuk zigot yang disebut ookinet, menembus dinding lambung nyamuk membentuk ookista yang membentuk banyak sporozoit. Kemudian sporozoit akan dilepaskan dan masuk ke dalam kelenjar liur nyamuk. Siklus ini disebut masa tunas ekstrinsik (Eding *et al.* 2007).

**Faktor risiko penularan malaria**

Dalam pedoman pengendalian vektor malaria Ditjen PP dan PL Kemenkes RI (2014: 4), disebutkan bahwa tiga faktor yang berisiko dalam penularan malaria yaitu penyebab penyakit (*agent*) parasit *Plasmodium*, inang (*host*) yaitu manusia sebagai inang antara dan nyamuk vektor sebagai inang tetap parasit malaria dan lingkungan (*environment*). Ketiga faktor ini saling berinteraksi sehingga mempengaruhi terjadinya penularan dan penyebaran malaria.

Kemampuan bertahannya penyakit malaria di suatu daerah ditentukan oleh berbagai faktor berikut:

a. Parasit malaria

Parasit malaria dalam jumlah yang cukup ada dalam tubuh manusia sehingga nyamuk yang menggigit akan terinfeksi oleh parasit tersebut (Kementerian Kesehatan RI, 2011).

b. Nyamuk *anopheles*

Nyamuk *anopheles* betina sebagai vektor penular penyakit malaria ada / hidup di dalam lingkungan masyarakat. Di seluruh dunia terdapat sekitar 2.000 spesies *anopheles*, 60 spesies diantaranya diketahui sebagai penular malaria. Semua nyamuk malaria hidup sesuai dengan kondisi ekologis sekitar (Prabowo, 2004: 7).

c. Manusia yang rentan infeksi malaria

Secara alami, penduduk di suatu daerah endemis malaria ada yang mudah dan ada yang sukar terinfeksi malaria, meskipun gejala klinisnya ringan (Prabowo, 2004: 8). Penyakit malaria dapat menyerang semua orang baik laki-laki maupun perempuan, pada semua golongan umur, dari bayi sampai orang dewasa. Beberapa faktor yang mempengaruhi kejadian malaria sebagai berikut (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014):

- i. Umur: balita dan anak-anak lebih rentan terkena malaria.
- ii. Jenis kelamin: perempuan memiliki respon yang lebih baik dibandingkan laki-laki. Menginfeksi wanita hamil maka akan terjadi anemia berat.
- iii. Imunitas: Orang yang pernah terinfeksi malaria sebelumnya biasanya terbentuk imunitas dalam tubuhnya terhadap malaria. Demikian juga yang tinggal di daerah endemis mempunyai imunitas alami terhadap malaria.
- iv. Ras: beberapa ras manusia atau kelompok manusia memiliki kekebalan alamiah terhadap malaria, misalnya *sickle cell anemia*.
- v. Status gizi: Masyarakat yang kurang asupan gizi dan tinggal di daerah endemis malaria lebih rentan terkena malaria.
- vi. Mobilitas penduduk: Kelompok masyarakat yang berpindah dari satu daerah ke daerah lain termasuk ke daerah endemis malaria adalah salah satu faktor risiko dalam penularan malaria seperti

dapat terjadi pada kelompok masyarakat yang bermigrasi atau pekerja musiman terutama di daerah fokus (pertambangan, pertanian), kelompok transmigrasi.

d. Lingkungan

Keadaan lingkungan berpengaruh besar terhadap ada tidaknya malaria di suatu daerah. Adanya danau air payau, genangan air di hutan, dan pertambangan di suatu daerah akan meningkatkan timbulnya penyakit malaria karena tempat-tempat tersebut merupakan tempat perindukan nyamuk (Prabowo, 2004: 9).

e. Iklim

Suhu dan curah hujan di suatu daerah berperan penting dalam penularan penyakit malaria. Biasanya penularan malaria lebih tinggi pada musim hujan dibandingkan dengan kemarau. Air hujan yang menimbulkan genangan air, merupakan tempat yang ideal untuk perindukan nyamuk (Prabowo, 2004: 10).

**vi). Gejala klinis malaria**

Gejala-gejala penyakit malaria dipengaruhi oleh daya pertahanan tubuh penderita, jenis plasmodium malaria, serta jumlah parasit yang menginfeksi (Prabowo, 2004: 16).

Waktu terjadinya infeksi pertama kali, sampai timbulnya gejala penyakit disebut masa inkubasi, sedangkan waktu antara terjadinya infeksi sampai ditemukannya parasit malaria di dalam darah disebut periode prepaten. Masa inkubasi pada orang non imun sangat bervariasi, bergantung pada spesies dan strain *plasmodium* (*Plasmodium falciparum* 9 - 14 hari, *P.ovale* 16 -18 hari, *P.malariae* 18 - 40 hari, *P.vivax* 12 - 17 hari) (Rudolph, 2008: 849). Untuk periode prepaten *P.vivax* 12,2 hari, *p.falciparum* 11 hari, *p.malariae* 32,7 hari, dan *p.ovale* 12 hari (Prabowo, 2004: 16).

Umumnya gejala yang disebabkan oleh *plasmodium falciparum* lebih berat dan lebih akut dibandingkan dengan jenis *plasmodium* lain sedangkan gejala yang disebabkan oleh *plasmodium malariae* dan *plasmodium ovale* paling ringan. Gambaran khas dari penyakit malaria adalah adanya demam yang periodik, pembesaran limpa (*splenomegali*), dan anemia (turunnya kadar Hb dalam darah) (Prabowo, 2004: 17).

a. Demam

Secara klinis, gejala malaria infeksi tunggal pada pasien non imun terdiri atas beberapa serangan demam dengan interval tertentu (paroksisme), yang diselingi oleh periode laten (bebas demam) (Rampengan, 2007: 197). Keluhan sebelum terjadinya demam kelesuan, malaise, sakit kepala, merasa dingin di punggung, nyeri sendi dan tulang, demam ringan, anoreksia, perut tak enak, diare ringan dan kadang-kadang dingin (Nurarif, 2015: 227).

Periode paroksisme biasanya terdiri dari tiga stadium yang berurutan yakni stadium dingin (*cold stage*), stadium demam (*hot stage*) dan stadium berkeringat (*sweating stage*) (Rampengan, 2007: 197). Demam pada penyakit malaria bersifat periodik dan berbedabeda waktunya, tergantung dari *plasmodium* penyebabnya. Gejala paroksismal berulang pada interval sekitar 48 jam pada *vivax* dan *ovale* (demam tertiana), *p.malariae* kambuh setiap 72 jam (demam quartana), dan *p. falciparum* menyebabkan malaria tropika dengan demam yang timbul secara tidak teratur tiap 24 - 48 jam (Rudolph, 2008: 849).

Setelah lewat masa inkubasi, timbul gejala demam terlihat dalam tiga stadium:

1. *Stadium menggigil*

Dimulai dengan perasaan kedinginan hingga menggigil. Penderita sering membungkus badannya dengan selimut atau sarung. Pada saat menggigil, seluruh tubuhnya bergetar, denyut nadinya cepat, tetapi lemah, bibir dan jari tangannya biru, serta kulitnya pucat. Pada anak-anak disertai dengan kejang. Stadium ini berlangsung 15 menit sampai satu jam diikuti meningkatnya suhu badan (Prabowo, 2004 : 17-18).

2. *Stadium puncak demam*

Setelah merasa kedinginan, pada stadium ini pasien merasa kepanasan. Muka merah, kulit kering dan terasa sangat panas seperti terbakar, nyeri kepala, seringkali terjadi mual dan muntah, nadi menjadi kuat lagi (Nurarif, 2015: 227). Biasanya pasien menjadi haus dan suhu badan dapat meningkat mencapai suhu 41 °C atau lebih. Demam disebabkan oleh pecahnya skizon dalam

sel darah merah yang telah matang dan masuknya merozoit darah ke dalam aliran darah (Rampengan, 2007: 198).

### 3. Stadium berkeringat

Pada stadium ini penderita berkeringat banyak sekali di seluruh tubuh hingga tempat tidurnya basah. Suhu badan turun dengan cepat, penderita merasa lelah dan sering tertidur. Penderita merasa sehat. Padahal sebenarnya penyakit ini masih bersarang dalam tubuh penderita. Stadium ini berlangsung 2- 4 jam (Prabowo, 2004: 18-19).

#### b. Pembesaran limpa

Pembesaran limpa merupakan gejala khas pada malaria kronis atau menahun. Limpa menjadi bengkak dan terasa nyeri. Limpa membengkak akibat penyumbatan oleh sel-sel darah merah yang mengandung parasit malaria. Lama-lama, konsistensi limpa menjadi keras karena jaringan ikat pada limpa semakin bertambah. Dengan pengobatan yang baik limpa berangsur normal kembali (Prabowo, 2004: 20).

#### c. Anemia

Pada penyakit malaria, anemia atau penurunan kadar hemoglobin darah sampai di bawah nilai normal disebabkan penghancuran sel darah merah yang berlebihan oleh parasit malaria. Gejala anemia berupa badan yang terasa lemas, pusing, pucat, penglihatan kabur, jantung berdebar-debar, dan kurang nafsu makan (Prabowo, 2004: 20).

### **vii). Malaria berat**

Malaria berat adalah penyakit malaria akibat infeksi *Plasmodium falciparum* yang disertai dengan gangguan di berbagai sistem / organ tubuh (Prabowo, 2004: 20).

Kriteria diagnosis malaria berat yang ditetapkan WHO yaitu adanya satu atau lebih komplikasi seperti malaria serebral / otak, anemia berat kadar hemoglobin < 5 gr/dl, dehidrasi, gangguan asam basa (asidosis metabolik) dan gangguan elektrolit, hipoglikemia berat (kadar gula < 40 mg %), gagal ginjal, edema paru akut, kegagalan sirkulasi (algid malaria), kecenderungan terjadi perdarahan, hyperpireksia/ hipertermia, hemoglobinuria/ *black water fever*, ikterus, dan hiperparasitemia (Nurarif, 2015: 228).

Infeksi malaria *falciparum* pada ibu hamil dapat menyebabkan anemia pada ibu dan janinnya, serta bayi dengan berat badan lahir rendah. Hal ini dapat meningkatkan angka kematian ibu dan bayi. Komplikasi infeksi malaria pada kehamilan dapat berupa abortus, bayi dengan berat badan lahir rendah, anemia, edema paru, gangguan fungsi ginjal, dan malaria kongenital (Prabowo, 2004 : 21).

a. Malaria serebral

Malaria serebral adalah malaria *falciparum* yang disertai kejang-kejang dan koma, tanpa penyebab lain dari koma. Malaria serebral paling sering menimbulkan kematian. Diduga penyebabnya adalah sumbatan kapiler pembuluh darah otak oleh sel darah merah yang mengandung banyak parasit malaria sehingga otak kekurangan oksigen (anoksia otak) (Prabowo, 2004: 22).

Gejala timbul secara lambat atau mendadak. Biasanya, didahului oleh sakit kepala dan rasa mengantuk, disusul dengan gangguan kesadaran, kelainan saraf dan kejang-kejang. Gangguan penurunan kesadaran bisa berupa gangguan ringan (apatis, somnolen, delirium dan perubahan tingkah laku) sampai berat (berupa keadaan koma yang tidak bisa dibangunkan) (Prabowo, 2004: 22).

b. Anemia

Anemia berat timbul akibat penghancuran sel darah merah yang cepat dan hebat. Anemia berat sering memberikan gejala serebral, seperti tampak bingung, kesadaran menurun sampai koma, serta gejala-gejala gangguan jantung – paru (Prabowo, 2004: 24).

Anak dengan anemia dapat menderita takikardia dan dispnea. Derajat anemia bergantung pada derajat dan lama parasitemia terjadi (Rampengan, 2007: 203).

c. Dehidrasi, gangguan asam – basa (Asidosis metabolik) dan gangguan elektrolit.

Gejala klinis dehidrasi sedang sampai berat adalah penurunan perfusi perifer, rasa haus, penurunan berat badan 3 - 4 %, napas cepat dan dalam (asidosis), penurunan turgor kulit, peningkatan kadar ureum darah (6,5 mmol / L atau 40 mg/ dL), dan asidosis metabolik pada pemeriksaan urin, kadar natrium urin rendah dan sedimen normal, indikasi dehidrasi dan gangguan ginjal (Rampengan, 2007: 203).

d. Hipoglikemia berat

Hipoglikemia dapat terjadi pada malaria berat, terutama terjadi pada anak kecil (dibawah 3 tahun) dengan gejala kejang, hiperparasitemia, penurunan kesadaran (*profound coma*) atau dengan gejala yang lebih ringan seperti berkeringat, kulit teraba dingin dan lembap, serta nafas yang tidak teratur. Hipoglikemia pada anak adalah keadaan saat kadar glukosa darah turun menjadi 40 mg / dL (Rampengan, 2007: 204)

e. Gagal ginjal

Diduga gangguan pada ginjal diakibatkan oleh sumbatan parasit malaria sehingga menyebabkan penurunan aliran darah ke ginjal. Akibatnya, terjadi penurunan filtrasi glomerulus ginjal (Prabowo, 2004: 23).

f. Edema paru akut

Gejala edema paru seringkali timbul pada beberapa hari setelah pemberian obat anti malaria. Sebagai akibat dari edema paru akan terjadi hipoksia yang mengakibatkan kejang dan penurunan kesadaran serta kematian (Rampengan, 2007: 204).

g. Kegagalan sirkulasi (Algid malaria)

Malaria algid adalah malaria falciparum yang disertai syok oleh karena adanya septicemia kuman gram negatif. Penderita malaria pada anak dapat jatuh kolaps dengan tekanan sistolik kurang dari 50 mmHg pada posisi berbaring, kulit teraba dingin, lembap, sianotik, konstiksi vena perifer, denyut nadi lemah dan cepat (Rampengan, 2007: 204).

h. Kecenderungan terjadi perdarahan

Perdarahan yang sering dijumpai adalah perdarahan gusi, epistaksis, petekia dan perdarahan subkonjungtiva. Kecenderungan terjadi perdarahan ditandai dengan perpanjangan waktu perdarahan, trombositopenia dan menurunnya faktor koagulasi (Rampengan, 2007: 205).

i. Hiperpireksia / hyperthermia

Monitor suhu berkala sangat dianjurkan pada malaria. Hiperpireksia adalah keadaan saat suhu tubuh meningkat menjadi 42°C atau lebih dan dapat menyebabkan gejala sisa neurologik yang menetap (Rampengan, 2007: 205).

j. Hemoglobinuria / *Black Water Fever*

*Black water fever* adalah sindroma dengan gejala serangan yang akut, berupa demam, menggigil, penurunan tekanan darah, hemolisis (penghancuran sel darah merah) intravaskuler, hemoglobinuria (terdapatnya darah dalam urin) dan gagal ginjal (Prabowo, 2004: 23).

k. Ikterus (Bilirubin  $> 3$  mg %)

Manifestasi ikterus (kadar bilirubin darah  $> 3$  mg %) sering dijumpai pada orang dewasa, namun bila ditemukan pada anak prognosisnya jelek (Rampengan, 2007: 205).

l. Hiperparasitemia

Umumnya pada penderita yang non imundensitas parasit  $> 5\%$  dan adanya skizontaemia. Penderita dengan parasitemia berat akan meningkatkan risiko terjadinya komplikasi berat (Rampengan, 2007: 206).

**viii). *Diagnosis malaria***

a. Pemeriksaan dengan mikroskop

Pada daerah endemis, diagnosis malaria tidak sulit, biasanya diagnosis ditegakkan berdasarkan gejala serta tanda klinis. Malaria didiagnosis dengan identifikasi mikroskopis organisme pada pulasan darah tipis dan tebal. Adalah penting memeriksa pulasan tebal karena ini memberikan kadar parasit yang lebih tinggi yang sangat diperlukan bila parasitemia rendah atau hasil pulasan tipis negatif. Lebih baik pulasan dicat dengan cat giemsa, walaupun cat Wright dapat digunakan. Karena parasit terus menerus ada dalam eritrosit perifer selama skizogoni, darah dapat diambil dan diperiksa setiap waktu pada infeksi *P.vivax*, *P.ovale*, dan *P.malaria* (Rudolph, 2008: 850).

Namun, pada infeksi *P. falciparum*, bentuk cincin mungkin ada hanya segera sesudah puncak demam, dan tidak ada parasit yang jelas dan beberapa jam kemudian karena eritrosit yang terinfeksi diasingkan dalam kapiler viseral. Karenanya pulasan darah harus diambil setiap 8 jam. Jika gejala telah ada selama 7-9 hari, gametosit akan sering ada di daerah perifer, dan spesies dapat dikenali dengan mudah (Rudolph, 2008: 850).

Tes serologis yang digunakan untuk diagnosis malaria adalah IFA (*Indirect fluorescent antibody test*), IHA (*Indirect hemagglutination test*), dan ELISA (*Enzyme linked immunosorbent assay*). Kegunaan tes serologis untuk diagnosis malaria akut sangat terbatas karena baru akan positif beberapa hari setelah parasit malaria ditemukan dalam darah (Rampengan, 2007: 208). Probe DNA telah dikembangkan, yang dapat terbukti sangat sensitif dan spesifik untuk membuat diagnosis yang benar (Rudolph, 2008: 851).

- b. Pemeriksaan dengan tes diagnostik cepat (*Rapid Diagnostic Test*)  
Mekanisme kerja tes ini berdasarkan deteksi antigen parasit malaria, dengan menggunakan metode imunokromatografi, dalam bentuk dipstick. Tes ini sangat bermanfaat pada unit gawat darurat, pada saat terjadi kejadian luar biasa dan di daerah terpencil yang tidak tersedia fasilitas lab serta survei tertentu (Depkes RI, 2008 : 8).

**ix). Penatalaksanaan malaria**

Tatalaksana pasien malaria, sebagaimana dalam standar tata laksana malaria (2012), adalah sebagai berikut:

Pengobatan penderita malaria harus mengikuti kebijakan nasional pengendalian malaria di Indonesia.

Pengobatan dengan ACT hanya diberikan kepada penderita dengan hasil pemeriksaan darah malaria positif.

Penderita malaria tanpa komplikasi harus diobati dengan terapi kombinasi berbasis artimisinin (ACT) plus primakuin sesuai dengan jenis plasmodiumnya (Kementerian kesehatan RI, 2014:19).

Berikut ini beberapa cara pengobatan malaria:

Pengobatan untuk mencegah (Profilaksis):

Pemberian obat antimalaria bertujuan untuk mencegah timbulnya infeksi atau gejala-gejala penyakit malaria (Prabowo, 2004: 26).

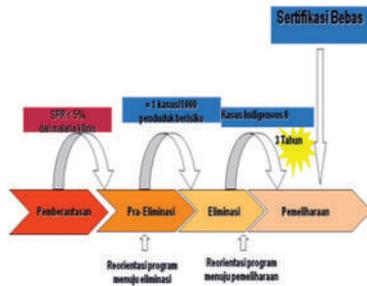
Pengobatan terapeutik (Kuratif):

Obat antimalaria digunakan untuk penyembuhan infeksi malaria yang telah ada, penanggulangan serangan malaria akut serta pengobatan radikal (Prabowo, 2004: 26).

Pengobatan untuk mencegah terjadinya penularan:  
 Pengobatan bertujuan untuk mencegah infeksi nyamuk atau mempengaruhi perkembangan sporogoni pada nyamuk (Prabowo, 2004: 27).

**x). Kebijakan eliminasi malaria**

Untuk mengatasi malaria, pertemuan *World Health Assembly* (WHA) ke 60 tanggal 18 Mei 2007 di Geneva, telah menghasilkan komitmen global tentang eliminasi malaria bagi setiap negara anggota yang dituangkan dalam resolusi WHA No.60.18. Petunjuk pelaksanaan eliminasi malaria tersebut telah dirumuskan oleh WHO dalam *Global Malaria Programme* (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2012). Dalam program malaria Global terdapat 4 tahapan menuju eliminasi malaria yaitu pemberantasan, Pra eliminasi, Eliminasi dan pemeliharaan (Pencegahan dan penularan kembali) (Laihad JF, 2011).



Gambar 4.3. Pentahapan Eliminasi Malaria (Sumber : Depkes RI, 2014: 12)

Di Indonesia usaha pembasmian penyakit malaria belum mencapai hasil yang optimal. Sejak tahun 2009 pemerintah telah menetapkan melalui Keputusan Menteri Kesehatan nomor 293/MENKES/SK/IV/2009 tanggal 28 April 2009 bahwa upaya pengendalian malaria dilakukan dalam rangka eliminasi malaria di Indonesia. Adapun pelaksanaan pengendalian malaria menuju eliminasi dilakukan secara bertahap dari satu pulau atau beberapa pulau sampai seluruh pulau tercakup guna terwujudnya masyarakat yang hidup sehat yang terbebas dari penularan malaria sampai tahun 2030 dengan tahapan sebagai berikut:

**2010:** Eliminasi malaria di DKI, Bali dan Bareleng Binkar, dimana seluruh sarana pelayanan kesehatan telah mampu melakukan konfirmasi laboratorium kasus malaria yang rendah.

**2015:** Pembebasan Jawa, Aceh dan Kepulauan Riau.

**2020:** Pembebasan Sumatera, NTB, Kalimantan, dan Sulawesi.

**2030:** Pembebasan Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara, dan NTT (Kementerian Kesehatan RI, 2011: 17).

***xi). Upaya pencegahan malaria***

Di daerah tropis seperti Indonesia nyamuk merupakan salah satu binatang yang berisiko terhadap manusia yaitu sebagai vektor pembawa penyakit malaria atau demam berdarah. Karena itu perlu dilakukan upaya pencegahan agar terhindar dari penularan penyakit (malaria), antara lain:

1. Menghindari gigitan nyamuk malaria

Di daerah yang jumlah penderitanya sangat banyak, tindakan untuk menghindari gigitan nyamuk merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan, antara lain dengan cara:

- a. Penggunaan kelambu (*Long Lasting Insecticidal Nets / LLINs*)
- b. Penggunaan insektisida rumah tangga
- c. Pemasangan kawat kasa
- d. Penggunaan rapelan (*Personal protection*)
- e. Penutup badan (*Personal protection*)

2. Membunuh jentik dan nyamuk malaria dewasa

Intervensi pengendalian vektor malaria dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain:

- a. Penyemprotan rumah dengan insektisida (*Indoor Residual Spraying / IRS*)

Penyemprotan rumah dengan insektisida adalah suatu cara pengendalian vektor dengan menempelkan racun serangga dengan dosis tertentu secara merata pada permukaan dinding yang disemprot. Tujuan IRS adalah membunuh nyamuk yang hinggap di dinding rumah yang disemprot sehingga kepadatan populasinya menurun dalam rangka memutuskan mata rantai malaria (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 14).

Penyemprotan dinding rumah dilakukan di daerah endemis tinggi dan di daerah yang terjadi peningkatan kasus atau kejadian luar biasa (KLB) (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 24). Sebaliknya, penyemprotan rumah-rumah di daerah endemis malaria dengan

insektisida dilaksanakan dua kali dalam setahun dengan interval waktu enam bulan (Prabowo, 2004: 39).

b. Tindakan anti larva (*larvaciding*)

*Larvaciding* adalah aplikasi pada tempat perindukan (*breeding places*) yang potensial atau ditemukan adanya jentik (larva) nyamuk *Anopheles*. Tujuan *larvaciding* adalah menurunkan populasi larva *Anopheles*. Sasaran lokasi adalah tempat-tempat perindukan yang ada larva seperti lagun, sawah, rawa-rawa, kolam, dan lain-lain pada daerah endemisitas tinggi, sedang, rendah (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 17).

c. Penebaran ikan pemakan larva (*Biological control*)

Penebaran ikan merupakan upaya pengendalian larva secara biologi yang menggunakan musuh alami (predator / pemangsa larva nyamuk) seperti: ikan kepala timah, ikan guppy, ikan mujair, ikan nila. Tujuannya adalah menekan atau menurunkan populasi larva nyamuk (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 18).

d. Penempatan hewan sebagai umpan (*Zooprofilaksis atau cattle-barrier*)

*Zooprofilaksis* adalah pemanfaatan hewan ternak untuk mengalihkan gigitan nyamuk *Anopheles* dari manusia ke hewan. Hewan (sapi, kerbau dan hewan berkuku lainnya) dapat digunakan sebagai umpan agar nyamuk dapat bersifat *zoophylic* (suka darah hewan) menggigit hewan tersebut. Diharapkan nyamuk sudah kenyang darah hewan, tidak lagi menggigit manusia (Ditjen PP & PL Kemenkes RI, 2014: 19).

3. Mengurangi tempat perindukan nyamuk

Tempat perindukan nyamuk malaria bermacam-macam, tergantung spesies nyamuknya. Ada nyamuk malaria yang hidup di kawasan pantai, rawa-rawa, empang, sawah, tambak ikan, atau hidup di air bersih pegunungan. Di daerah endemis malaria, yaitu daerah yang langganan terjangkit penyakit malaria, masyarakatnya perlu menjaga kebersihan lingkungan. Tambak ikan yang kurang terpelihara harus dibersihkan, parit-parit di sepanjang pantai bekas galian yang berisi air payau harus ditutup, persawahan dengan saluran irigasi, airnya harus mengalir dengan lancar (Prabowo, 2004: 41).

4. Pemberian obat pencegahan malaria

Pemberian obat pencegahan (profilaksis) malaria bertujuan untuk mencegah terjadinya infeksi, serta timbulnya gejala-gejala penyakit malaria. Orang yang akan berpergian ke daerah-daerah endemis harus minum obat antimalaria sekurang-kurangnya seminggu sebelum keberangkatannya sampai empat minggu setelah orang tersebut meninggalkan daerah endemis (Prabowo, 2004: 41).

5. Pemberian vaksin malaria

Pemberian vaksin malaria merupakan tindakan yang diharapkan dapat membantu mencegah infeksi malaria sehingga dapat menurunkan angka kesakitan dan angka kematian akibat infeksi malaria (Prabowo, 2004: 42).

***xii). Penggunaan kelambu (kelambunisasi)***

Program kelambunisasi merupakan salah satu dari beberapa program Inisiatif Anti Malaria di Indonesia (IAMI) yang bertujuan sebagai bentuk intervensi preventif yang hendak melibatkan masyarakat (Priyatmono, 2011: 236). Dari semua cara pencegahan gigitan nyamuk, tidur dengan menggunakan kelambu berinsektisida merupakan cara yang paling efektif karena nyamuk menggigit pada malam hari. Kelambu berinsektisida mengurangi kontak manusia dengan nyamuk dengan cara membunuh nyamuk jika menempel di kelambu atau dengan menangkai nyamuk-nyamuk tersebut, sehingga terbang menjauh dari tempat orang yang sedang tidur (Kementerian Kesehatan RI, 2010: 23).



Gambar 4.4. Kelambu (Sumber: Kementerian Kesehatan RI, 2014)

Manfaat lain dari kelambu berinsektisida tahan lama termasuk membunuh tungau, membunuh kepinding, membunuh kecoa, membunuh kutu, membunuh kalajengking, mencegah laba-laba dan serangga lain. Kelambu berinsektisida memberikan perlindungan lebih baik bagi orang yang menggunakannya, karena kelambu itu akan membunuh nyamuk atau melemahkannya ketika nyamuk kontak dengan kelambu. Kelambu biasa yang tidak berinsektisida juga efektif, tetapi orang yang tidur di dalamnya bisa digigit nyamuk jika nyamuk masuk atau kelambu tidak tertutup sempurna (Kementerian Kesehatan RI, 2010: 23).

### **Dampak Global Warming dan Resiko Kesehatan Manusia**

Peningkatan suhu bumi akan memberi dampak negatif bagi fungsi ekosistem dan spesies anggotanya. Hal ini juga akan berdampak pada masalah kesehatan manusia. Berbagai hasil penelitian laboratorium yang membuktikan bahwa determinan suhu berdampak pada sistem hubungan antara *host-parasite* (WHO, 2003).

Secara umum, suatu perubahan kondisi iklim dapat menimbulkan 3 jenis dampak kesehatan, meliputi (WHO, 2003):

1. Dampak langsung yang disebabkan oleh cuaca ekstrim
2. Beberapa konsekuensi kesehatan yang timbul dari berbagai proses perubahan lingkungan dan kerusakan ekologi sebagai respon dari kerusakan lingkungan.
3. Berbagai konsekuensi kesehatan lainnya, seperti trauma, penyakit infeksi, masalah gizi dan masalah psikologis lainnya yang timbul akibat dari demoralisasi dan perpindahan populasi yang disebabkan oleh kekacauan iklim dan krisis ekonomi.

Terdapat beberapa kelompok masyarakat yang paling rentan terkena dampak perubahan iklim, yaitu:

1. Kelompok masyarakat berpenghasilan rendah  
Masyarakat berpenghasilan rendah atau yang dikenal dengan masyarakat ekonomi lemah merupakan salah satu kelompok yang paling rentan terkena dampak perubahan iklim. Hal ini disebabkan karena kelompok ini biasanya hidup dengan banyak faktor yang akan meningkatkan kerentanan mereka. Mereka

biasanya bertempat tinggal di daerah yang cenderung berisiko, seperti *urban heat islands*, daerah urban yang terisolasi, daerah atau kota yang rawan banjir dengan infrastruktur yang tua dan terbatas. Kelompok masyarakat berpenghasilan rendah ini seringkali berhadapan dengan beban yang semakin besar berupa polusi zat racun yang diperparah atau digerakkan oleh dampak perubahan iklim seperti badai yang besar. Mereka juga mengalami insiden relatif lebih besar dari kondisi medis yang kronis, seperti penyakit *cardiovascular*, *kidney disease*, DM, asma, dan COPD, yang secara keseluruhan dapat dipicu oleh adanya perubahan iklim. Disamping itu, keterbatasan transportasi dan akses terhadap pendidikan kesehatan juga menghalangi kemampuan mereka dalam hal kesiapan, kesiagaan dan ketahanan terhadap risiko kesehatan terkait perubahan iklim tersebut.

## 2. Penduduk *indigenous*

Sejumlah risiko kesehatan ditemukan lebih tinggi pada populasi *indigenous*, seperti kesehatan kesehatan mental yang rendah terkait dengan riwayat atau trauma individu, paparan lingkungan dari pencemar atau substansi *toxic* dan penyakit diabetes. Karena adanya kerentanan, orang-orang *indigenous*, khususnya mereka yang tergantung dengan lingkungan untuk makanan atau yang tinggal pada geografis yang terisolasi atau masyarakat yang miskin akan mengalami paparan yang lebih tinggi dan memiliki ketahanan yang rendah terhadap efek kesehatan terkait dengan perubahan iklim.

## 3. Anak-anak dan ibu hamil

Anak-anak memiliki perbandingan yang relatif lebih tinggi dalam hal *intake* udara, air, dan makanan dibandingkan orang dewasa. Mereka juga memiliki perilaku dan interaksi unik dengan lingkungan mereka, seperti menghabiskan waktu mereka lebih banyak di luar ruangan dan memasukkan tangan ke dalam mulut. Faktor ini dikombinasikan dengan perubahan iklim, mungkin akan meningkatkan paparan mereka terhadap kontaminan lingkungan. Panas yang ekstrim akan menyerang atlet anak-anak yang sedang beraktivitas di luar ruangan, sebagaimana anak-anak yang ada di sekolah dan rumah-rumah tanpa pendingin ruangan. Anak-anak akan lebih rentan untuk mengalami cedera sepanjang cuaca

ekstrem dan mereka tergantung dengan orang dewasa untuk melewati bahaya, dan dapat menderita trauma emosional dari perpisahan, kehilangan rumah atau sekolah dan paparan peristiwa yang mereka alami.

Paparan terkait dengan masalah iklim mungkin meningkatkan kerugian outcome kehamilan, termasuk aborsi spontan, bayi berat lahir rendah, kelahiran premature, dan berbagai risiko terhadap bayi baru lahir dan infan, termasuk kematian neonatal, dehidrasi, malnutrisi, diare dan penyakit saluran pernapasan.

#### 4. Kelompok usia lanjut

Kelompok usia lanjut adalah salah satu kelompok yang rentan mengalami dampak akibat perubahan iklim, khususnya cuaca ekstrem dan perubahan musim, penurunan kualitas udara, penyakit bawaan vektor, dan sebagainya. Kelompok ini merupakan permasalahan baru dari dampak perubahan iklim, dimana faktor isolasi sosial dan struktur yang lebih tua membuat mereka menjadi lebih rentan terhadap panas dan kejadian ekstrem seperti badai dan banjir; kondisi kesehatan yang buruk seperti kondisi pernafasan yang diperburuk oleh perubahan iklim. Kesehatan mental, seperti depresi dan demensia, dan pelemahan kognitif.

#### 5. Kelompok pekerja.

Kelompok masyarakat yang bekerja di luar ruangan menjadi kelompok yang pertama terpapar dengan dampak perubahan iklim. Perubahan iklim ini diperkirakan berdampak pada pekerja di luar ruangan melalui peningkatan pada suhu udara lingkungan, penurunan kualitas udara, cuaca ekstrim, penyakit bawaan vektor, pajanan industri dan perubahan pada pembangunan lingkungan. Pekerja yang terdampak oleh perubahan iklim, seperti petani, peternak, nelayan, pekerja konstruksi, paramedis, pemadam kebakaran dan pekerja transportasi. Selain itu pekerja di dalam ruangan panas, seperti pekerja peleburan baja, pekerja pembersih ruangan, *dry cleaner*, manufaktur dan area lain yang kondisi udaranya kurang baik, dan paparan panas tinggi. Anggota militer yang menjalani latihan dan melakukan operasi pada lingkungan yang panas juga berisiko untuk mengalami penyakit akibat tekanan

panas serta berisiko tinggi untuk mengalami penyakit bawaan vektor seperti penyakit karena faktor parasit.

### **Global Warming dan Penyakit Infeksi Parasit**

Perubahan iklim diperkirakan memberikan dampak penting pada parasitisme dan penyakit di ekosistem air tawar dan laut, dengan konsekuensi pada kesehatan dan sosial ekonomi manusia. Penyebaran parasit dan pathogen akan terdampak langsung oleh pemanasan global. Akan tetapi, secara tidak langsung melalui dampak terhadap penyebaran dan peningkatan jumlah *host*. Berdasar data jumlah wabah penyakit, khususnya pada organisme laut, memiliki hubungan dengan peristiwa perubahan iklim seperti pada peristiwa El-nino. Secara umum, perubahan tersebut berdampak pada jumlah penularan dari parasit dan kuman penyebab penyakit, sejalan dengan peningkatan suhu di bumi. Berbagai penemuan menunjukkan bahwa virulensi dari beberapa patogen dan parasit juga meningkat dengan adanya pemanasan bumi.

Efek perubahan iklim pada parasit dan pathogen akan menunjukkan ukuran perbandingan terhadap efek tekanan antropogenik di ekosistem, seperti kontaminan, hilangnya habitat bagi spesies tertentu (Marcogliese, 2008).

*Vectorborne and zoonotic disease* (VBZD) adalah penyakit infeksi yang siklus penularannya melibatkan hewan sebagai *host* atau vektor. *Vectorborne disease* hidup menumpang pada organisme arthropoda yang memiliki tipikal sebagai penghisap darah (serangga dan tungau) yang membawa pathogen dari satu inang ke inang yang lain. Secara umum pathogen tersebut memiliki implikasi (peningkatan virulensi) pada vektor, seperti pada malaria (IWGCCH, 2009).

Penyebaran malaria di suatu daerah tertentu sangat dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor perubahan iklim dan faktor non iklim seperti mobilitas penduduk, perilaku dan akses pelayanan kesehatan. Data dari salah satu penelitian di Kabupaten Kebumen menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan jumlah kasus malaria dari tahun ke tahun (Situmorang, *et.al*; 2010).

Dari uraian diatas, dapat dikatakan bahwa pemanasan global yang terjadi saat ini telah berdampak pada perubahan iklim dunia. Kondisi

ini menimbulkan dampak negatif baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap kondisi kesehatan manusia, termasuk adanya peningkatan jumlah vektor penyakit parasit.

### ***Climate Change dan Malaria***

Perubahan iklim global menyisakan satu ancaman lingkungan terbesar pada saat ini. Dampak yang ditimbulkan oleh perubahan iklim tersebut antara lain berupa ancaman kesehatan bagi populasi manusia, antara lain peningkatan kejadian malaria (Lieshouta *et.al*, 2004).

Spasial limit dari distribusi dan aktivitas musiman yang sensitif terhadap faktor iklim, sesuai dengan kemampuan kapasitas lokal dalam mengendalikan penyakit. Pada daerah endemik dimana terjadi penularan secara regular pada musim yang panjang, *fatality rate* terjadi pada anak-anak yang belum berkembang imunitasnya terhadap penyakit (Caminadea *et al.* 2013).

Lebih lanjut Caminadea *et al.* (2013), menjelaskan bahwa, pada daerah epidemik dimana penularan malaria terjadi dalam waktu yang singkat atau secara sporadis dalam bentuk epidemi biasanya menyebabkan jumlah kematian yang tinggi pada semua kategori umur.

Hasil pertemuan *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2001 dalam Lieshouta *et.al*, (2004) menjelaskan bahwa: pada suatu daerah yang memiliki keterbatasan infrastruktur kesehatan masyarakat dengan kondisi temperatur saat ini atau pada masa yang akan datang memungkinkan bagi terjadinya penularan penyakit, daerah yang mengalami peningkatan suhu (dengan curah hujan yang cukup) maka akan memicu terjadinya penyakit bawaan vektor (termasuk malaria, DBD, dan leishmaniasis) berkembang menjadi lebih cepat. Suhu yang lebih hangat, dikombinasikan dengan lingkungan yang kondusif, turunnya hujan dan genangan air, akan memperpanjang musim penularan di beberapa lokasi endemik malaria. Pada lokasi lain, perubahan iklim akan terjadi penurunan jumlah penularan dengan berkurangnya hujan atau suhu yang terlalu tinggi untuk terjadinya transmisi.

Hasil analisa terbaru menyimpulkan bahwa perubahan temperatur dan curah hujan akan berdampak pada habitat alamiah nyamuk, perubahan prevalensi vektor atau pemanjangan musim penularan

atau keduanya di beberapa wilayah, serta pajanan potensial di wilayah baru dan populasi terhadap malaria dan penyakit bawaan vektor lainnya (IPCC, 2015). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa perubahan iklim yang terjadi dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap pola penyebaran penyakit malaria di berbagai wilayah. Disatu sisi, pada daerah dengan kondisi lingkungan yang kondusif untuk terjadi perkembangan nyamuk maka akan mengalami masa penularan yang lebih cepat dan lebih panjang. Bahkan kondisi lingkungan yang berubah ini akan memicu munculnya habitat baru bagi perkembangan vektor malaria. Meskipun demikian, disisi lain, perubahan temperatur dan berkurangnya curah hujan di daerah yang lain akan berdampak pada penurunan transmisi.

Munculnya kesadaran global tentang perubahan iklim dan adanya ancaman dari malaria terhadap kesehatan masyarakat dunia, mendorong berbagai negara untuk melakukan studi terkait hal tersebut.

Proses adaptasi dengan perubahan iklim dalam rangka melindungi kesehatan manusia dilakukan melalui beberapa proyek di 6 negara. Salah satu proyek di Kenya, yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mencari solusi untuk mengatasi risiko kesehatan akibat perubahan iklim dan variabelnya. Hasil studi tersebut membandingkan temuan-temuan aktual dan menawarkan cara untuk mengukur hubungan antara perubahan iklim dengan malaria secara global.

Sementara itu, di Srilanka juga dilakukan sebuah proyek menggunakan informasi iklim untuk manajemen risiko malaria di Srilanka. Kegiatan ini dilakukan melalui kerjasama antara kementerian kesehatan dengan lembaga riset pemerintah yang lain *The International Research Institute for Climate and Society (IRI) and The International Water Management Institute (IWMI)*. Proyek ini dilaksanakan untuk mengkarakterisasi keterkaitan antara iklim dan malaria di Srilanka, khususnya di bagian tenggara pulau propinsi Uva (IRI; 2013).

Proyek tersebut bertujuan untuk menggunakan informasi iklim untuk peringatan dini risiko penyakit. Mereka berhasil menganalisis berdasarkan fakta hasil penelitian bahwa iklim berdampak pada malaria secara spasial dan temporal. Malaria juga berhubungan dengan fenomena El-Nino dan perubahan iklim. Dengan adanya heterogenitas

dalam iklim dan hubungan dengan malaria, maka diperlukan kehati-hatian dalam kalibrasi serta dibutuhkan skala yang benar pada sistem peringatan (Ermert *et al.* 2012).

Dampak perubahan iklim regional pada risiko malaria dipicu oleh tekanan dari rumah kaca dan perubahan penggunaan tanah di wilayah tropis Afrika. Salah satu studi menguji potensi perubahan pada transmisi malaria melalui sebuah model integrasi cuaca-penyakit dan disimpulkan bahwa perubahan iklim disebabkan oleh gas rumah kaca dan perubahan penggunaan lahan berdampak signifikan terhadap penyebaran malaria di wilayah tropis Afrika sebelum 2050. Disamping itu, penyebaran geografis malaria di daerah dimana malaria merupakan epidemik kemungkinan secara signifikan akan berubah dalam beberapa dekade mendatang.

Penilaian pola variabel iklim dan kasus malaria di dua zone ekologi yang berbeda pernah dilakukan di Ghana. Studi tersebut dilakukan guna memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai hubungan pola curah hujan dengan kasus malaria. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan strategi yang efektif dengan perencanaan dan pelaksanaan serta pengendalian yang tepat untuk adaptasi terhadap perubahan iklim. Data iklim dan kasus malaria diperoleh dari catatan siklus malaria dari tahun 2001 hingga 2004 yang berasal dari 2 zona ekologi di Ghana (Ejura dan Winneba) yang masing-masing adalah zona transisi dan pesisir savanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu maksimum merupakan prediktor dari tren malaria yang lebih baik dari suhu minimum atau curah hujan, khususnya di zona transisi. Efek perubahan iklim terhadap beban kasus malaria tampaknya bersifat multifaktorial. Pengendalian malaria yang efektif, maka harus disesuaikan dengan prediktor iklim paling penting untuk dampak penyakit yang lebih besar.

Epidemik malaria juga menyisakan suatu ancaman yang serius terhadap kehidupan populasi manusia di *highlands* Afrika Timur dimana terdapat transmisi yang tidak stabil dan sensitif terhadap iklim. Penelitian yang dilakukan oleh Githeko A.K, *et al.* tahun 2014 yang menyatakan bahwa sebuah model prediksi awal epidemic malaria yang sudah ada membutuhkan pengembangan lebih lanjut, validasi dan otomatisasi yang belum digunakan secara luas di wilayah

tersebut. Model yang dikembangkan memiliki *lead-time* 2 sampai 4 bulan antara sinyal deteksi epidemi evolusi epidemik. Model telah divalidasi dapat digunakan dengan baik untuk deteksi dini dan pencegahan epidemi malaria.

Prediksi kepadatan populasi vektor spesies Anopheles dan pergeseran batas merupakan hal yang penting dalam persiapan menghadapi risiko malaria dan wabah yang tidak diantisipasi. Studi yang dilakukan oleh Tonnang *et al.* 2014 menghitung perubahan wilayah absolute yang kondusif bagi vektor untuk bertahan hidup di Negara Afrika, dalam 2 skenario perubahan iklim. Studi tersebut mengindikasikan bahwa pergeseran potensi malaria sebagai temuan baru sebagaimana terekam di beberapa daerah dan wilayah baru. Dengan demikian, dibutuhkan pengembangan, kompilasi dan berbagi upaya pencegahan malaria yang dapat diadaptasi di berbagai skenario.

Sebuah studi kasus di Port Harcourt Region, Nigeria yang menguji efek iklim pada kejadian malaria melalui matching data dari pelayanan meteorologi nasional dengan catatan rumah sakit. Data meliputi prevalensi malaria secara signifikan tergantung pada peningkatan curah hujan dan suhu. Penelitian ini merekomendasikan pembersihan drainase dan lingkungan sekitar yang dikombinasikan dengan kegiatan pengendalian malaria rutin (Weli and Efe, 2015).

Di Indonesia malaria dapat berjangkit di daerah dengan ketinggian 1.800 m di atas permukaan laut. Spesies yang paling banyak dijumpai adalah *plasmodium falciparum* dan *plasmodium vivax*. *Plasmodium malariae* dijumpai di Indonesia bagian timur, sedangkan *plasmodium ovale* pernah ditemukan di Papua dan Nusa Tenggara Timur. Walaupun ditularkan oleh nyamuk, penyakit malaria sebenarnya merupakan suatu penyakit ekologis. Air tergenang dan udara panas masing-masing diperlukan untuk pembiakan nyamuk menunjang endemisitas penyakit malaria (Rampengan, 2007: 193).

Kementerian Kesehatan RI (2009) telah mengidentifikasi faktor perubahan lingkungan yang tidak terkendali, seperti perilaku masyarakat yang memungkinkan terjadinya penularan serta terbatasnya akses pelayanan kesehatan untuk menjangkau daerah rawan malaria dikarenakan hambatan geografis, ekonomis maupun sumberdaya (Situmorang; 2012).

Sebagaimana tercantum dalam Dokumen *Road Map* Perubahan Iklim Indonesia dari Sektor Kesehatan (ICCSR, 2010) dalam Situmorang (2012) yang mengidentifikasi faktor sosial, ekonomi dan lingkungan yang mempengaruhi distribusi malaria, meliputi: (1) Perubahan iklim global, (2) Perubahan pemanfaatan lahan, (3) Resistensi obat dan vektor, (4) Mobilitas penduduk, (5) Perubahan sosial-ekonomi, (6) Kondisi layanan kesehatan, (7) Situasi politik dan perang, (8) Krisis ekonomi dan kemiskinan. Tak kalah penting dengan faktor di atas adalah menurunnya perhatian dan kepedulian masyarakat terhadap upaya penanggulangan malaria yang diyakini berkontribusi terhadap meningkatnya kasus dan kejadian luar biasa (KLB) malaria di Indonesia (Ditjen PP & PL, 2008) dalam Situmorang (2012).

Pemanasan global (*global warming*) adalah proses meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi. Efek rumah kaca dan beberapa proses umpan balik yang dihasilkannya merupakan penyebab timbulnya *global warming*. Panas bumi sebagian besar berasal dari matahari. Sebagian besar energi yang berbentuk radiasi gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Ketika energi ini sampai di permukaan bumi kemudian berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Sebagian panas tersebut akan di serap oleh permukaan bumi dan sebagian lainnya akan dipantulkan kembali. Sebagian panas ini berwujud radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar. Namun sebagian panas terperangkap di atmosfer bumi akibat penumpukan gas rumah kaca antara lain, uap air, karbon dioksida, sulfur dioksida, dan metana yang menjadi perangkap gelombang radiasi.

Dampak *global warming* bagi kesehatan diantaranya sebagai berikut: 1) dampak langsung yang disebabkan oleh cuaca ekstrim; 2) konsekuensi kesehatan yang timbul dari berbagai proses perubahan lingkungan dan kerusakan ekologi sebagai respon dari kerusakan lingkungan; dan 3) berbagai konsekuensi kesehatan lainnya, seperti trauma, penyakit infeksi, masalah gizi dan masalah psikologis lainnya yang timbul akibat dari demoralisasi dan perpindahan populasi yang disebabkan oleh kekacauan iklim dan krisis ekonomi.

## Daftar Pustaka

- Arsin Arsunan Andi. Malaria di Indonesia Tinjauan Aspek Epidemiologi. Masagena Press. Makassar. 2012
- Budiman. Buku Ajar Isu Tataran Kesehatan Masyarakat. Reflika Aditama. Bandung. 2015
- Cyril Caminadea,b, Sari Kovatsc, Joacim Rocklöv , Adrian M. Tompkinse , Andrew P. Morseb , Felipe J. Colón-González , Hans Stenlundd , Pim Martensf , and Simon J. Lloydg. Impact of climate change on global malaria distribution. 2013. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas)
- Eding Ep, Kantebeen P, Dekker B, Van Der Tak C, Sitters J, Agtmaal JV, Kooper M, Ras R, Report Project 286 Malaria prevention and treatment, Busukuma, Uganda, 2007. <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0>
- Ermert V, Fink AH, Morse AP, Paeth H. The impact of regional climate change on malaria risk due to greenhouse forcing and land-use changes in tropical Africa. 2012. 120(1):77-84.
- Githeko A.K, Ogallo L , Lemnge M, Okia M and Ototo EN. Malaria epidemic prediction models in East Africa. Malaria Journal. Vol.13:329. 2014
- IRI. Using Climate Information For Malaria Risk Management In Sri Lanka. <https://iri.columbia.edu/wp-content/uploads/2013/07>
- Marcogliese, 2008. The impact of climate change on the parasites and infectious disease of aquatic animals. Rev. Schi. Tech. Off. Int. Epiz, 27 (2), 467-484
- Measey M, Indonesia: A Vulnerable Country in the Face of Climate Change. Global Majority E-Journal, Vol. 1, No. 1 (June 2010), pp. 31-45
- IWGCCH, 2009. A Human health perspective on climate change. A report Outlining the research needs on the human health effect of climate change. [www.niehs.gov/climate-report](http://www.niehs.gov/climate-report)
- Kemenkes RI, *Pedoman Teknis Pemeriksaan Parasit Malaria*. Direktorat Jenderal Pemberantasan Penyakit Bersumber

- Binatang. Direktorat PP dan PL Lemenkes RI, 2011
- Lieshouta M. van, Kovatsb R.S., Livermorec M.T.J., P, Martensa. Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios Global Environmental Change 14 (2004) 87–99
- Rollbackmalaria, 2015. Climate change and malaria. Fact sheets on malaria and The SDGs. [www.rollbackmalaria.org](http://www.rollbackmalaria.org) diakses tanggal 27 November 2016
- Situmorang A, Widayatun, Fatoni F, Astuti Y, Seftiani S. 2010. Perubahan Iklim dan Kasus Malaria: Pemahaman dan Perilaku Kesehatan Masyarakat di Kabupaten Kebumen. *Jurnal masyarakat & budaya*, volume 14 no. 3 tahun 2012
- Tonnang Henri EZ, Tchouassi David P, Juarez Henry S, Igweta Lilian K and Djouaka Rousseau F. Zoom in at African country level: potential climate induced changes in areas of suitability for survival of malaria vectors. *International Journal of Health Geographics* 2014, 13:12 <http://www.ij-healthgeographics.com/content/13/1/12>
- Weli VE, Efe SI. Climate and Epidemiology of Malaria in Port Harcourt Region, Nigeria. *American Journal of Climate Change*, 2015, 4, 40-47
- WHO. 2003. *Climate Change and Human Health- Risk and Responses. Summary*. WHO Library Cataloguing in Public Health Data. France. 2003

## Bab 5.

# *Water-Food Borne Disease*

Agung Dwi Laksono  
Yoyok Beki Prasetyo  
Yulis Setiya Dewi

### **Pendahuluan**

*Water-food borne disease* mencakup spektrum yang luas dari penyakit dan masalah kesehatan masyarakat yang berkembang di seluruh dunia. Mereka adalah hasil dari kontak dengan air dan konsumsi bahan makanan yang terkontaminasi dengan mikroorganisme atau bahan kimia. Kontaminasi makanan dapat terjadi pada setiap tahap dalam proses dari produksi pangan untuk konsumsi dan dapat hasil dari pencemaran lingkungan, termasuk polusi air, tanah atau udara (*World Health Organization, 2015*).

Setiap hari ribuan orang meninggal disebabkan oleh *water-food borne disease* yang sebetulnya dapat dicegah (*World Health Organization, 2010*). Menjaga rumah kita dari *water-food borne disease* dimulai tidak hanya saat kita di rumah, tapi sejak di supermarket, toko kelontong, atau tempat lain di mana kita membeli makanan yang kita rencanakan untuk disimpan dan disajikan (*Food and Drug Administration, U.S, 2008*).

Perkembangan *water-food borne disease* ditemukan tidak hanya pada saat pemenuhan kebutuhan mendasar tentang air dan makanan dalam keseharian. Sebuah penelitian tentang *water-food borne disease* di Amerika justru dikaitkan dengan kondisi air pada tempat-tempat rekreasi. Mukono (2004;2006) mengatakan air kolam renang dapat menjadi sumber penyakit seperti: scabies, dermatitis, impetigo,

iritasi mata, muntaber, tifus, hepatitis, poliomyelitis, dan kecelakaan. Dziuban, dkk (2006) menilai bahwa pemanfaatan rekreasi air telah melibatkan risiko untuk penyakit sepanjang hampir semua sejarah manusia. Hal ini dibuktikan dengan schistosomiasis, penyakit parasit yang hanya terjadi bila koanya memiliki kontak dengan air yang terkontaminasi, dapat ditemukan pada mumi Mesir yang telah berusia berusia sekitar 3.000 tahun.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama tahun 2003-2004, total ada 62 kasus *water-food borne disease* terkait dengan rekreasi air yang dilaporkan oleh 27 wilayah. Penyakit ini terjadi pada 2698 orang, berobat pada 58 rumah sakit dan menjadi penyebab satu kasus kematian Dziuban, dkk (2006).

*World Health Organization* (2014), mendefinisikan *water-food borne disease*, atau penyakit yang ditularkan melalui air dan makanan, adalah penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen yang paling sering ditularkan di air tawar yang terkontaminasi. Hal ini disebabkan karena air yang tercemar. Pemerintah dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI no. 173/Menkes/VII/77 menyatakan bahwa pencemaran air adalah peristiwa masuknya zat ke dalam air yang mengakibatkan kualitas (mutu) air tersebut menurun sehingga dapat mengganggu atau membahayakan kesehatan masyarakat. Hal ini dipertegas melalui Peraturan Pemerintah RI no. 20 tahun 1990 bahwa pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga membahayakan bagi manusia (Mukono, 2006). Infeksi umumnya terjadi selama mandi, mencuci, minum, dalam mempersiapkan makanan, atau saat mengkonsumsi makanan yang telah terinfeksi.

Gejala *water-food borne disease* yang paling sering adalah masalah gastrointestinal, misalnya diare dan kram perut. *Water-food borne disease* ini juga bisa kita dapatkan karena berenang di air yang terkontaminasi atau dari kontak dekat dengan orang lain yang sakit (*Government of New Brunswick*, 2016). *Water-food borne disease* juga dapat memiliki gejala neurologis, ginekologi, imunologi dan gejala lainnya. Kegagalan multiorgan dan bahkan kanker mungkin akibat dari konsumsi air dan bahan makanan yang terkontaminasi,

sehingga juga merepresentasikan beban terhadap kecacatan dan juga kematian (*World Health Organization, 2015*).

Gejala secara gastrointestinal dapat terjadi dalam beberapa menit sampai beberapa minggu dan sering menyajikan dirinya sebagai gejala flu, seperti orang yang sakit mungkin mengalami gejala seperti mual, muntah, diare, atau demam. Karena gejala sering seperti flu, banyak orang mungkin tidak menyadari bahwa penyakit ini disebabkan oleh bakteri berbahaya atau patogen lainnya dalam makanan (*Department of Health and Human Resources, West Virginia, 2016*).

Contoh yang paling sering dan menonjol adalah berbagai bentuk penyakit diare yang ditularkan melalui air. Hal ini sangat berpengaruh terutama anak-anak di negara berkembang. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), penyakit diare diperkirakan mencapai sekitar 3,6% dari total DALY (*Disability-Adjusted Life Year*) beban global penyakit, dan menyebabkan sekitar 1,5 juta kematian manusia setiap tahunnya. DALY adalah ukuran dari beban penyakit secara keseluruhan, dinyatakan sebagai jumlah tahun yang hilang akibat gangguan kesehatan, cacat atau kematian dini). WHO memperkirakan bahwa 58% dari beban itu, atau sekitar 842.000 kematian per tahun, disebabkan oleh masalah pasokan air yang tidak aman, masalah sanitasi dan kebersihan (*World Health Organization, 2014*).

Etiologi/penyebab *water-food borne disease* dapat berupa mikroorganisme patogen dan non patogen dalam air yang tercemar (Mukono, 2006). Mikroorganisme dapat berupa protozoa, parasit, bakteri, virus, dan alga. Berikut ini akan digambarkan berbagai penyakit, penyebab, dan manifestasi kliniknya.

Tabel 5.1. Mikroorganisme protozoa dan berbagai varian penyakit dan manifestasi klinik

Penyakit dan cara penularan	Penyebab	Agen perantara dalam air	Manifestasi klinik
Amoebiasis (melalui tangan ke mulut)	Protozoa ( <i>Entamoeba histolytica</i> )	Limbah dalam air, air minum mentah, lalat	Rasa tidak enak diperut, kembung, kelemahan, kehilangan berat badan, diare, demam

Cryptosporidiosis(oral)	Protozoan ( <i>Cryptosporidium parvum</i> )	Air yang tidak di kelola dengan baik, pupuk kandang, banjir musiman	gejala seperti flu, diare berair, kehilangan nafsu makan, kehilangan berat badan, kembung, mual
Cyclosporiasis	Protozoan ( <i>Giardia lamblia</i> ) Most common intestinal parasite	Air yang tidak dikelola dengan baik, pipa bocor, air tanah yang tercemar, aktivitas binatang membuat sarang yang menjadi tempat berkembang biak Giardia.	Diare, rasa tidak nyaman di perut, kembung
Microsporidiosis	Protozoan phylum ( <i>Microsporidia</i> ),	Sumber mata air yang tercemar	Diarrhea and kehilangan berat badan

Tabel 5.2. Mikroorganisme parasit dan berbagai varian penyakit dan manifestasi klinik

Penyakit dan cara penularan	Penyebab	Agen perantara dalam air	Manifestasi klinik
Schistosomiasis	Genus <i>Schistosoma</i>	Air tawar yang terkontaminasi siput pembawa schistosomes	hematuria, gatal pada kulit, demam dan menggigil, batuk dan nyeri otot
Dracunculiasis	<i>Dracunculus medinensis</i>	Air tidak mengalir tempat berkembang biak larva Copepoda	Reaksi alergi, gatal pada kulit, mual dan muntah, diare dan serangan asma
Taeniasis	genus <i>Taenia</i>	Air minum yang terkontaminasi telur cacing	Gangguan pencernaan, manifestasi neurologis, kehilangan berat badan,
Fasciolopsiasis	<i>Fasciolopsis buski</i>	Air minum yang terkontaminasi dengan metaserkaria	Gangguan pencernaan, diarrhea, hepatomegali, cholangitis, cholecystitis, obstructive jaundice.
Hymenolepiasis	<i>Hymenolepis nana</i>	Air minum yang terkontaminasi telur cacing	Nyeri perut, kehilangan berat badan yang signifikan,gatal pada anus, gugup
Echinococcosis(Hydatid disease)	<i>Echinococcus granulosus</i>	Air minum yang terkontaminasi telur cacing dan feces	Hepatomegali, syok anafilaktik yang disebabkan oleh pecahnya empedu
Ascariasis	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Air minum yang terkontaminasi telur cacing dan feces	Biasanya tidak menimbulkan gejala sampai timbul inflamasi. Pada kasus berat dapat timbul Löffler's syndrome pada paru, mual dan muntah, malnutrisi dan gangguan tumbuh kembang
Enterobiasis	<i>Enterobius vermicularis</i>	Air minum yang terkontaminasi telur cacing	Gatal Peri-anal, gugup, iritabilitas, hiperaktif, dan insomnia

Tabel 5.3. Mikroorganisme bakteri dan berbagai varian penyakit dan manifestasi klinik

Penyakit dan cara penularan	Penyebab	Agen perantara dalam air	Manifestasi klinik
Botulism	<i>Clostridium botulinum</i>	Bakteri bisa masuk melalui luka terbuka dari sumber air yang terkontaminasi. Bisa masuk ke saluran pencernaan melalui konsumsi air minum yang terkontaminasi atau melalui makanan	Mulut kering, penglihatan kabur dan / atau ganda, kesulitan menelan, kelemahan otot, kesulitan bernapas, bicara cadel, muntah dan kadang-kadang diare. Kematian biasanya disebabkan oleh kegagalan pernafasan.
Campylobacteriosis	<i>Campylobacter jejuni</i> (Paling umum)	Air minum yang terkontaminasi feces	Menyebabkan gejala seperti disentri disertai dengan demam tinggi.
Cholera	<i>Vibrio cholerae</i>	Air minum yang terkontaminasi <i>Vibrio cholerae</i>	Salah satu penyakit fatal yang gejalanya meliputi diare profus, mual, kram, mimisan, takikardia, muntah, shock hypovolemic (pada kasus berat). Kematian dapat terjadi dalam 12-18 jam.
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>	Air yang terkontaminasi oleh bakteri	Sebagian besar diare. Dapat menyebabkan kematian pada individu dengan gangguan system imun, bayi dan orang tua karena dehidrasi dari sakit yang berkepanjangan.
<i>M. marinum</i> infection	<i>Mycobacterium marinum</i>	kebanyakan kasus dari paparan di kolam renang. Tergolong infeksi langka karena kebanyakan menginfeksi individu dengan daya tahan tubuh rendah	Gejala berupa adanya lesi yang terletak di siku, lutut, dan kaki (dari kolam renang) atau lesi pada tangan (akuarium).
Dysentery	<i>Shigella</i> dan <i>Salmonella</i> , dikenal sebagai <i>Shigella dysenteriae</i>	Air yang terkontaminasi oleh bakteri	Berak darah berlendir, disertai muntah darah
Legionellosis	<i>Legionella</i> (90% kasus adalah <i>Legionella pneumophila</i> )	air yang terkontaminasi legionella dan bakteri ini tumbuh subur di lingkungan perairan yang hangat.	Penyakit Legionnaires memiliki gejala berat asfever seperti, menggigil, pneumonia (dengan batuk yang kadang-kadang berdahak), ataksia, anoreksia, nyeri otot, malaise dan kadang-kadang diare dan muntah
Leptospirosis	<i>Leptospira sp</i>	air yang terkontaminasi oleh urine binatang yang mengandung bakteri leptospira	Dimulai dengan gejala seperti flu kemudian membaik. Fase kedua muncul gejala berupa meningitis, kerusakan hati, dan ginjal
Otitis Externa (swimmer's ear)	Disebabkan oleh berbagai bacteria	Berenang pada air yang terkontaminasi patogen	Pembengkakan saluran telinga yang menyebabkan nyeri ketika disentuh

EKOLOGI, PEMANASAN GLOBAL DAN KESEHATAN

Salmonellosis	<i>Genus Salmonella</i>	Konsumsi air yang terkontaminasi oleh bakteri salmonella.	Diare, demam, muntah dan kram perut
Typhoid fever	<i>Salmonella typhi</i>	Menelan air yang terkontaminasi feces dari penderita typhoid	Ditandai dengan demam berkelanjutan hingga 40 ° C, berkeringat banyak, diare dapat terjadi. Gejala berikutnya berupa delirium, dan pembengkakan hati dan limpa bila tidak diobati. Beberapa orang dengan demam tifoid dapat timbul ruam bintik-bintik merah kecil di perut dan dada.
Vibrio Illness	<i>Vibrio vulnificus, Vibrio alginolyticus, and Vibrio parahaemolyticus</i>	Bisa masuk melalui luka dari air yang terkontaminasi. Juga diperoleh dengan minum air yang terkontaminasi atau makan tiram mentah.	Gejala berupa nyeri perut, agitasi, tinja berdarah, menggigil, kebingungan, tidak konsentrasi, delirium, mood yang fluktuatif, halusinasi, mimisan, kelelahan berat, lambat, lamban, perasaan lesu, lemah.

Tabel 5.4. Mikroorganisme virus dan berbagai varian penyakit dan manifestasi klinik

Penyakit dan cara penularan	Penyebab	Agen perantara dalam air	Manifestasi klinik
SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome)	Coronavirus	Air yang tidak dimasak dengan baik	Gejala berupa demam, myalgia, lethargy, gangguan pencernaan, batuk dan radang tenggorokan
Hepatitis A	Hepatitis A virus (HAV)	Air dan makanan yang terkontaminasi	Gejala biasanya hanya akut saja yaitu Kelelahan, demam, sakit perut, mual, diare, penurunan berat badan, gatal-gatal, sakit kuning dan depresi.
Poliomyelitis(Polio)	Poliovirus	Memasuki air melalui tinja orang yang terinfeksi	90-95% pasien tidak menunjukkan gejala, 4-8% memiliki gejala minor (relatif) dengan delirium, sakit kepala, demam, dan kejang sesekali, dan paralisis spastik, 1% memiliki gejala meningitis aseptik non-paralitik. Sisanya memiliki gejala serius yang mengakibatkan kelumpuhan atau kematian

Polyomavirus infection	2 bentuk virus: JC virus dan BK virus	sangat luas, dapat memanifestasikan dirinya dalam air, ~ 80% dari populasi memiliki antibodi untuk polyomavirus	virus BK menyebabkan infeksi pernapasan ringan dan dapat menginfeksi ginjal pada pasien post transplantasi. virus JC menginfeksi system pernafasan, ginjal atau dapat menyebabkan PML di otak (yang fatal).
------------------------	---------------------------------------	---	---

Tabel 5.5. Mikroorganisme alga dan berbagai varian penyakit dan manifestasi klinik

Penyakit dan cara penularan	Penyebab	Agen perantara dalam air	Manifestasi klinik
Infeksi Desmodosmus	desmodosmusarmatus	Ada secara alami di air dan dapat masuk melalui luka	Sama dengan infeksi jamur

## Penyakit *Water-Food Borne* yang Lazim di Indonesia dan Penatalaksanaannya

### A. Infeksi E. Coli

Kaper, Nataro & Mobley (2004) mengatakan secara patogenesis ada lima kelas E. coli yang menghasilkan penyakit yang diklasifikasikan berdasarkan patogenesisnya: 1) racun (enterotoksigenik), 2) invasif (enteroinvasif), 3) hemoragik (enterohemorragik), 4) patogen (enteropathogenic), 5) agregatif (penggumpalan atau enteroaggregative). Patogenesis kelima kelas tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:

#### 1. E. Coli Enterotoksigenik (ETEC)

Penyebab diare pada bayi dan traveler terutama di daerah sanitasi yang buruk. Penyakit membutuhkan kolonisasi dan ekskresi dari satu atau lebih racun yang dihasilkan oleh E. Coli. Racun ini menyebabkan sekresi cairan dan mengakibatkan diare mulai dari tingkat ringan sampai berat sekali. E. Coli Enterotoksigenik (ETEC) menjadi penyebab yang sering bagi wisatawan sehingga dikenal sebagai "diare wisatawan". Selain itu menjadi menyebabkan diare pada bayi di negara berkembang. Faktor kolonisasi ETEC yang spesifik untuk menimbulkan pelekatan ETEC pada sel epitel usus kecil. Lumen usus terengang oleh cairan dan mengakibatkan hipermortilitas serta diare, dan berlangsung selama beberapa hari. Beberapa strain ETEC menghasilkan eksotosin tidak tahan panas.

EPEC menggunaan fimbrial adhesi (penonjolan dari dinding sel bakteri) untuk mengikat sel-sel enterosit di usus halus. EPEC dapat memproduksi 2 proteinous enterotoksin: dua protein yang lebih besar, LT enterotoksin sama pada struktur dan fungsi toksin kolera hanya lebih kecil, ST enterotoksin menyebabkan akumulasi cGMP pada sel target dan elektrolit dan cairan sekresi berikutnya ke lumen usus. EPEC strains tidak invasive dan tidak tinggal pada lumen usus.

Pemberian profilaksis antimikroba dapat efektif mencegah terjadinya diare tetapi bisa menimbulkan peningkatan resistensi antibiotic pada bakteri sehingga tidak direkomendasikan secara luas. Pemberian antibiotic dapat secara efektif mempersingkat lamanya penyakit pada saat timbulnya diare.

## 2. E. Coli Enteroinvasif (EIEC)

Strain ini mirip dengan Shigellosis dalam hal timbulnya penyakit. Bakteri jenis ini menembus dinding sel dari usus besar dan menyebabkan kehancuran sel dan diare ekstrim. Menyebabkan penyakit yang sangat mirip dengan shigellosis. Penyakit sering terjadi pada anak-anak di negara berkembang dan para wisatawan yang menuju ke negara tersebut.

EIEC menyebabkan fermentasi laktosa dengan lambat dan tidak bergerak. EIEC menimbulkan penyakit melalui invasinya ke sel epitel mukosa usus. Diare ini ditemukan hanya pada manusia dan tidak terjadi pada binatang seperti E. Coli Enterotoksigenik.

## 3. E. Coli Enteropatogenik (EPEC)

E. coli jenis ini menyebabkan diare berair. Diare dan gejala lainnya mungkin disebabkan oleh invasi sel host dan interferensi dengan proses seluler disertai dengan produksi racun. EPEC merupakan penyebab penting diare pada bayi, khususnya di negara berkembang. EPEC melekat pada sel mukosa yang kecil yang diperantarai oleh kromosom yang menimbulkan pelekatan yang kuat. Akibat dari infeksi EPEC adalah diare cair yang biasanya sembuh sendiri tetapi dapat juga kronik. Lamanya diare EPEC dapat diperpendek dengan pemberian antibiotik. Diare terjadi pada manusia, kelinci, anjing, kucing dan kuda.

Seperti EPEC, EPEC juga menyebabkan diare tetapi mekanisme molekular dari kolonisasi dan etiologi adalah berbeda. EPEC memiliki

sedikit fimbria, ST dan LT toksin, tetapi EPEC menggunakan adhesin yang dikenal sebagai intimin untuk mengikat inang sel usus. Sel EPEC invasive (jika memasuki sel inang) dan menyebabkan radang.

#### 4. E. Coli Enteroagregatif (EAEC)

Strain ini berhubungan dengan diare persisten pada anak-anak dan menyebabkan diare berdarah dan non- peradangan. Hal ini mungkin berkaitan dengan produksi toksin. Menyebabkan diare akut dan kronik pada masyarakat di negara berkembang. Bakteri ini ditandai dengan pola khas pelekatnya pada sel manusia. EAEC memproduksi hemolisin dan ST enterotoksin yang sama dengan ETEC.

#### 5. E. Coli Enterohemoragik (EHEC)

E. Coli jenis ini tidak menginvasi mukosa usus tetapi menghasilkan dua racun yang hampir identik dengan toksin Shiga. Racun berperan dalam respon inflamasi dan diperkuat oleh deficiency besi. Jenis ini menghasilkan verotoksin, dinamai sesuai efek sitotoksinya pada sel Vero, suatu sel hijau dari monyet hijau Afrika. Terdapat sedikitnya dua bentuk antigenic dari toksin. EHEC berhubungan dengan cholangitis hemoragik, bentuk diare yang berat dan dengan sindroma uremia hemolitik, suatu penyakit akibat gagal ginjal akut, anemia hemolitik mikroangiopatik, dan trombositopenia. Banyak kasus EHEC dapat dicegah dengan memasak daging sampai matang. Diare ini ditemukan pada manusia, sapi, dan kambing.

Kelima jenis E. Coli diatas dapat di obati dengan berbagai antibiotik dan obat simptomatik lainnya sebagai berikut

##### a. *Racecordil*

Anti diare yang ideal harus bekerja cepat, tidak menyebabkan konstipasi, mempunyai indeks terapeutik yang tinggi, tidak mempunyai efek buruk terhadap sistem saraf pusat, dan yang tak kalah penting, tidak menyebabkan ketergantungan.

##### b. *Loperamide*

Loperamide merupakan golongan opioid yang bekerja dengan cara memperlambat motilitas saluran cerna dengan mempengaruhi otot sirkuler dan longitudinal usus. Obat diare ini berikatan dengan reseptor opioid sehingga diduga efek konstipasinya diakibatkan oleh ikatan loperamid dengan reseptor tersebut. Efek samping yang sering

dijumpai adalah kolik abdomen (luka di bagian perut), sedangkan toleransi terhadap efek konstipasi jarang sekali terjadi.

c. *Nifuroxazide*

*Nifuroxazide* adalah senyawa nitrofuran memiliki efek bakterisidal terhadap *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* dan *Pseudomonas aeruginosa*. *Nifuroxazide* bekerja local pada saluran pencernaan. Obat diare ini diindikasikan untuk diare akut, diare yang disebabkan oleh *E. coli* dan *Staphylococcus*, kolopatis spesifik dan non spesifik, baik digunakan untuk anak-anak maupun dewasa.

d. *Diocahedral smectite*

*Diocahedral smectite* (DS), suatu aluminosilikat nonsistemik berstruktur filitik, secara *in vitro* telah terbukti dapat melindungi barrier mukosa usus dan menyerap toksin, bakteri, serta rotavirus. *Smectite* mengubah sifat fisik mukus lambung dan melawan mukolisis yang diakibatkan oleh bakteri. Zat ini juga dapat memulihkan integritas mukosa usus seperti yang terlihat dari normalisasi rasio laktulose-manitol urin pada anak dengan diare akut.

e. Zat penekan peristaltik

Sehingga memberikan lebih banyak waktu untuk resorpsi air dan elektrolit oleh mukosa usus seperti derivat petidin (difenoksilat dan loperamida), antokolinergik (atropine, ekstrak belladonna).

f. Adstringensia

Menciutkan selaput lendir usus, misalnya asam samak (tannin) dan tannalbumin, garam-garam bismuth dan alumunium.

g. Adsorbensia (adsorpsi)

Zat-zat beracun (toksin) yang dihasilkan oleh bakteri atau yang adakalanya berasal dari makanan (udang, ikan). Termasuk di sini adalah juga zat-zat lendir yang menutupi selaput lendir usus dan lukalukanya dengan suatu lapisan pelindung seperti kaolin, pektin (suatu karbohidrat yang terdapat antara lain sdalam buah apel) dan garam-garam bismuth serta alumunium.

c. Spasmolitik

Zat-zat yang dapat melepaskan spasme otot yang seringkali mengakibatkan nyeri perut pada diare antara lain papaverin dan oksifenonium.

Selain diare, E. coli juga dapat menyebabkan beberapa penyakit yang bisa juga disebabkan beberapa bakteri lain, antara lain penyakitnya sebagai berikut:

**1. Infeksi saluran kemih**

Penyebab yang paling lazim dari infeksi saluran kemih dan merupakan penyebab infeksi saluran kemih pertama pada kira – kira 90% wanita muda. Gejala yang muncul sering kencing, disuria, hematuria, dan piuria. Kebanyakan infeksi ini disebabkan oleh E. coli dengan sejumlah tipe antigen O.

**2. Sepsis**

Bila pertahanan inang normal tidak mencukupi, E. coli dapat memasuki aliran darah dan menyebabkan sepsis. Bayi yang baru lahir dapat sangat rentan terhadap sepsis E. coli karena tidak memiliki antibody IgM. Sepsis dapat terjadi akibat infeksi saluran kemih.

**3. Meningitis**

E. coli merupakan salah satu penyebab utama meningitis pada bayi. E. coli dari kasus meningitis ini mempunyai antigen K1. Antigen ini bereaksi silang dengan polisakarida simpai golongan B dari N meningitidis. Mekanisme virulensi yang berhubungan dengan antigen K1 tidak diketahui.

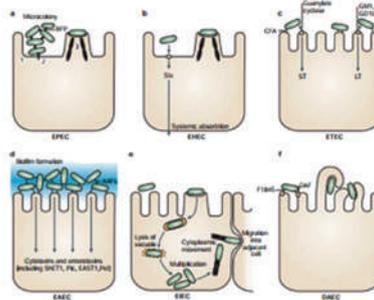


Figure 1 Pathogenic scheme of enterohemorrhagic E. coli. The six recognized categories of enterohemorrhagic E. coli each have unique features in their interaction with small intestine cells. First, the interaction of each category with a target target cell is schematically represented. These interactions are largely the result of in vitro studies and might not completely reflect the phenomena that occurs in infected humans. a) EPEC adheres to small bowel enterocytes, but lacking the normal receptor antibodies, including the characteristic attaching and effacing lesions. Cytoskeletal rearrangements are accompanied by an inflammatory response and diarrhea. b) EHEC adheres to small bowel enterocytes. c) ETEC adheres to small bowel enterocytes and diarrhea is usually accompanied by attaching lesions, but not in the colon. The attaching lesions of EHEC is the elaboration of Shiga toxin (Stx), systemic absorption of which leads to potentially life-threatening complications. d) EHEC adheres to small bowel enterocytes and diarrhea is usually accompanied by the secretion of heat-labile (LT) enterotoxins. e) EHEC adheres to small intestine (small intestine) and diarrhea is usually accompanied by the secretion of heat-labile (LT) enterotoxins. f) EHEC adheres to small intestine (small intestine) and diarrhea is usually accompanied by the secretion of heat-labile (LT) enterotoxins. Through the cells including the receptors. The bacteria might move loosely through the epithelium to reach the submucosa or might not attach under the carbohydrate plasma membrane. g) EHEC adheres to small intestine (small intestine) and diarrhea is usually accompanied by the secretion of heat-labile (LT) enterotoxins. h) EHEC adheres to small intestine (small intestine) and diarrhea is usually accompanied by the secretion of heat-labile (LT) enterotoxins. i) EHEC adheres to small intestine (small intestine) and diarrhea is usually accompanied by the secretion of heat-labile (LT) enterotoxins. j) EHEC adheres to small intestine (small intestine) and diarrhea is usually accompanied by the secretion of heat-labile (LT) enterotoxins.

#### 4. *Salmonella Typhi*

Typhoid adalah penyakit infeksi sistemik akut yang disebabkan infeksi salmonella Thypi. Organisme ini masuk melalui makanan dan minuman yang sudah terkontaminasi oleh feces dan urine dari orang yang terinfeksi kuman salmonella (Bruner & Sudart, 1994). Typhoid adalah penyakit infeksi akut usus halus yang disebabkan oleh kuman salmonella thypi dan salmonella para thypi A,B,C. Penyakit ini juga dikenal adalah Typhoid dan paratyphoid abdominalis (Noer, 1996).

Typhoid adalah suatu penyakit pada usus yang menimbulkan gejala-gejala sistemik yang disebabkan oleh salmonella typhosa, salmonella type A.B.C. penularan terjadi secara *faecal-oral* melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi (Mansoer, 1999). Penularan salmonella thypi dapat ditularkan melalui berbagai cara, yang dikenal dengan 5 F yaitu *Food* (makanan), *Fingers* (jari tangan / kuku), *Fomitus* (muntah), *Fly* (lalat), dan melalui *Faeces*. Feces dan muntah pada penderita typhoid dapat menularkan kuman salmonella thypi kepada orang lain. Kuman tersebut dapat ditularkan melalui perantara lalat, dimana lalat akan hinggap dimakanan yang akan dimakan oleh orang yang sehat. Apabila orang tersebut kurang memperhatikan kebersihan dirinya seperti mencuci tangan dan makanan yang tercemar kuman salmonella thypi masuk ke tubuh orang yang sehat melalui mulut. Kemudian kuman masuk ke dalam lambung, sebagian kuman akan dimusnahkan oleh asam lambung dan sebagian lagi masuk ke usus halus bagian distal dan mencapai jaringan limfoid. Di dalam jaringan limfoid ini kuman berkembang biak, lalu masuk ke aliran darah dan mencapai sel-sel retikuloendotelial. Sel-sel retikuloendotelial ini kemudian melepaskan kuman ke dalam sirkulasi darah dan menimbulkan bakterimia, kuman selanjutnya masuk limpa, usus halus dan kandung empedu.

#### **Tanda dan gejala demam Thyphoid**

##### *Minggu I*

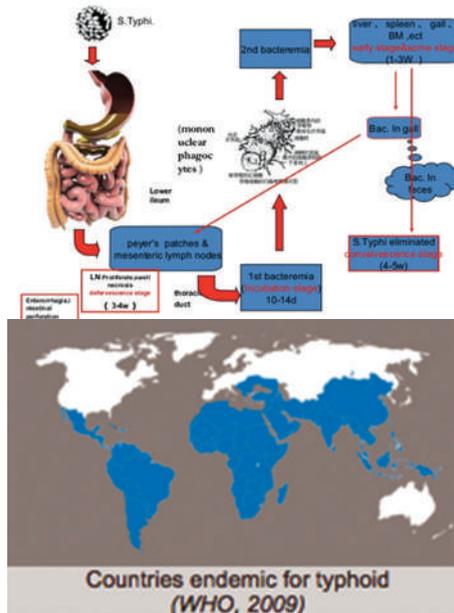
Demam yang cenderung terus meningkat terutama sore hari dan malam hari. Keluhan dan gejala demam, nyeri otot, nyeri kepala, anoreksia dan mual, batuk, epitaksis, obstipasi / diare, perasaan tidak enak di perut juga dirasakan oleh penderita.

### Minggu II

Gejala sudah semakin jelas berupa demam, bradikardi, lidah yang khas (putih, kotor, pinggirnya hiperemi), hepatomegali, meteorismus, penurunan kesadaran.

### Tata Laksana Demam Typhoid

- Pemberian antibiotik: Klorampenikol, Tiampenikol, Kotrimoxazol, Amoxilin dan Ampicillin
- Perawatan, pasien diistirahatkan 7 hari sampai demam turun atau 14 hari untuk mencegah komplikasi perdarahan usus. Mobilisasi bertahap bila tidak ada panas, sesuai dengan pulihnya, transfusi bila ada komplikasi perdarahan.
- Diet, diet yang sesuai, cukup kalori dan tinggi protein, Pada penderita yang akut dapat diberi bubur saring, Setelah bebas demam diberi bubur kasar selama 2 hari lalu nasi tim, dilanjutkan dengan nasi biasa setelah penderita bebas dari demam selama 7 hari.



Sumber: (Kumar, 2014)

#### 4. *Vibrio Cholerae*

Kolera adalah penyakit akibat bakteri *Vibrio Cholerae* yang biasanya menyebar melalui air yang terkontaminasi (CDC, 2014). Penyakit ini dapat menyebabkan dehidrasi akibat diare yang parah. Kolera bisa berakibat fatal dalam hitungan jam saja jika tidak segera diatasi. Penyakit ini biasa mewabah di daerah yang padat penduduk tanpa sanitasi yang baik (Finkelstain, 1996). Penyebab infeksi kolera adalah bakteri bernama *Vibrio cholerae*. Bakteri kolera memproduksi CTX atau racun berpotensi kuat di usus kecil. Dinding usus yang ditemplei CTX akan mengganggu aliran mineral sodium dan klorida hingga akhirnya menyebabkan tubuh mengeluarkan air dalam jumlah besar (diare) dan berakibat kepada kekurangan elektrolit dan cairan (CDC, 2014). Ada dua siklus kehidupan yang berbeda pada bakteri kolera, yaitu di dalam tubuh manusia dan lingkungan. Bakteri kolera di tubuh manusia ditularkan melalui tinja yang mengandung bakteri. Bakteri kolera bisa berkembang biak dengan subur jika persediaan air dan makanan telah terkontaminasi dengan tinja tersebut. Selain itu bakteri kolera juga dapat berkembang di lingkungan sekitar manusia tinggal. Perairan pinggir pantai yang memiliki krustasea kecil bernama copepoda merupakan tempat alami munculnya bakteri kolera. Plankton dan alga jenis tertentu merupakan sumber makanan bagi krustasea, dan bakteri kolera akan ikut bersama inangnya, yaitu krustasea, mengikuti sumber makanan yang tersebar di seluruh dunia.

Tidak semua penderita kolera memiliki gejala, sehingga tidak sadar bahwa mereka telah terinfeksi *Vibrio cholera* dan hanya 10 persen saja yang menunjukkan gejala. Penderita yang tidak memiliki gejala masih bisa menularkan kepada orang lain melalui air yang terkontaminasi akibat bakteri kolera yang menyebar melalui tinja selama 1-2 minggu. Kolera yang telah menyebabkan gejala selama beberapa jam bisa mengakibatkan dehidrasi atau tubuh kekurangan cairan. Dehidrasi parah terjadi jika tubuh kehilangan cairan lebih dari 10 persen total berat tubuh. Selain itu perlu diketahui bahwa diare akibat kolera bisa menyebabkan hilangnya cairan tubuh dengan cepat, yaitu sekitar 1 liter per jam, dan muncul secara tiba-tiba. Orang yang terjangkit bakteri kolera akan merasa mual dan muntah selama beberapa jam pada tahap awal terinfeksi. Ada beberapa gejala dehidrasi akibat kolera sebagai berikut: mulut terasa kering, aritmia, iritabilitas,

merasa kehausan, hipotensi, penurunan kesadaran, oliguria dan kulit berkerut dan kering (CDC, 2014). Dehidrasi bisa menyebabkan ketidakseimbangan kadar elektrolit atau hilangnya sejumlah besar mineral dalam darah yang berguna menjaga keseimbangan cairan dalam tubuh. Ketidakseimbangan elektrolit bisa menyebabkan oksigen dan tekanan darah menurun drastis serta kram otot (CDC, 2014). Anak-anak yang terjangkit bakteri kolera lebih rentan terkena hipoglisemia atau gula darah rendah yang bisa menyebabkan kejang, hilang kesadaran, dan bahkan koma.

Diagnosis dilakukan untuk mengatasi kolera dan menentukan perawatan yang tepat. Satu-satunya cara untuk memastikan diagnosis kolera adalah dengan menguji sampel tinja untuk keberadaan bakteri. Kini petugas medis di daerah terpencil bisa menggunakan tes untuk mendiagnosis kolera lebih cepat dan mengurangi dampak fatal yang bisa terjadi.

Dampak paling fatal akibat kolera adalah kematian yang dapat terjadi dalam hitungan jam saja. Itu sebabnya pasien membutuhkan penanganan yang cepat dan tepat. Langkah-langkah penanganan darurat dapat berupa:

- a. Pemberian oralit untuk menggantikan cairan dan elektrolit yang hilang. Oralit tersedia dalam bentuk bubuk yang bisa dicampur dengan air mineral botol atau air yang dimasak hingga mendidih.
- b. Pemberian infus untuk orang yang mengalami dehidrasi parah.
- c. Pemberian suplemen seng untuk meredakan diare pada anak-anak penderita kolera.
- d. Pemberian antibiotik untuk mengurangi jumlah bakteri, sekaligus mempersingkat diare akibat kolera.



Sebaran Negara Endemik kolera, Sumber:<http://www.cdc.gov/cholera/index.html>

## **Pencegahan *Water-Food Borne Disease***

Ada beberapa cara pencegahan yang dapat kita lakukan untuk menghindari *water-food borne disease*. Berikut adalah cara-cara pencegahan yang telah disarikan dari beberapa sumber (*World Health Organization*, 2010; Bogard, 2004; Government of New Brunswick, 2016; Food and Drug Administration, U.S, 2008), yaitu:

1. Lakukan pengelolaan lingkungan yang baik. Menyiram atau membuang tinja di toilet dan area yang bersih sekitarnya. Penggunaan disinfektan berbasis klorin sangat dianjurkan.
2. Praktik *personal hygiene* yang baik. Biasakan untuk selalu bersih. Sering mencuci tangan sangat penting pada semua kelompok umur. Praktik mencuci tangan pada anak-anak harus diawasi. Cuci tangan dengan sabun untuk setidaknya 20 detik, dan menggosok semua permukaan. Cuci tangan pakai sabun dilakukan setelah melakukan hal-hal berikut:
  - a. Cuci tangan setelah menggunakan toilet, mengganti popok atau menceboki anak yang telah buang air besar, dan juga sebelum dan sesudah merawat seseorang yang sakit dengan diare.
  - b. Cuci tangan setelah memegang hewan, membersihkan kotoran hewan, dan juga setelah berkebun.
  - c. Cuci tangan sebelum dan sesudah menyiapkan makanan atau makan.
3. Mengambil tindakan pencegahan keamanan pangan dengan belajar tentang dasar-dasar keamanan pangan sehingga dapat melindungi diri sendiri, teman, keluarga dan orang-orang di komunitas Anda.
  - a. Cuci dan atau mengupas semua sayuran dan buah-buahan sebelum dimakan, terutama bila dimakan mentah.
  - b. Periksa semua kemasan makanan beku, pilih makanan beku yang tahan lama, dan pilih telur segar dengan hati-hati.
  - c. Minum dan makan produk susu hanya yang telah melalui proses pasteurisasi (susu, keju, yoghurt dan es krim).
  - d. Memasak semua daging dengan benar (daging, unggas dan makanan laut). Misalnya, daging sapi harus dimasak dengan suhu internal 71°C/160° F.
  - e. Makanan aman dimasak saat mencapai suhu internal yang cukup tinggi untuk membunuh bakteri berbahaya yang menyebabkan penyakit bawaan makanan. Dinginkan makanan

- dengan cepat, karena suhu dingin memperlambat pertumbuhan bakteri berbahaya.
- f. Cuci tangan serta membersihkan semua permukaan berkenaan dengan dapur dan peralatan setelah kontak dengan daging mentah atau unggas.
  - g. Cuci tangan sebelum memegang makanan, termasuk ketika menangani antar makanan yang berbeda.
  - h. Mencegah kontak antara makanan yang telah selesai dimasak dengan makanan mentah (misalnya, daging mentah, dan unggas).
  - i. Membersihkan semua peralatan (talenan, counter kerja, dan lain-lain) sebelum dan setelah digunakan. Usahakan menggunakan air panas dan deterjen untuk membersihkan, kemudian bilas dengan air panas.
  - j. Hindari menyiapkan makanan untuk orang lain saat kita memiliki gejala minimal selama 48 jam setelah pulih.
4. Meminum hanya air yang telah diolah dengan benar (*safe water*). Air dari pasokan air swasta harus secara rutin diuji harus dua kali setahun untuk Total Coliform dan E.coli. Analisis anorganik pada pasokan air swasta sebaiknya dilakukan setiap dua sampai tiga tahun

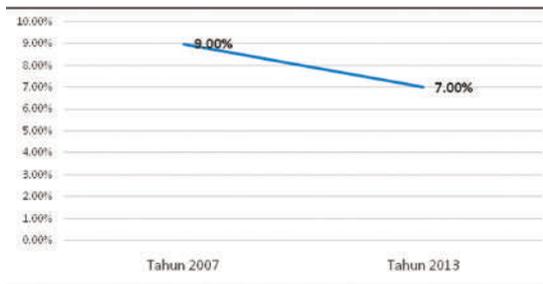
Tindakan pencegahan yang lain adalah dengan melakukan monitoring kualitas pada air. Mukono (2005) mengatakan ada beberapa tingkatan pengambilan sampel air yang terkontaminasi meliputi: *grab samples*, *composite samples*, *timed cycle samples*, *flow proportional samples*, *indicator samples*. *Grab samples* dilakukan dengan mengambil sampel air satu kali saja yang mempersentasikan waktu yang tepat untuk karakteristik limbah. *Composite samples* dilakukan secara seri dari masing-masing lokasi yang dianggap tepat. *Timed cycle samples* dengan tehnik mengambil sampel dengan volume yang sama pada interval waktu tertentu. *Flow proportional samples* diambil dengan aliran badan air. *Indicator samples* dapat menggunakan kontaminan biologi.

### **Dampak Sosio Ekonomi**

*Water-food borne disease* dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap perekonomian, baik lokal maupun internasional. Orang yang

terinfeksi oleh *water-food borne disease* biasanya dihadapkan dengan biaya terkait dan tidak jarang dengan beban keuangan yang cukup besar. Hal ini terutama terjadi di negara-negara kurang berkembang. Kerugian keuangan sebagian besar disebabkan oleh misalnya biaya untuk perawatan medis, obat-obatan, biaya transportasi, makanan khusus, dan oleh berkurangnya atau hilangnya tenaga kerja. Banyak keluarga bahkan harus menjual tanah mereka untuk membayar untuk perawatan di rumah sakit. Rata-rata, sebuah keluarga menghabiskan sekitar 10% dari pendapatan rumah tangga bulanan per orang saat ada anggota keluarganya yang terinfeksi (Bastian, 2009).

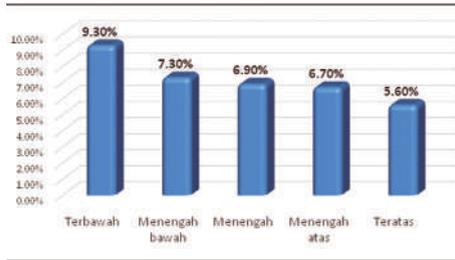
Trend penyakit diare, sebagai salah satu penyakit yang paling sering disebabkan oleh *water-food borne disease*, di Indonesia menunjukkan angka prevalensi yang menurun selama kurun waktu tahun 2007 ke 2013. Angka trend cakupan prevalensi diare ini berlaku secara nasional berdasarkan hasil Riset Kesehatan Nasional yang dilaksanakan pada tahun 2007 dan 2013 oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.



Gambar 6.1. Trend Prevalensi Penyakit Diare di Indonesia Tahun 2007-2013 – Sumber: Riset Kesehatan Dasar Tahun 2007 & 2013; Kementerian Kesehatan RI., 2007 dan Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2013

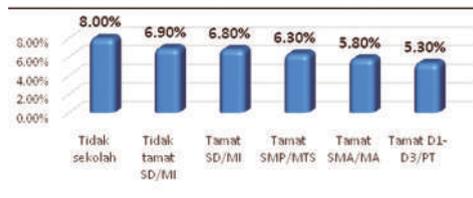
Selama enam tahun, Indonesia hanya mampu menurunkan angka prevalensi sekitar dua persen. Meski demikian variasi kesenjangan prevalensi diare ini sangat tinggi antar wilayah di Indonesia. Pada tahun 2013, prevalensi tertinggi diare berdasarkan hasil diagnosa dan gejala adalah Provinsi Papua sebesar 14,7%, sedang prevalensi terendah adalah Provinsi Bangka Belitung, hanya sebesar 3,4% penduduknya yang terserang penyakit diare pada tahun 2013 (Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2013).

Penyakit diare sepertinya memang merupakan salah satu *water-food borne disease* yang lebih sering terjadi pada orang miskin, tidak berpendidikan dan orang dengan jenis pekerjaan kalangan bawah. Fenomena ini tergambar pada hasil Riset Kesehatan Dasar tahun 2013 berikut:



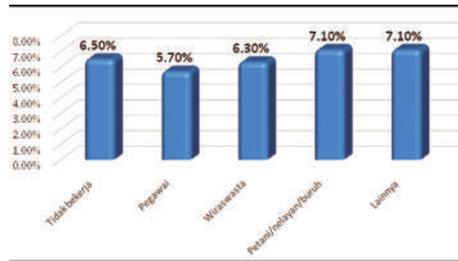
Gambar 6.2. Prevalensi Penyakit Diare Berdasarkan Kuintil Tingkat Sosial Ekonomi di Indonesia Tahun 2013 – Sumber: Riset Kesehatan Dasar Tahun 2013; Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2013

Berdasarkan tingkat sosial ekonomi, penyakit diare seperti mengikuti trend berdasarkan tingkat kekayaan seseorang. Penyakit diare paling sering muncul pada kuintil terendah (paling miskin), dan semakin berkurang prevalensinya sampai pada tingkat sosial ekonomi paling tinggi (paling kaya).



Gambar 6.3. Prevalensi Penyakit Diare Berdasarkan Tingkat Pendidikan di Indonesia Tahun 2013 – Sumber: Riset Kesehatan Dasar Tahun 2013; Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2013

Senada dengan tingkat sosial ekonomi, penyakit diare berdasarkan tingkat pendidikan juga seperti trend yang mengikuti tingkat pendidikan seseorang. Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tidak berpendidikan seseorang, maka akan semakin besar kemungkinan terserang diare. Hal ini dapat diasumsikan bahwa semakin seseorang berpendidikan maka kemungkinan informasi soal kebersihan, sanitasi diri dan cara pencegahan penyakit semakin bisa tersampaikan.



Gambar 6.4. Prevalensi Penyakit Diare Berdasarkan Jenis Pekerjaan di Indonesia Tahun 2013 – Sumber: Riset Kesehatan Dasar Tahun 2013; Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2013

Penyakit diare berdasarkan pekerjaan semakin memperkuat fenomena bahwa penyakit diare merupakan masalah yang lebih sering menimpa kalangan bawah yang miskin dan tidak berpendidikan. Penyakit diare ini di Indonesia memiliki prevalensi terbesar pada jenis pekerjaan petani, nelayan, buruh dan lainnya, sedang pegawai, sebagai representasi kalangan menengah-atas cenderung memiliki prevalensi penyakit diare yang paling rendah.

## Penutup

*Water-food borne disease* mencakup spektrum yang luas tidak hanya pada saat pemenuhan kebutuhan mendasar tentang air dan makanan dalam keseharian tetapi justru dikaitkan dengan kondisi air pada tempat-tempat rekreasi. Mukono (2004; 2006) mengatakan air kolam renang dapat menjadi sumber penyakit seperti: scabies, dermatitis, impetigo, iritasi mata, muntaber, tifus, hepatitis, poliomyelitis, dan kecelakaan. *World Health Organization* (2014), mendefinisikan *water-food borne disease*, atau penyakit yang ditularkan melalui air dan makanan, adalah penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen. Berapa penyakit diantaranya adalah diare, kolera, typhoid. Pencegahan yang dapat dilakukan diantaranya adalah dengan pemeliharaan lingkungan yang higienis, personal hygiene yang baik. Tindakan pencegahan yang lain adalah dengan melakukan pengolahan pada air. Mukono (2005) mengatakan ada beberapa tingkatan pengambilan sampel air yang terkontaminasi meliputi: *grab samples, composite samples, timed cycle samples, flow proportional samples, indicator samples*.

**Rekomendasi:** Kebijakan bidang kesehatan dengan meningkatkan kolaborasi dan elaborasi dalam kerjasama tim *interprofesional health*

*provider* dalam menyelesaikan permasalahan penyakit *water-food borne diseases*. Membuat media penyampaian informasi pencegahan *water-food borne disease* yang lebih sederhana dan mudah dimengerti, mengingat bahwa penyakit ini lebih sering terjadi pada masyarakat dengan status sosial miskin dan dengan tingkat pendidikan rendah. Penyederhanaan pesan bisa dilakukan dengan lebih banyak memuat gambar dibanding tulisan.

### **Daftar Pustaka**

- Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2010. *Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar Tahun 2010*. Jakarta, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2013. *Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar Tahun 2013*. Jakarta, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia
- Bastian S., 2009. *Drastic Consequences of Diarrheal Disease*. Tersedia pada <http://www.dandc.eu/en/article/drastic-consequences-diarrhoeal-disease>. Diunduh pada 07 Oktober 2016
- Bogard, A., 2004. *Food Safety Basics: Preventing Foodborne Illness Keeping Food Safe At Home*. Minnesota, Minnesota Department of Health
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC)., 2014, *Cholera-Vibrio Cholerae Infection*, <http://www.cdc.gov/cholera/index.html>, Diunduh pada 07 Oktober 2016
- Department of Health and Human Resources, West Virginia, 2016. *Food and Water borne Diseases*. Charleston, West Virginia, Department of Health and Human Resources
- Dziuban, E.J., Liang, J.L., Craun, G.F., Hill, V., Yu, P.A., Painter, J., Moore, M.R., Calderon, L.R., Roy, S.L., Beach, M.J., 2006. Surveillance for Waterborne Disease and Outbreaks Associated with Recreational Water - United States, 2003—2004. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. December 22, 2006 / 55(SS12);1-24

- Food and Drug Administration, U.S., 2008. *7 Ways to Prevent Foodborne Illness*. New Hampshire Avenue, FDA Center for Food Safety and Applied Nutrition.
- Government of New Brunswick, 2016. *Prevention of Food and Water Borne Illness*. Tersedia pada [http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/ocmoh/cdc/content/food\\_andwaterborne/prevention.html](http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/ocmoh/cdc/content/food_andwaterborne/prevention.html). Diunduh pada 07 Oktober 2016.
- Kementerian Kesehatan RI., 2008. *Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar Tahun 2007-2008*. Jakarta, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
- Kaper, JB, Nataro, JP, Mobley, HLT. 2004 Pathogenic escherichia coli: *Nature Reviews Microbiology*, volume 2 | February 2004 | 123. [http://www.tcd.ie/academicunits/schools/medicine/clinical\\_microbiology/assets/docs/MS/MS/nrmicro818.pdf](http://www.tcd.ie/academicunits/schools/medicine/clinical_microbiology/assets/docs/MS/MS/nrmicro818.pdf) Diunduh pada 07 Oktober 2016
- Kumar, N. 2014. Typhoid Fever and ParaTyphoid Fever, <http://www.slideshare.net/neonawin/typhoid-neo>. Diunduh pada 07 Oktober 2016
- Mukono. 2004. Higiene sanitasi hotel dan restoran. Airlangga University Press
- Mukono. 2006. Prinsip dasar kesehatan lingkungan edisi kedua. Airlangga University Press
- Mukono. 2006. Toksologi lingkungan. Airlangga University Press
- Waterborne Disease. n.d . In Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/water\\_borne\\_disease](https://en.wikipedia.org/wiki/water_borne_disease), Diunduh pada 07 Oktober 2016
- World Health Organization, 2010. *Prevention of Foodborne Disease: The Five Keys to Safer Food*. Geneve, Department of Food Safety, Zoonoses and Foodborne Diseases, World Health Organization.
- World Health Organization, 2014. *Burden of Disease and Cost-Effectiveness Estimates*. Tersedia pada [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/burden/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/burden/en/). Diunduh pada 07 Oktober 2016.

*World Health Organization*, 2015. Foodborne diseases. Tersedia pada [http://www.who.int/topics/foodborne\\_diseases/en/](http://www.who.int/topics/foodborne_diseases/en/). Diunduh pada 07 Oktober 2016



## Bab 6.

# *Global Warming dan Climate Change Hubungannya dengan Vector Borne Diseases*

Wahyudi Iffani  
Erlina Suci Astuti  
Tri Anjaswarni

### **Pendahuluan**

Sehat – sakit merupakan proses yang berhubungan dengan kemampuan atau ketidakmampuan seseorang untuk beradaptasi dengan lingkungannya, baik lingkungan biologis, psikologis maupun sosial dan budaya. Kesehatan dalam hal ini menyangkut semua segi kehidupan dengan jangkauan yang luas, tidak hanya kesehatan secara individual tetapi kesehatan masyarakat dengan berbagai penyebab dan dampaknya.

Menurut Undang-undang Kesehatan no 36 tahun 2009 kesehatan adalah keadaan sejahtera baik secara fisik, mental, spritual maupun sosial yang memungkinkan setiap orang untuk hidup produktif secara sosial dan ekonomi. Sedangkan menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) tahun 1948 sehat adalah suatu keadaan yang sejahtera baik fisik, mental, dan sosial dan bukan hanya bebas dari penyakit atau kelemahan. Berdasarkan kedua pengertian tersebut diketahui bahwa sehat mempunyai arti menyeluruh atau holistik yang memungkinkan seseorang dapat melakukan aktivitas kehidupan sesuai peran sosialnya dengan baik tanpa penderitaan dan mampu berkarya secara produktif. Untuk mempertahankan kesehatannya, seseorang memerlukan proses adaptasi. Jika dia berhasil melakukan beradaptasi, baik secara fisik,

psikologis maupun sosial maka dia akan sehat, tetapi jika dia gagal melakukan adaptasi maka akan jatuh dalam keadaan sakit.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kesehatan seseorang adalah faktor lingkungan. Seperti dijelaskan dalam model ekologi Bahn & Mausner (1974) dalam Mukono (2011), bahwa sehat-sakit selalu dikaitkan dengan 3 hal yaitu: Induk semang (*Host*), Agen (*Agent*) dan Lingkungan (*Environment*). Dewasa ini perkembangan penyakit yang berhubungan dengan lingkungan mengalami perkembangan sangat pesat sehingga memerlukan pemantauan untuk pengendaliannya.

*Vektor-borne infectious diseases* adalah penyakit yang disebabkan oleh vektor patogen dan parasit pada populasi manusia. Vektor ini membawa dan menularkan penyakit dari satu individu ke individu lainnya dalam suatu populasi pada suatu masyarakat. Penyakit infeksi yang dibawa vektor ini mencapai 17 % dari seluruh penyakit menular. Penyakit ini berhubungan dengan dinamika yang kompleks dari faktor lingkungan dan sosial yang distribusinya dikaitkan dengan perjalanan, perdagangan dan urbanisasi (WHO, 2016).

Globalisasi yang terjadi dewasa ini, memungkinkan terjadinya perjalanan dan perdagangan yang luas ke seluruh penjuru dunia. Urbanisasi yang tidak terencana dan tantangan lingkungan seperti perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan terhadap penularan penyakit. Disamping itu perubahan dalam praktek pertanian karena variasi suhu dan curah hujan dapat mempengaruhi penularan penyakit yang disebabkan oleh vektor. Beberapa penyakit yang penyebarannya luas antara lain malaria, demam berdarah, chikungunya dan virus West Nile (*World Health Organization* [WHO], 2012). Setiap tahun terdapat lebih dari 1 miliar kasus penyakit yang disebabkan oleh vektor (*Vektor-borne infectious diseases*) dan lebih dari 1 juta diantaranya mengalami kematian karena malaria, demam berdarah, schistosomiasis, trypanosomiasis Afrika, leishmaniasis, penyakit Chagas, demam kuning, encephalitis Jepang dan onchocerciasis, secara global. (World Health Organization, 2016).

### **Pengertian *Vector Borne Disease***

*Vector borne disease* adalah salah satu penyakit yang disebabkan mikroorganisme patogen ditularkan dari individu yang terinfeksi ke

individu lain dengan agen arthropoda atau lainnya, atau kadang-kadang melalui hewan lain yang berfungsi sebagai perantara host. Transmisi tergantung pada atribut dan persyaratan terjadinya penularan. Sekurang-kurangnya terdapat tiga organisme hidup yang berbeda, yaitu 1) agen patologis (virus, protozoa, bakteri), 2) vektor yang dapat menimbulkan atau menularkan agen infeksi dari sumber infeksi kepada induk semang yang rentan dan 3) Host.

Vektor merupakan binatang atau Arthropoda pembawa penyakit yang disebabkan oleh bakteri, rickettsia, virus, protozoa, dan cacing, serta menjadi perantara penularan penyakit tersebut (Azwar, 1995). Binatang yang termasuk kelompok vektor dapat mengganggu secara langsung, merugikan kehidupan manusia dan sebagai perantara penularan penyakit, sedangkan manusia adalah hostnya. Selain itu, ada host perantara seperti domestikasi dan / atau hewan liar yang sering berfungsi sebagai reservoir untuk pathogen sampai populasi manusia rentan terkena (Budiman Chandra, 2005).

Penggolongan binatang sebagai vektor tersebut dikenal ada 2 filum sangat berpengaruh terhadap kesehatan manusia yaitu: 1) Filum Arthropoda seperti nyamuk yang dapat bertindak sebagai perantara penularan penyakit malaria, deman berdarah, dan 2) Filum Chodata yaitu tikus sebagai pengganggu manusia, dan juga sebagai tuan rumah (hospes), pinjal *Xenopsylla cheopis* yang menyebabkan penyakit pes. Sebenarnya disamping nyamuk sebagai vektor dan tikus sebagai binatang pengganggu, masih banyak binatang lain yang berfungsi sebagai vektor dan binatang pengganggu (Azwar, 1995).

Sebagian dari Arthropoda bertindak sebagai vektor, mempunyai ciri-ciri kakinya beruas-ruas, dan merupakan salah satu filum yang terbesar jumlahnya karena hampir meliputi 75% dari seluruh jumlah binatang. Kelompok filum Antropoda ini dibagi menjadi 4 kelas, yaitu:

1. Kelas *Crustacea* (berkaki 10), misalnya udang.
2. Kelas *Myriapoda*, misalnya binatang berkaki seribu.
3. Kelas *Arachinodea* (berkaki 8), misalnya tungau.
4. Kelas *Hexapoda* (berkaki 6), misalnya nyamuk.

## Penyakit yang Dibawa Vektor

Sudah dijelaskan di atas, bahwa salah satu jenis vektor sebagai perantara penyakit adalah Arthropoda, yang dapat memindahkan/menularkan suatu agen infeksi (*infectious agent*) dari sumber infeksi kepada induk semang yang rentan.

Berikut ini adalah tabel jenis vektor dari kelompok antropoda dan jenis penyakit yang ditularkan menurut J.E. Park dalam Budiman (2009):

Tabel 6.1. Jenis Penyakit yang Ditularkan Melalui Vektor

Vektor Arthropoda	Penyakit yang ditularkan
Nyamuk	Malaria, filarial, <i>yellow fever</i> , <i>ensefalitis</i> , <i>dengue haemofhagic fever</i> .
Lalat rumah	Demam tifoid dan paratifoid, diare, disentri, kolera, gastroenteritis, amebiasis, infestasi, helmintik, yaws, poliomielitis, konjungtivitis, trakoma, antraks.
Lalat pasir	Kalaazar, oriental sore, oraya fever, sandfly fever.
Lalat tsetse	Sleeping sickness
Tuma	Epidemic typhus, relapsing fever, trench fever.
Pinjal tikus	Bubonic plague, chiggerosis, endemic thypus, hymenolepsi diminuta.
Lalat hitam	Onkosersiasis
Reduvid bug	Chagus disease
Sengkenit keras	Tick typhus, tick paralysis, ensefalitis viral, tularemia, haemorrhagic fever, human babesiosis.
Sengkenit lunak	Relapsing fever
Trambiculid mite	Scrub typhus
Itch-mite	Scabies
Cyclops	Guinea-worm disease, fish tupewarm(D.latus)

Berikut ini akan dijelaskan beberapa penyakit yang disebabkan oleh vektor.

Malaria merupakan salah satu penyakit yang masih memerlukan perhatian khusus dan masih menjadi masalah kesehatan di Indonesia. Malaria ada di setiap daerah tropis dan subtropis di seluruh dunia, walaupun kadang-kadang juga ada di daerah beriklim sedang. Protozoa penyebabnya memiliki genom, metabolisme, dan siklus hidup yang kompleks dibanding kebanyakan *vektor borne* lainnya. Kompleksitas tersebut menyebabkan sulitnya intervensi dengan obat dan vaksin karena kemampuan parasit berubah bentuk yang memungkinkannya menghindari pertahanan imunologis dan kimiawi. Parasit tersebut

secara intens bergerak dan mengubah lapisan luar tubuhnya selama siklus hidupnya dan menciptakan lingkungan metabolisme dan antigen yang tidak dimiliki oleh mikroba sederhana seperti bakteri dan virus (Chandra, 2009).

Penyakit vektor yang kedua adalah demam berdarah yang disebabkan oleh virus dengue. Virus dengue tampaknya selalu berada di depan malaria. Penularan malaria paling sering terjadi di pedesaan, sedangkan dengue di daerah perkotaan. Vektor *Anopheles* penyebab malaria menggigit terutama di malam hari, sedangkan vektor *Aedes* penyebab demam berdarah menggigit pada siang hari. Infeksi malaria yang pertama kali umumnya menimbulkan gejala paling parah. Hal ini berbeda dengan virus dengue, dimana infeksi kedua dengue dapat lebih berbahaya daripada infeksi yang pertama jika melibatkan serotype virus yang berbeda.

Demam *dengue* sangat menyakitkan (sehingga dijuluki "*breakdown fever*") dan melemahkan tapi umumnya tidak mengancam jiwa pada serangan yang pertama. Akan tetapi, manifestasi yang lebih parah, muncul di daerah yang memiliki lebih dari satu strain virus. Dengan terpaparnya individu dengan virus kedua yang berbeda strain dapat menimbulkan reaksi imunologis yang berat yang berisiko kematian terutama pada anak-anak dan dewasa muda. Tidak ada obat profilaksis atau vaksin untuk mencegah *dengue*, tetapi usaha untuk mencegah ataupun membatasi gigitan nyamuk dengan menggunakan "*repellent*" ataupun pemusnahan wadah tempat perkembangbiakan nyamuk, dapat sangat membantu (Chandra, 2009).

Selanjutnya adalah *Chagas disease*. Penyakit Chagas ini terutama menyerang mereka yang tinggal di rumah beratap jerami dan dapat dibasmi dengan semprotan rumah atau dengan penggantian atap rumah memakai seng. Sedangkan penyakit tidur (*African Trypanosomiasis*) mirip dengan yang ditemukan di Amerika Latin, tapi ditularkan oleh lalat *Tsetse* yang hanya ditemukan di Afrika. Pathogen ini menyebabkan "*African sleeping sickness*" yang dapat menyerang susunan pusat dan menyebabkan koma. Saat ini tidak ada vaksin ataupun obat untuk menyembuhkan (Azwar, 1995).

Penyakit vektor lainnya adalah Elephantiasis (*lymphatic filariasis*) atau Filariasis. Penyakit ini pada umumnya tidak menyebabkan kematian,

tetapi dapat menyebabkan kecacatan. Elephantiasis atau filariasis disebabkan cacing nematoda yang menyerang susunan limfatik dan dapat menyebabkan pembengkakan jaringan di berbagai lokasi tubuh. Manifestasi yang serius dikenal sebagai "kaki gajah". Operasi besar dan pengangkatan jaringan luas merupakan satu-satunya pengobatan pada tingkat yang parah (Azwar, 1995).

### **Proses Transmisi *Vector Borne Disease***

Menurut Chandra, (2009) pencemaran karena vektor adalah terjadinya penularan penyakit melalui binatang yang dapat menjadi perantara penularan penyakit tertentu. Kondisi lingkungan yang dapat mengakibatkan terjadinya pencemaran penyakit karena vektor adalah sebagai berikut:

1. Perubahan lingkungan fisik seperti pertambangan, industri dan pembangunan perumahan yang mengakibatkan berkembangbiaknya vektor penyakit.
2. Sistem penyediaan air bersih dengan perpipaan yang belum menjangkau seluruh penduduk sehingga masih diperlukan kontainer untuk penyediaan air.
3. Sistem drainase permukiman dan perkotaan yang tidak memenuhi syarat sehingga menjadi tempat perindukan vektor.
4. Sistem pengelolaan sampah yang belum memenuhi syarat menjadikan sampah menjadi sarang vektor.
5. Penggunaan pestisida yang tidak bijaksana dalam pengendalian vektor penyakit secara kimia beresiko timbulnya keracunan dan pencemaran lingkungan serta resistensi vektor.

Masuknya agen penyakit ke dalam tubuh manusia sampai terjadi atau timbulnya gejala penyakit disebut sebagai masa inkubasi (Chandra, 2009). Pada penyakit *arthropod borne disease* terdapat 2 periode masa inkubasi, yaitu periode pada tubuh vektor dan periode pada manusia.

Ada beberapa istilah yang sering digunakan pada transmisi *arthropod borne disease* yaitu:

1. Inokulasi (*inoculation*) adalah masuknya agen penyakit atau bibit yang berasal dari arthropoda ke dalam tubuh manusia melalui gigitan pada kulit atau deposit pada membran mukosa.

2. Investasi (*investation*) adalah masuknya arthropoda pada permukaan tubuh manusia kemudian berkembang biak, misalnya penyakit scabies.
3. Masa inkubasi ekstrinsik adalah waktu yang diperlukan agen penyakit untuk berkembang dalam tubuh vektor.
4. Masa inkubasi intrinsik adalah waktu yang diperlukan agen penyakit untuk berkembang dalam tubuh manusia.
5. *Definitive host*: bila dalam tubuh pejamu terjadi perkembangan siklus seksual agen penyakit.
6. *Intermediate host*: bila didalam tubuh pejamu terjadi perkembangan siklus aseksual atau penyakit.

Menurut Chandra (2009), ada tiga cara terjadinya penularan (transmisi) penyakit yang disebabkan oleh *arthropod borne disease*, yaitu: kontak langsung, transmisi mekanis dan transmisi biologis.

### **1. Kontak langsung**

Arthropoda secara langsung memindahkan penyakit atau investasi dari satu orang ke orang lain melalui kontak langsung contoh: scabies dan pedikulus.

### **2. Transmisi secara mekanis**

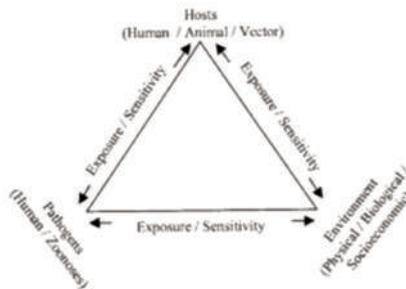
Agen penyakit yang ditularkan secara mekanis melalui arthropoda, seperti penularan penyakit diare, tifoid, keracunan makanan, dan trakoma oleh lalat. Arthropoda sebagai vektor mekanis membawa agen penyakit dari manusia yang berasal dari tinja, darah, ulkus superficial, atau eksudat. Kontaminasi dapat terjadi pada permukaan tubuh arthropoda saja, tetapi bisa juga berasal dari agen yang ditelan dan kemudian dimuntahkan atau dikeluarkan melalui kotoran arthropoda. Agen penyakit yang paling banyak ditularkan melalui arthropoda adalah bakteri enteric yang ditularkan melalui lalat rumah. *Salmonella typhosa*, *E. coli*, dan *Shigella dysentri* merupakan agen penyakit yang paling sering ditemui dan paling penting. Lalat rumah dapat pula menjadi vektor agen penyakit tuberculosis, antraks, tularemia.

### **3. Transmisi secara biologis**

Agen penyakit mengalami perubahan siklus dengan atau tanpa multiplikasi di dalam tubuh arthropoda, penularan dengan cara ini disebut sebagai transmisi biologis. Ada 3 cara transmisi biologis yaitu:

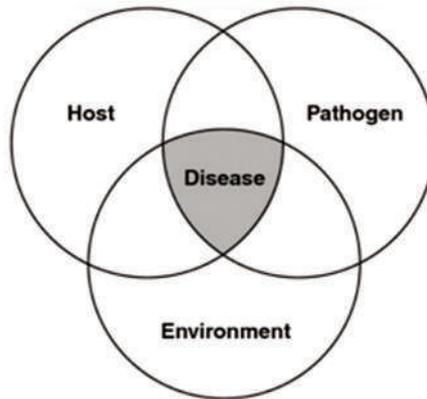
- a. *Propagative*, yaitu agen penyakit yang tidak mengalami perubahan siklus, tetapi bermultiplikasi di dalam tubuh vektor. Contoh: plaque bacilli pada pinjal tikus.
- b. *Cyclo-propagative*, yaitu agen penyakit yang mengalami perubahan siklus dan bermultiplikasi di dalam tubuh arthropoda. Contoh: Parasit malaria pada nyamuk anopheles.
- c. *Cyclo-developmental*, yaitu agen penyakit yang mengalami perubahan siklus tetapi tidak bermultiplikasi di dalam tubuh arthropoda. Contoh: Parasit filarialis pada nyamuk culex dan cacing pita pada Cyclops.

Berdasarkan uraian di atas maka berikut ini akan dijelaskan tentang model "The Epidemiologic Triangle", yaitu model yang menjelaskan studi tentang terjadinya masalah kesehatan. Model ini membantu kita untuk memahami tentang terjadinya penyakit infeksi dan bagaimana penyebarannya. Secara ringkas dapat dijelaskan bahwa terjadinya masalah kesehatan terutama penyakit infeksi, terjadi karena adanya interaksi antara *Host – Agent – Environment* yang disebut dengan "The Epidemiologic Triangle model" seperti pada gambar 6.1



Gambar 6.1. A host-pathogen-vektor-environment framework for the assessment of risks to humans from vektor-borne diseases under global change. Sumber: Robert W. Sutherst. R.W (2004)

*Agent* atau mikroba adalah apa yang menyebabkan penyakit (*the "what" of the Triangle*), *Host*, atau organism tempat bersemayamnya penyakit (*the "who" of the Triangle*), dan *Environment* (Lingkungan), atau faktor-faktor eksternal yang menyebabkan atau memungkinkan penularan penyakit (*the "where" of the Triangle*). Konsep proses terjadinya penyakit oleh karena vektor, juga dapat dijelaskan dalam Model "Epidemiological Triad" seperti pada gambar 6.2.



Gambar 6.2. Model "Epidemiological Triad" – Sumber: Choffnes, ER & Mack.A

Berdasarkan gambar 6.2 dapat dijelaskan bahwa penyakit (*disease*) terjadi karena adanya interaksi antara vektor (patogen), *host* (tempat bersemayam) dan *environment* (lingkungan).

### **Pencegahan Penyebaran Penyakit oleh Vektor**

Dalam pengendalian vektor tidaklah mungkin dapat dilakukan pembasmian sampai tuntas. Hal yang mungkin dapat dilakukan adalah usaha mengurangi dan menurunkan populasi vektor kesatu tingkat yang tidak membahayakan kehidupan manusia. Supaya kegiatan menurunkan populasi vektor dapat mencapai hasil yang diharapkan (baik), maka perlu diterapkan teknologi yang sesuai, mungkin sederhana yang penting didasarkan pada prinsip dan konsep yang benar.

Berikut di bawah ini dijelaskan tentang beberapa hal yang penting diperhatikan dalam rangka mencegah penyebaran penyakit karena vektor.

#### **1. Memperhatikan Prinsip-prinsip Pengendalian Vektor**

Adapun prinsip dasar dalam pengendalian vektor yang dapat dijadikan sebagai pegangan dalam mencegah penyebaran penyakit karena vektor adalah sebagai berikut:

- a. Pengendalian vektor harus menerapkan bermacam-macam cara pengendalian agar vektor tetap berada di bawah garis batas yang tidak merugikan/ membahayakan.

b. Pengendalian vektor tidak menimbulkan kerusakan atau gangguan ekologi terhadap tata lingkungan hidup.

Sedangkan konsep dasar pengendalian vektor yang harus diperhatikan adalah:

- a. Harus dapat menekan densitas vektor.
- b. Tidak membahayakan manusia.
- c. Tidak mengganggu keseimbangan lingkungan.

2. Tujuan Pengendalian Vektor (Chandra, 2009) adalah:

- a. Mencegah wabah penyakit yang tergolong *vektor-borne disease* sehingga memperkecil risiko kontak antara manusia dengan vektor penyakit dan memperkecil sumber penularan penyakit/reservoir.
- b. Mencegah masuknya vektor atau penyakit yang baru ke suatu kawasan yang bebas dengan pendekatan legal, maupun dengan aplikasi pestisida (*spraying, baiting, trapping*).

3. Cara Pengendalian Vektor (Chandra, 2009) adalah:

- a. Usaha pencegahan (*prevention*) yaitu mencegah kontak dengan vektor dengan cara pemberantasan nyamuk, pemakaian kelambu.
- b. Usaha penekanan (*suppression*) yaitu menekan populasi vektor sehingga tidak membahayakan kehidupan manusia.
- c. Usaha pembasmian (*eradication*) yaitu menghilangkan vektor sampai habis.

4. Metode Pengendalian Vektor (Chandra, 2009) yaitu dengan:

- a. Pengendalian secara alamiah (*naturalistic control*): memanfaatkan kondisi alam yang dapat mempengaruhi kehidupan vektor dalam jangka waktu lama.
- b. Pengendalian terapan (*applied control*): memberikan perlindungan bagi kesehatan manusia dari gangguan vektor, bersifat sementara:
  - i. Upaya peningkatan sanitasi lingkungan (*environmental sanitation improvement*).
  - ii. Pengendalian secara fisik-mekanik (*physical-mechanical control*) melalui modifikasi/manipulasi dengan memberantas tempat hidup (sarang) yang disukai vektor dan hospes penyakit

- tersebut. Sebagai contoh: program M-3 (menutup, menguras, dan mengubur).
- iii. Pengendalian secara biologis (*biological control*) dengan memanfaatkan musuh alamiah atau pemangsa/predator, fertilisasi.
  - iv. Pengendalian dengan pendekatan undang-undang (*legal control*), contohnya karantina.
  - v. Pengendalian dengan menggunakan bahan kimia (*chemical control*) dengan menggunakan obat-obatan pembasmi vektor dan hospes penyakit tersebut. Sebagai contoh: pemberantasan nyamuk dengan menggunakan insektisida (DDT), larvisida (abate).

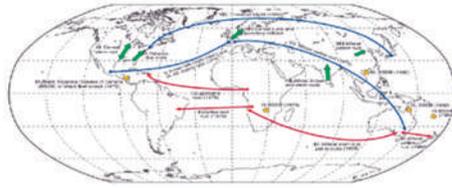
## **Hubungan *Global Warming* dan *Climate Change* dengan Penyakit *Vector Borne Disease***

### **Pemanasan Global**

Iklim dunia secara menyeluruh sedang mengalami kerusakan sebagai konsekuensi dari aktivitas manusia. Hal ini disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas-gas yang menghalangi pantulan energi sinar matahari dari bumi yang menyebabkan peningkatan efek rumah kaca dan mengakibatkan bumi, planet yang kita huni menjadi lebih panas.

Hubungan antara perubahan iklim dengan kesehatan manusia adalah sangat kompleks. Terdapat dampak langsung seperti terjadinya penyakit atau kematian yang berhubungan dengan suhu yang ekstrim dan efek pencemaran udara oleh spora dan jamur. Selebihnya adalah dampak yang tidak langsung dan mengakibatkan penyakit yang ditularkan melalui air atau makanan, penyakit yang ditularkan melalui vektor dan rodent, atau penyakit karena kekurangan air dan makanan.

Gambar 6.3 menggambarkan pola penyebaran penyakit berdasarkan wilayah teritorial yang disebabkan oleh adanya invasi dan migrasi *airborne spores*.



Gambar 6.3. Penyebaran fungsi patogen, tanda panah Merah dan biru adalah indikasi adanya invasi wilayah / teritorial baru. Tanda panah merah indikasi kemungkinan penyebaran langsung oleh pergerakan airborne spores, tanda biru indikasi patogen kemungkinan transportasi ke wilayah baru disebabkan oleh tumbuhan atau manusia yang disebar oleh airborne spores. Siklus orange menindikasikan adanya penyebaran yang meluas (mendunia). Outbreak pertama diberi tanda (x) dan tanda Panah hijau indikasi adanya migrasi airborne spores secara periodik. – Sumber: Brown dan Hovmoller 2002

Perubahan iklim mengancam stabilitas ekosistem dan keanekaragaman mahluk hidup (*biodiversity*). Kerusakan sistem fisik dan ekologi bumi ini juga dapat dibuktikan dengan adanya penipisan lapisan ozon di stratosfer, penurunan keanekaragaman mahluk hidup, degradasi tanah, dan perubahan sistem atau siklus air (Keman, 2007).

Laporan terakhir *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyatakan bahwa pengetahuan ilmiah saat ini tentang bagaimana iklim akan berubah memberikan gambaran emisi gas rumah kaca dimasa mendatang. Laporan tersebut juga mengestimasi perubahan temperatur global antara 1,4°C dan 5,8°C pada akhir tahun 2100. Pembuat kebijaksanaan internasional bertujuan menjaga peningkatan temperatur global pada kisaran dibawah 2 derajat celsius. Penemuan IPCC selanjutnya menyarankan bahwa efek pemanasan global akan menyebabkan peningkatan permukaan air laut, dan peningkatan dalam kejadian cuaca ekstrim, seperti ringkasan sebagai berikut (IPCC, 2001-a).

- a. Temperatur permukaan bumi diproyeksikan meningkat antara 1,4°C sampai 5,8°C sebagai kisaran rata-rata global dari tahun 1990 sampai tahun 2010;
- b. Pemanasan (ekspansi thermal) dari lautan, bersamaan dengan pelelehan gletser dan es di daratan, akan menyebabkan peningkatan permukaan air laut seluruh dunia, yang berartipermukaan air laut diproyeksikan naik 0,09 sampai 0,88 meter antara tahun 1990 sampai tahun 2010, hal ini akan berlangsung terus bahkan setelah konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer menjadi stabil;

- c. Kejadian cuaca ekstrim seperti gelombang panas, kekeringan, dan banjir diprediksi akan terus meningkat, demikian juga temperatur minimal yang lebih tinggi dan semakin sedikit hari-hari yang dingin;
- d. Gletser dan puncak es yang meleleh diproyeksikan akan terus semakin meluas selama abad 20, dengan ancaman gletser tropis dan subtropis dan beberapa kasus akan menghilang.

Gas rumah kaca yang menumpuk di atmosfer berlaku seperti tirai yang memerangkap pancaran radiasi panas bumi. Seperti kaca, ia mudah ditembus oleh sinar tampak, tapi mengurung gelombang panjang. Dalam konteks rumah kaca secara harfiah, radiasi gelombang panjang yang terpancar itu tak bisa keluar, karena tak mampu menembus atap dan dinding kaca. Ia berputar-putar di dalam dan sebagian terserap molekul oleh gas-gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  dan lain-lain) dan membuat suhu udara lebih panas. Dalam konteks pemanasan global (*global warming*), kehadiran gas-gas pencemar di atmosfer itu berperan seperti atap atau dinding kaca. Mereka menghalangi pancaran radiasi gelombang panjang oleh permukaan bumi, laut dan benda-benda di atasnya, baik itu makhluk hidup maupun benda mati (Duarsa, 2008)

Diantara gas-gas rumah kaca yang kini diketahui lebih dari 30 jenis. Gas rumah kaca yang penting adalah karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), methane ( $\text{CH}_4$ ), nitrous okside ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Chloroflourcarbon (CFC) yang terdiri dari *Haloflourocarbon* (HFC) dan *Perflourocarbon* (PFC) serta *Sulfur Hexafluoride* ( $\text{SF}_6$ ). Sumbangan terjadinya pemanasan global yang terbesar adalah  $\text{CO}_2$  sebesar 61%,  $\text{CH}_4$  sebesar 15%, CFC sebesar 12%,  $\text{N}_2\text{O}$  sebesar 4% dan sumber lain sebesar 8%.

Di awal-awal revolusi industri sekitar tahun 1800, konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer rata-rata baru pada 280 ppm (parts per million). Artinya, ada 280 molekul  $\text{CO}_2$  dalam setiap satu juta molekul udara. Namun, Juli 2007 lalu IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) melaporkan konsentrasi karbon dioksida telah mencapai 383 ppm. Hingga kini  $\text{CO}_2$  masih terus meningkat rata-rata mencapai 0,4% per tahun, yang disebabkan oleh karena pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan.

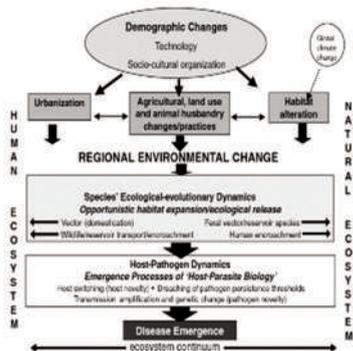
Kalau tidak ada upaya yang serius untuk menekan emisi gas-gas rumah kaca, tahun 2050 nanti konsentrasinya akan melampaui

560 ppm. Suhu bumi akan naik rata-rata 2 – 3°C dan dipastikan akan terjadi perubahan iklim dunia. Atmosfer bumi dengan bagian utamanya troposfer yang tebalnya tak sampai 13 kilometer, akan mengalami guncangan luar biasa. Peran atmosfer, yang selama lebih dari dua juta tahun menjaga harmoni kehidupan di muka bumi akan hancur lebih cepat.

### Perubahan Lingkungan dan Ekosistem yang Menyebabkan Penyakit

Menurut Bloom (1974) dalam Sulih *et al* (2002) faktor yang paling dominan mempengaruhi derajat kesehatan manusia adalah faktor lingkungan (45%), faktor perilaku (30%), pelayanan kesehatan (20%), dan keturunan (5%). Penyakit-penyakit yang timbul saat ini, baik yang berupa penyakit degeneratif, penyakit tidak menular maupun penyakit menular tidak terlepas dari faktor lingkungan sebagai faktor risiko penyebab terjadinya penyakit.

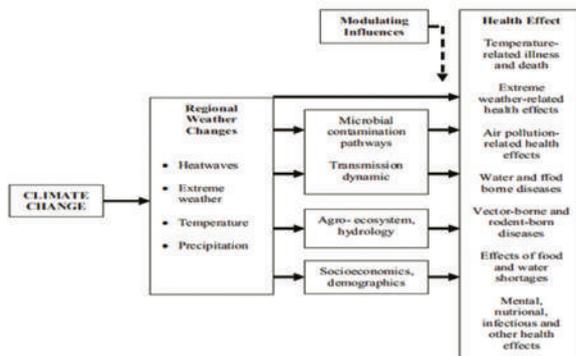
Perubahan suhu global akan berdampak pada perubahan iklim dan akan menambah daftar terjadinya risiko kesehatan lingkungan bagi manusia. Paparan terhadap perubahan-perubahan lingkungan, dapat menimbulkan berbagai problem kesehatan, seperti penyakit-penyakit terkait suhu dan cuaca ekstrim, penyakit yang menular lewat makanan, air dan vektor serta penyakit akibat pencemaran udara. Gambar 6.4 menggambarkan terjadinya penyakit yang berhubungan dengan perubahan demografi atau lingkungan dan perpindahan atau urbanisasi.



Gambar 6.4. The Epidemiological Efforts of Urbanization and Environmental Change. – Sumber: Adapted from Wilcox & Gubler (2005) with permission from Environmental Health and Preventive Medical (Dalam Choffnes, ER & Mack.A)

Pemanasan global yang terjadi menyebabkan perubahan iklim dan cuaca di seluruh dunia. Sebagian belahan dunia menjadi lebih kering, dan sebagian lagi menjadi lebih basah. Sebagian dunia ada yang menjadi lebih panas dan sebagian lagi menjadi lebih dingin. Semua itu mempengaruhi spesies yang hidup didalamnya, khususnya nyamuk yang sangat peka terhadap perubahan cuaca yang terjadi secara cepat. Perubahan iklim secara tidak langsung akan mempengaruhi distribusi, populasi, serta kemampuan nyamuk dalam menyesuaikan diri (Patz, 2006).

Nyamuk *Aedes* sebagai vektor penyakit demam berdarah dengue (DBD) hanya berkembang biak pada daerah tropis yang temperaturnya lebih dari 16 derajat celsius dan pada ketinggian kurang dari 1.000 meter di atas permukaan air laut. Akan tetapi sekarang nyamuk tersebut telah banyak ditemukan pada daerah dengan ketinggian 1.000–2.195 meter di atas permukaan air laut. Pemanasan global menyebabkan suhu beberapa wilayah cocok untuk berbiaknya nyamuk *Aedes*, dimana nyamuk ini dapat hidup optimal pada suhu antara 24-28 derajat celsius. Karena itu mudah dipahami bahwa perubahan iklim karena pemanasan global memperluas ruang gerak nyamuk *Aedes* sehingga sebaran daerahnya menjadi lebih luas. Perluasan sebaran daerah ini akan meningkatkan risiko terjangkitnya penyakit. (Keman, 2007). Perubahan iklim akan mempengaruhi suhu lingkungan dan juga kesehatan, seperti diperlihatkan pada gambar 6.5.



Gambar 6.5. Pengaruh Perubahan Iklim, Suhu, Lingkungan dan Kesehatan (Duarsa, 2008)

Berbeda halnya dengan penyakit malaria. Vektor penyakit malaria sangat peka terhadap perubahan iklim. Diperkirakan bahwa rata-rata

suhu global akan meningkat  $1,0^{\circ}$  -  $3,5^{\circ}\text{C}$  pada tahun 2100, yang akan meningkatkan jumlah *vector-borne disease* dan terjadinya transmisi penyakit. Perubahan iklim akan memiliki dampak jangka panjang dan jangka pendek terhadap transmisi malaria.

Dalam jangka pendek dapat dilihat pada suhu dan curah hujan. Udara panas dan lembap paling cocok untuk nyamuk *Anopheles*. Dahulu, nyamuk *Anopheles* lebih sering muncul di musim pancaroba, yaitu transisi antara musim hujan dan kemarau. Namun kini rentang waktu serangan nyamuk ini hampir sepanjang tahun. Udara panas dan lembap berlangsung sepanjang tahun, ditambah dengan sanitasi buruk yang selalu menyediakan genangan air memungkinkan sebagai tempat untuk bertelur bagi nyamuk, sehingga nyamuk *Anopheles* dapat menyerang sewaktu-waktu secara ganas. WHO menjelaskan bahwa kontribusi perubahan iklim terhadap kasus malaria mencapai 6% di sejumlah negara (Duarsa, 2008).

Suhu udara sangat mempengaruhi panjang pendeknya siklus sporogoni atau masa inkubasi intrinsik. Makin tinggi suhu (sampai batas tertentu) makin pendek masa inkubasi intrinsik, begitu juga sebaliknya. Siklus hidup nyamuk makin pendek, populasinya gampang meledak dan penularan semakin cepat. Sejak tahun 1988, terdapat sejumlah laporan mengenai epidemi malaria di Afrika Selatan dan Timur. Selama periode ini terjadi peningkatan suhu sekitar  $2^{\circ}\text{C}$  pada rata-rata suhu maksimum bulanan antara daerah pada  $2^{\circ}\text{LU}$  -  $2^{\circ}\text{LS}$  dan  $30^{\circ}\text{BB}$  -  $40^{\circ}\text{BT}$ . Selanjutnya epidemi malaria yang berhubungan dengan iklim juga dilaporkan di Rwanda, Tanzania dan Kenya Barat. (Sutherst, R.W. 2004).

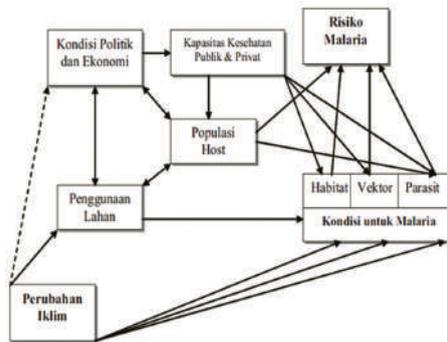
Pada umumnya hujan akan memudahkan perkembangan nyamuk dan terjadinya epidemi malaria. Terdapat hubungan langsung antara hujan dan perkembangan larva nyamuk menjadi dewasa. Besar kecilnya pengaruh tergantung pada jenis hujan, derasnya hujan, jumlah hari hujan, jenis vektor dan jenis tempat perindukan (*breeding places*). Hujan yang diselingi panas akan memperbesar kemungkinan berkembang biaknya *Anopheles*.

Menurut WHO di banyak tempat, kejadian malaria berhubungan dengan musim hujan, namun korelasinya tidak selalu jelas dan terkadang anomali. Hujan akan menguntungkan perkembangan biakan

nyamuk jika tidak terlalu deras, karena bila terlalu deras akan membilas larva nyamuk. Namun di daerah lain, musim kemarau justru menyebabkan epidemi malaria, juga sebaliknya di daerah lain dapat melenyapkan nyamuk Anopheles. Variasinya amat beragam, sehingga pengaruh hujan hanya dapat diperkirakan hubungannya dalam pola lokal perkembang biakan vektor.

Untuk menilai dampak kesehatan yang berhubungan dengan perubahan iklim, pemodelan *framework MIASMA ecoepidemiological (Modeling Framework for Health Impact Assessment of Man-Induced Atmospheric Changes)* telah dikembangkan di Universitas Maastricht. Model diarahkan oleh skenario dari gambaran populasi dan perubahan atmosfer, berdasarkan data dasar mengenai insiden penyakit, keadaan iklim, dan ketebalan lapisan ozon. *Integrated Model* terjadinya malaria tersebut merupakan pendekatan pemodelan yang terintegrasi yang berupaya memberikan gambaran yang komprehensif interaksi antara perubahan atmosfer dan masyarakat.

Gambar 6.6 menggambarkan model hubungan yang terintegrasi beberapa faktor yang berhubungan dengan terjadinya malaria.



Gambar 6.6. Model hubungan-hubungan yang mempengaruhi kejadian malaria (Duarsa,2008)

Model hubungan terintegrasi kejadian malaria tersebut menggambarkan dimana kondisi-kondisi untuk terjadinya malaria terdiri dari habitat, vektor dan parasit. Iklim mempengaruhi variabel *upstream* (tingkat yang lebih tinggi) melalui berbagai jalan, terhadap risiko malaria. Satu jalan yang umum adalah dengan mempengaruhi tingkat perubahan lingkungan lain. Berkurangnya hujan akan mengurangi regenerasi hutan, sedangkan meningkatnya hujan akan meningkatkan regenerasi

hutan. Perubahan waktu hujan akan mempengaruhi kelangsungan hidup pertanian tradisional.

Penggunaan lahan dapat mempengaruhi dan dipengaruhi "Kondisi Politik dan Ekonomi". Kemiskinan sendiri dapat mendorong kegiatan pertanian pada tanah yang kritis, penebangan hutan, dan urbanisasi yang tidak direncanakan. Penggunaan lahan dan kondisi politik dan ekonomi dapat mempengaruhi keberadaan populasi manusia sebagai *host*, dengan demikian mempengaruhi risiko malaria. Sebagai contoh, membuka suatu daerah untuk pertanian atau pertambangan akan mendorong migrasi ke daerah populasi yang tidak mendapat pajanan malaria sebelumnya dan mendorong migrasi populasi yang telah terpajan. Semua yang mempengaruhi kondisi politik dan ekonomi dapat mempengaruhi kapasitas kesehatan publik dan privat untuk menanggulangi risiko malaria.

Secara umum, vektor nyamuk malaria sangat kuat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang mempengaruhi kemampuan hidup dan perkembangan vektor tersebut. Hasil temuan para peneliti menunjukkan 70- 90% risiko dari malaria adalah faktor lingkungan. Variasi dan besar pengaruh lingkungan kepada vektor malaria sangat besar tidak hanya melalui elemen yang abiotik seperti hujan dan suhu yang akan mempengaruhi peningkatan jumlah vektor nyamuk dan perkembangan parasit di dalam vektor, tetapi juga faktor biotik melalui penebangan hutan, pertanian, dan konstruksi perumahan.

Dampak dari penebangan hutan pada suhu, hujan, dan tumbuh-tumbuhan saling berinteraksi dan berkorelasi dalam pengaruh lingkungan. Duarsa (2007) dalam penelitiannya mendapatkan bahwa besar peran lingkungan terhadap kejadian infeksi malaria yang terdiri dari tingkat rumah tangga (level 2) dan tingkat desa (level 3) adalah 99,7 %, dimana 43,8% adalah besar peran tingkat rumah tangga (level 2) dan 55,9% adalah besar peran tingkat desa (level 3).

### **Dampak Perubahan Lingkungan Global Terhadap Penyakit Infeksi**

Telah dijelaskan bahwa banyak penyakit yang disebabkan oleh vektor. Disamping beberapa penyakit yang telah dijelaskan pada uraian sebelumnya, pada tahun 1979 ditemukan penyakit baru yang di bawa

oleh vektor burung yang disebut dengan penyakit flu burung. Penyakit ini bergerak dan menyebar secara cepat dan menyebabkan kematian (mortalitas) yang cepat termasuk di Indonesia.

Gambar 6.7 menggambarkan prevalensi kematian manusia yang disebabkan oleh *vector borne disease*.

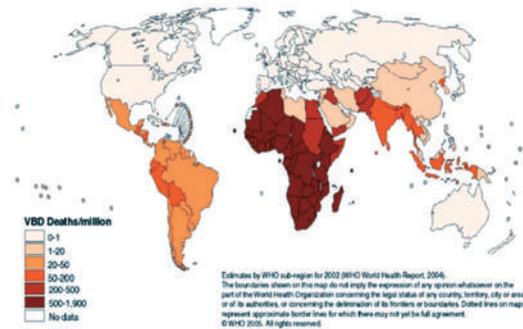
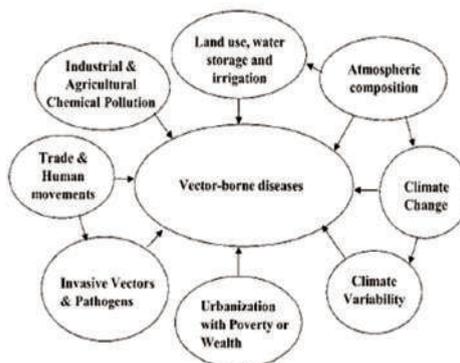


FIGURE SA-1 Deaths from vector-borne diseases.  
SOURCE: Reprinted with permission from the World Health Organization (2004c).

Gambar 6.7. Distribusi kematian yang disebabkan oleh vektor borne disease di dunia

Banyak sekali faktor-faktor yang menjadi pemicu terjadinya perubahan global yang dapat mengubah lingkungan. Gambar 6.8 memperlihatkan beragam faktor pemicu perubahan global yang mengubah lingkungan sosial dan fisik di bumi yang berpotensi dapat mempengaruhi beragam status *Vector Borne Disease*.



Gambar 6.8. Faktor-faktor pemicu perubahan global: memperlihatkan beragam faktor pemicu perubahan Global yang mengubah lingkungan sosial dan fisik di bumi yang berpotensi dapat mempengaruhi beragam status *Vektor Borne Disease*

Berikut ini akan dijelaskan tentang penyakit flu burung, sebagai salah satu penyakit yang dibawa oleh vektor (*vector borne disease*) yang sangat berbahaya. Penyakit flu burung menjadi penyakit yang mendunia dan terjadi dalam waktu singkat sejak tahun 1997. Penyakit flu burung ini dilaporkan pertama kali muncul di Hong Kong dan menginfeksi manusia sebanyak 18 orang dengan jumlah kematian 6 orang. Fakta yang dilaporkan menunjukkan bahwa setiap pasien yang terinfeksi dan menderita flu burung, terjadi akibat kontak langsung dengan unggas yang terinfeksi dan bukan karena kontak dengan orang yang terinfeksi. Munculnya penyakit flu burung tidak terlepas dari peranan masalah lingkungan sebagai faktor risiko terjadinya kasus kesakitan dan kematian yang meningkat secara progresif.

Pemanasan global mengakibatkan meningkatnya kasus flu burung (*avian influenza / AI*). Ini karena meningkatnya suhu udara mendorong peningkatan penguapan sehingga kondisi udara lebih lembap, sementara virus AI sangat menyukai kondisi lembap dan dingin. Secara kumulatif kasus Flu Burung di Indonesia pada tahun 2007 mencapai 118 orang, 95 orang diantaranya meninggal dunia. Angka kematian (CFR = *Case Fatality Rate*) 80,5%.

Pada Februari 2008 jumlah kasus flu burung di Indonesia mencapai 126 kasus dengan 103 orang meninggal dunia. Flu burung adalah suatu penyakit menular yang disebabkan oleh virus influenza yang ditularkan oleh unggas yang dapat menyerang manusia. Nama lain dari penyakit ini antara lain *avian influenza*. Etiologi penyakit ini adalah virus influenza.

Perubahan iklim dan cuaca, ternyata mengakibatkan proses mutasi sejumlah jenis virus menjadi lebih cepat. Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa, di antara dua benua dan dua samudera, merupakan yang paling rentan terkena dampak dari perubahan iklim dan cuaca. Pemanasan global mengakibatkan perubahan jalannya evolusi flora dan fauna, yaitu memudahkan kuman bertumbuh dan mutasi.

## **Sindrom Pernapasan Akut Parah (*Severe Acute Respiratory Syndrome / SARS*): Suatu Epidemi Baru yang Sangat Virulen Disebabkan oleh *Vector Borne Disease***

### **Epidemiologi**

Pada tanggal 12 Maret 2003, Departemen Kesehatan Hong Kong melaporkan adanya suatu wabah penyakit pernapasan di satu rumah sakit umum. Duapuluh petugas kesehatan mengalami gejala penyakit yang sangat menyerupai flu. Hingga awal April 2003, di Hong Kong dijumpai 1.108 kasus dengan 35 kematian.

Hong Kong merupakan daerah yang paling berat diserang oleh penyakit SARS. Yang paling membingungkan adalah ditemukannya 268 kasus SARS yang mengelompok pada suatu gedung apartemen, yaitu Amoy Garden yang semuanya berasal dari satu blok (blok E). Pola transmisi ini menunjukkan bahwa penyakit SARS telah merambat keluar dari lingkungan petugas kesehatan ke lingkungan masyarakat. Penyelidikan untuk menemukan sumber transmisi tidak memberikan hasil, virus SARS tidak ditemukan pada binatang-binatang seperti kecoa dan tikus.

Selanjutnya sejumlah tujuh kasus SARS dilaporkan dari Kanada pada tanggal 15 Maret 2003, dua di antara kasus tersebut meninggal. Kasus-kasus ini dijumpai pada dua kelompok keluarga besar. Pada dua kelompok ini, sedikitnya satu anggota keluarga tersebut pernah berkunjung ke Hong Kong dalam waktu satu minggu sebelum terjadi gejala-gejala penyakit. Sampai pertengahan April 2003, telah dilaporkan ada 101 kasus dengan 10 kematian. Kasus-kasus SARS yang dilaporkan dari Singapura hingga minggu ke tiga bulan April 2003 adalah 186 kasus dengan 16 kematian. Ketika tim dari WHO pada awal bulan April 2003 melakukan penyelidikan di China, propinsi Guangdong, mereka menemukan adanya *super-spreaders*, yaitu suatu istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan individu dengan pneumonia atipikal (SARS) yang dianggap menyebarkan penyakit kepada sejumlah individu lain. Tidak diketahui apakah individu yang tergolong dalam *super-spreader* tersebut mensekresi bahan infeksius dalam jumlah sangat besar atau apakah ada faktor tertentu lainnya, mungkin dari lingkungan, yang berperan dalam suatu fase

perkembangan virus sehingga mampu memperbesar tingkat transmisi virus tersebut.

Dikenal beberapa tipe virus influenza, yaitu; tipe A, tipe B, dan tipe C. Virus Influenza tipe A terdiri dari beberapa strain, yaitu: H1N1, H3N2, H5N1, H7N7, H9N2, dan lain-lain. Saat ini, penyebab flu burung adalah *Highly Pathogenic Avian Influenza Virus*, strain H5N1. Virus Influenza A (H5N1) merupakan penyebab wabah flu burung pada unggas. Secara umum, virus flu burung tidak menyerang manusia, namun beberapa tipe tertentu dapat mengalami mutasi lebih ganas dan menyerang manusia.

Upaya pencegahan penularan dilakukan dengan cara menghindari bahan yang terkontaminasi tinja dan sekret unggas, dengan beberapa tindakan seperti mencuci tangan dengan sabun cair pada air yang mengalir sebelum dan sesudah melakukan suatu pekerjaan, melaksanakan kebersihan lingkungan dan melakukan kebersihan diri, tiap orang yang berhubungan dengan bahan yang berasal dari saluran cerna unggas harus menggunakan pelindung (masker, kacamata khusus), bahan yang berasal dari saluran cerna unggas, seperti tinja harus ditatalaksana dengan baik (ditanam atau dibakar) agar tidak menjadi sumber penularan bagi orang di sekitarnya.

Penyakit SARS mempunyai tingkat penularan yang tinggi terutama di antara petugas kesehatan yang selanjutnya menyebar ke anggota keluarga dan pasien rumah sakit. Angka kematian diantara penderita (CFR) diketahui sekitar 4%.Hingga saat ini SARS dilaporkan telah menyebar di berbagai negara ditandai dengan ditemukannya penderita yang dicurigai SARS.

Berdasarkan kenyataan di atas, maka pada tanggal 15 Maret 2003, WHO menetapkan SARS merupakan ancaman kesehatan global (*Global Threat*) yang harus mendapat perhatian dari semua negara di dunia.Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah yang luas dan berbatasan dengan negara-negara terjangkau dan negara tempat ditemukannya penderita SARS. Keadaan ini menjadi ancaman terhadap masuknya penyakit ini ke wilayah Indonesia dan didukung oleh banyaknya jalur transportasi langsung dengan daerah-daerah di Indonesia.

Di Asia SARS ditemukan pertama kali pada pertengahan Februari. SARS telah menyerang lebih dari 450 orang di 3 benua dan menyebabkan pneumonia berat pada sebagian besar bagi yang terserang. Data terakhir yang dikumpulkan oleh WHO menunjukkan kecenderungan penyakit tersebut telah meluas di seluruh dunia. Pada bulan April 2003 jumlah kumulatif penderita SARS di seluruh dunia mencapai 2601 dengan 98 kasus kematian. Walaupun sampai saat ini penyebab pasti dari SARS belum diketahui, namun data laboratorium menunjukkan kemungkinan keterlibatan metapneumovirus (sejenis Paramyxovirus) dan Coronavirus sebagai virus penyebab.

### **Coronavirus**

Pada awalnya, pemeriksaan yang dilakukan oleh laboratorium yang tergabung dalam jaringan kerja WHO terhadap berbagai virus yang menyebabkan infeksi saluran napas mengarah pada 2 jenis famili virus yaitu paramyxovirus dan coronavirus. Selanjutnya mereka mempersempit pemeriksaan laboratorium dan hasilnya menunjukkan bahwa secara konsisten *coronavirus* ditemukan pada hampir setiap spesimen dari penderita SARS. Berdasarkan hasil tersebut maka, WHO dengan jejaring laboratorium di seluruh dunia, mengusulkan nama "*Urbani Strain*" untuk coronavirus penyebab SARS ini, sebagai penghormatan terhadap Dr. Carlo Urbani. Peneliti WHO yang untuk pertama kalinya memberi peringatan kepada dunia akan adanya SARS di Hanoi, Vietnam. Dr. Urbani meninggal karena penyakit SARS. (Surjawidjaja, 2003).

Pada tanggal 29 Maret 2003 di Bangkok, Coronavirus adalah anggota dari famili Coronaviridae, suatu virus yang besar, dan mempunyai selubung (*envelope*). Selubung virus ini dipenuhi dengan tonjolan-tonjolan yang panjang berbentuk daun bunga (petal). Genom RNA coronavirus ini mempunyai ukuran 27-32 kb dan merupakan genom yang terbesar di antara semua virus yang ada. Genom virus ini berantai tunggal (*single-stranded*) dan membentuk suatu nukleokapsid helikal yang fleksibel dan panjang. Nukleokapsid ini terletak di dalam suatu selubung lipoprotein yang terbentuk dari pengembangan membran intraseluler (Surjawidjaja, 2003).

Ada 3 kelompok serologis coronavirus yang telah dikenali dan untuk setiap serogrup, virus diidentifikasi sesuai dengan pejamu alamiahnya,

dengan cara urutan (sekuens) nukleotidanya dan hubungannya masing-masing secara serologis. Secara alamiah, kebanyakan coronavirus menginfeksi satu jenis spesies saja atau beberapa spesies yang terkait erat. Replikasi virus *in vivo* dapat terjadi secara tersebar (disseminated) sehingga menyebabkan infeksi sistemik atau dapat terbatas pada beberapa tipe sel (seringkali sel epitel saluran pernapasan atau saluran cerna dan makrofag) dan menyebabkan infeksi lokal (Surjawidjaja, 2003).

Seperti halnya dengan kebanyakan virus-virus RNA, coronavirus memiliki frekuensi mutasi yang sangat besar. Dengan melihat panjangnya genom dan frekuensi kesalahan polymerase RNA dari viruslain, genom RNA coronavirus agaknya memiliki kumpulan titik mutasi pada setiap replikasi RNA-nya. Analisis urutan (sekuens) nukleotida dari berbagai isolate coronavirus menunjukkan suatu variabilitas. Contoh yang paling mencolok dalam hal mutasi dan secara biologis mempunyai arti penting adalah munculnya *porcine respiratory coronavirus* (PRCV) dari *porcine transmissible gastroenteritis virus* (TGEV).TGEV menyebabkan infeksi enterik zoonotik pada babi. (Surjawidjaja, JE, 2003).

Pada awal tahun 1980-an, PRCV muncul di Eropa sebagai virus baru yang menyebar secara luas pada hewan babi, dengan menyebabkan penyakit saluran pernapasan epizootik yang berat. Ada anggapan bahwa penyakit SARS yang disebabkan oleh coronavirus dan menyerang manusia merupakan keadaan di mana coronavirus yang infeksi terhadap beberapa hewan mengalami mutasi dan berevolusi untuk kemudian menjadi patogen terhadap beberapa kelompok hewan lainnya dan juga pada manusia (Surjawidjaja, 2003).

### **Aspek Klinis**

Diskusi ini terfokus pada presentasi klinis dari penyakit SARS, perkembangan penyakit, indikator prognosis, kriteria pemulangan penderita dan pengobatan penderita. Para klinisi itu sepakat bahwa sekitar 10% penderita SARS mengalami kemunduran dan memerlukan bantuan pernapasan secara mekanis. Pasien dalam kelompok ini sering mempunyai penyakit lain yang mempersulit penanganannya dan menyebabkan mortalitas pada kelompok ini tinggi.

Berdasarkan pengalaman para klinisi dengan penderita-penderita SARS, diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Infeksi Coronavirus pada manusia dapat menyebabkan penyakit saluran nafas bagian bawah yang berat baik pada orang dewasa maupun anak-anak serta dapat menimbulkan *necrotizing enterocolitis* (sejenis infeksi pada usus besar) pada bayi baru lahir.
2. Penularan infeksi virus, dapat terjadi melalui inhalasi pernafasan dari pasien-pasien yang menderita SARS pada saat batuk atau bersin, atau melalui kontaminasi tangan penderita.
3. Gejala dan tanda-tanda klinis sindrom pernafasan akut berat atau *severe acute respiratory syndrome* (SARS) meliputi panas tinggi (lebih dari 38°C), disertai gejala-gejala gangguan pernafasan seperti batuk, sesak nafas dan gejala-gejala lain berupa sakit kepala, nyeri / kaku otot, lemas, nafsu makan menurun bercak-bercak kemerahan di kulit, gelisah dan diare.
4. Gejala klinis timbul dalam 2 sampai 7 hari (pada beberapa kasus sampai 10 hari). Pada 10-20% kasus, gejala klinis terjadi sangat berat sehingga pasien memerlukan alat bantu nafas (ventilator).

Pencegahan penyakit ini dapat dilakukan dengan selalu menjaga kebersihan diri dan lingkungan, mengkonsumsi makanan bergizi dan vitamin serta menghindari berpergian ke daerah-daerah yang dilaporkan terjadi wabah SARS.

### **Penatalaksanaan SARS**

Status penderita sangat berperan terhadap penatalaksanaan yang akan diberikan. Pada *suspect* dan *probable cases* tindakan yang dilakukan adalah:

1. Isolasi penderita di Rumah Sakit.
2. Pengambilan sampel (sputum, darah, serum, urin) dan foto toraks untuk menyingkirkan pneumonia yang atipikal.
3. Pemeriksaan hitung lekosit, trombosit, kreatinin fosfokinase, tes fungsi hati, ureum dan elektrolit, C reaktif protein dan serum pasangan (*paired sera*).
4. Saat dirawat berikan antibiotika untuk pengobatan pneumonia akibat lingkungan (*community-acquired pneumonia*) termasuk pneumonia atipikal.

5. Pada SARS berbagai jenis antibiotika sudah digunakan namun sampai saat ini hasilnya tidak memuaskan, dapat diberikan ribavirin dengan atau tanpa streoid.
6. Perhatian khusus harus diberikan pada tindakan yang dapat menyebabkan terjadinya aerolization seperti nebuliser dengan bronkodilator, bronkoskopi, gastroskopi yang dapat mengganggu sistem pernapasan. Berbagai upaya pengobatan dengan antibiotika telah dicoba pada derita SARS. Oseltamivir secara oral bersama-sama dengan antibiotika berspektrum luas dan ribavirin intravena dalam dosis yang direkomendasikan, juga memberikan hasil yang kurang meyakinkan.

Pada saat ini, penanganan penderita SARS yang dianggap paling penting adalah terapi suportif, yaitu mengupayakan agar penderita tidak mengalami dehidrasi dan infeksi ikutan.

## **Penutup**

Vektor penyakit adalah penyakit yang disebabkan oleh patogen dan parasit pada populasi manusia. Secara global setiap tahun ada lebih dari 1 miliar kasus dan lebih dari 1 juta kematian berasal dari vektor penyakit seperti malaria, demam berdarah, schistosomiasis, trypanosomiasis Afrika manusia, leishmaniasis, penyakit Chagas, demam kuning, encephalitis Jepang dan onchocerciasis.

Memutuskan mata rantai host – vektor – lingkungan adalah hal penting yang harus dilakukan. Lakukan pemutusan mata rantai penyebaran dari penyakit yang disebabkan oleh vektor. Isolasi penderita terinfeksi penyakit adalah penting dan hindari kontak secara langsung dan gunakan Alat Pelindung Diri saat kontak dengan penderita yang terinfeksi penyakit *vector borne disease*.

Sebuah agenda kesehatan global yang memberikan prioritas yang lebih tinggi untuk pengendalian vektor yang bisa menyelamatkan banyak nyawa dan mencegah banyak penderitaan. Secara sederhana dan hemat biaya, intervensi dapat dilakukan dengan memasang kelambu saat tidur, pemberian insektisida dan penyemprotan dalam ruangan.

Vektor penyakit banyak berdampak pada populasi miskin, yaitu mereka yang mempunyai kekurangan akses perumahan yang layak, kekurangan air minum yang aman dan sanitasi yang buruk.

Orang kekurangan gizi dan orang-orang dengan kekebalan lemah sangat rentan terserang penyakit *vector borne disease*.

Berdasarkan pendekatan paradigma baru dalam Public Health, maka untuk mengantisipasi dampak *global warming* dan *climate change* dan berkembangnya penyakit *vector borne disease*, penting dilakukan tindakan pencegahan dengan perbaikan sanitasi lingkungan, penyadaran perilaku sehat masyarakat dan perbaikan gizi masyarakat.

### **Daftar Pustaka**

- Azwar, A. (1995) Pengantar Ilmu Kesehatan Lingkungan, Mutiara Sumber Widya, Jakarta.
- Chandra, B. (2009). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Jakarta
- Duarsa, ABS (2008) Dampak Pemanasan Global terhadap Risiko Terjadinya Malaria, *J. Kesehatan Masyarakat*, II (2), 181-185.
- Choffnes, E.R. & Mack, A. (nd). The Influence of Global Environmental Change on Infectious Disease Dynamic. (workshop summary). Forum on Microbial Threats: Board on Global Health. Institute of Medicine of National Academic. Washington DC. [www.Nap.edu](http://www.Nap.edu): The National Academic Press.
- Keman, S(2007) Perubahan Iklim Global, Kesehatan Manusia dan Pembangunan Berkelanjutan, *J. Kes. Ling.*, 3(2), 195-204.
- Madelon L. Finkel, Editor. *Public Health in the 21st Century: Global Issues in Public Health*. Volume 1. Santa Barbara, California: Praeger
- Muttaqin Husny dan Nirmala KW. (Ed). (2009). *Ilmu Kedokteran dan pencegahan Komunitas*. Jakarta: EGC. hal 26-35
- Penyakit-penyakit yang meningkat kasusnya akibat perubahan iklim global, <http://www.smallcrab.com/kesehatan/1292-penyakit-penyakit-yang-meningkat-kasusnya-akibat-perubahan-iklim-global>, diakses pada tanggal 31 Oktober 2016.
- Robert W. Sutherst. R.W. *Clinical Microbiology Reviews*. Global Change and Human Vulnerability to Vektor-Borne Diseases. Vol. 17. Jan. 2004, p. 136–173, No. 1 0893-8512/04/\$08.000

DOI: 10.1128/CMR.17.1.136–173.2004

- Surjawidjaja, JE.(2003) Sindrom Pernafasan Akut Parah (Severe Acute Respiratory Syndrome/SARS): suatu epidemi baru yang sangat virulen, J. Ked.Trisakti, Vol. 22 Nomor 2, 76-82.
- Sutherst, R.W. (2004). *Global change and human vulnerability to vektor-borne diseases*. Clinical Microbiology Reviews Jan 2004, Vol.17, No.1; 136-173.
- Triangle Host Agent Environment: Lesson 1 Understanding the Epidemiologic Triangle through Infectious Disease. [https://www.cdc.gov/bam/teachers/documents/epi\\_1\\_triangle.pdf](https://www.cdc.gov/bam/teachers/documents/epi_1_triangle.pdf). diakses: 11 Oktober 2015 jam 20.46
- World Health Organization (WHO).Vektor-borne diseases. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/en/>. Diakses 11Oktober 2016 jam 20.12

## Bab 7.

# Dampak Limbah B3 Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Sigit Nurfianto  
I Wayan Gede Artawan Eka Putra  
Fauzan Adima

Perkembangan industri yang pesat tidak hanya berdampak secara positif terhadap roda perekonomian tetapi juga memberi dampak negatif terutama terhadap kesehatan dan lingkungan. Dalam perkembangan revolusi industri di dunia telah banyak tercatat dampak limbah industri bahan berbahaya dan beracun (B3) yang mengakibatkan masalah kesehatan dan lingkungan. Limbah B3 tersebut dapat berupa gas, cair maupun padat. Limbah B3 yang sangat berbahaya dan ditakuti adalah limbah dari industri kimia (Mukono 2002). Limbah dari industri kimia pada umumnya mengandung berbagai macam unsur logam berat yang mempunyai sifat akumulatif dan beracun (*toxic*) sehingga berbahaya bagi kesehatan manusia. Pembuangan limbah ke lingkungan akan menimbulkan masalah yang merata dan menyebar di lingkungan yang luas. Limbah gas terbawa angin dari satu tempat ke tempat lainnya. Limbah cair atau padat yang dibuang ke sungai, dihanyutkan dari hulu sampai jauh ke hilir, melampaui batas-batas wilayah akhirnya bermuara dilaut atau danau, seolah-olah laut atau danau menjadi tong sampah. Limbah bermasalah antara lain berasal dari kegiatan pemukiman, industri, pertanian, pertambangan, dan rekreasi (Mukono 2011b).

Limbah B3 dari kegiatan industri yang terbuang ke lingkungan akhirnya akan berdampak pada kesehatan manusia. Dampak itu dapat langsung

dari sumber ke manusia, misalnya meminum air yang terkontaminasi atau melalui rantai makanan, seperti memakan ikan yang telah menggandakan (*biological magnification*) pencemar karena memakan mangsa yang tercemar. Di Indonesia beberapa kali tercatat dampak dari limbah B3 terhadap kesehatan dan lingkungan. Seperti kejadian tahun 2014 di Sungai Mahakam, tercemar limbah kapal pengangkut limbah berbahaya hasil pengeboran minyak. Akibat pencemaran itu, warga di Kelurahan Pendingin, Kecamatan Sanga-sanga, Kutai Kartanegara, kesulitan mendapatkan pasokan air bersih. Selain itu di Pekanbaru pada tahun 2014 juga terjadi pencemaran limbah B3 oleh perusahaan industri sagu. Jenis limbah B3 yang dicemarkan adalah oli bekas yang sangat berbahaya terhadap lingkungan dan ekosistem yang ada di atasnya.

Pencemaran limbah B3 relatif sering terjadi di Indonesia. Salah satu yang fenomenal dan mendapat perhatian hingga sekarang adalah kebocoran gas milik PT Lapindo Brantas yang terletak di Porong, Sidoarjo. Pencemaran terjadi akibat kebocoran gas, keluarnya lumpur dan air panas, yang mencemari Kali Porong. Pencemaran ini telah terjadi sejak tahun 2006 dan kondisi tersebut masih berlangsung sampai sekarang, bahkan semakin memburuk. Sebenarnya, Lapindo Brantas, Inc., pada tahun 2004, sempat memperoleh peringkat merah dalam Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup sepanjang tahun 2003. Peringkat merah ini diberikan pada badan usaha yang telah melaksanakan upaya pengendalian dan pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup tetapi belum mencapai persyaratan minimum sebagaimana diatur dalam peraturan perundang-undangan yang berlaku. Lapindo Brantas Inc. sudah memenuhi Baku Mutu Air Limbah dan Baku Mutu Emisi, tetapi belum mengajukan perizinan limbah B3.

Selain itu pernah juga terjadi pencemaran lingkungan di Pulau Biawak, Kabupaten Indramayu Pulau Biawak di Indramayu tercemar oleh limbah dari salah satu industri migas yang beroperasi di Indramayu. Hal ini menyebabkan terganggunya ekosistem air di wilayah tersebut, selain itu juga menyebabkan matinya ikan dan menurunnya kualitas air, sehingga merugikan masyarakat sekitar. Sungai Siak mengalami pencemaran yang disebabkan pembuangan limbah pabrik yang ada di sepanjang DAS Siak, yang tidak mengacu pada PP No 81 tahun 2001

tentang Pengendalian dan Pencemaran Lingkungan dan Pembuangan Limbah Domestik (rumah tangga).

Lingkungan yang telah tercemar dan rusak, akan menimbulkan dan meningkatkan biaya eksternalitas yang harus ditanggung oleh masyarakat. Kondisi demikian rawan sekali terhadap resiko timbulnya konflik sosial, yang pada akhirnya akan mengancam kelestarian dari industri itu sendiri. Gangguan kesehatan dan kerusakan lingkungan tersebut perlu dihindari dengan melaksanakan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan hidup berdasarkan kebijaksanaan nasional yang terpadu dan menyeluruh dengan memperhitungkan kebutuhan generasi masa kini dan masa depan.

### **Pengertian Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**

Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau bahan beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2001).

Secara umum yang disebut limbah adalah bahan sisa yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan proses produksi, baik pada skala rumah tangga, industri, pertambangan, dan sebagainya. Bentuk limbah tersebut dapat berupa gas dan debu, cair atau padat. Di antara berbagai jenis limbah ini ada yang bersifat beracun atau berbahaya dan dikenal sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Limbah B3) (Sekretariat Negara Republik Indonesia 2001).

Suatu limbah digolongkan sebagai limbah B3 bila mengandung bahan berbahaya atau beracun yang sifat dan konsentrasinya, baik langsung maupun tidak langsung, dapat merusak atau mencemarkan lingkungan hidup atau membahayakan kesehatan manusia. Termasuk limbah B3 antara lain adalah bahan baku yang berbahaya dan beracun yang tidak digunakan lagi karena rusak, misalnya sisa kemasan, tumpahan, sisa proses, dan oli bekas kapal yang memerlukan penanganan dan pengolahan khusus. Suatu bahan yang termasuk limbah B3 dapat

diketahui secara pasti melalui uji dengan toksilogi. Uji toksikologi limbah dilakukan melalui 2 tahap, yaitu LD50 untuk menentukan sifat akut limbah dan penentuan sifat kronis. Selain itu, bahan juga dapat dikategorikan limbah B3 bila memiliki salah satu atau lebih karakteristik limbah B3 (Mukono 2010).

### Jenis-Jenis Limbah B3

Pengidentifikasi limbah B3 digolongkan kedalam 3 kategori, yaitu:

1. Berdasarkan Sumber

a. Limbah B3 dari sumber spesifik

Limbah B3 dari sumber spesifik merupakan limbah B3 sisa proses industri atau kegiatan spesifik dapat ditentukan berdasarkan kajian ilmiah.

Kode Limbah	Jenis Industri/ Kegiatan	Kode	Sumber Pencemaran	Asal / Uraian Limbah	Pencemar Utama
D227	RUMAH SAKIT	7511	Seluruh RS dan Laboratorium klinis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah klinis</li> <li>• Produk farmasi kadaluarsa</li> <li>• Peralatan laboratorium terkontaminasi</li> <li>• Kemasan (produk farmasi)</li> <li>• Limbah laboratorium</li> <li>• Residu dari proses insinerasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah terinfeksi</li> <li>• Residu produk farmasi</li> <li>• Bahan – bahan kimia</li> </ul>

b. Limbah B3 dari sumber tidak spesifik

Limbah B3 dari sumber spesifik bukan dari proses utamanya, tetapi:

- i. Kegiatan pemeliharaan alat
- ii. Pencucian
- iii. Pencegahan korosi (inhibitor korosi)
- iv. Pelarut kerak
- v. Pengemasan

KODE LIMBAH	BAHAN PENCEMAR
D10010a	Pelarut Terhalogenasi
	Karbon Tetraklorida
	Pelarut Yang Tidak Terhalogenasi
D1002b	Aseton
D10014b	Benzena
	Asam/Basa
D1009c	Asam Sulfat
	Yang Tidak Spesifik Lainnya
D1005d	Pelumas Bekas

Contoh limbah B3 dari sumber tidak spesifik

- c. Limbah B3 dari bahan kimia kadaluarsa, tumpahan, bekas kemasan dan buangan produk yang tidak memenuhi spesifikasi

KODE LIMBAH	BAHAN PENCEMAR
D3001	Asetaldehide
D3002	Asetamide
D3003	Asam asetat, garam-garamnya dan ester – esternya
D3004	Aseton
D3005	Asetonitril
D3006	Asetilklorida
D3007	Akrolein
D3008	Akrlamida
D3009	Akrlionitril
D3010	Aldrin

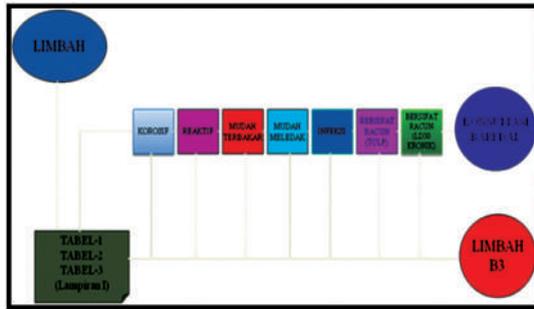
## 2. Berdasarkan karakteristiknya

Terdapat beberapa karakteristik limbah B3 antara lain (Sekretariat Negara Republik Indonesia 2001):

- a. mudah meledak (*explosive*)
- b. mudah terbakar (*flammable*)
- c. bersifat reaktif/pengoksidasi (*oxidizing*)
- d. beracun (*toxic*)
- e. menyebabkan infeksi (*infeksius*)
- f. karsinogenik, Mutagenik dan Teratogenik
- g. bersifat korosif
- h. bersifat iritasi
- i. berbahaya (*harmful*)
- j. limbah lain yang secara uji toksikologi termasuk jenis limbah B-3.

Beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam identifikasi limbah B3 antara lain (Sekretariat Negara Republik Indonesia 2001):

1. Mencocokkan jenis limbah dengan daftar jenis limbah B3 sebagaimana ditetapkan pada lampiran 1 (Tabel 1,2, dan 3) PP 85/1999.
2. Apabila tidak termasuk dalam jenis limbah B3 seperti lampiran tersebut, maka harus diperiksa apakah limbah tersebut memiliki karakteristik: mudah meledak, mudah terbakar, beracun, bersifat reaktif, menyebabkan infeksi dan atau bersifat infeksius.
3. apabila kedua tahap telah dijalankan dan tidak termasuk dalam limbah B3, maka dilakukan uji toksikologi.



### 3. Berdasarkan Toksikologi

Uji toksikologi limbah B3 meliputi (Sekretariat Negara Republik Indonesia 2001):

1. Sifat Akut : yaitu uji hayati untuk mengukur hubungan dosis respons antara limbah dengan kematian hewan uji, untuk menetapkan nilai LD50.
  - a. Penentuan sifat akut limbah dilakukan dengan uji hayati untuk mengukur hubungan dosis-respons antara limbah dengan kematian hewan uji didapatkan nilai LD50.
  - b. LD50 adalah dosis limbah yang menghasilkan 50% respons kematian pada populasi hewan uji.
  - c. Bila Nilai LD50 (oral)  $\leq 50$  mg/kg berat badan = Limbah B3
  - d. Bila Nilai LD50 (oral)  $> 50$  mg/kg berat badan,valuasi sifat kronis
2. Sifat Kronik: yaitu uji toksik, mutagenik, karsinogenik, tera togenik dan lain-lainnya, dengan cara mencocokkan zat pencemar yang ada dalam limbah dengan lampiran-III, berdasarkan pertimbangan faktor-faktor tertentu.

### Dampak Limbah B3 Terhadap Kesehatan

Dalam paradigma Kesehatan Lingkungan ada 4 simpul yang berkaitan dengan proses pajanan B3 yang dapat mengganggu kesehatan. Simpul 1 adalah jenis dan skala kegiatan yang diduga menjadi sumber pencemar atau biasa disebut sebagai sumber emisi B3. Sumber emisi B3 pada umumnya berasal dari sektor industri, transportasi, yang mengeluarkan berbagai bahan buangan yang mengandung senyawa kimia yang tidak dikehendaki. Emisi tersebut dapat berupa gas, cairan, maupun partikel yang mengandung senyawa organik maupun

anorganik. Simpul 2 adalah media lingkungan (air, tanah, udara dan biota), emisi dari simpul 1 dibuang ke lingkungan, kemudian menyebar secara luas di lingkungan sesuai dengan kondisi media transportasi limbah. Bila melalui udara, maka sebarannya tergantung dari arah angin dominan dan dapat menjangkau wilayah yang cukup luas. Bila melalui air maka dapat menyebar sesuai dengan arah aliran yang sebarannya dapat sangat jauh. Komponen lain yang ikut menyebarkan emisi tersebut adalah biota air yang ikut tercemar (Mukono 2002).

Simpul 3 adalah pajanan B3 ke manusia, di lingkungan, manusia dapat menghirup udara yang tercemar, minum air yang tercemar, makan makanan yang terkontaminasi dan dapat pula memasukkan B3 melalui kulit. Pada umumnya titik pajanan B3 ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan, oral (mulut) dan kulit. Simpul 4 Dampak Kesehatan yang timbul akibat kontak dengan B3 atau terpajan oleh pencemar melalui berbagai cara seperti pada simpul 3, maka dampak kesehatan yang timbul bervariasi dari ringan, sedang, sampai berat bahkan sampai menimbulkan kematian, tergantung dari dosis dan waktu pajanan. Jenis penyakit yang ditimbulkan, pada umumnya merupakan penyakit non infeksi antara lain: keracunan, kerusakan organ, kanker, hipertensi, asma bronchioli, pengaruh pada janin yang dapat mengakibatkan lahir cacat (cacat bawaan), kemunduran mental, gangguan pertumbuhan baik fisik maupun psikis, gangguan kecerdasan dan lain-lain. Akibat yang ditimbulkan lebih jauh:

- a. Biaya mahal
- b. Belum tentu berhasil untuk pemulihan kesehatan
- c. Generasi yang tidak produktif
- d. Kehidupan sosial yang tidak mapan
- e. Depresi berkelanjutan

**Dampak B3 terhadap Kesehatan,** (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2007):

### **1. Air Raksa / Hargentum / Hg / Mercury**

Elemen Hg berwarna kelabu-perak, sebagai cairan pada suhu kamar dan mudah menguap bila dipanaskan.  $Hg^{2+}$  (Senyawa Anorganik) dapat mengikat karbon, membentuk senyawa organomercury. Methyl Mercury (MeHg) merupakan bentuk penting yang memberikan

pemajanan pada manusia. Industri yang memberikan *effluents* Hg adalah:

- a. Memproses chlorin
- b. Produksi Coustic soda
- c. Tambang dan prosesing biji Hg
- d. Metalurgi dan elektroplating
- e. Pabrik Kimia
- f. Pabrik Tinta
- g. Pabrik Kertas
- h. Penyamakan Kulit
- i. Pabrik Tekstil
- j. Perusahaan Farmasi.

Sebagian senyawa mercury yang dilepas ke lingkungan akan mengalami proses methylation menjadi methylmercury (MeHg) oleh microorganisme dalam air dan tanah. MeHg dengan cepat akan diakumulasikan dalam ikan atau tumbuhan dalam air permukaan. Kadar mercury dalam ikan dapat mencapai 100.000 kali dari kadar air disekitarnya. Orang-orang yang mempunyai potensial terpajan Hg diantaranya:

- a. Pekerja pabrik yang menggunakan Hg
- b. Janin, bayi dan anak-anak
- c. MeHg dapat menembus placenta
- d. Sistem syaraf sensitif terhadap keracunan Hg.
- e. MeHg pada ASI, maka bayi yang menyusu dapat terpajan
- f. Masyarakat pengkonsumsi ikan yang berasal dari daerah perairan yang tercemar mercury.

Pemajanan melalui inhalasi, oral, kulit. Mercury termasuk bahan teratogenik. MeHg didistribusikan keseluruh jaringan terutama di darah dan otak. MeHg terutama terkonsentrasi dalam darah dan otak, 90% ditemukan dalam darah merah.

#### *Efek Fisiologis:*

Efek toksisitas mercury terutama pada susunan saraf pusat (SSP) dan ginjal, dimana mercury terakumulasi yang dapat menyebabkan kerusakan SSP dan ginjal antara lain tremor, kehilangan daya ingat.

*Efek pada pertumbuhan:*

MeHg mempunyai efek pada kerusakan janin dan terhadap pertumbuhan bayi. Kadar MeHg dalam darah bayi baru lahir dibandingkan dengan darah ibu mempunyai kaitan signifikan. Bayi yang dilahirkan dari ibu yang terpajan MeHg bisa menderita kerusakan otak dengan manifestasi:

- a. Retardasi mental
- b. Tuli
- c. Penciutan lapangan pandang
- d. Buta
- e. Microcephaly
- f. Cerebral Palsy
- g. Gangguan menelan

*Efek mercury yang lain:*

Efek terhadap sistem pernafasan dan pencernaan makanan dapat terjadi pada keracunan akut. Inhalasi dari elemental Mercury dapat mengakibatkan kerusakan berat dari jaringan paru. Sedangkan keracunan makanan yang mengandung Mercury dapat menyebabkan kerusakan liver (Mukono, 2011a).

## **2. Chromium**

Chromium adalah suatu logam keras berwarna abu-abu dan sulit dioksidasi meski dalam suhu tinggi. Chromium digunakan oleh industri: Metalurgi, Kimia, Refractory (*heat resistant application*).

Dalam industri metalurgi, chromium merupakan komponen penting dari stainless steels dan berbagai campuran logam. Dalam industri kimia digunakan sebagai:

- a. Cat pigmen (dapat berwarna merah, kuning, orange, dan hijau)
- b. *Chrome plating*
- c. Penyamakan kulit
- d. *Treatment Wool*

Chromium terdapat stabil dalam 3 valensi. Berdasarkan urutan toksisitasnya adalah Cr-O, Cr-III, Cr-VI. Electroplating, penyamakan kulit dan pabrik tekstil merupakan sumber utama pemajanan chromium ke air permukaan. Limbah padat dari tempat pemrosesan chromium yang dibuang ke *landfill* dapat merupakan sumber kontaminan terhadap air tanah. Kelompok Risiko Tinggi:

- a. Pekerja di industri yang memproduksi dan menggunakan Cr.
- b. Perumahan yang terletak dekat tempat produksi akan terpajan Cr-VI lebih tinggi
- c. Perumahan yang dibangun diatas bekas *landfill*, akan terpajan melalui pernafasan (inhalasi) atau kulit.

Pemajanan melalui:

- a. Inhalasi terutama pekerja
- b. Kulit
- c. Oral: masyarakat pada umumnya

*Efek Fisiologi:*

Cr (III) merupakan unsur penting dalam makanan (*trace essential*) yang mempunyai fungsi menjaga agar metabolisme glucosa, lemak dan kolesterol berjalan normal. Organ utama yang terserang karena Cr terhisap adalah paru-paru, sedangkan organ lain yang bisa terserang adalah ginjal, lever, kulit, dan sistem imunitas

*Efek pada Kulit:*

Dermatitis berat dan ulkus kulit karena kontak dengan Cr-IV

*Efek pada Ginjal:*

Bila terhirup Cr-VI dapat mengakibatkan nekrosis tubulus renalis

*Efek pada Hati:*

Pemajanan akut Cr dapat menyebabkan nekrosis hepar. Bila terjadi 20 % tubuh tersiram asam Cr akan mengakibatkan kerusakan berat hepar dan terjadi kegagalan ginjal akut.

### **3. Cadmium (Cd)**

Cadmium merupakan bahan alami yang terdapat dalam kerak bumi. Cadmium murni berupa logam berwarna putih perak dan lunak, namun bentuk ini tak lazim ditemukan di lingkungan. Umumnya cadmium terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain seperti Oxygen (*Cadmium Oxide*), Chlorine (*Cadmium Chloride*) atau belerang (*Cadmium Sulfide*).

Kebanyakan Cadmium (Cd) merupakan produk samping dari pengecoran seng, timah atau tembaga cadmium yang banyak digunakan berbagai industri, terutama plating logam, pigmen, baterai dan plastik.

### *Pemajanan*

Sumber utama pemajanan Cd berasal dari makanan karena makanan menyerap dan mengikat Cd. misalnya: tanaman dan ikan. Tidak jarang Cd dijumpai dalam air karena adanya resapan dari tempat buangan limbah bahan kimia.

### *Dampak pada kesehatan*

Beberapa efek yang ditimbulkan akibat pemajanan Cd adalah adanya kerusakan ginjal, liver, testis, sistem imunitas, sistem susunan saraf dan darah.

## **4. Cupper (Cu)**

Tembaga merupakan logam berwarna kemerah-merahan dipakai sebagai logam murni atau logam campuran (suasa) dalam pabrik kawat, pelapis logam, pipa, dan lain-lain.

### *Pemajanan*

Pada manusia melalui pernafasan, oral dan kulit yang berasal dari berbagai bahan yang mengandung tembaga. Tembaga juga terdapat pada tempat pembuangan limbah bahan berbahaya. Senyawa tembaga yang larut dalam air akan lebih mengancam kesehatan. Cu yang masuk ke dalam tubuh, dengan cepat masuk ke peredaran darah dan didistribusi ke seluruh tubuh.

### *Dampak terhadap Kesehatan*

Cu dalam jumlah kecil (1 mg/hr) penting dalam diet agar manusia tetap sehat. Namun suatu *intake* tunggal atau *intake* perhari yang sangat tinggi dapat membahayakan. Bila minum air dengan kadar Cu lebih tinggi dari normal akan mengakibatkan muntah, diare, kram perut dan mual. Bila *intake* sangat tinggi dapat mengakibatkan kerusakan liver dan ginjal, bahkan sampai kematian.

## **5. Timah Hitam (Pb)**

Sumber emisi antara lain dari: pabrik plastik, percetakan, peleburan timah, pabrik karet, pabrik baterai, kendaraan bermotor, pabrik cat, tambang timah.

Pemajanan melalui Oral dan Inhalasi

### *Dampak pada Kesehatan*

Sekali masuk ke dalam tubuh timah didistribusikan terutama ke 3 (tiga) komponen yaitu:

- a. Darah
- b. Jaringan lunak (ginjal, sumsum tulang, liver, otak)
- c. Jaringan dengan mineral (tulang + gigi)

Tubuh menimbun timah selama seumur hidup dan secara normal mengeluarkan dengan cara yang lambat. Efek yang ditimbulkan adalah gangguan pada saraf perifer dan sentral, sel darah, gangguan metabolisme Vitamin D dan Kalsium sebagai unsur pembentuk tulang, gangguan ginjal secara kronis, dapat menembus placenta sehingga mempengaruhi pertumbuhan janin.

### **6. Nickel (Ni)**

Nikel berupa logam berwarna perak dalam bentuk berbagai mineral. Ni diproduksi dari biji Nickel, peleburan/ daur ulang besi, terutama digunakan dalam berbagai macam baja dan suasa serta elektroplating. Salah satu sumber terbesar Ni terbesar di atmosphere berasal dari hasil pembakaran BBM, pertambangan, penyulingan minyak, incenerator. Sumber Ni di air berasal dari lumpur limbah, limbah cair dari "Sewage Treatment Plant", air tanah dekat lokasi *landfill*.

Pemajanan melalui inhalasi, oral, dan kontak kulit.

#### *Dampak terhadap Kesehatan*

Ni dan senyawanya merupakan bahan karsinogenik. Inhalasi debu yang mengandung Ni- Sulfide mengakibatkan kematian karena kanker pada paru-paru dan rongga hidung, dan mungkin juga dapat terjadi kanker pita suara.

### **6. Pestisida**

Pestisida mengandung konotasi zat kimia dan atau bahan lain termasuk jasad renik yang mengandung racun dan berpengaruh menimbulkan dampak negatif yang signifikan terhadap kesehatan manusia, kelestarian lingkungan dan keselamatan tenaga kerja. Pestisida banyak digunakan pada sektor pertanian dan perdagangan/ komoditi.

Pemajanan melalui: Oral, Inhalasi, Kulit

#### *Dampak pada Kesehatan*

Pestisida golongan Organofost dan Carbamat dapat mengakibatkan keracunan Sistemik dan menghambat *enzym Cholinesterase* (Enzim yang mengontrol transmisi impulse saraf sehingga mempengaruhi

kerja susunan saraf pusat yang berakibat terganggunya fungsi organ penting lainnya dalam tubuh. Keracunan pestisida golongan Organoklorine dapat merusak saluran pencernaan, jaringan, dan organ penting lainnya.

### **8. Arsene**

Arsene berwarna abu-abu, namun bentuk ini jarang ada di lingkungan. Arsen di air ditemukan dalam bentuk senyawa dengan satu atau lebih elemen lain. Senyawa arsen dengan oksigen, klorin atau belerang sebagai arsen inorganik, sedangkan senyawa dengan Karbon dan Hydrogen sebagai Arsen Organik. Arsen inorganik lebih beracun dari pada arsen organik. Suatu tempat pembuangan limbah kimia mengandung banyak arsen, meskipun bentuk bahan tak diketahui (Organik/ Inorganik). Industri peleburan tembaga atau metal lain biasanya melepas arsen inorganik ke udara. Arsen dalam kadar rendah biasa ditemukan pada kebanyakan fosil minyak, maka pembakaran zat tersebut menghasilkan kadar arsen inorganik ke udara. Penggunaan arsen terbesar adalah untuk pestisida. Pemajanan Arsen ke dalam tubuh manusia umumnya melalui oral, dari makanan/ minuman. Arsen yang tertelan secara cepat akan diserap lambung dan usus halus kemudian masuk ke peredaran darah.

#### *Dampak terhadap Kesehatan:*

Arsen inorganik telah dikenal sebagai racun manusia sejak lama, yang dapat mengakibatkan kematian. Dosis rendah akan mengakibatkan kerusakan jaringan. Bila melalui mulut, pada umumnya efek yang timbul adalah iritasi saluran makanan, nyeri, mual, muntah dan diare. Selain itu mengakibatkan penurunan pembentukan sel darah merah dan putih, gangguan fungsi jantung, kerusakan pembuluh darah, luka di hati, dan ginjal.

### **9. Nitrogen Oxide (NOx)**

NOx merupakan bahan polutan penting di lingkungan yang berasal dari hasil pembakaran dari berbagai bahan yang mengandung nitrogen. Pemajanan manusia pada umumnya melalui inhalasi atau pernafasan. Dampak terhadap kesehatan berupa keracunan akut sehingga tubuh menjadi lemah, sesak nafas, batuk yang dapat menyebabkan edema pada paru-paru.

## 10. Sulfur Oxide (SO<sub>x</sub>)

Sumber SO<sub>2</sub> bersal dari pembakaran BBM dan batu bara, penyulingan minyak, industri kimia dan metalurgi. Dampak pada kesehatan berupa keracunan akut

- a. Pemajanan lewat ingesti efeknya berat, rasa terbakar di mulut, pharynx, abdomen yang disusul dengan muntah, diare, tinja merah gelap (melena). Tekanan darah turun drastis.
- b. Pemajanan lewat inhalasi, menyebabkan iritasi saluran pernafasan, batuk, rasa tercekik, kemudian dapat terjadi edema paru, rasa sempit didada, tekanan darah rendah dan nadi cepat.
- c. Pemajanan lewat kulit terasa sangat nyeri dan kulit terbakar.

## 11. Karbonmonoksida (CO)

Karbonmonoksida adalah gas yang tidak berbau dan tidak berwarna, berasal dari hasil proses pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar yang mengandung rantai karbon (C) (Mukono, 2008). Pemajanan pada manusia lewat inhalasi.

*Dampak pada kesehatan:*

Keracunan akut: terjadi setelah terpajan karbonmonoksida berkadar tinggi. CO yang masuk kedalam tubuh dengan cepat mengikat haemoglobine dalam darah membentuk karboksihaemoglobine (COHb), sehingga haemoglobine tidak mempunyai kemampuan untuk mengikat oksigen yang sangat diperlukan untuk proses kehidupan dari pada jaringan dalam tubuh. Hal ini disebabkan karena CO mempunyai daya ikat terhadap haemoglobine 200 sampai 300 kali lebih besar dari pada oksigen, yang dapat mengakibatkan gangguan fungsi otak atau *hypoxia*, susunan saraf, dan jantung, karena organ tersebut kekurangan oksigen dan selanjutnya dapat mengakibatkan kematian (Mukono, 2014).

Keracunan kronis: terjadi karena terpajan berulang-ulang oleh CO yang berkadar rendah atau sedang. Keracunan kronis menimbulkan kelainan pada pembuluh darah, gangguan fungsi ginjal, jantung, dan darah (Mukono, 2014).

## Dampak Limbah B3 Terhadap Lingkungan

Pencemaran lingkungan sering diungkapkan dengan pembicaraan atau pemberitaan melalui media massa. Ungkapan tersebut bermacam

ragam popularisasinya dikalangan pendengar atau pembaca, antara lain pernyataan yang menyebutkan: pencemaran udara oleh gas buang kendaraan bermotor amat terasa di kota-kota besar yang padat lalulintasnya; pencemaran sungai oleh limbah cair industri sangat mengganggu kehidupan di perairan; limbah pulp (bubur kayu) pabrik kayu mengandung BOD dan COD yang tinggi; sampah bahan berbahaya beracun mencemari air, dan sebagainya.

Didalam bahasa sehari-hari, pencemaran lingkungan dipahami sebagai sesuatu kejadian lingkungan yang tidak diinginkan, menimbulkan gangguan atau kerusakan lingkungan bahkan dapat menimbulkan gangguan kesehatan sampai kematian. Hal-hal yang tidak diinginkan yang dapat disebut pencemaran, misalnya udara berbau tidak sedap, air berwarna keruh, tanah ditimbuni sampah. Hal tersebut dapat berkembang dari sekedar tidak diinginkan menjadi gangguan. Udara yang tercemar baik oleh debu, gas maupun unsur kimia lainnya dapat menyakitkan saluran pernafasan, mata menjadi pedas atau merah dan berair. Bila zat pencemar tersebut mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3), kemungkinan dapat berakibat fatal.

Hal yang sama dapat terjadi pada air. Air yang tercemar dapat menimbulkan gangguan gatal pada kulit, atau sakit saluran pencernaan bila terminum dan dapat berakibat lebih jauh bila ternyata mengandung B3. Demikian pula halnya dengan tanah yang tercemar, yang pada gilirannya dapat mengotori sumber air didekatnya. Menurut Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang dimaksud dengan pencemaran lingkungan hidup adalah: masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Mukono, 2010).

### **Proses Pencemaran Limbah B3 ke Lingkungan**

Pencemaran lingkungan terjadikarena limbah dibuang ke lingkungan, sehingga masalah yang ditimbulkannya merata dan menyebar di lingkungan yang luas. Limbah gas terbawa angin dari satu tempat ke tempat lainnya. Limbah cair atau padat yang dibuang ke sungai, dihanyutkan dari hulu sampai jauh ke hilir, melampaui batas-batas

wilayah akhirnya bermuara dilaut atau danau, seolah-olah laut atau danau menjadi tong sampah. Limbah bermasalah antara lain berasal dari kegiatan pemukiman, industri, pertanian, pertambangan dan rekreasi.

Limbah pemukiman selain berupa limbah padat yaitu sampah rumah tangga, juga berupa tinja dan limbah cair yang semuanya dapat mencemari lingkungan perairan. Air yang tercemar akan menjadi sumber penyakit menular.

Limbah industri baik berupa gas, cair maupun padat umumnya termasuk kategori atau dengan sifat limbah B3. Kegiatan industri disamping bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan, ternyata juga menghasilkan limbah sebagai pencemar lingkungan perairan, tanah, dan udara. Limbah cair, yang dibuang ke perairan akan mengotori air yang dipergunakan untuk berbagai keperluan dan mengganggu kehidupan biota air. Limbah padat akan mencemari tanah dan sumber air tanah. Limbah gas yang dibuang ke udara pada umumnya mengandung senyawa kimia berupa SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, dan gas-gas lain yang tidak diinginkan. Adanya SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> di udara dapat menyebabkan terjadinya hujan asam yang dapat menimbulkan kerugian karena merusak bangunan, ekosistem perairan, lahan pertanian, dan hutan.

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang sangat ditakuti adalah limbah dari industri kimia. Limbah dari industri kimia pada umumnya mengandung berbagai macam unsur logam berat yang mempunyai sifat akumulatif dan beracun (*toxic*) sehingga berbahaya bagi kesehatan manusia. Limbah pertanian yang paling utama ialah pestisida dan pupuk. Walau pestisida digunakan untuk membunuh hama, ternyata karena pemakaiannya yang tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja, pestisida menjadi biosida – pembunuh kehidupan. Pestisida yang berlebihan pemakaiannya, akhirnya mengkontaminasi sayuran dan buah-buahan yang dapat menyebabkan keracunan konsumennya. Pupuk sering dipakai berlebihan, sisanya bila sampai diperairan dapat merangsang pertumbuhan gulma penyebab timbulnya eutrofikasi. Pemakaian herbisida untuk mengatasi eutrofikasi menjadi penyebab terkontaminasinya ikan, udang dan biota air lainnya.

Pertambangan memerlukan proses lanjutan pengolahan hasil tambang menjadi bahan yang diinginkan. Misalnya proses dipertambangan emas, memerlukan bahan air raksa atau mercury akan menghasilkan limbah logam berat cair penyebab keracunan syaraf dan merupakan bahan teratogenik. Kegiatan sektor pariwisata menimbulkan limbah melalui sarana transportasi, dengan limbah gas buang di udara, tumpahan minyak dan oli di laut sebagai limbah perahu atau kapal motor di kawasan wisata bahari (Mukono, 2004).

### **Toksikologi Lingkungan**

Efek merugikan limbah B3 terhadap lingkungan dan ekosistem yang ada di dalamnya dapat dijelaskan menggunakan pendekatan toksikologi lingkungan. Toksikologi lingkungan adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari efek merugikan dari bahan kimia terhadap organisme hidup. Interaksi bahan kimia dapat terjadi melalui sejumlah mekanisme dan efek dari dua atau lebih bahan kimia yang diberikan secara bersamaan akan menghasilkan suatu respons yang mungkin bersifat aditif, sinergis, potensiasi, dan antagonistik. Karakteristik pemaparan membentuk spektrum efek secara bersamaan membentuk hubungan korelasi yang dikenal dengan hubungan dosis-respons (Mukono, 2010).

Salah satu sumber pencemaran toksik adalah tanah, karena pencemaran tanah tidak jauh beda atau bisa dikatakan mempunyai hubungan erat dengan pencemaran udara dan pencemaran air, maka sumber pencemar udara dan sumber pencemar air pada umumnya juga merupakan sumber pencemar tanah. Sebagai contoh gas-gas oksida karbon, oksida nitrogen, oksida belerang yang menjadi bahan pencemar udara yang larut dalam air hujan dan turun ke tanah dapat menyebabkan terjadinya hujan asam sehingga menimbulkan terjadinya pencemaran pada tanah (Mukono, 2010).

Air permukaan tanah yang mengandung bahan pencemar misalnya tercemari zat radioaktif, logam berat dalam limbah industri, sampah rumah tangga, limbah rumah sakit, sisa-sisa pupuk dan pestisida dari daerah pertanian, limbah deterjen, akhirnya juga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah daerah tempat air permukaan ataupun tanah daerah yang dilalui air permukaan tanah yang tercemar tersebut. Sumber bahan pencemar tanah dapat dikelompokkan juga

menjadi sumber pencemar yang berasal dari, sampah rumah tangga, sampah pasar, sampah rumah sakit, gunung berapi yang meletus / kendaraan bermotor dan limbah industri.

Sumber pencemar tanah, karena pencemaran tanah tidak jauh beda atau bisa dikatakan mempunyai hubungan erat dengan pencemaran udara dan pencemaran air, maka sumber pencemar udara dan sumber pencemar air pada umumnya juga merupakan sumber pencemar tanah. Sebagai contoh gas-gas oksida karbon, oksida nitrogen, oksida belerang yang menjadi bahan pencemar udara yang larut dalam air hujan dan turun ke tanah dapat menyebabkan terjadinya hujan asam sehingga menimbulkan terjadinya pencemaran pada tanah.

Air permukaan tanah yang mengandung bahan pencemar misalnya tercemari zat radioaktif, logam berat dalam limbah industri, sampah rumah tangga, limbah rumah sakit, sisa-sisa pupuk dan pestisida dari daerah pertanian, limbah deterjen, akhirnya juga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah daerah tempat air permukaan ataupun tanah daerah yang dilalui air permukaan tanah yang tercemar tersebut. Maka sumber bahan pencemar tanah dapat dikelompokkan juga menjadi sumber pencemar yang berasal dari, sampah rumah tangga, sampah pasar, sampah rumah sakit, gunung berapi yang meletus / kendaraan bermotor dan limbah industri (Mukono, 2010).

## **Sumber Bahan-Bahan Toksik**

### *a. Limbah industri*

Limbah industri sangat potensial sebagai penyebab terjadinya pencemaran air. Pada umumnya limbah industri mengandung limbah B3, yaitu bahan berbahaya dan beracun. Menurut PP 18 Tahun 99 pasal 1, limbah B3 adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang dapat mencemarkan atau merusak lingkungan hidup sehingga membahayakan kesehatan serta kelangsungan hidup manusia dan mahluk lainnya.

Limbah Industri berasal dari sisa-sisa produksi industri. Limbah cair yang merupakan hasil pengolahan dalam suatu proses produksi, misalnya sisa-sisa pengolahan industri pelapisan logam dan industri kimia lainnya. Tembaga, timbal, perak, khrom, arsen

dan boron adalah zat-zat yang dihasilkan dari proses industri pelapisan logam seperti Hg, Zn, Pb, Cd dapat mencemari tanah. Merupakan zat yang sangat beracun terhadap mikroorganisme. Jika meresap ke dalam tanah akan mengakibatkan kematian bagi mikroorganisme yang memiliki fungsi sangat penting terhadap kesuburan tanah (Mukono, 2010).

b. *Limbah pertanian*

Pupuk dan pestisida biasa digunakan para petani untuk merawat tanamannya. Namun pemakaian pupuk dan pestisida yang berlebihan dapat mencemari air. Limbah pupuk mengandung fosfat yang dapat merangsang pertumbuhan gulma air seperti ganggang dan eceng gondok. Pertumbuhan gulma air yang tidak terkendali ini menimbulkan dampak seperti yang diakibatkan pencemaran oleh deterjen.

Limbah pertanian dapat berupa sisa-sisa pupuk sintetik untuk menyuburkan tanah atau tanaman, misalnya pupuk urea dan pestisida untuk pemberantas hama tanaman. Penggunaan pupuk yang terus menerus dalam pertanian akan merusak struktur tanah, yang menyebabkan kesuburan tanah berkurang dan tidak dapat ditanami jenis tanaman tertentu karena hara tanah semakin berkurang. Dan penggunaan pestisida bukan saja mematikan hama tanaman tetapi juga mikroorga-nisme yang berguna di dalam tanah. Padahal kesuburan tanah tergantung pada jumlah organisme di dalamnya. Selain itu penggunaan pestisida yang terus menerus akan mengakibatkan hama tanaman kebal terhadap pestisida tersebut (Mukono, 2010).

c. *Limbah domestik*

Limbah rumah tangga mengandung limbah domestik berupa sampah organik dan sampah anorganik serta deterjen. Sampah organik adalah sampah yang dapat diuraikan atau dibusukkan oleh bakteri. Contohnya sisa-sisa sayuran, buah-buahan, dan daun-daunan. Sedangkan sampah anorganik seperti kertas, plastik, gelas atau kaca, kain, kayu-kayuan, logam, karet, dan kulit. Sampah-sampah ini tidak dapat diuraikan oleh bakteri (*non biodegradable*). Sampah organik yang dibuang ke sungai menyebabkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut, karena sebagian besar digunakan bakteri

untuk proses pembusukannya. Apabila sampah anorganik yang dibuang ke sungai, cahaya matahari dapat terhalang dan menghambat proses fotosintesis dari tumbuhan air dan alga, yang menghasilkan oksigen. Deterjen merupakan limbah pemukiman yang paling potensial mencemari air. Pada saat ini hampir setiap rumah tangga menggunakan deterjen, padahal limbah deterjen sangat sukar diuraikan oleh bakteri (Mukono, 2010).

Limbah rumah tangga atau domestik dapat berasal dari daerah: pemukiman penduduk; perdagangan/pasar/tempat usaha hotel dan lain-lain; kelembagaan misalnya kantor-kantor pemerintahan dan swasta; dan wisata, dapat berupa limbah padat dan cair. Limbah padat berupa senyawa anorganik yang tidak dapat dimusnahkan atau diuraikan oleh mikroorganisme seperti plastik, serat, keramik, kaleng-kaleng dan bekas bahan bangunan, menyebabkan tanah menjadi kurang subur. Bahan pencemar itu akan tetap utuh hingga 300 tahun yang akan datang. Bungkus plastik yang kita buang ke lingkungan akan tetap ada dan mungkin akan ditemukan oleh anak cucu kita setelah ratusan tahun kemudian.

Sampah anorganik tidak ter-biodegradasi, yang menyebabkan lapisan tanah tidak dapat ditembus oleh akar tanaman dan tidak tembus air sehingga peresapan air dan mineral yang dapat menyuburkan tanah hilang dan jumlah mikroorganisme di dalam tanahpun akan berkurang akibatnya tanaman sulit tumbuh bahkan mati karena tidak memperoleh makanan untuk berkembang. Limbah cair berupa; tinja, deterjen, oli, cat, jika meresap kedalam tanah akan merusak kandungan air tanah bahkan dapat membunuh mikroorganisme di dalam tanah (Mukono 2010).

#### d. *Limbah Rumah Sakit*

Limbah Rumah Sakit adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair, pasta (gel) maupun gas yang dapat mengandung mikroorganisme patogen, bersifat infeksius, bahan kimia beracun dan sebagian bersifat radioaktif. Asal limbah antara lain dari Unit pelayanan medis meliputi: Rawat Inap, Rawat Jalan/Poliklinik, Rawat Intensif, Rawat Darurat, Haemodialisa, kamar jenazah, bedah sentral dan lain-lain (Pruss *et al.* 2005; Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2007).

Berdasarkan bentuk fisiknya limbah rumah sakit dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu: limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Untuk limbah padat dibedakan menjadi limbah padat medis dan limbah padat non medis (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2007).

## **Dampak Toksikologi Lingkungan**

### a. Teratogen

Teratogen berasal dari kata Yunani 'tera' yang berarti 'monster', yaitu segala zat yang mengakibatkan kecacatan janin. Termasuk teratogen adalah malnutrisi, penyakit infeksi, alkohol, dan tembakau. Ahli lain menambahkan yang termasuk teratogen adalah tipe darah yang kurang cocok, polusi lingkungan, stres ibu, dan usia ayah-ibu pada saat janin dikandung. Mekanisme biokimia teratogenesis bervariasi termasuk penghambatan enzim oleh xenobiotik; perampasan janin substrat penting, seperti vitamin; gangguan pasokan energi; atau perubahan permeabilitas membran plasenta (Mukono, 2010).

### b. Mutagenesis

Mutagenesis adalah proses dimana informasi genetik dari suatu organisme berubah dengan cara yang stabil, sehingga terjadi mutasi. Mutasi terjadi secara spontan di alam, atau sebagai akibat dari paparan mutagen. Mutagen mengubah DNA untuk menghasilkan sifat-sifat diwariskan. Meskipun proses mutasi terjadi tanpa adanya zat xenobiotik, kebanyakan mutasi tersebut berbahaya dan dapat menyebabkan cacat lahir, kanker serta berbagai penyakit keturunan, tetapi juga merupakan kekuatan pendorong evolusi. Mutagenesis sebagai ilmu dikembangkan oleh Hermann Muller, Charlotte Auerbach dan JM Robson di babak pertama abad ke-20.

### c. Karsinogenesis

Karsinogenesis adalah suatu proses banyak tahap, baik pada tingkat fenotipe maupun genotype. Suatu neoplasma ganas memiliki beberapa sifat fenotipik, misalnya pertumbuhan berlebihan, sifat invasi lokal, dan kemampuan metastasis jauh. Sifat ini diperoleh secara bertahap, suatu fenomena yang disebut tumor progression. Pada tingkat molekular, progresi ini terjadi akibat akumulasi kelainan genetik yang pada sebagian kasus dipermudah oleh

adanya gangguan pada perbaikan DNA. Perubahan genetik yang mempermudah tumor progression melibatkan tidak saja gen yang mengendalikan angiogenesis, invasi, dan metastasis. Sel kanker juga harus melewati proses penuaan normal yang membatasi pembelahan sel (Mukono, 2010).

Kanker juga merupakan suatu kondisi yang ditandai oleh replikasi tidak terkendali dan pertumbuhan sendiri (somatik) sel-sel tubuh. Agen karsinogenik dapat dikategorikan sebagai berikut:

- i. Agen kimia, seperti nitrosamin dan hidrokarbon aromatik polisiklik
- ii. Agen biologis, seperti hepadnaviruses atau retrovirus
- iii. Radiasi Pengion, seperti sinar-X
- iv. Faktor genetik, seperti pembiakan selektif.

Dalam beberapa kasus kanker biasanya dapat disebabkan karena bahan kimia sintetis dan alami. Peran kimia xenobiotik dalam menyebabkan kanker disebut karsinogenesis kimia. Hal ini sering dianggap sebagai aspek yang paling penting dari toksikologi.

Karsinogenesis kimia memiliki sejarah panjang. Pada tahun 1775 Sir Percival Pott, Surgeon General melayani Raja George III dari Inggris, saat itu cerobong asap di London menyebabkan insiden luar biasa dalam penyebab kanker skrotum, yang terkait dengan eksposur mereka ke jelaga dan tar dari pembakaran batubara bituminous. Sekitar tahun 1900 seorang ahli bedah Jerman, Ludwig Rehn, melaporkan insiden tinggi kanker kandung kemih pada pekerja pewarna terkena bahan kimia yang diekstrak dari tar batubara; 2-naphthylamine,  $\text{NH}_2$  itu terbukti sebagai penyebabnya. Proses karsinogenesis terdiri dari tiga tahapan yaitu inisiasi, promosi dan progresi.

- i. Inisiasi, tahap permulaan dimana sel normal berubah menjadi premaligna. Karsinogen harus merupakan mutagen yaitu zat yang dapat menimbulkan mutasi gen. Pada tahap inisiasi karsinogen bereaksi dengan DNA menyebabkan amplifikasi gen dan produksi copy multipel gen. Pada proses inisiasi ini karsinogen yang merupakan inisiator adalah mutagen, cukup terkena sekali paparan karsinogen, keadaannya permanen dan irreversibel, proses tidak merubah ekspresi gen.

- ii. Promosi, promotor adalah zat non mutagen tetapi dapat menaikkan reaksi karsinogen dan dapat menimbulkan amplifikasi gen. Suatu promotor yang terkenal adalah ester phorbol yang terdiri dari TPA (*Tetradeconyl phorbol Acetat*) dan RPA (*12-Retinoyl Phorbol Acetat*) yang terdapat dalam minyak kroton. Sifat-sifat promotor adalah mengikuti kerja inisiator, perlu paparan berkali-kali, keadaan dapat reversibel, dapat mengubah ekspresi gen seperti hiperplasi, induksi enzim, induksi differensiasi.
- iii. Progresi, pada progresi ini terjadi aktifasi, mutasi, atau hilangnya gen. Pada progresi ini timbul perubahan benigna menjadi premaligna dan maligna. Dalam proses karsinogenesis ada 3 mekanisme yang terlibat:
  - 1. Onkogen yang dapat menginduksi timbulnya kanker,
  - 2. Anti-onkogen atau gen supresor yang dapat mencegah timbulnya sel kanker,
  - 3. Gen modulator yang dapat mempengaruhi penyebaran kanker
- d. Sistem kekebalan Response  
Sistem kekebalan tubuh berfungsi sebagai sistem pertahanan alami tubuh untuk melindunginya dari bahan kimia xenobiotik; agen infeksi, seperti virus atau bakteri; dan sel-sel neoplastik yang merespon jaringan kanker. Xenobiotik dapat menyebabkan sistem kekebalan tubuh kehilangan kemampuannya untuk mengontrol proliferasi sel dan mengakibatkan leukemia atau limfoma. Racun dapat menyebabkan sistem kekebalan tubuh alergi atau hipersensitivitas. Kondisi seperti ini terjadi ketika sistem kekebalan tubuh bereaksi berlebihan terhadap keberadaan agen asing atau metabolitnya dengan cara merusak diri sendiri. Di antara bahan xenobiotik yang dapat menyebabkan reaksi seperti berilium, kromium, nikel, formaldehida, beberapa jenis pestisida, resin, dan plasticizer.
- e. Zat Estrogenik  
Sejumlah zat xenobiotik yang diduga memiliki efek buruk pada hewan dan sistem reproduksi manusia dengan meniru atau mengganggu aksi estrogen. Zat-zat tersebut sering disebut sebagai estrogen eksogen atau exoestrogen yang dapat menyebabkan

gangguan pada saluran reproduksi dan efek seperti mengurangi jumlah produksi sperma dan air mani. Efek lain dari beberapa kekhawatiran adalah potensi yang memicu kanker. Berbagai macam senyawa sintetik yang diduga sebagai zat exoestrogen diantaranya ftalat, alkilfenol, senyawa organoklorin, dan hidrokarbon aromatik polisiklik.

f. Paparan Zat Beracun

Paparan zat beracun biasanya berasal dari limbah berbahaya. Untuk mengetahui seberapa jauh paparan zat beracun biasanya ditentukan dengan mengetahui bahan kimia atau produk metabolisme dalam organisme. Paparan zat anorganik paling sering dijumpai adalah logam berat, radionuklida, dan beberapa mineral, seperti asbes. Gejala yang berhubungan dengan paparan bahan kimia tertentu juga dapat dievaluasi. Salah satu dampak yang terlihat jelas misalnya, ruam kulit, atau efek subklinis, seperti kerusakan kromosom.

g. Dampak Biomarker

Dampak biomarker adalah perubahan-perubahan biokimiawi, fisiologis, tingkah laku dan lainnya yang dapat diukur, dalam suatu organisme yang bergantung pada besarnya, dapat dikenali sebagai manifestasi atau potensi gangguan kesehatan atau penyakit (ASTDR, 1994). Contoh dari dampak biomarker adalah daya hambat enzim cholinesterase otak oleh insektisida Karbamat, induksi asam delta aminolevulinic synthetase dan inhibisi asam aminolevulinic dehidratase oleh Pb dan logam-logam berat tertentu lainnya. Contoh lainnya seperti induksi mixedfunction oxidase (MFO), formasi simpul DNA dan beberapa perubahan DNA seperti pertukaran kromatid kembar dan pemutusan untai/strand, imunosupresi dan hipersensitifitas.

## **Pengolahan Limbah B3**

### **Pengelolaan Lingkungan Hidup Menurut Undang-Undang Pemerintah Daerah**

Menurut UU Nomor 22 Tahun 1999 tentang Pemerintah Daerah, maka Pemerintah Daerah berwenang mengelola sumber daya nasional yang tersedia di wilayahnya dan bertanggung jawab dalam memelihara kelestariannya. Untuk mengantisipasi berlakunya UU Nomor 22

Tahun 1999 tersebut, Menteri Negara Lingkungan Hidup/Bapedal telah merumuskan interpretasi kewenangan pengelolaan lingkungan hidup menurut U.U tersebut. Secara umum, kewenangan pengelolaan lingkungan hidup dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu: kewenangan pusat, kewenangan propinsi dan kewenangan kabupaten/kota (Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1999).

1. Kewenangan Pusat terdiri dari kebijakan tentang:
  - a. Perencanaan nasional dan pengendalian pembangunan secara makro;
  - b. Dana perimbangan keuangan seperti menetapkan dan alokasi khusus untuk mengelola lingkungan hidup;
  - c. Sistem administrasi negara seperti menetapkan sistem informasi dan peraturan perundang-undangan di bidang pengelolaan lingkungan hidup;
  - d. Lembaga perekonomian negara seperti menetapkan kebijakan usaha di bidang lingkungan hidup;
  - e. Pembinaan dan pemberdayaan sumber daya manusia;
  - f. Teknologi tinggi strategi seperti menetapkan kebijakan dalam pemanfaatan teknologi strategi tinggi yang menimbulkan dampak;
  - g. Konservasi seperti menetapkan kebijakan pengelolaan lingkungan hidup kawasan konservasi antar propinsi dan antar negara;
  - h. Standarisasi nasional;
  - i. Pelaksanaan kewenangan tertentu seperti pengelolaan lingkungan dalam pemanfaatan sumber daya alam lintas batas propinsi dan negara, rekomendasi laboratorium lingkungan dan sebagainya.
2. Kewenangan Propinsi terdiri dari:
  - a. Kewenangan dalam bidang pemerintahan yang bersifat lintas Kabupaten / Kota;
  - b. Kewenangan dalam bidang tertentu, seperti perencanaan pengendalian pembangunan regional secara makro, penentuan baku mutu lingkungan propinsi, yang harus sama atau lebih ketat dari baku mutu lingkungan nasional, menetapkan pedoman teknis untuk menjamin keseimbangan lingkungan

yang ditetapkan dalam rencana tata ruang propinsi dan sebagainya.

- c. Kewenangan dekonsentrasi seperti pembinaan AMDAL untuk usaha atau dan kegiatan di luar kewenangan pusat.
3. Kewenangan Kabupaten/Kota terdiri dari:
  - a. Perencanaan pengelolaan lingkungan hidup;
  - b. Pengendalian pengelolaan lingkungan hidup;
  - c. Pemantauan dan evaluasi kualitas lingkungan;
  - d. Konservasi seperti pelaksanaan pengelolaan kawasan lindung dan konservasi, rehabilitasi lahan dsb.
  - e. Penegakan hukum lingkungan hidup;
  - f. Pengembangan SDM pengelolaan lingkungan hidup.

### **Misi, Strategi, Program dan Prinsip-Prinsip dalam Pengelolaan Limbah B3**

1. Misi Pengelolaan Limbah B3
 

Mengurangi dan mencegah semaksimal mungkin ditimbulkannya limbah B3 dan mengolah limbah B3 dengan tepat sehingga tidak menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan manusia.
2. Strategi Pengelolaan Limbah B3
  - a. Mempromosikan dan mengembangkan teknik minimisasi limbah melalui teknologi bersih, penggunaan kembali, perolehan kembali, dan daur ulang.
  - b. Meningkatkan kesadaran masyarakat.
  - c. Meningkatkan kerjasama antar instansi, baik di pusat, daerah maupun internasional, dalam pengelolaan limbah B3.
  - d. Melaksanakan dan mengembangkan peraturan perundang-undangan yang ada.
  - e. Membangun Pusat-pusat Pengolahan Limbah Industri B3 (PPLI-B3) di wilayah yang padat industri.
3. Program Pengelolaan Limbah B3
  - a. Pantaatan dan Penegakan Hukum.
  - b. Inventarisasi dan Pemantauan Limbah B3
  - c. "*Clean Up Program*" lokasi tercemar.
  - d. Minimisasi Limbah.

- e. Sistem Tanggap Darurat (sistem informasi, sistem tanggap darurat, dan peraturan perundang-undangnya).
  - f. Peningkatan Kesadaran Masyarakat.
  - g. Mengadakan Pelatihan-pelatihan.
4. Prinsip-prinsip Pengelolaan Limbah B3
- a. "POLLUTION PREVENTION PRINCIPLE" (Upaya meminimasi timbulan limbah).
  - b. "POLLUTER PAYS PRINCIPLE" (Pencemaran harus membayar semua biaya yang diakibatkannya).
  - c. "CRADLE TO GRAVE PRINCIPLE" Pengawasan mulai dari dihasilkan sampai dibuang/ditimbunnya limbah B3.
  - d. Pengolahan dan penimbunan limbah B3 diusahakan dilakukan sedekat mungkin dengan sumbernya.
  - e. "NON DISCRIMINATORY PRINCIPLE" (Semua limbah B3 harus diberlakukan sama di dalam pengolahan dan penanganannya).
  - f. "SUSTAINABLE DEVELOPMENT" (Pembangunan berkelanjutan).

### **Pengelolaan Limbah Industri (B3) oleh Pemerintah**

Untuk mencapai sasaran dalam pengelolaan limbah perlu di buat dan diterapkan suatu sistem pengelolaan yang baik, terutama pada sektor-sektor kegiatan yang sangat berpotensi menghasilkan limbah B3. Salah satu sektor kegiatan yang sangat berpotensi menghasilkan limbah B3 adalah sektor industri. Sampai saat ini sektor industri merupakan salah satu penyumbang bahan pencemar yang terbesar di kota-kota besar di Indonesia yang mengandalkan kegiatan perekonomiannya dari industri. Untuk menghindari terjadinya pencemaran yang ditimbulkan dari sektor industri, maka diperlukan suatu sistem yang baik untuk melakukan pengawasan dan pengelolaan limbah industri, terutama limbah B3-nya.

Kewajiban memiliki Izin Pengelolaan limbah B3 untuk kegiatan pengelolaan limbah B3 dikecualikan untuk penghasil limbah B3 yang melakukan sendiri pengelolaan limbah B3 berupa: kemasan bekas B3, spuit bekas, botol infus, bekas kemasan cairan haemodialisa (Sekretariat Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2015).

Pengawasan limbah B3 adalah suatu upaya yang meliputi pemantauan penataan persyaratan serta ketentuan teknis dan administratif oleh penghasil, pemanfaat, pengumpul, pengolah termasuk penimbun limbah B3. Sedangkan yang dimaksud pemantauan di sini adalah kegiatan pengecekan persyaratan-persyaratan teknis administratif oleh penghasil, pengumpul, pemanfaat, pengolah termasuk penimbun limbah B3.

Sesuai dengan UU Nomor 22 Tahun 1999 tentang Pemerintah Daerah dan Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor KEP- 02/BAPEDAL/01/1998 tentang Tata Laksana Pengawasan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun di Daerah, maka pengawasan dalam pelaksanaan pengelolaan limbah B3 dapat dikelompokkan kedalam tiga kewenangan, yaitu kewenangan Pemerintah Daerah Tingkat II, kewenangan Pemerintah Daerah Tingkat I dan kewenangan Bapedal (Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1999).

1. Pengelolaan Limbah Industri (B3) Oleh Pemda Tingkat II. Pengawasan dalam pelaksanaan pengelolaan limbah B3 yang dilakukan oleh Pemerintah Daerah Tingkat II meliputi:
  - a. Memasyarakatkan peraturan tentang pengelolaan limbah B3;
  - b. Melakukan inventarisasi Badan Usaha yang menghasilkan limbah B3;
  - c. Inventarisasi Badan Usaha yang memanfaatkan limbah B3;
  - d. Inventarisasi Badan Usaha yang melakukan pengolahan dan penimbunan limbah B3;
  - e. Membantu BAPEDAL dalam pemantauan terhadap Badan Usaha yang diberikan ijin pengelolaan limbah B3 oleh BAPEDAL;
  - f. Memberikan teguran peringatan pertama terhadap kegiatan/usaha yang tidak mentaati ketentuan dalam pengelolaan limbah B3 dan teguran berikutnya serta penerapan sanksi oleh BAPEDAL;
  - g. Melaporkan kepada BAPEDAL cq. Direktorat Pengelolaan Limbah B3, mengenai lokasi penimbunan dan pembuangan limbah B3 di daerah yang tidak memenuhi ketentuan.

Kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan pengelolaan limbah B3 yang telah dilaksanakan oleh Pemerintah Daerah ini harus

- dilaporkan ke BAPEDAL cq. Direktorat Pengelolaan Limbah B3, untuk tujuan pengelolaan limbah B3 secara terpadu di Indonesia.
2. Pengelolaan Limbah Industri (B3) Oleh Pemda Tingkat I. Pengawasan pelaksanaan pengelolaan limbah B3 yang dilakukan oleh Pemerintah Daerah Tingkat I meliputi:
    - a. Penghasil limbah B3 yang berpotensi mengakibatkan pencemaran yang melintasi lintas batas Tingkat II, pengawasannya menjadi tugas dan tanggung jawab Pemda Tingkat I.
    - b. Mengkoordinasikan sosialisasi peraturan tentang pengelolaan limbah B3 kepada Dinas Lingkungan Hidup Tingkat II (Bapedalda Tingkat II) di wilayah yang bersangkutan.
    - c. Penghasil limbah B3 yang berpotensi mengakibatkan pencemaran yang melintasi lintas batas Tingkat I, pengawasannya menjadi tugas dan tanggung jawab Bapedal Wilayah.
  3. Pengelolaan Limbah Industri (B3) Oleh BAPEDAL. Pengawasan pelaksanaan pengelolaan limbah B3 yang dilakukan oleh BAPEDAL / Bapedal Wilayah meliputi:
    - a. Mengkoordinasikan sosialisasi peraturan tentang pengelolaan limbah B3;
    - b. Mengkoordinasikan pemberian bimbingan teknis, laboratorium dan penjelasan pedoman-pedoman pengelolaan limbah B3;
    - c. Mengkoordinasikan pemberian bimbingan teknis dan penjelasan pengisian formulir tata cara permohonan ijin pengelolaan limbah B3 kepada Pemerintah Daerah;
    - d. Atas permintaan Direktorat Pengelolaan Limbah B3, membantu Direktorat Pengelolaan Limbah B3 dalam upaya pemantauan pelaksanaan perizinan pengelolaan limbah B3 bersama-sama Direktorat Pengelolaan Limbah B3;
    - e. Membantu Direktorat Pengelolaan Limbah B3 dalam upaya pemantauan terhadap masuknya limbah B3 di pelabuhan setempat atas permintaan Direktorat Bea dan Cukai.

## **Penutup**

Limbah B3 mempunyai dampak buruk terhadap kesehatan dan organisme lainnya.

Limbah B3 mencemari air tanah dan udara yang berdampak buruk terhadap lingkungan serta ekosistem yang ada didalamnya

Limbah B3 merupakan penyebab pencemaran utama di daerah industri.

Penting dilaksanakan peraturan perundang-undangan lingkungan hidup secara konsisten agar pengelolaan limbah B3 dapat dimonitor dengan baik. Setiap orang, perusahaan, badan usaha maupun organisasi masyarakat, lembaga pemerintah maupun swasta harus mengambil peran dalam pengelolaan limbah B3 karena hak, kewenangan dan kewajiban telah diatur dan dilindungi oleh undang-undang.

### **Daftar Pustaka**

- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2007. *PEDOMAN PENATALAKSANAAN PENGELOLAAN LIMBAH PADAT DAN LIMBAH CAIR DI RUMAH SAKIT*, Jakarta.
- Mukono, H.J., 2011a. *Aspek Kesehatan Pencemaran Udara Pertama.*, Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono, H.J., 2002. *Epidemiologi Lingkungan (Environmental Epidemiology) Pertama.*, Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono, H.J., 2004. *Higine Sanitasi Hotel Dan Restoran Pertama.*, Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono, H.J., 2014. *Pencemaran Udara Dalam Ruangan Pertama.*, Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono, H.J., 2008. *Pencemaran Udara Dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pencernaan Ketiga.*, Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono, H.J., 2011b. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan Ketiga.*, Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono, H.J., 2010. *Toksikologi Lingkungan Kedua.*, Surabaya: Airlangga University Press.
- Pruss, A., Giroult, E. & Rushbrook, P., 2005. *PENGELOLAAN AMAN LIMBAH LAYANAN KESEHATAN* M. Fauziah, M. Sugiharti, & E. Laelasari, eds., Jakarta: EGC.

Sekretariat Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2015. *PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR P.56/Menlhk-setjen/2015 TENTANG TATACARA DAN PERSYARATAN TEKNIS PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN DARI FASILITAS PELAYANAN KESEHATAN*, Indonesia.

Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2001. *PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 74 TAHUN 2001 TENTANG PENGELOLAAN BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN*, Indonesia.

Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1999. *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 22 TAHUN 1999 TENTANG PEMERINTAHAN DAERAH*, Indonesia.



## Bab 8.

# Dampak Pestisida Jenis Organofosfat dan Organoklorin Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Ilyas Ibrahim  
Muhammad Suhron  
Masruroh

### **Dampak Pestisida Jenis Organofosfat dan Organoklorin Terhadap Kesehatan dan Lingkungan**

Organofosfat merupakan senyawa bersifat tidak stabil. Meskipun demikian organofosfat lebih toksik terhadap hewan bertulang belakang. Banyak penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh senyawa organofosfat, sebagai contoh malation yang disuntikkan ke dalam kuning telur ayam akan menyebabkan mutagenik (Mukono, 2006). Lebih dari 50.000 komponen organofosfat telah di sintesis dan diuji untuk aktivitas insektisidanya. Tetapi yang telah digunakan tidak lebih dari 500 jenis saja dewasa ini. Semua produk organofosfat tersebut berefek toksik bila tertelan, dimana hal ini sama dengan tujuan penggunaannya untuk membunuh serangga. Beberapa jenis insektisida digunakan untuk keperluan medis misalnya fisostigmin, edroprium dan neostigmin yang digunakan untuk aktivitas kolinomimetik (efek seperti asetilkolin). Obat tersebut digunakan untuk pengobatan gangguan neuromuskuler seperti *myasthina gravis*. Fisostigmin juga digunakan untuk antidotum pengobatan toksisitas ingesti dari substansi antikholinergik (mis: trisyklik anti depressant, atrophin dan sebagainya). Fisostigmin, ekotiopat iodide dan organophosphorus juga berefek langsung untuk mengobati glaucoma pada mata yaitu untuk mengurangi tekanan intraokuler pada bola mata.

Organofosfat berasal dari  $H_3PO_4$  (asam fosfat). Pestisida golongan organofosfat merupakan golongan insektisida yang cukup besar, menggantikan kelompok *chlorinated hydrocarbon* yang mempunyai sifat:

- Efektif terhadap serangga yang resisten terhadap *chlorinated hydrocarbon*.
- Tidak menimbulkan kontaminasi terhadap lingkungan untuk jangka waktu yang lama
- Kurang mempunyai efek yang lama terhadap non target organisme
- Lebih toksik terhadap hewan-hewan bertulang belakang, jika dibandingkan dengan organoklorin.
- Mempunyai cara kerja menghambat fungsi *hemoglobin*.

**Struktur Komponen Organofosfat:**

Organophosphat disintesis pertama di Jerman pada awal perang dunia ke II. Bahan tersebut digunakan untuk gas saraf sesuai dengan tujuannya sebagai insektisida. Pada awal synthesinya diproduksi senyawa *tetraethyl pyrophosphate* (TEPP), parathion dan schordan yang sangat efektif sebagai insektisida, tetapi juga cukup toksik terhadap mamalia. Penelitian berkembang terus dan ditemukan komponen yang poten terhadap insekta tetapi kurang toksik terhadap orang (misalnya: malathion), tetapi masih sangat toksik terhadap insekta.

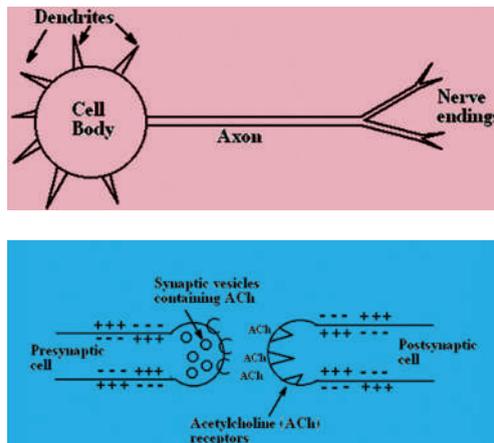
Nama	Structure
Tetraethylpyrophosphate (TEPP)	<chem>CCOP(=O)(OCC)OCC</chem>
Parathion	<chem>CCOP(=O)(OCC)Oc1ccc(cc1)[N+](=O)[O-]</chem>
Malathion	<chem>CCOP(=O)(OC)S(=O)(=O)C(=O)OCC</chem>
Sarin	<chem>CC(C)OP(=O)(F)C</chem>

Gambar 8.1. Rantai Kimia Organophosphat

## Dampak Organofosfat bagi Kesehatan

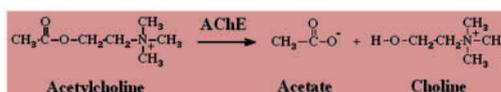
### a. Mekanisme toksisitas

Organofosfat adalah insektisida yang paling toksik diantara jenis pestisida lainnya dan sering menyebabkan keracunan pada orang. Termakan hanya dalam jumlah sedikit saja dapat menyebabkan kematian, tetapi diperlukan lebih dari beberapa mg untuk dapat menyebabkan kematian pada orang dewasa (Mukono, 2010). Organofosfat menghambat aksi pseudokolinesterase dalam plasma dan kolinesterase dalam sel darah merah dan pada sinapsisnya. Enzim tersebut secara normal menghidrolisis asetilkolin menjadi asetat dan kolin. Pada saat enzim dihambat, mengakibatkan jumlah asetilkolin meningkat dan berikatan dengan reseptor muskarinik dan nikotinik pada sistem saraf pusat dan perifer. Hal tersebut menyebabkan timbulnya gejala keracunan yang berpengaruh pada seluruh bagian tubuh. Berikut mekanismenya.



Gambar 8.2. Acetylcholine Teraktivasi

Penghambatan kerja enzim terjadi karena organofosfat melakukan fosforilasi enzim tersebut dalam bentuk komponen yang stabil.



Gambar 8.3. Acetylcholine Teraktivasi



Gambar 8.4. Acetylcholine Teraktivasi mengalami Phosphorylasi

Tabel 8.1. Nilai LD50 insektisida organofosfat

Komponen	LD50 (mg/Kg)
Akton	146
Coroxon	12
Diazinon	100
Dichlorovos	56
Ethion	27
Malathion	1375
Mecarban	36
Methyl parathion	10
Parathion	3
Sevin	274
Systox	2,5
TEPP	1

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan setiap tahun terjadi tiga juta kasus keracunan pestisida pada pekerja pertanian dengan tingkat kematian mencapai 220.000 jiwa. Sebagian besar dari kasus keracunan yang fatal terjadi di negara berkembang dan ditemukan terutama pada petani. Jumlah keracunan pestisida organofosfat diperkirakan tiga juta per tahun, dan jumlah kematian dan korban sekitar 300.000 per tahun. Keracunan pestisida organofosfat dan karbamat telah diteliti oleh Departemen Kesehatan pada tahun 1996/1997 menunjukkan 61,8% petani mempunyai aktivitas kolinesterase normal, 1,3% keracunan berat dan 26,9% keracunan ringan. Penelitian yang serupa pada tahun 1997/1998 menunjukkan hasil 65,91% petani mempunyai aktivitas kolinesterase normal, 2,14% keracunan berat, 8,01% keracunan sedang, dan 21,27% keracunan ringan. Pestisida khususnya insektisida yang merupakan kelompok pestisida terbesar dibagi

menjadi beberapa kelompok sesuai komponen kimianya, yaitu organoklorin, organofosfat, karbamat, piretroid, rotenone, produk protein yang dihasilkan *Bacillus thuringiensis*.

Racun ini merupakan penghambat yang kuat dari enzim kolinesterase pada syaraf. Asetilkolin berakumulasi pada persimpangan-persimpangan syaraf (*neural junction*) yang disebabkan oleh aktivitas kolinesterase dan menghalangi penyampaian rangsangan syaraf kelenjar dan otot-otot. Organofosfat disintesis pertama kali di Jerman pada awal perang dunia ke-II.

Bahan tersebut digunakan untuk gas syaraf sesuai dengan tujuannya sebagai insektisida. Pada awal sintesisnya diproduksi senyawa *tetraethyl pyrophosphate* (TEPP), parathion dan schordan yang sangat efektif sebagai insektisida tetapi juga toksik terhadap mamalia. Penelitian berkembang tersebut dan ditemukan komponen yang paten terhadap insekta tetapi kurang toksik terhadap manusia (misalnya: malathion) (Mukono, 2010).

Organofosfat adalah insektisida yang paling toksik diantara jenis pestisida lainnya dan sering menyebabkan keracunan pada orang. Termakan hanya dalam jumlah sedikit saja dapat menyebabkan kematian, tetapi diperlukan beberapa milligram untuk dapat menyebabkan kematian pada orang dewasa. Organofosfat menghambat aksi pseudokolinesterase dalam plasma dan kolinesterase dalam sel darah merah. Organofosfat dapat terurai di lingkungan dalam waktu  $\pm 2$  minggu (Yusniati, 2008).



Gambar 8.5 Keracunan Pestisida

Apabila masuk ke dalam tubuh, baik melalui kulit, mulut, dan saluran pencernaan maupun saluran pernapasan, pestisida organofosfat akan berikatan dengan enzim dalam darah yang berfungsi mengatur bekerjanya syaraf, yaitu kolinesterase. Apabila kolinesterase terikat,

maka enzim tersebut tidak dapat melaksanakan tugasnya sehingga syaraf dalam tubuh terus menerus mengirimkan perintah kepada otot-otot tertentu. Dalam keadaan demikian otot-otot tersebut senantiasa bergerak- gerak tanpa dapat dikendalikan.

Disamping timbulnya gerakan-gerakan otot-otot tertentu, tanda dan gejala lain dari keracunan pestisida organofosfat adalah pupil atau celah iris mata menyempit sehingga penglihatan menjadi kabur, mata berair, mulut berbusa, atau mengeluarkan banyak air liur, sakit kepala, rasa pusing, berkeringat banyak, detak jantung yang cepat, mual, muntah-muntah, kejang pada perut, mencret sukar bernapas, otot-otot tidak dapat digerakkan atau lumpuh dan pingsan (Scharpio, 1998).



Gambar 8.6. Gejala Keracunan pestisida

Pengelompokan pestisida organofosfat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu:

1. **Malathion**, yang termasuk malathion adalah dichlorvos, dimethoate, malathion, neled (dibrom), trichorifon (dpterex), monocrotofos.
2. **Parathion**, yang termasuk parathion adalah termophos (abate), fenethon (baytek/entek), rabon (gardona).
3. **Diazinon**, yang termasuk diazinon adalah chlorpyrifos (dursban), coumaphos (coral).

Gejala keracunan biasanya tidak terjadi sampai aktivitas enzim tereduksi hingga 60 sampai 25 persen dari nilai semula individu. Efek kumulatif dapat disebabkan oleh paparan kronik organofosfat sehingga dengan demikian pekerja berisiko tinggi jika terus-menerus terpapar bahkan dengan paparan dosis rendah. Asetilkolinesterase

serum akan mengalami regenerasi setelah paparan berhenti, tetapi tergantung pada tingkat keparahan keracunan, dapat memakan waktu singkat atau lebih lama untuk kembali normal, terutama jika pengobatan tidak diberikan. Asetilkolinesterase sel darah merah tidak dapat pulih seperti semula. Regenerasi tergantung pada penggantian sel darah merah di perifer darah yang terjadi dengan kecepatan sekitar satu persen per hari. Anoreksia yang menetap, kelemahan, dan malaise dapat diakibatkan oleh paparan terus-menerus. Data toksisitas dari studi epidemiologi dan bioassay menunjukkan bahwa efek oftalmologi dapat disebabkan oleh organofosfat. Beberapa organofosfat menyebabkan dermatitis iritan primer, pada golongan atau jenis tertentu seperti misalnya parathion dan malathion diketahui menyebabkan dermatitis kontak alergi (Mukono, 2010).

### **Gejala Keracunan**

Gejala keracunan organofosfat sangat bervariasi. Setiap gejala yang timbul sangat bergantung pada adanya stimulasi asetilkolin persisten atau depresi yang diikuti oleh stimulasi saraf pusat maupun perifer. Keracunan organofosfat dapat menyebabkan anemia pada penderita karena terbentuknya sulfhemoglobin dan methemoglobin di dalam sel darah merah. Hal ini menyebabkan hemoglobin menjadi tidak normal dan tidak dapat menjalankan fungsinya dalam menghantarkan oksigen. Kehadiran sulfhemoglobin dan methemoglobin dalam darah akan menyebabkan penurunan kadar Hb di dalam sel darah merah sehingga terjadi hemolitik anemia. Pestisida yang termasuk dalam golongan organofosfat antara lain Asefat, Kadusafos, Klorfenvinfos, Klorpirifos, Kumafos, Diazinon, Diklorvos (DDVP), Malation, Paration, Profenofos, Triazofos. Beberapa faktor di dalam tubuh yang mempengaruhi terjadinya keracunan antara lain:

#### **1. Umur petani**

Seseorang dengan bertambahnya usia maka kadar rata-rata kolinesterase dalam darah akan semakin rendah sehingga akan mempermudah terjadinya keracunan pestisida.

#### **2. Jenis kelamin**

Petani perempuan cenderung memiliki rata-rata kadar kolinesterase yang lebih tinggi dibandingkan petani laki-laki. Meskipun demikian,

tidak dianjurkan perempuan menyemprot pestisida, karena pada kehamilan kadar kolinesterase perempuan cenderung turun sehingga kemampuan untuk menghidrolisis asetilkolin berkurang.

### 3. Status gizi

Petani yang status gizinya buruk cenderung berisiko mengalami keracunan yang lebih besar bila bekerja dengan pestisida organofosfat dan karbamat. Enzim kolinesterase terbentuk dari protein dan dalam keadaan gizi yang buruk, protein yang ada di dalam tubuh sangat terbatas, sehingga pembentukan enzim kolinesterase akan terganggu. Dikatakan bahwa orang yang memiliki tingkat gizi baik cenderung memiliki kadar rata-rata kolinesterase lebih besar.

### 4. Kadar hemoglobin

Petani yang tidak anemia secara tidak langsung mendapat efek pestisida yang lebih rendah. Petani yang anemia memiliki risiko lebih besar bila bekerja dengan pestisida organofosfat dan karbamat. Petani dengan kadar hemoglobin rendah akan memiliki kadar kolinesterase yang rendah. Sifat organofosfat yang mengikat menyebabkan enzim kolinesterase tidak lagi mampu menghidrolisis asetilkolin

### 5. Keadaan kesehatan

Umumnya orang yang menderita penyakit hepatitis, sirosis, karsinoma metastatik pada hati, penyakit kuning obstruktif, infark miokardium, dan dermatomiositis memiliki kadar enzim kolinesterase rendah. Diisoproyfluorophosphate yang digunakan sebagai pengobatan myasthenia gravis, ileus paralitik, glaukoma dan obat penghambat kolinesterase dapat menurunkan aktivitas kolinesterase.

Wudianto (2011) mengemukakan bahwa, setiap golongan bahan aktif yang dikandung pestisida menimbulkan gejala keracunan yang berbeda-beda. Namun, ada pula gejala yang ditimbulkan mirip, misalnya gejala keracunan pestisida karbamat sama dengan gejala keracunan golongan organofosfat. Gejala keracunan golongan organofosfat antara lain, timbul gerakan otot-otot tertentu, penglihatan kabur, mata berair, mulut berbusa, banyak berkeringat, air liur banyak keluar, mual, pusing, kejang-kejang, muntah-muntah, detak jantung

menjadi cepat, mencret, sesak napas, otot tidak bisa digerakkan dan akhirnya pingsan. Gejala keracunan karbamat sama dengan yang ditimbulkan oleh pestisida organofosfat, hanya saja berlangsung lebih singkat karena golongan ini cepat terurai dalam tubuh. Secara umum gejala keracunan akibat menggunakan pestisida dapat dilakukan sama seperti dari cara mengatasi keracunan pestisida, yaitu menghentikan kegiatan menggunakan pestisida apabila tubuh terasa kurang enak misalnya pusing, mual, kulit panas dan gatal serta mata berkunang-kunang. Pestisida dalam rumah tangga juga mempunyai efek batuk, rhinitis, bronkitis, iritasi mata, hidung dan tenggorokan serta menyebabkan asma, beberapa saat kemudian bisa terjadi tubuh terasa lemas sukar tidur, gangguan perut, keringat tidak wajar dan gugup (Mukono, 2014).

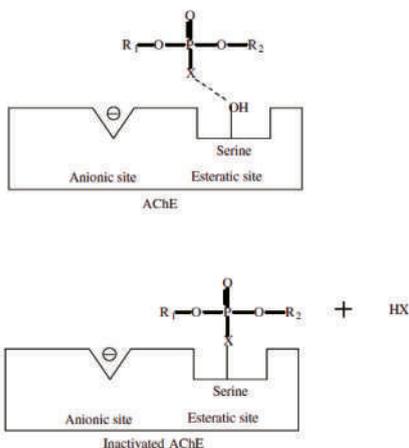
Keracunan kronis merupakan penderita terkena racun dalam waktu jangka panjang dengan dosis yang sangat rendah. Gejala keracunan ini baru terlihat selang beberapa waktu (bulan atau tahun) setelah penderita terkena racun. Dari banyak percobaan yang dilakukan pada binatang percobaan di laboratorium ada beberapa bentuk akibat keracunan kronis karena terkena insektisida yaitu dapat bersifat karsinogenik (pembentukan jaringan kanker), mutagenik (kerusakan genetik untuk generasi yang akan datang), teratogenik (kelahiran anak cacat dari ibu yang keracunan). Meskipun kasus - kasus tersebut belum pernah dibuktikan secara langsung pada manusia tetapi bukti-bukti dari hewan uji semakin menambah kekhawatiran masyarakat bahwa pengaruh insektisida tersebut dapat juga terjadi pada manusia. Data tentang semakin banyaknya penderita kanker di pedesaan dan perkotaan semakin menambah kecurigaan masyarakat terhadap bahan pencemar lingkungan termasuk pestisida di pasaran dalam bentuk spray, cairan, batangan, bubuk, kristal, dan obat nyamuk bakar (Mukono, 2014).

### **Aktivitas Asetilkolinesterase Darah sebagai Pengukuran Keracunan Organofosfat**

Studi yang dilakukan oleh S.K. Rastogi tahun 2008 pada penyemprot pestisida di India menunjukkan bahwa terdapat penurunan aktivitas asetilkolinesterase darah yang bermakna dan disimpulkan bahwa pemeriksaan aktivitas asetilkolinesterase darah merupakan faktor

biomonitoring yang baik untuk dilakukan pada petani penyemprot pestisida organofosfat dan dianjurkan untuk dilakukan secara rutin. Menurut penelitian yang dilakukan oleh J.Vidyasagar tahun 2003 terdapat penurunan aktivitas asetilkolinesterase sel darah merah dan plasma yang bermakna pada keadaan keracunan organofosfat yang berat dan ditemukan peningkatan aktivitas asetilkolinesterase sel darah merah dan plasma pada pasien keracunan yang sudah diterapi. Penelitian V. Dhananjayan pada petani yang menggunakan pestisida di India Selatan tahun 2010-2011 menunjukkan adanya penurunan aktivitas enzim asetilkolinesterase bermakna (14%) pada subjek yang terpapar pestisida.

Mekanisme primer dari pestisida organofosfat adalah inhibisi asetilkolinesterase, enzim yang terdapat pada sistem saraf pusat dan perifer. Secara fisiologis asetilkolinesterase berfungsi dalam hidrolisis neurotransmitter asetilkolin. Organofosfat menonaktifkan asetilkolinesterase dengan cara fosforilasi kelompok hidroksil serin yang berada pada sisi aktif asetilkolinesterase yang akan membentuk senyawa kolinesterase terfosforilasi. Enzim kolinesterase tidak dapat berfungsi lagi yang mengakibatkan kadar aktif dari enzim tersebut berkurang. Berkurangnya enzim kolinesterase mengakibatkan menurunnya kemampuan menghidrolisis asetilkolin, sehingga asetilkolin lebih lama di reseptor, yang akan memperhebat dan memperpanjang efek rangsang saraf kolinergik pada sebelum dan sesudah ganglion (pre- dan postganglionic). Penurunan aktivitas kolinesterase dalam plasma akan kembali normal dalam waktu tiga minggu sedangkan dalam sel darah merah akan membutuhkan waktu dua minggu.



Gambar 8.7. Asetilkolinesterase terinaktivasi  
Mekanisme organofosfat menonaktifkan kolinesterase

Monitoring untuk paparan organofosfat dilakukan dengan penilaian kadar asetilkolinesterase (AChE) dengan metode Tintometer. Standar nilai penurunan AChE di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Normal bila kadar AChE > 75%
2. Keracunan ringan bila kadar AChE 75% - 50%
3. Keracunan sedang bila kadar AChE 50% - 25%
4. Keracunan berat bila kadar AChE < 25%

Tabel 8.2 Efek muskarinik, nikotinik dan saraf pusat pada toksisitas organofosfat.

Efek	Gejala
1. Muskarinik	Salivasi, lacrimasi, urinasi dan diaree (SLUD), Kejang perut, Nausea dan vomitus, Bradicardia, Miosis, Berkeringat
2. nikotinik	Pegal-pegal, lemah, Tremor, Paralysis, Dyspnea, Tachicardia
3. sistem saraf pusat	Bingung, gelisah, insomnia, neurosis, Sakit kepala, Emosi tidak stabil, Bicara terbata-bata, Kelemahan umum, Convulsi, Depresi respirasi dan gangguan jantung, Koma

Gejala awal seperti SLUD terjadi pada keracunan organofosfat secara akut karena terjadinya stimulasi reseptor muskarinik sehingga kandungan asetilkolin dalam darah meningkat pada mata dan otot polos.

Pestisida yang seharusnya digunakan untuk membasmi hama ternyata berdampak pada pencemaran lingkungan baik itu air, udara maupun tanah. Hal ini dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan karena bahan kimia ini dapat menyebabkan kanker, alergi dan merusak susunan saraf (baik sentral ataupun peripheral serta dapat juga mengganggu sistem endokrin yang menyebabkan kerusakan pada sistem reproduksi dan sistem kekebalan yang terjadi pada mahluk hidup, termasuk janin (Mukono, 2011).

### **Dampak Organofosfat bagi Lingkungan**

Penggunaan pestisida dalam pembangunan di berbagai sektor seperti pertanian, kesehatan masyarakat, perdagangan, dan industri semakin meningkat. Pestisida terbukti mempunyai peranan yang penting dalam peningkatan kesejahteraan rakyat. Pada bidang pertanian termasuk pertanian rakyat maupun perkebunan yang dikelola secara profesional dalam skala besar menggunakan pestisida yang sebagian besar adalah golongan organofosfat (Mukono, 2006). Demikian pula pada bidang kesehatan masyarakat pestisida yang digunakan sebagian besar adalah golongan organofosfat. Karena golongan ini lebih mudah terurai di alam. Penggunaan pestisida di bidang pertanian saat ini memegang peranan penting. Sebagian besar masih menggunakan pestisida karena kemampuannya untuk memberantas hama sangat efektif. Pestisida adalah bahan yang beracun dan berbahaya, yang bila tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif yang tidak diinginkan. Dampak negatif tersebut akan menimbulkan berbagai masalah baik secara langsung ataupun tidak, akan berpengaruh terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia seperti keracunan. Dampak negatif yang terjadi dari penggunaan pestisida pada pengendalian hama adalah keracunan, khususnya para petani yang sering/intensif menggunakan pestisida (Mukono, 2014).



Gambar 8.8. Penyemprotan Pestisida

Pestisida sebagai salah satu agen pencemar ke dalam lingkungan baik melalui udara, air maupun tanah dapat berakibat langsung terhadap komunitas hewan, tumbuhan terlebih manusia. Pestisida yang masuk ke dalam lingkungan melalui beberapa proses baik pada tataran permukaan tanah maupun bawah permukaan tanah. Masuk ke dalam tanah berjalan melalui pola biotransformasi dan bioakumulasi oleh tanaman, proses reabsorpsi oleh akar serta masuk langsung pestisida melalui infiltrasi aliran tanah. Gejala ini akan mempengaruhi kandungan bahan pada sistem air tanah hingga proses pencucian zat pada tahap penguraian baik secara biologis maupun kimiawi di dalam tanah (Mukono, 2010).

Proses pencucian (*leaching*) bahan-bahan kimiawi tersebut pada akhirnya akan mempengaruhi kualitas air tanah baik setempat dan maupun secara region dengan berkelanjutan. Apabila proses pemurnian unsur-unsur residu pestisida berjalan dengan baik dan tervalidasi hingga aman pada wadah-wadah penampungan air tanah, misal sumber mata air, sumur resapan dan sumur gali untuk kemudian dikonsumsi oleh penduduk, maka fenomena pestisida ke dalam lingkungan bisa dikatakan aman. Namun demikian jika proses tersebut kurang berhasil atau bahkan tidak berhasil secara alami, maka kondisi sebaliknya yang akan terjadi. Penurunan kualitas air tanah serta kemungkinan terjangkitnya penyakit akibat pencemaran air merupakan implikasi langsung dari masuknya pestisida ke dalam lingkungan. Aliran permukaan seperti sungai, danau dan waduk

yang tercemar pestisida akan mengalami proses dekomposisi bahan pencemar. Dan pada tingkat tertentu, bahan pencemar tersebut mampu terakumulasi hingga dekomposit.

Pestisida di udara terjadi melalui proses penguapan oleh foto-dekomposisi sinar matahari terhadap badan air dan tumbuhan. Selain pada itu masuknya pestisida diudara disebabkan oleh drift yaitu proses penyebaran pestisida ke udara melalui penyemprotan oleh petani yang terbawa angin. Akumulasi pestisida yang terlalu berat di udara pada akhirnya akan menambah parah pencemaran udara. Gangguan pestisida oleh residunya terhadap tanah biasanya terlihat pada tingkat kejenuhan karena tingginya kandungan pestisida persatuan volume tanah. Unsur-unsur hara alami pada tanah makin terdesak dan sulit melakukan regenerasi hingga mengakibatkan tanah tanah masam dan tidak produktif.



Gambar 8.9. Mekanisme dampak Pestisida terhadap Lingkungan

Batas Toleransi Pestisida. Setiap perusahaan pestisida yang akan mengedarkan produknya untuk diaplikasikan ke tanaman diharuskan mendaftarkan pada komisi pestisida (*Pesticide Commission*), di Amerika di tangani oleh Badan Perlindungan Lingkungan (*EPA/ Environmental Protection Association*). Sedangkan di Indonesia ditangani oleh Komisi Pestisida dibawah Departemen Pertanian.

Keputusan lembaga untuk mengizinkan pemakaian pestisida tergantung pada evaluasi dari risiko dan kegunaan kimia. Risiko meliputi kemampuan dalam menimbulkan pengaruh yang merugikan terhadap kesehatan seperti kanker, cacat lahir, kerusakan syaraf, atau mutasi genetik, seperti juga pengaruh yang merusak lingkungan

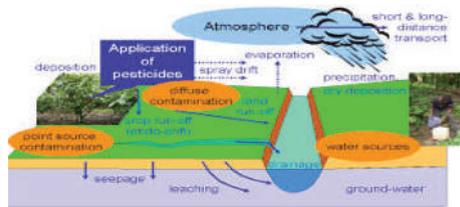
seperti membahayakan kehidupan liar atau pencemaran air tanah. Adapun kegunaannya terutama dalam upaya mempertahankan hasil pertanian.

Dibawah ketentuan Undang-undang Makanan, Minuman dan Kosmetik Federal (FFDCA), maka EPA menetapkan batas toleransi terhadap pestisida yang didaftarkan untuk dipakai pada makanan berdasarkan dua prinsip dasar: batas toleransi harus melindungi kesehatan masyarakat dan harus ditetapkan pada aras yang tidak lebih tinggi dari pengendalian hama yang diperlukan. Batas toleransi adalah jumlah maksimal dari residu pestisida (dalam part per million – ppm atau miligram per kilogram (mg/kg) yang diijinkan terdapat pada makanan pada saat dijual. Dalam penentuan batas toleransi, EPA membandingkan potensi paparan terhadap pestisida dengan paparan maksimal diijinkan secara toksikologi terhadap substansi; potensi paparan harus tidak melebihi batas maksimal yang diijinkan, atau paparan yang "aman". EPA dapat pula memberikan pengecualian dari batas toleransi untuk pestisida yang digunakan pada makanan bila tidak ada aras pestisida yang mungkin muncul pada makanan, atau bila EPA memutuskan bahwa tidak ada resiko yang berhubungan dengan paparan manusia terhadap residu.

EPA memperhitungkan paparan maksimal yang diijinkan bagi pestisida dari data toksikologi yang diberikan oleh perusahaan kimia. Dari data ini, didapatkan Aras Pengaruh yang Tidak Dapat Diteliti (*No Observable Effect Level*, NOEL) – atau jumlah yang diberikan kepada hewan percobaan yang tidak menyebabkan pengaruh yang merugikan (seperti tumor, cacat lahir atau kerusakan syaraf) yang diteliti pada aras dosis tertinggi.

Penggunaan pestisida yang tinggi dalam penanganan hama dan penyakit pada umumnya tidak lepas dari paradigma lama yang memandang keberhasilan pertanian atau peningkatan produksi sebagai wujud peran pestisida. Penggunaan pestisida dalam mengatasi organisme pengganggu tanaman telah membudaya dikalangan petani. Hal yang sangat memprihatinkan menurut Pimentel dan Khan (1997) adalah penampilan produk "*Cosmetic Appearance*" yang masih merupakan faktor utama bagi konsumen dalam menilai kualitas produk pertanian. Sementara itu konsumen tidak banyak diberikan penerangan tentang

ukuran kualitas yang lebih mendasar seperti nilai gizi dan residu pestisida. Hingga saat ini konsumen menilai kualitas produk-produk hortikultura didasarkan pada penampakan akan kemolekkannya. Jika dikaji lebih lanjut, keutuhan dan kesegaran produk hortikultura di pasar yang disediakan oleh produsen masih harus dipertanyakan lagi. Pestisida sebagai alternatif utama untuk mewujudkan impiannya, produknya cepat terjual dengan harga yang dapat bersaing sehingga keuntungan maksimal dapat dicapai.



Gambar 8.10. Mekanisme penguapan Pestisida

Penggunaan pestisida yang dilakukan oleh petani hortikultura pada umumnya tidak lagi mengindahkan aturan dosis/konsentrasi yang dianjurkan. Sulistiyono (2002), ketepatan dosis penggunaan pestisida oleh petani bawang merah yang telah mengikuti SLPHT (Sekolah Lapang Pengendalian Hama Terpadu) di Kabupaten Nganjuk; 4,17 % tepat dan 95,83 % tidak tepat, sedangkan pada petani Non SLPHT 1,04 % tepat dan 98,96% tidak tepat.

Penggunaan pestisida yang demikian itu telah menimbulkan dampak ekologis yang sangat serius. Menurut Sulistiyono (2002), penggunaan insektisida yang tidak sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan pada tanaman bawang merah telah meningkatkan tingkat resistensi hama Ulat (*Spodoptera*, sp) sebagai hama utama, dan ledakan *Leromyza* Sp. (hama sekunder), disisi lain telah memusnahkan berbagai hewan dan serangga predator seperti Laba-laba (*Aranaeus inustus*, *Argiope* sp, *Lycosa pseudoannulata* dan *Oxyopes javanicus*). Kondisi kerusakan ekologis inilah mengakibatkan munculnya dorongan petani untuk meningkatkan penggunaan pestisida berlebihan, bahkan melakukan *self inovation* untuk memperoleh formulasi pestisida yang cocok untuk memberantas hama maupun penyakit pada tanamannya.

Menurut Husni (2007), penggunaan pestisida nabati merupakan pestisida yang bahan dasarnya berasal dari tumbuhan. Pestisida nabati relatif mudah dibuat dengan penggunaan bahan-bahan yang ada di sekitar, salah satunya tumbuhan liar Babadotan (*Ageratum conyzoides L.*) dan Bawang Putih (*Alium sativum*). Pertanian organik berusaha meminimalkan dampak negatif bagi alam sekitar, seperti penggunaan pestisida yang ramah lingkungan. Penerapan pestisida nabati adalah salah satu bentuk teknologi yang belum banyak diketahui masyarakat petani. Teknologi penggunaan pestisida Babadotan dalam mengendalikan hama wereng coklat tanaman padi, jika ditinjau dari segi ekonomi sangat membantu petani karena dengan adanya teknologi ini dapat menekan penggunaan pestisida kimia yang harganya sudah semakin melonjak.

Menurut Putra Manuaba (2007), dari data hasil analisis laboratorium, penentuan residu cemaran pestisida pada sedimen Danau Buyan didapatkan bahwa pada air Danau Buyan terkandung residu cemaran pestisida. Residu cemaran pestisida yang didapatkan adalah dimetoat, klorpirifos, dan profenofos dari golongan fosfat-organik. Pencemaran dari residu pestisida sangat membahayakan bagi lingkungan dan kesehatan, sehingga perlu adanya pengendalian dan pembatasan dari penggunaan pestisida tersebut serta mengurangi pencemaran yang diakibatkan oleh residu pestisida.



Gambar. 8.11. Penyebaran pestisida pada udara

Seorang yang terpapar pestisida dapat memperlihatkan lebih dari satu gejala penyakit. Beberapa gejala timbul langsung setelah seseorang terpapar, sementara gejala lainnya tidak terlihat sampai beberapa jam, beberapa hari, atau bahkan beberapa tahun kemudian. Beberapa orang dapat terpapar pestisida tanpa disadari. Pekerja pencucian

pakaian, petugas kebersihan pemungut dan daur ulang sampah, serta orang lainnya yang kontak langsung dengan pestisida juga terancam bahaya keracunan seperti halnya para buruh tani. Mereka harus menyadari akan adanya pestisida di lingkungan mereka dan mereka harus melakukan tindakan pencegahan sama seperti para buruh tani. Keracunan pestisida tidak hanya dapat terjadi karena paparan langsung oleh pestisida (menghirup, terkena percikan atau menyentuh sisa pestisida), yang umumnya sudah diketahui oleh banyak orang. Tetapi keracunan bisa terjadi pula, lantaran manusia mengkonsumsi bahan-bahan makanan yang mengandung residu pestisida dalam jumlah yang cukup tinggi, melebihi suatu batas maksimal. Residu pestisida yang terdapat dalam hasil-hasil tanaman berasal dari pestisida yang langsung diaplikasikan pada tanaman ( untuk mengatasi hama dan penyakit tanaman ). Di Indonesia kadar residu pestisida yang terkandung dalam bahan pangan cukup memprihatinkan (Mukono, 2014).



Gambar 8.12. Dampak pestisida pada Tanaman

Dampak secara tidak langsung dirasakan oleh manusia, oleh adanya penumpukan pestisida di dalam darah yang berbentuk gangguan metabolisme enzim asetilkolinesterase (AChE), bersifat karsinogenik yang dapat merangsang sistem syaraf menyebabkan parestesia peka terhadap perangsangan, iritabilitas, tremor, terganggunya keseimbangan dan kejang-kejang (Frank, 1995).

Pestisida dapat meracuni manusia yang sedang berada dekat ataupun yang sedang menggunakan pestisida, dengan berbagai cara kontaminasi, diantaranya:

1. Melalui kulit dengan jalan terkena langsung ataupun melalui pakaian yang terkena pestisida.

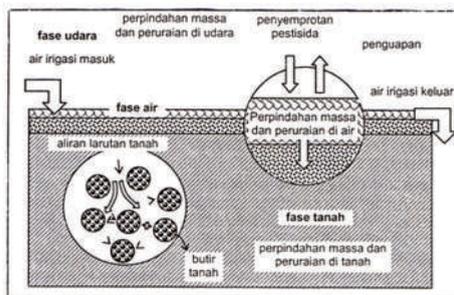
2. Melalui pernafasan, hal ini sering kali terjadi pada petani yang langsung menyemprot pestisida atau pada orang yang berada disekitar tempat penyemprotan.
3. Melalui mulut dengan jalan ketika seseorang meminum air yang telah tercemar atau makan dengan tangan tanpa mencuci tangan terlebih dahulu setelah berurusan dengan pestisida.

Manuaba (2009) mengemukakan bahwa transfer pestisida ke lingkungan dapat terjadi melalui cara:

1. Adsorpsi, adalah terikatnya pestisida dengan partikel-partikel tanah. Jumlah pestisida yang dapat terikat dalam tanah bergantung pada jenis pestisida, kelembaban, pH, dan tekstur tanah. Pestisida dapat teradsorpsi dengan kuat pada tanah berlempung ataupun tanah yang kaya bahan- bahan organik, sebaliknya pestisida tidak dapat teradsorpsi dengan kuat pada tanah berpasir. Adsorpsi pestisida yang kuat di dalam tanah mengakibatkan tidak terjadi penguapan sehingga tidak menimbulkan pencemaran terhadap air tanah maupun air danau.
2. Penguapan, adalah suatu proses perubahan bentuk padat atau cair ke bentuk gas, sehingga dalam bentuk gas bahan tersebut dapat bergerak dengan bebas ke udara sesuai dengan pergerakan arah angin. Kehilangan akibat pengupan ini dapat menghancurkan tanaman yang jauh dari tempat dimana pestisida tersebut digunakan. Pestisida dapat menguap dengan mudah disamping memang pestisidanya bersifat mudah menguap, juga sebagai akibat dari tanahnya yang berpasir dan basah. Cuaca yang panas, kering dan berangin juga mempercepat terjadinya penguapan pestisida.
3. Kehilangan pestisida saat aplikasi adalah kehilangan yang disebabkan terbawanya pestisida oleh angin saat disemprotkan. Kehilangan ini dipengaruhi oleh ukuran butiran semprotan, semakin kecil ukuran butiran semakin tinggi kemungkinannya untuk hilang, kecepatan angin, jarak antara lubang penyemprotan dengan tanaman target. Pestisida yang hilang atau tidak mengenai target ini dapat membahayakan atau mengkontaminasi tanaman lain, bahkan dapat membahayakan orang lain, ternak ataupun hewan bukan target. Demikian juga, pestisida ini dapat mencemari danau, sungai sehingga membahayakan biota yang ada di dalamnya.

4. Limpasan akhir, adalah terbawanya pestisida bersama-sama aliran air menuju daerah yang lebih rendah. Pestisida yang terbawa ini dapat bercampur dengan air atau terikat dengan tanah erosi yang ikut terbawa. Banyaknya pestisida yang terbawa ini dipengaruhi oleh: kecuraman lokasi, kelembaban tanah, curah hujan, dan jenis pestisida yang digunakan. Limpasan dari daerah pertanian yang menggunakan pestisida akan dapat mencemari aliran air, sungai, danau, sumur maupun air tanah. Residu cemaran pestisida pada permukaan air dapat membahayakan tanaman, biota dan juga dapat mencemari air tanah.
5. Rembesan, adalah perpindahan pestisida dalam air di dalam tanah. Perembesan dapat terjadi ke seluruh penjuru, ke bawah, atas dan samping. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya perembesan adalah sifat - sifat pestisida dan tanah, dan interaksi pestisida dengan air seperti saat terjadinya hujan ataupun irigasi saat musim tanam. Proses perembesan dapat meningkat bila pestisidanya bersifat mudah larut dalam air, tanahnya berpasir, turun hujan saat penggunaan pestisida, dan pestisidanya teradsorpsi dengan kuat dalam tanah.

Rahayuningsih (2009) mengemukakan, perilaku pestisida selama di tanah dikelompokkan menjadi dua proses, yaitu proses perpindahan massa dan proses peruraian. Proses perpindahan massa terdiri atas perpindahan massa antarfase (fase air dengan fase udara, fase air dengan fase tanah, fase tanah dengan fase udara, dan fase masing-masing dengan makhluk hidup). Disamping itu, pada setiap fase juga terjadi proses perpindahan massa dan proses peruraian. Proses peruraian dapat terjadi secara kimia, biokimia, dan fotolisis. Dengan demikian, perilaku pestisida di tanah merupakan peristiwa yang sangat rumit karena mencakup sangat banyak proses perpindahan massa dan peruraian yang berlangsung secara serempak, serta banyak faktor yang mempengaruhi proses-proses tersebut. Ditinjau dari sudut pandang kegunaannya, peristiwa yang rumit dapat disederhanakan selama tidak mengurangi esensi peristiwa yang terjadi. Contoh penyederhanaan masalah yang dilakukan pada perilaku pestisida selama di tanah sawah digambarkan secara skematis pada Gambar dibawah ini



Gambar 8.13. Perilaku pestisida selama di tanah sawah yang diserdakan

Rahayuningsih (2009) mengemukakan, bahwa:

1. Fase tanah dapat mengakumulasi pestisida dengan konsentrasi yang tinggi, karena tanah mempunyai daya sorpsi yang tinggi, disamping itu sebagian besar pestisida bersifat hidrofobik;
2. Peruraian pestisida di fase padatan tanah lebih dominan daripada di fase air, karena padatan tanah mengandung berbagai senyawa yang bersifat sebagai katalis dan juga merupakan tempat mikroorganisme menempel;
3. Perilaku pestisida di fase tanah sawah adalah yang paling berperan dalam pencemaran air tanah.

Efek yang dapat ditimbulkan oleh penggunaan pestisida berlebih yaitu Penggunaan pestisida dapat menimbulkan dampak yang negatif, baik itu bagi kesehatan manusia maupun bagi kelestarian lingkungan. Oleh karena itu, penggunaannya harus dilakukan sesuai dengan aturan.

Dampak negatif ini akan terus terjadi seandainya kita tidak hati-hati dalam memilih jenis dan cara penggunaannya. Adapun dampak negatif yang mungkin terjadi akibat penggunaan pestisida diantaranya:

1. Tanaman yang diberi pestisida dapat menyerap pestisida yang kemudian terdistribusi ke dalam akar, batang, daun, dan buah. Pestisida yang sukar terurai akan berkumpul pada hewan pemakan tumbuhan tersebut termasuk manusia. Secara tidak langsung dan tidak sengaja, tubuh makhluk hidup itu telah tercemar pestisida. Bila seorang ibu menyusui memakan makanan dari tumbuhan yang telah tercemar pestisida maka bayi yang disusui menanggung resiko yang lebih besar untuk teracuni oleh pestisida tersebut daripada sang ibu. Zat beracun ini akan pindah ke tubuh bayi lewat

air susu yang diberikan, dan kemudian racun ini akan terkumpul dalam tubuh bayi (bioakumulasi) (Mukono, 2014).

2. Pestisida yang tidak dapat terurai akan terbawa aliran air dan masuk ke dalam sistem biota air (kehidupan air). Konsentrasi pestisida yang tinggi dalam air dapat membunuh organisme air diantaranya ikan dan udang. Sementara dalam kadar rendah dapat meracuni organisme kecil seperti plankton. Bila plankton ini termakan oleh ikan maka ia akan terakumulasi dalam tubuh ikan. Tentu saja akan sangat berbahaya bila ikan tersebut termakan oleh burung-burung atau manusia. Salah satu kasus yang pernah terjadi adalah turunnya populasi burung pelikan coklat dan burung kasa dari daerah Artika sampai daerah Antartika. Setelah diteliti ternyata burung-burung tersebut banyak yang tercemar oleh pestisida organiklor yang menjadi penyebab rusaknya dinding telur burung itu sehingga gagal ketika dierami. Bila dibiarkan terus tentu saja perkembangbiakan burung itu akan terhenti, dan akhirnya jenis burung itu akan punah.
3. Ada kemungkinan munculnya hama spesies baru yang tahan terhadap takaran pestisida yang diterapkan. Hama ini baru musnah bila takaran pestisida diperbesar jumlahnya. Akibatnya, jelas akan mempercepat dan memperbesar tingkat pencemaran pestisida pada mahluk hidup dan lingkungan kehidupan, tidak terkecuali manusia yang menjadi pelaku utamanya (Mukono, 2006).

Ada beberapa langkah untuk mengurangi residu yang menempel pada sayuran, antara lain dengan mencucinya secara bersih dengan menggunakan air yang mengalir, bukan dengan air diam. Jika yang kita gunakan air diam (direndam) justru sangat memungkinkan racun yang telah larut menempel kembali ke sayuran. Mencuci sayur sebaiknya jangan lupa membersihkan bagian-bagian yang terlindung mengingat bagian ini pun tak luput dari semprotan petani. Untuk kubis misalnya, lazim kita lihat petani mengarahkan belalai alat semprot ke arah krop (bagian bulat dari kubis yang dimakan) sehingga memungkinkan pestisida masuk ke bagian dalam krop.

Selain pencucian, perendaman dalam air panas (*blanching*) juga dapat menurunkan residu. Ada baiknya kita mengurangi konsumsi sayur yang masih mentah karena diperkirakan mengandung residu lebih tinggi dibanding kalau sudah dimasak terlebih dulu. Pemasakan

atau pengolahan baik dalam skala rumah tangga atau industri terbukti dapat menekan tekanan kandungan residu pestisida pada sayuran. Agar senyawa pestisida aman digunakan dan tidak terlalu menimbulkan efek keracunan pada pemakai, maka pemerintah dan formulator telah menetapkan dan memberi petunjuk sebagai pedoman umum dalam penanganan senyawa kimia berbahaya. Mulai dari pemilihan jenis pestisida, tata cara penyimpanan, penakaran, pengenceran, pencampuran sampai kepada prosedur kebersihannya.

Pestisida sebagai salah satu agen pencemar ke dalam lingkungan baik melalui udara, air maupun tanah dapat berakibat langsung terhadap komunitas hewan, tumbuhan terlebih manusia. Pestisida yang masuk ke dalam lingkungan melalui beberapa proses baik pada tataran permukaan tanah maupun bawah permukaan tanah. Masuk ke dalam tanah berjalan melalui pola biotransformasi dan bioakumulasi oleh tanaman, proses reabsorpsi oleh akar serta masuk langsung pestisida melalui infiltrasi aliran tanah. Gejala ini akan mempengaruhi kandungan bahan pada sistem air tanah hingga proses pencucian zat pada tahap penguraian baik secara biologis maupun kimiawi di dalam tanah (Mukono, 2014).

Proses pencucian bahan-bahan kimia tersebut akan mempengaruhi kualitas air tanah baik setempat maupun secara region dengan berkelanjutan. Apabila proses pemurnian unsur-unsur residu pestisida berjalan dengan baik dan tervalidasi hingga aman pada wadah-wadah penampungan air tanah, misal sumber mata air, sumur resapan dan sumur gali untuk kemudian dikonsumsi oleh penduduk, maka fenomena pestisida ke dalam lingkungan bisa dikatakan aman.

Pestisida alami itu adalah bahan-bahan yang berasal dari alam. Ia memanfaatkan jenis tumbuhan yang memiliki kelebihan mengusir hama, penyakit, dan binatang. Pestisida alam ini dikenal juga dengan pestisida nabati. Merupakan bahan aktif tunggal atau majemuk yang berasal dari tumbuhan yang bisa digunakan untuk mengendalikan organisme pengganggu tumbuhan. Pestisida nabati ini bisa berfungsi sebagai penolak, penarik, antifertilitas (pemandul), pembunuh dan bentuk lainnya. Secara umum, pestisida nabati diartikan sebagai suatu pestisida yang bahan dasarnya dari tumbuhan yang relatif mudah dibuat dengan kemampuan dan pengetahuan terbatas. Karena terbuat

dari bahan alami atau nabati, maka jenis pestisida ini bersifat mudah terurai (*bio-degradable*) di alam, sehingga tak mencemari lingkungan dan relatif aman bagi manusia dan ternak peliharaan, karena residu (sisa-sisa zat) mudah hilang. (Mukono, 2011).

Peningkatan kegiatan agroindustri selain meningkatkan produksi pertanian juga menghasilkan limbah dari kegiatan tersebut. Penggunaan pestisida, disamping bermanfaat untuk meningkatkan produksi pertanian tapi juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan pertanian dan juga terhadap kesehatan manusia. Dalam penerapan di bidang pertanian, ternyata tidak semua pestisida mengenai sasaran. Kurang lebih hanya 20 persen pestisida mengenai sasaran sedangkan 80 persen lainnya jatuh ke tanah. Akumulasi residu pestisida tersebut mengakibatkan pencemaran lahan pertanian. Apabila masuk ke dalam rantai makanan, sifat beracun bahan pestisida dapat menimbulkan berbagai penyakit seperti kanker, mutasi, bayi lahir cacat, CAIDS (*Chemically Acquired Deficiency Syndrom*) dan sebagainya (Sa'id, 1994).

Pada masa sekarang ini dan masa mendatang, orang lebih menyukai produk pertanian yang alami dan bebas dari pengaruh pestisida walaupun produk pertanian tersebut di dapat dengan harga yang lebih mahal dari produk pertanian yang menggunakan pestisida (Ton, 1991).

Pestisida yang paling banyak menyebabkan kerusakan lingkungan dan mengancam kesehatan manusia adalah pestisida sintetik, yaitu golongan organoklorin. Tingkat kerusakan yang disebabkan oleh senyawa organoklorin lebih tinggi dibandingkan senyawa lain, karena senyawa ini peka terhadap sinar matahari dan tidak mudah terurai (Mukono, 2014).

Penyemprotan dan pengaplikasian dari bahan-bahan kimia pertanian selalu berdampingan dengan masalah pencemaran lingkungan sejak bahan- bahan kimia tersebut dipergunakan di lingkungan. Sebagian besar bahan- bahan kimia pertanian yang disemprotkan jatuh ke tanah dan didekomposisi oleh mikroorganisme. Sebagian menguap dan menyebar di atmosfer dimana akan diuraikan oleh sinar ultraviolet atau diserap hujan dan jatuh ke tanah (Mukono, 2014)).

Pestisida bergerak dari lahan pertanian menuju aliran sungai dan danau yang dibawa oleh hujan atau penguapan, tertinggal atau larut pada aliran permukaan, terdapat pada lapisan tanah dan larut bersama dengan aliran air tanah. Penumpahan yang tidak disengaja atau membuang bahan-bahan kimia yang berlebihan pada permukaan air akan meningkatkan kemampuan diserap oleh partikel tanah.

Berdasarkan data yang diperoleh Theresia (1993) dalam Sa'id (1994), di Indonesia kasus pencemaran oleh pestisida menimbulkan berbagai kerugian. Di Lembang dan Pengalengan tanah disekitar kebun wortel, tomat, kubis dan buncis telah tercemar oleh residu organoklorin yang cukup tinggi. Juga telah tercemar beberapa sungai di Indonesia seperti air sungai Cimanuk dan juga tercemarnya produk-produk hasil pertanian.

### **Dampak Pestisida Jenis Organoklorin terhadap Kesehatan dan Lingkungan**

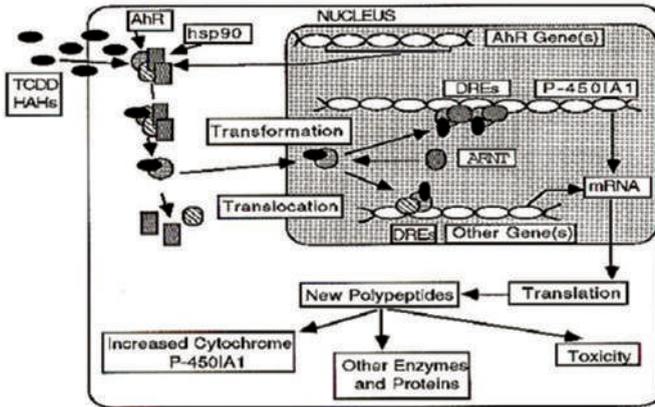
Pestisida yang seharusnya digunakan untuk membasmi hama ternyata berdampak pada pencemaran lingkungan baik itu air, udara maupun tanah. Pestisida organoklorin merupakan bahan kimia yang masuk dalam kategori *Persisten Organic Pollutants* (POPs) yang berbahaya bagi kesehatan. Hal ini dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan karena bahan kimia ini dapat menyebabkan kanker, alergi dan merusak susunan saraf (baik sentral ataupun peripheral serta dapat juga mengganggu sistem endokrin yang menyebabkan kerusakan pada sistem reproduksi dan sistem kekebalan yang terjadi pada mahluk hidup, termasuk janin (Mukono, 2006).

Karakteristik POPs yang dapat memberikan efek negatif menurut Gorman & Tynan (dalam Warlina, 2009), adalah:

- a. Terurai sangat lambat dalam tanah, udara, air dan mahluk hidup serta menetap dalam lingkungan untuk waktu yang lama
- b. Masuk dalam rantai makanan dan dapat terakumulasi pada jaringan lemak, sehingga sukar larut dalam air
- c. Dapat terbawa jauh melalui udara dan air

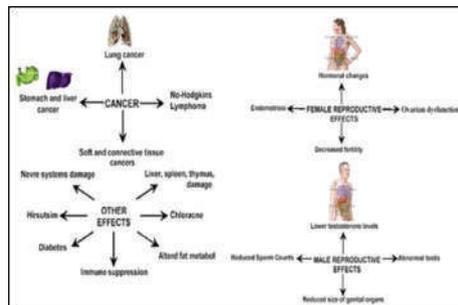
Karena karakteristik tersebut, maka sering ditemukan konsentrasi POPs yang sangat tinggi dalam berbagai spesies pada level yang tinggi dari rantai makanan, seperti pada ikan paus, burung elang dan

mamalia, termasuk manusia. Paparan masuknya pestisida kedalam tubuh melalui makan sebagai berikut:



Gambar 8.14. Mekanisme masuknya dioksin ke dalam tubuh – Sumber: [http://www.dioxins.nl/Difference/related\\_info\\_diff/related\\_IMG/Calux\\_diff.gif](http://www.dioxins.nl/Difference/related_info_diff/related_IMG/Calux_diff.gif)

Dari paparan pestisida organoklorin, sebagian metabolit akibat ini akan menjadi toksik dan sebagian lagi menjadi karsinogen yang aktif. Kanker yang disebabkan dioksin antara lain dapat berupa kanker paru-paru, kanker hati dan sebagainya, terlebih lagi dapat menyerang fungsi reproduksi.



Gambar 8.15. Pengaruh dioksin terhadap kesehatan (Warlina, 2009) – Sumber: Otles & Yildis (2003)

Dari hasil penelitian terbukti terdapat hubungan antara risiko kanker otak pada anak-anak dan paparan ayah untuk pestisida selama 2 tahun sebelum kelahiran, khususnya untuk astrocytoma dan paparan herbisida. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel berikut:

**Table 3. Parental lawn and garden pesticide use during the 2-year period before the child's birth and occurrence of childhood brain cancer (no. of discordant pairs).<sup>a</sup>**

Pesticides	Astrocytoma			PNET			All other types		
	+/-	-/+	OR <sup>b</sup> (95% CI)	+/-	-/+	OR <sup>b</sup> (95% CI)	+/-	-/+	OR <sup>b</sup> (95% CI)
<b>Ever used pesticides for gardens and lawns<sup>c</sup></b>									
Insecticides	52	39	1.3 (0.9-2.0)	25	23	1.1 (0.6-1.9)	26	23	1.2 (0.7-2.0)
Herbicides	53	27	1.9 (1.2-3.0)	26	24	1.0 (0.6-1.8)	25	28	1.0 (0.6-1.8)
Fungicides	13	7	1.8 (0.7-4.6)	8	6	1.3 (0.5-3.8)	11	5	2.6 (0.9-7.6)
<b>Father applied pesticides for gardens and lawns</b>									
Insecticides	28	26	1.0 (0.6-1.8)	20	19	1.0 (0.5-1.9)	20	10	2.3 (1.0-5.0)
Herbicides	40	20	2.0 (1.2-3.4)	21	18	1.1 (0.5-2.0)	15	18	1.0 (0.5-2.0)
Fungicides	3	1	3.1 (0.3-30.0)	4	1	3.6 (0.4-32.6)	8	3	3.3 (0.9-13.0)
<b>Mother applied pesticides for gardens and lawns</b>									
Insecticides	18	18	1.0 (0.5-1.9)	6	8	0.7 (0.3-2.2)	10	12	0.9 (0.4-2.2)
Herbicides	13	7	1.9 (0.7-4.8)	6	7	0.8 (0.3-2.5)	5	13	0.4 (0.1-1.1)
Fungicides	10	6	1.7 (0.6-4.8)	5	3	1.6 (0.4-6.9)	9	3	3.4 (0.9-12.6)

<sup>a</sup>The total numbers of discordant case-control pairs where "case used (+)/control not used (-)" and "case not used (-)/control used (+)." <sup>b</sup>ORs and 95% CIs were calculated by conditional logistic regression for each class of pesticide use (ever vs. never), adjusted for mother's education level (< high school vs. > high school). <sup>c</sup>Pesticide applications by anyone, including mother, father, professionals, and others.

Bahwa risiko astrocytoma dikaitkan dengan paparan herbisida terhadap penggunaan hunian mempunyai faktor risiko sebesar 1,9. Paparan tempat tinggal dan pekerjaan orang tua juga terdapat hubungan yang signifikan dengan faktor risiko sebesar 1,8 (Youn K.Shim, et al, 2009). Bahwa secara statistik terdapat hubungan yang signifikan untuk *multiple myeloma* dengan lamanya paparan permetrin (Jennifer A. Rusiecki, 2008). Bahwa risiko PIH (*Pregnancy induced hipertension*) dan PE (*Preeclampsia*) telah meningkat dikalangan wanita yang terpapar pestisida selama trisemester pertama pada kehamilannya (Saldana, 2009).

Penggunaan pestisida tanpa diimbangi dengan perlindungan dan perawatan kesehatan, orang yang sering berhubungan dengan pestisida, secara lambat laun akan mempengaruhi kesehatannya. Pestisida meracuni manusia tidak hanya pada saat pestisida itu digunakan, tetapi juga saat mempersiapkan, atau sesudah melakukan penyemprotan. Kecelakaan akibat pestisida pada manusia sering terjadi, terutama dialami oleh orang yang langsung melaksanakan penyemprotan (Mukono, 2006). Mereka dapat mengalami pusing-pusing ketika sedang menyemprot maupun sesudahnya, atau muntah-muntah, mulas, mata berair, kulit terasa gatal- gatal dan menjadi luka, kejang-kejang, pingsan, dan tidak sedikit kasus berakhir dengan kematian. Kejadian tersebut umumnya disebabkan kurangnya perhatian atas keselamatan kerja dan kurangnya kesadaran bahwa pestisida adalah racun.



Kadang-kadang para petani atau pekerja perkebunan, kurang menyadari daya racun pestisida, sehingga dalam melakukan penyimpanan dan penggunaannya tidak memperhatikan segi-segi keselamatan. Pestisida sering ditempatkan sembarangan, dan saat menyemprot sering tidak menggunakan pelindung, misalnya tanpa kaos tangan dari plastik, tanpa baju lengan panjang, dan tidak mengenakan masker penutup mulut dan hidung. Juga cara penyemprotannya sering tidak memperhatikan arah angin, sehingga cairan semprot mengenai tubuhnya. Bahkan kadang-kadang wadah tempat pestisida digunakan sebagai tempat minum, atau dibuang di sembarang tempat. Kecerobohan yang lain, penggunaan dosis aplikasi sering tidak sesuai anjuran. Dosis dan konsentrasi yang dipakai kadang-kadang ditingkatkan hingga melampaui batas yang disarankan, dengan alasan dosis yang rendah tidak mampu lagi mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Dari hasil beberapa penelitian menyatakan bahwa pengetahuan yang baik tentang pestisida belum tentu praktik menggunakannya juga baik serta sangat kurang informasi penggunaan pestisida yang baik dan benar oleh pemerintah (Pascale R Salamah, 2003).

Secara tidak sengaja, pestisida dapat meracuni manusia atau hewan ternak melalui mulut, kulit, dan pernafasan. Sering tanpa disadari bahan kimia beracun tersebut masuk ke dalam tubuh seseorang tanpa menimbulkan rasa sakit yang mendadak dan mengakibatkan keracunan kronis. Seseorang yang menderita keracunan kronis, ketahuan setelah selang waktu yang lama, setelah berbulan atau bertahun. Keracunan kronis akibat pestisida saat ini paling ditakuti, karena efek racun dapat bersifat karsinogenik (pembentukan jaringan kanker pada tubuh), mutagenik (kerusakan genetik untuk generasi

yang akan datang), dan teratogenik (kelahiran anak cacat dari ibu yang keracunan) (Mukono, 2006).

Residu pestisida telah ditemukan di dalam tanah, ada di air minum, air sungai, air sumur, maupun di udara. Dan yang paling berbahaya racun pestisida kemungkinan terdapat di dalam makanan yang kita konsumsi sehari-hari, seperti sayuran dan buah-buahan.

Aplikasi pestisida dari udara jauh memperbesar risiko pencemaran, dengan adanya hembusan angin. Pencemaran pestisida di udara tidak terhindarkan pada setiap aplikasi pestisida. Sebab hamparan yang disemprot sangat luas. Sudah pasti, sebagian besar pestisida yang disemprotkan akan terbawa oleh hembusan angin ke tempat lain yang bukan target aplikasi, dan mencemari tanah, air dan biota bukan sasaran (Mukono, 2014).



Gambar 8.16. Dampak pestisida Organoklorin pada perairan

Pencemaran pestisida yang diaplikasikan di sawah beririgasi sebahagian besar menyebar di dalam air pengairan, dan terus ke sungai dan akhirnya ke laut. Memang di dalam air terjadi pengenceran, sebahagian ada yang terurai dan sebahagian lagi tetap persisten. Meskipun konsentrasi residu mengecil, tetapi masih tetap mengandung resiko mencemarkan lingkungan. Sebagian besar pestisida yang jatuh ke tanah yang dituju akan terbawa oleh aliran air irigasi.



Gambar 8.17. Dampak pestisida Organoklorin pada budidaya ikan

Dari hasil penelitian terdapat bahwa endosulfan terdeteksi pada semua titik (1,2 - 12,9 ppb). Jenis organoklorin lain yang terdeteksi yaitu aldrin dan heptaklor di 12 titik, dieldrin di 9 titik, dan DDT di 10 titik. Endosulfan juga merupakan organoklorin dengan konsentrasi rata-rata tertinggi (4,246 ppb). Pada musim hujan, jenis organoklorin yang paling banyak ditemukan pada sampel ikan, air dan sedimen secara berurutan adalah endosulfan, DDT, aldrin, dieldrin dan heptaklor. Sedangkan pada musim kemarau yang paling banyak ditemukan secara berurutan adalah heptaklor, aldrin, DDT, endosulfan dan dieldrin. Kelima jenis organoklorin ini sama-sama ditemukan baik pada musim hujan maupun musim kemarau. Hal ini berarti bahwa kemungkinan besar endosulfan, DDT, aldrin, dieldrin dan heptaklor masih digunakan sebagai pestisida daerah pertanian DAS Citarum Hulu. Untuk ikan, standar baku mutu yang dipakai adalah *Extraneous Residue Limit* (ERL) yang merupakan batas maksimum residu pestisida yang diperbolehkan yang bersumber dari lingkungan secara langsung/tidak langsung pada suatu komoditi /makanan. *Threshold Effect Level* (TEL) digunakan untuk melihat efek buruk pencemaran organoklorin terhadap sedimen (Sara, 2010).

Penggunaan DDT juga ditemukan disekitar tepian Danau Buyan walaupun kadarnya masih dibawah ambang yang diperkenankan sekitar 5,02 ppb (Manuaba, 2007). Berdasarkan hasil pemantauan kadar total pestisida organoklorin yang dilakukan di beberapa muara sungai perairan teluk Jakarta kadar pestisida sudah melebihi ambang batas yang diperkenankan untuk kehidupan biota dengan hasil 51,126 ppb (Khozanah, 2005). Pada penelitian di sungai Oven dan King di Australia ternyata ditemukan juga DDE, DDT dan dieldrin pada sampel air dan sedimennya (Mukono, 2010). Pemakaian pupuk dan pestisida dalam jumlah yang besar menimbulkan pencemaran tanah dan air tanah dengan kadar racun yang beraneka ragam. Degradasi tanah pertanian sudah makin parah dan dengan sudah mengendapnya pestisida maupun bahan agrokimia lainnya dalam waktu yang cukup lama. Untuk mengembalikan nutrisinya tanah memerlukan waktu ratusan tahun, sedangkan untuk merusaknya hanya perlu beberapa tahun saja. Hal ini terlihat dari menurunnya produktivitas karena hilangnya kemampuan untuk memproduksi nutrisi.

**Tabel 2. Interval Konsentrasi Organoklorin di DAS Citarum Hulu (ppb)**

		$\alpha$ -BHC	Lindan	Aldrin	Heptaklor	Dieldrin	DDT	Endrin	Endosulfan
IKAN	Hujan	0	0-2,7	0-1,5	0-2,3	0-8,4	0-12,1	0-2,1	0-82,8
	Kemarau	0	0	0-9,2	0-10,4	0-4,6	0-2,2	0	0-4,5
	Std.Level	?	5000 <sup>(1)</sup>	5000 <sup>(1)</sup>	50 <sup>(2)</sup>	5000 <sup>(1)</sup>	5000 <sup>(1)</sup>	50 <sup>(3)</sup>	50 <sup>(4)</sup>
AIR	Hujan	0	0	0-0,368	0-0,924	0-1	0-0,877	0	0-0,695
	Kemarau	0	0	0-1	0-0,7	0-0,3	0-0,5	0	0-0,8
	Baku mutu	210 <sup>(5)</sup>	56 <sup>(4)</sup>	17 <sup>(6)</sup>	18 <sup>(4)</sup>	17 <sup>(4)</sup>	2 <sup>(4)</sup>	4 <sup>(4)</sup>	74 <sup>(4)</sup>
SEDIMEN	Hujan	0	0	0-3,3	0-3,8	0-38,2	0-2,3	0	0-12,9
	Kemarau	0	0	0-3,8	0-4,9	0	0-5,5	0	0-1,6
	TEL	?	0,94 <sup>(8)</sup>	2,85 <sup>(8)</sup>	7 <sup>(6)</sup>	2,85 <sup>(6)</sup>	0,6 <sup>(6)</sup>	2,67 <sup>(6)</sup>	?

<sup>(1)</sup> ERL from Codex Alimentarius FAO/WHO, 1997; <sup>(2)</sup> Quantities proposed by WHO standard level dalam Bethesda, 1995; <sup>(3)</sup> ERL from Thai Agricultural Standard; <sup>(4)</sup> PP RI No.82 Tahun 2001; <sup>(5)</sup> US EPA; <sup>(6)</sup> TEL dalam Malik *et al.*, 2008; ? = tidak diketahui;

Apabila penyemprotan dilakukan secara berlebihan atau takaran yang dipakai terlalu banyak, maka yang akan terjadi adalah kerugian. Tanah disekitar tanaman akan terkena pencemaran pestisida. Akibatnya makhluk-makhluk kecil itu banyak yang ikut terbasmi, sehingga kesuburan tanah menjadi rusak karenanya. Bukan tidak mungkin tragedi kegersangan dan kekeringan terjadi. Pencemaran tanah juga dapat memberikan dampak terhadap ekosistem. Perubahan kimiawi tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun. Banyak dari efek-efek ini terlihat pada saat ini, seperti konsentrasi DDT pada burung menyebabkan rapuhnya cangkang telur, meningkatnya tingkat kematian anakan dan kemungkinan hilangnya spesies tersebut (Warlison, 2009) Selain itu perlunya adanya sosialisasi tentang peningkatan pengetahuan dan praktik dalam menggunakan pestisida yang baik dan benar, karena dari hasil penelitian bahwa orang yang menggunakan pestisida atau terpapar pestisida berarti lebih baik pengetahuan dibandingkan yang tidak terpapar ternyata dalam praktiknya di lahan pertanian kurang baik (Salameh, 2004). Pengetahuan yang harus diketahui oleh petani antara lain memahami bahaya kesehatan akibat paparan pestisida, melakukan praktek yang

tepat, menggunakan alat pelindung yang benar, praktik tindakan kebersihan diri, mengetahui gejala awal keracunan mampu melakukan pertolongan pertama bila keracunan.

Salah satu usaha untuk mengurangi kandungan pestisida organoklorin dalam tubuh adalah bagi ibu yang menyusui dengan menyusui bayi dari hari ke hari adanya penurunan, hal ini telah dibuktikan adanya penurunan HCH 0,095-0,066 mg / kg, pp-DDE dari 1,807 ke 1,423 mg / kg dan pp-DDT 0,528-0,405 mg / kg, pada tingkat karakteristik untuk masing-masing senyawa (Waliszewski, 2009; Bulgaz, 1994).

Pestisida masih diperlukan dalam kegiatan pertanian. Penggunaan pestisida yang tidak bijaksana dan tidak sesuai dengan aturan yang berlaku dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Berikut ini diuraikan beberapa dampak negatif yang mungkin timbul akibat penggunaan pestisida dalam bidang pertanian, yang tidak sesuai dengan aturan.

### **1. Pencemaran air dan tanah**

Di lingkungan perairan, pencemaran air oleh pestisida terutama terjadi melalui aliran air dari tempat kegiatan manusia yang menggunakan pestisida dalam usaha menaikkan produksi pertanian dan peternakan. Jenis-jenis pestisida yang persisten (DDT, Aldrin, Dieldrin) tidak mengalami degradasi dalam tanah, tapi malah akan berakumulasi. Dalam air, pestisida dapat mengakibatkan *biology magnification*, pada pestisida yang persisten dapat mencapai komponen terakhir, yaitu manusia melalui rantai makanan. Pestisida dengan formulasi granula, mengalami proses dalam tanah dan air sehingga ada kemungkinan untuk dapat mencemari tanah dan air.

### **2. Pencemaran udara**

Pestisida yang disemprotkan segera bercampur dengan udara dan langsung terkena sinar matahari. Pestisida dapat mengalami foto dekomposisi di udara. Pestisida mengalami perkolasi atau ikut terbang menurut aliran angin. Makin halus butiran larutan makin besar kemungkinan ikut perkolasi dan makin jauh ikut diterbangkan arus angin.

### **3. Timbulnya spesies hama yang resisten**

Spesies hama yang akan diberantas dapat menjadi toleran terhadap pestisida, sehingga populasinya menjadi tidak terkendali. Ini berarti bahwa jumlah individu yang mati sedikit sekali atau tidak ada yang mati, meskipun telah disemprot dengan pestisida dosis normal atau dosis lebih tinggi sekalipun. Populasi dari spesies hama dapat pulih kembali dengan cepat dari pengaruh racun pestisida serta bisa menimbulkan tingkat resistensi pestisida tertentu pada populasi baru yang lebih tinggi, hal ini biasanya disebabkan oleh pestisida golongan organoklorin.

### **4. Timbulnya spesies hama baru atau ledakan hama sekunder**

Penggunaan pestisida yang ditujukan untuk memberantas jenis hama tertentu, bahkan dapat menyebabkan munculnya jenis hama yang lain. Ledakan hama sekunder tersebut dapat terjadi beberapa saat setelah penggunaan pestisida, atau pada akhir musim tanam atau malah pada musim tanam berikutnya. Ledakan hama sekunder dapat lebih merusak daripada hama sasaran sebelumnya.

### **5. Resurgensi**

Bila suatu jenis hama setelah memperoleh perlakuan pestisida berkembang menjadi lebih banyak dibanding dengan yang tanpa perlakuan pestisida, maka fenomena itu disebut resurgensi. Faktor penyebab terjadinya resurgensi antara lain adalah (a) butir semprotan pestisida tidak sampai pada tempat hama berkumpul dan makan; (b) kurangnya pengaruh residu pestisida untuk membunuh nimfa hama yang menetas sehingga resisten terhadap pestisida; (c) predator alam mati terbunuh pestisida; (d) pengaruh fisiologis insektisida kepada kesuburan hama. Hama bertelur lebih banyak dengan angka kematian hama yang menurun; (e) pengaruh fisiologis pestisida kepada tanaman sedemikian rupa sehingga hama dapat hidup lebih subur (Djojsumarto, 2000).

### **6. Merusak keseimbangan ekosistem**

Penggunaan pestisida seperti insektisida, fungisida dan herbisida untuk membasmi hama tanaman, hewan, dan gulma (tanaman benalu) yang bisa mengganggu produksi tanaman sering menimbulkan komplikasi lingkungan (Supardi, 1994). Penekanan populasi invertebrata hama tanaman dengan menggunakan insektisida,

juga akan mempengaruhi predator dan parasitnya, termasuk serangga lainnya yang memangsa spesies hama dapat ikut terbunuh. Misalnya, burung dan vertebrata lain pemakan spesies yang terkena insektisida akan terancam kehidupannya. Sehingga dengan demikian bersamaan dengan menurunnya jumlah individu spesies hama, menurun pula parasitnya. Sebagai contoh misalnya kasus di Inggris, dilaporkan bahwa di daerah pertanian dijumpai residu organoklorin yang tidak berpengaruh pada rodentia tanah. Tapi sebaliknya, pada burung pemangsa *Falco tinnunculus* dan *Tyto alba*, yang semata-mata makanannya tergantung pada rodentia tanah tersebut mengandung residu tinggi, bahkan pada tingkat yang sangat fatal. Sebagai akibatnya, banyak burung-burung pemangsa yang mati. Begitu juga pada binatang jenis kelelawar. Golongan ini ternyata tidak terlepas dari pengaruh pestisida. Dari 31 ekor kelelawar yang diteliti, semuanya mengandung residu senyawa organoklorin dengan DDE (Hendrawan, 2002).

## 7. Dampak terhadap kesehatan masyarakat

Penggunaan pestisida dalam kegiatan pertanian dapat mengakibatkan dampak negatif pada kesehatan manusia, misalnya : (a) terdapat residu pestisida pada produk pertanian; (b) bioakumulasi dan biomagnifikasi melalui rantai makanan. Manusia sebagai makhluk hidup yang letaknya paling ujung dari rantai makanan dapat memperoleh efek biomagnifikasi yang paling besar. Dampak ini ditimbulkan oleh pestisida golongan organoklorin; (c) keracunan pestisida, yang sering terjadi pada pekerja dengan pestisida.

## Daftar Pustaka

- Afriyanto, 2008. Kajian Keracunan Pestisida Pada Petani Penyemprot Cabe Di Desa Candi Kecamatan Bandungan Kabupaten Semarang. Thesis. Universitas Diponegoro.
- Anis, 2005, Perlu Deteksi Dini Penyakit bagi Pekerja, <http://www.suaramerdeka.com/harian/0512/26/ragam1.htm>
- Arisman 2002. Gizi Dalam Daur Kehidupan. Penerbit buku Kedokteran EGC. DepKes RI, 1992. Pestisida dan Penggunaannya. Jakarta, Sub Dit P2 Pestisida

- Retno Adriyani (2006). Control of Environmental Pollution caused by Pesticide in Agricultural Process
- Depkes, RI, 2000. Modul Pelatihan Pemeriksaan Residu Pestisida” Pengenalan Pestisida” Depkes RI, Dirjen P2M dan PL.
- Djau R. 2009, Faktor risiko kejadian Anemia dan keracunan pestisida pada pekerja penyemprot gulma di kebun kelapa sawit PT.Agro Indomas Kab. Seruyan Kalimantan Tengah (Tesis). Semarang: Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro;2009.
- Dorland, W.A. 2002, Kamus Kedokteran Dorland.Edisi 29.Jakarta: Penerbit buku kedokteran EGC:2002.H 987
- Hidayat, A. A. A. (2007). Metode penelitian keperawatan dan teknik analisa data.Jakarta: Salemba Medika.
- Indonesia,(2007), Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 07/Permentan/SR.140/2/2007: tentang Syarat dan Tata Cara Pendaftaran Pestisida, Jakarta: Kementan R.I.
- Indonesia,(2012), Pedoman Penggunaan Insektisida(Pestisida) Dalam Pengendalian Vektor, Jakarta: Kemenkes R.I.Dirjen PP dan PL
- Kementrian Pertanian, 2011. Pedoman Pembinaan Penggunaan Pestisida. Jakarta: Direktorat Jenderal Prasaranan dan Sarana Kementrian Pertania.
- Mariani R, Iwan D, Nani S, 2005, Pengaruh Istirahat terhadap Aktivitas Kholinesterase petani penyemprot pestisida organofosfat di kecamatan Pacet Jawa Barat, Badan Litbangkes Jawa Barat.
- Mukono J. (1985). Dampak Pembangunan Terhadap Kesehatan Masyarakat, Kursus Dasar-Dasar Amdal, Airlangga University Press Surabaya
- Mukono J. (1998).Program Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL). Airlangga University Press. Surabaya
- Mukono J. (2006).Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan.Edisi kedua Airlangga University Press. Surabaya
- Mukono J. (2008). Pencemaran Udara Dan Pengaruhnya Terhadap

- Gangguan Saluran Pernafasan. Airlangga University Press. Surabaya.
- Mukono J. (2010). Toksikologi Lingkungan. Airlangga University Press. Surabaya
- Mukono J. (2011). Aspek Kesehatan Pencemaran Udara. Airlangga University Press. Surabaya.
- Mukono J. (2014). Pencemaran Udara Dalam Ruang Berorientasi Kesehatan Masyarakat. Airlangga University Press. Surabaya.
- Ngatidjan, 2006. Toksikologi. Bagian Farmakologi & Toksikologi Fakultas Kedokteran universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Pohan. Nurhasmawaty, 2004. Pestisida dan Pencemarannya. Universitas Sumatera Utara Ramsingh D.2010, The assessment of the chronic toxicity and carcinogenicity of pesticides. Dalam: Hayes' handbook of pesticide toxicology. Krieger R, editor. Elsevier Inc; Manhattan: 2010.
- Rimanth, 2007. Bahaya Pestisida Terhadap Kesehatan <http://bushido02.wordpress.com/2007/11/08/bahaya-pestisida-terhadap-kesehatan-manusia/> diakses tanggal 12 Maret 2012
- Rini, 2001. Petunjuk Penggunaan Pestisida, Penerbit Swadaya, Jakarta
- Runia Y. 2008, Faktor-faktor yang berhubungan dengan keracunan pestisida Organofosfat, Karbamat dan kejadian Anemia pada petani hortikultura di desa Tejosari Kecamatan Ngablak Kabupaten Magelang (Tesis). Semarang: Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro).
- Sartono,IM., I W. Treman.,IN, Sudita, 2013.: Persebaran Lahan Perkebunan Sistem Tumpang Sari Beda Umur di Kecamatan Kintamani Kabupaten Bangli, [ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPG/article](http://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPG/article)
- Sugiono, 2012. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R & D. Bandung : cv Alfabeta.

MG Catur Yuantari, 2011 DAMPAK PESTISIDA ORGANOKLORIN TERHADAP KESEHATAN MANUSIA DAN LINGKUNGAN SERTA PENANGGULANGANNYA: 1. Staff Pengajar Fakultas Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Semarang



## Bab 9.

# Radiasi Ionik dan Non Ionik

Rahmad Suhanda  
Suharmanto  
Widya Shofa Ilmiah

### **Pendahuluan**

Radiasi merupakan energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik atau cahaya (foton) dari sumber radiasi (Faujiah, 2013). Secara garis besar terdapat dua jenis radiasi yaitu radiasi pengion dan radiasi bukan pengion. Radiasi pengion adalah radiasi yang dapat menyebabkan proses terlepasnya elektron dari atom sehingga terbentuk pasangan ion karena sifatnya yang dapat mengionisasi bahan termasuk tubuh kita, maka radiasi pengion perlu diwaspadai adanya utamanya mengenai sumber-sumbernya, jenis-jenis, sifat-nya, akibatnya, dan bagaimana cara menghindarinya (Novertasari, 2010).

Radiasi pengion dapat dibedakan kedalam dua bentuk yaitu bentuk gelombang elektromagnetik yang terdiri dari sinar gamma dan sinar-x serta bentuk partikel berenergi tinggi seperti neutron, alfa, beta dan proton. Radiasi pengion selain memiliki efek negatif juga memiliki efek positif dalam pemanfaatannya. Wujud pemanfaatan tenaga nuklir dan radioaktif dari radiasi pengion dalam tindakan medis yaitu sinar-x oleh Rontgen, CT scan (*Computed Tomography Scan*) (Kurnia, 1997).

Seluruh bentuk radiasi pengion memapari manusia dengan cara memancarkan energi yang dapat melepaskan elektron dari molekul atau atom pada sel manusia sehingga terjadinya ionisasi yang dapat

menimbulkan kerusakan secara sementara atau permanen pada sel yang terkena radiasi tersebut (Kurnia, 1997).

Ada dua teori yang menyatakan tentang pengaruh radiasi pengion terhadap sistem biologik manusia. Pertama adalah teori target yang menyatakan bahwa energi radiasi langsung menyerang molekul dalam sel dengan cara 1 kali pancaran terhadap 1 sel (*Cell hit single target*), 1 atau beberapa kali pancaran terhadap sejumlah sel atau satu sel. Bagaimanapun yang menjadi sasaran utama pada sel adalah DNA (*Dioxyribo Nucleic Acid*). Sedangkan teori kedua adalah energi radiasi terlebih dahulu membentuk radikal bebas berrantai yang akhirnya dapat merusak komponen penting membran sel, asam nukleat dan yang paling penting adalah sistem enzim, dengan cara ini radiasi dapat menghambat proses biokimia yang dapat menyebabkan kerusakan, dan bahkan kematian sel (Kurnia, 1997).

Sedangkan radiasi non pengion didefinisikan sebagai penyebaran atau emisi energi yang bila melalui suatu media dan terjadi proses penyerapan, berkas energi radiasi tersebut tidak akan mampu menginduksi terjadinya proses ionisasi dalam media yang bersangkutan (Anies, 2007). Istilah radiasi non religion secara fisika mengacu pada radiasi elektromagnetik dengan energi lebih kecil dari 10 e V. Termasuk radiasi non pengion yaitu gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak dan ultraviolet (Alatas, 2001).

Berdasarkan panjang gelombang yang berhubungan dengan frekuensi dan energi foton, maka radiasi non pengion dibagi menjadi dua kelompok yaitu radiasi optik dengan panjang gelombang antara 100 nm sampai 1 mm dan radiasi elektromagnetik radio frekuensi antara 1 mm sampai dengan > 100 km. Pemanfaatan sumber radiasi non pengion dalam kehidupan manusia seperti laser, radar, oven microwave, jaringan listrik, ultrasound dan termasuk yang sedang mewabah saat ini yaitu penggunaan telepon genggam. Meskipun pada kenyataannya yang memberikan risiko terbesar terhadap kesehatan adalah sumber radiasi non pengion alam yaitu sinar ultra violet matahari (Alatas, 2001).

Meningkatnya perkembangan teknologi yang memanfaatkan radiasi baik pengion dan radiasi non pengion dalam kehidupan sehari-hari

memberikan efek yang sangat vital dalam kesehatan manusia akibat pajanan radiasi tersebut (Alatas, 2001).

Menurut Malform faktor yang menyebabkan timbulnya kerusakan patologis akibat radiasi pengion pada sistem biologik manusia adalah besar dosis, lama atau tidaknya terpapar radiasi serta tingkat radiosensitif sel atau jaringan. Efek patologis yang bergantung pada dosis dengan batasan tertentu atau dosis ambang disebut efek deterministik, contohnya erytema pada kulit. Sedangkan pengaruh patologis yang timbul akibat dari adanya paparan radiasi disebut efek stokastik yang bergantung pada probabilitas tertentu yang tidak mengenal dosis ambang dan makin besar dosis yang diterima makin besar kemungkinan efek tersebut muncul. Efek ini biasanya muncul akibat kerusakan DNA yang tidak dapat diperbaiki, contohnya kanker yang diinduksi oleh radiasi (Malform, 1994).

Pengaruh radiasi baik pengion dan non pengion terhadap kesehatan telah di teliti oleh para ahli. Salah satu hasil penelitian pengaruh radiasi pengion fluoroskopi terhadap rambut dan kulit oleh Stephen Balter., dkk tahun 2008 diketahui bahwa efek radiasi yang diberikan untuk terapi pada pasien stroke akut yaitu rambut menjadi rontok, sedangkan pemanfaatan radiasi pengion untuk pasien diabetes mellitus yaitu kulit menjadi atropi dan mengalami indurasi tergantung lama paparan radiasi. Semakin lama paparan pasien terhadap radiasi pengion maka efek yang ditimbulkan akan semakin permanen (Balter, 2010). Hasil penelitian radiasi non pengion terhadap kesehatan juga telah diteliti oleh Ratna Idayati tentang Pengaruh Radiasi Handphone terhadap Kesehatan bahwa ponsel yang kita gunakan sehari-hari ternyata memiliki radiasi yang cukup mematikan dalam jangka panjang jika kita tidak berhati-hati dalam menggunakannya. Pengaruh radiasi radio yang dipancarkan dari ponsel ternyata berpengaruh terhadap kesehatan terutama pada sistem reproduksi (Idayati, 2011).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik untuk membahas Pengaruh Ionik dan Non Ionik Radiasi terhadap Kesehatan.

## **Sejarah Radiasi**

Pada akhir tahun 1895, Roentgen (Wilhelm Conrad Roentgen, Jerman, 1845-1923), seorang profesor fisika dan rektor Universitas

Wuerzburg di Jerman dengan sungguh-sungguh melakukan penelitian tabung sinar katoda. Ia membungkus tabung dengan suatu kertas hitam agar tidak terjadi kebocoran foto luminesensi dari dalam tabung ke luar. Kemudian Roentgen membuat ruang penelitian menjadi gelap. Pada saat membangkitkan sinar katoda, ia mengamati sesuatu yang diluar dugaan. Pelat foto luminesensi yang ada di atas meja mulai berpendar di dalam kegelapan. Walaupun dijauhkan dari tabung, pelat tersebut tetap berpendar dan saat dicoba untuk dijauhkan sampai dengan jarak 1 meter dari tabung, pelat tersebut masih tetap berpendar (Deni, 2009).

Roentgen berpikir pasti ada jenis radiasi baru yang belum diketahui dan terjadi dalam tabung sinar katoda dan membuat pelat foto luminesensi berpendar. Radiasi ini disebut dengan sinar-x yang merupakan jenis radiasi yang belum diketahui sebelumnya (Deni, 2009).

Pada tahun 1895 Roentgen melakukan penelitian mandiri terhadap sinar-x dan meneliti sifat-sifatnya. Pada tahun tersebut Roentgen mempublikasikan hasil penelitiannya, bahwa sinar-x memiliki sifat-sifat sebagai berikut menurut (Deni, 2009):

- a. Sinar-x dipancarkan dari tempat yang paling kuat tersinari oleh sinar katoda.
- b. Intensitas cahaya yang dihasilkan pelat fotoluminesensi, berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara titik terjadinya sinar-x dengan pelat foto luminesensi. Meskipun pelat dijauhkan dengan jarak sekitar 2 meter, cahaya masih dapat terdeteksi.
- c. Sinar-x dapat menembus buku 1000 halaman tetapi hampir seluruhnya terserap oleh timbal setebal 1,5 mm.
- d. Pelat fotografi sensitif terhadap sinar-x.
- e. Ketika tangan terpapar sinar-x di atas pelat fotografi, maka akan tergambar foto tulang tersebut pada pelat fotografi.
- f. Luaran sinar-x tidak dibelokkan oleh medan magnet (daya tembus dan lintasan yang tidak terbelokkan oleh medan magnet merupakan sifat yang membuat sinar-x berbeda dengan sinar katoda).

Laporan pertama Roentgen mengenai sinar-x dimuat pada halaman 132-141 laporan Asosiasi Fisika Medik Wuerzburg tahun 1895. Diawali tahun 1896 reprint laporan Roentgen dikirimkan kepada

ilmuan-ilmuan terkenal. Karena tidak dibelokkan oleh medan magnet, maka orang tahu bahwa sinar-x berbeda dengan sinar katoda (Deni, 2009).

Pada saat itu belum ditemukan fenomena interferensi dan difraksi. Oleh karena itu, muncullah persaingan antara teori partikel dengan teori gelombang untuk menjelaskan esensi/ substansi sinar-x. Teori partikel dikemukakan oleh W. H. Bragg. Teori gelombang ditemukan oleh Stokes dan C.G Barkla. Sejak saat itu teori gelombang didukung oleh banyak orang. Pada tahun 1912, fenomena difraksi sinar-x oleh kristal ditemukan oleh Max Von Laue dan kemudian dapat dipastikan bahwa sinar-x adalah gelombang elektromagnetik. Tahun 1922 Compton menemukan efek Compton berdasarkan penelitian hamburan Compton, berdasarkan penelitian sinar-x, sehingga ia dapat memastikan bahwa gelombang elektromagnetik memiliki sifat dualisme gelombang dan materi (partikel) (Deni, 2009).

Selain penemuan sinar-x, juga ditemukan radiasi sinar alfa, beta dan gamma. Sekitar tahun 1898, Rutherford menemukan bahwa sedikitnya ada 2 jenis radiasi yang berbeda yang dipancarkan dari materi radioaktif alam seperti uranium dan thorium. Radiasi yang memiliki daya tembus kecil disebut radiasi alfa dan yang daya tembusnya lebih kuat disebut radiasi beta. Selain itu, terdapat radiasi yang daya tembusnya besar melebihi radiasi beta yang kemudian diberi nama radiasi gamma (Batan, 2016).

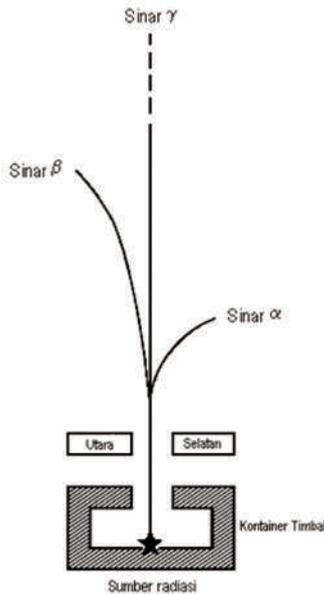
Thomson (Joseph John Thomson) melakukan penelitian sinar katoda di pusat penelitian Cavendish di Universitas Cambridge dan menemukan elektron yang merupakan salah satu pembentuk struktur dasar materi. Pada tahun 1895 datanglah Ernest Rutherford, seorang kelahiran Selandia Baru yang bermigrasi ke Inggris untuk bekerja di bawah bimbingan J.J Thomson. Pada mulanya Rutherford tertarik kepada efek radioaktivitas dan sinar-x terhadap konduktivitas listrik udara. Partikel (radiasi) berenergi tinggi yang dipancarkan oleh bahan radioaktif menumbuk dan melepaskan elektron dari atom yang ada di udara, dan inilah yang menghantarkan arus listrik. Setelah mengadakan penelitian bersama J.J Thomson, pada tahun 1898 Rutherford menunjukkan bahwa sinar-x dan radiasi yang dipancarkan

oleh materi radioaktif pada dasarnya bertingkah laku sama (Batan, 2016).

Selain itu, berdasarkan pengukuran serapan materi terhadap radiasi yang dipancarkan oleh materi radioaktif seperti uranium atau thorium, ia menyatakan paling sedikit ada 2 jenis radiasi yang dipancarkan. Satu memiliki daya ionisasi yang sangat besar karena itu mudah diserap oleh materi, dapat dihentikan oleh kertas tipis, yang satu lagi memiliki daya ionisasi yang lebih kecil dan daya tembus yang besar (Batan, 2016).

Nama radiasi yang ditemukan menggunakan huruf pertama abjad Yunani yang disebut radiasi alfa dan yang kedua radiasi beta. Selain itu, juga diketahui adanya radiasi yang memiliki daya tembus lebih besar dari pada beta yang disebut radiasi gamma (Batan, 2016).

Secara garis besar radiasi alfa, beta dan gamma ditunjukkan pada gambar di bawah ini menurut (Batan, 2016):



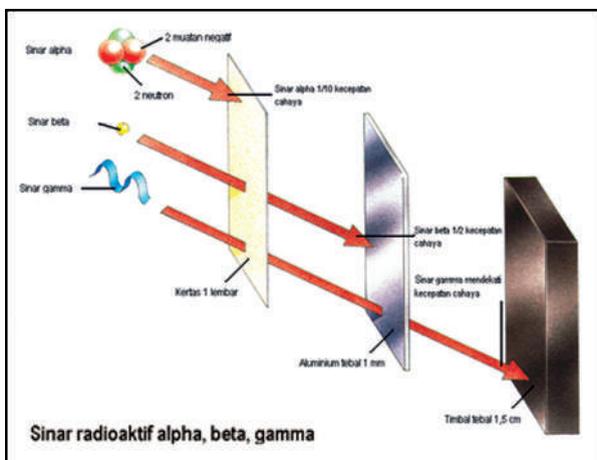
Gambar 9.1.

Keterangan:

- Sinar alpha merupakan inti helium bermuatan  $+2e$ , mempunyai massa 4 sma (satuan massa atom), dipengaruhi medan magnet.
- Sinar beta mempunyai muatan  $-e$ , massa 0,0005 sma, dipengaruhi medan magnet.
- Sinar gamma tidak dipengaruhi oleh medan magnet, hampir tidak mempunyai massa dan muatan.

Sumber: <http://ext-atm.jst.go.jp/images/16/16-01-01-03/01.gif>

Menurut (Batan, 2016), Radiasi alfa dapat ditahan dengan selembar kertas, radiasi beta dengan 1 mm aluminium, dan radiasi gamma dengan 1,5 cm timbal. Seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 9.2. Sumber: <http://ext-atm.jst.go.jp/images/16/16-01-01-03/01.gif>

## Definisi Radiasi

Radiasi adalah pancaran energi melalui suatu ruang atau materi yang dapat berbentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik atau cahaya foton dari sumber radiasi (Batan, 2011). Radiasi merupakan salah satu aspek dari pencemaran fisik yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Mukono, 2011).

## Jenis Radiasi

Menurut Amalia., dkk (2014), Adapun jenis-jenis radiasi dalam kehidupan sehari-hari dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

### 1. Radiasi Pengion (Ionik)

Radiasi pengion adalah jenis radiasi yang dapat menyebabkan proses ionisasi (terbentuknya ion positif dan ion negatif) apabila berinteraksi dengan materi. Yang termasuk dalam jenis radiasi pengion adalah partikel alpha, partikel beta, sinar gamma, sinar-X dan neutron. Setiap jenis radiasi memiliki karakteristik khusus. Yang termasuk radiasi pengion adalah partikel alfa ( $\alpha$ ), partikel beta ( $\beta$ ), sinar gamma ( $\gamma$ ), sinar-X, partikel neutron.

### 2. Radiasi Non Pengion (Non Ionik)

Radiasi non-pengion adalah jenis radiasi yang tidak akan menyebabkan efek ionisasi apabila berinteraksi dengan materi. Radiasi non-pengion tersebut berada di sekeliling kehidupan kita. Termasuk dalam jenis radiasi non-pengion antara lain adalah gelombang radio (yang membawa informasi dan hiburan melalui radio dan televisi); gelombang mikro (yang digunakan dalam microwave oven dan transmisi seluler handphone); sinar inframerah (yang memberikan energi dalam bentuk panas); cahaya tampak (yang bisa kita lihat); sinar ultraviolet (yang dipancarkan matahari).

## Interaksi Radiasi dengan Materi Biologik

Tubuh terdiri dari berbagai macam organ seperti hati, ginjal, paru dan lainnya. Setiap organ tubuh tersusun atas jaringan yang merupakan kumpulan sel yang mempunyai fungsi dan struktur yang sama. Sel sebagai unit fungsional terkecil dari tubuh dapat menjalankan fungsi hidup secara lengkap dan sempurna seperti pembelahan, pernafasan, pertumbuhan dan lainnya. Sel terdiri dari dua komponen utama, yaitu sitoplasma dan inti sel (nukleus). Sitoplasma mengandung sejumlah organel sel yang berfungsi mengatur berbagai fungsi metabolisme penting sel. Inti sel mengandung struktur biologi yang sangat kompleks yang disebut kromosom yang mempunyai peranan penting sebagai tempat penyimpanan semua informasi genetika yang berhubungan dengan keturunan atau karakteristik dasar manusia. Kromosom manusia yang berjumlah 23 pasang mengandung ribuan gen yang merupakan suatu rantai pendek dari DNA (*Deoxyribonucleic acid*) yang membawa suatu kode informasi tertentu dan spesifik (Novertasari, 2010).

Interaksi antara radiasi dengan sel hidup merupakan proses yang berlangsung secara bertahap. Proses ini diawali dengan tahap fisik dan diakhiri dengan tahap biologik. Ada empat tahapan interaksi menurut Novertasari (2010), yaitu:

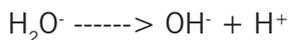
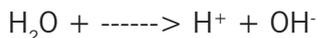
a. *Tahap Fisik*

Tahap Fisik berupa absorpsi energi radiasi pengion yang menyebabkan terjadinya eksitasi dan ionisasi pada molekul atau atom penyusun bahan biologi. Proses ini berlangsung sangat singkat dalam orde 10<sup>-16</sup> detik. Karena sel sebagian besar (70%) tersusun atas air, maka ionisasi awal yang terjadi di dalam sel adalah terurainya molekul air menjadi ion positif H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> dan e<sup>-</sup> sebagai ion negatif. Proses ionisasi ini dapat ditulis dengan:

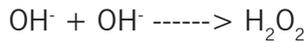


b. *Tahap Fisikokimia*

Tahap fisikokimia dimana atom atau molekul yang tereksitasi atau terionisasi mengalami reaksi-reaksi sehingga terbentuk radikal bebas yang tidak stabil. Tahap ini berlangsung dalam orde 10<sup>-6</sup> detik. Karena sebagian besar tubuh manusia tersusun atas air, maka peranan air sangat besar dalam menentukan hasil akhir dalam tahap fisikokimia ini. Efek langsung radiasi pada molekul atau atom penyusun tubuh selain air hanya memberikan sumbangan yang kecil bagi akibat biologi akhir dibandingkan dengan efek tak langsungnya melalui media air tersebut. Ion-ion yang terbentuk pada tahap pertama interaksi akan beraksi dengan molekul air lainnya sehingga menghasilkan beberapa macam produk, diantaranya radikal bebas yang sangat reaktif dan toksik melalui radiolisis air, yaitu OH<sup>-</sup> dan H<sup>+</sup>. Reaksi kimia yang terjadi dalam tahap kedua interaksi ini adalah:



Radikal bebas  $\text{OH}^\cdot$  dapat membentuk peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) yang bersifat oksidator kuat melalui reaksi berikut :



### c. Tahap Kimia dan Biologi

Tahap kimia dan biologi yang berlangsung dalam beberapa detik dan ditandai dengan terjadinya reaksi antara radikal bebas dan peroksida dengan molekul organik sel serta inti sel yang terdiri atas kromosom. Reaksi ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan-kerusakan terhadap molekul-molekul dalam sel. Jenis kerusakannya bergantung pada jenis molekul yang bereaksi. Jika reaksi itu terjadi dengan molekul protein, ikatan rantai panjang molekul akan putus sehingga protein rusak. Molekul yang putus ini menjadi terbuka dan dapat melakukan reaksi lainnya. Radikal bebas dan peroksida juga dapat merusak struktur biokimia molekul enzim sehingga fungsi enzim terganggu. Kromosom dan molekul DNA di dalamnya juga dapat dipengaruhi oleh radikal bebas dan peroksida sehingga terjadi mutasi genetik.

### d. Tahap Biologis

Tahap biologis yang ditandai dengan terjadinya tanggapan biologis yang bervariasi bergantung pada molekul penting mana yang bereaksi dengan radikal bebas dan peroksida yang terjadi pada tahap ketiga. Proses ini berlangsung dalam orde beberapa puluh menit hingga beberapa puluh tahun, bergantung pada tingkat kerusakan sel yang terjadi. Beberapa akibat dapat muncul karena kerusakan sel, seperti kematian sel secara langsung, pembelahan sel terhambat atau tertunda serta terjadinya perubahan permanen pada sel anak setelah sel induknya membelah. Kerusakan yang terjadi dapat meluas dari skala seluler ke jaringan, organ dan dapat pula menyebabkan kematian.

## **Konsep Radiasi Pengion**

### **Definisi Radiasi Pengion**

Radiasi ionisasi adalah radiasi yang memiliki energi cukup untuk mengionisasi partikel. Secara umum, hal ini melibatkan sebuah elektron yang terlempar dari cangkang atom elektron yang akan

memberikan muatan positif. Radiasi ionisasi sering mengganggu sistem biologi dan dapat menyebabkan mutasi dan kanker. Contoh: radiasi yang ditimbulkan oleh penggunaan senjata nuklir, reaktor nuklir, dan zat radioaktif (Mukono, 2011).

Ionisasi bisa terjadi pada saat radiasi berinteraksi dengan atom materi yang dilewatinya. Radiasi yang dapat menyebabkan terjadinya ionisasi disebut radiasi pengion. Termasuk dalam katagori radiasi pengion ini adalah partikel alpha, partikel beta, sinar gamma, sinar-X dan neutron. Pada saat menembus materi, radiasi pengion dapat menumbuk elektron orbit sehingga elektron terlepas dari atom. Akibatnya timbul pasangan ion positif dan ion negatif.

Menurut sifat kejadiannya, ionisasi dikelompokkan ke dalam ionisasi-langsung dan ionisasi tak-langsung. Ionisasi-langsung terjadi jika radiasi menyebabkan ionisasi pada saat itu juga ketika berinteraksi dengan atom materi, dan proses ini bisa disebabkan oleh partikel bermuatan listrik seperti alpha dan beta. Berbeda dengan yang terjadi pada interaksi partikel bermuatan, interaksi radiasi yang berupa gelombang elektromagnetik (sinar gamma atau sinar-X) ataupun partikel yang tidak bermuatan listrik (neutron) tidak secara langsung menimbulkan ionisasi. Partikel yang dihasilkan dalam interaksi yang pertama ini kemudian menyebabkan terjadinya ionisasi. Proses seperti ini dikenal sebagai ionisasi-tak-langsung.

### **Jenis Sinar Radiasi Pengion**

Menurut Noverasari (2010), Ernest Rutherford menemukan tiga jenis sinar radiasi ionik yaitu alfa, beta dan sinar gamma. Ketiga radiasi tersebut ditemukannya melalui percobaan sederhana. Rutherford menggunakan sumber radioaktif dan menemukan bahwa sinar mengenai tiga daerah yang berbeda. Salah satu dari sinar tersebut menjadi positif, satu yang lain bersifat netral dan salah satu lainnya menjadi negatif.

#### **a. Radiasi Pengion Tipe Alfa**

Radiasi pengion tipe alfa ( $\alpha$ ) yaitu radiasi atom yang mempunyai masa partikel sekitar empat kali massa partikel hidrogen. Sinar alfa merupakan inti atom helium bermuatan positif yang dipengaruhi medan magnet dengan lambang  $\alpha$  atau  ${}^2\text{He}^4$ . Jika sinar alfa

mengenai suatu materi, maka akan memberikan sebagian energinya elektron terluar materi itu sehingga dapat tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sinar alfa merupakan partikel inti helium bermuatan  $2e$ , bermassa  $4sma$ .

b. *Radiasi Pengion Tipe Beta ( $\beta$ )*

Becquerel menyatakan bahwa sebagian radiasi yang dipancarkan uranium (oleh Rutherford disebut radiasi b) dibelokkan oleh medan magnet dan arahnya sama dengan sinar katoda (1899). Rutherford dan F. Gissel yang bekerja secara terpisah juga menemukan hal yang sama. Becquerel menggunakan cara yang sama dengan yang dilakukan Thomson mengukur rasio massa dengan muatan listrik radiasi b. Ia menemukan bahwa nilai rasionya mendekati nilai untuk elektron yang diukur Thomson. Dengan demikian jelaslah bahwa radiasi b adalah elektron yang bermuatan listrik negatif. Hanya saja kecepatannya lebih besar daripada kecepatan sinar katoda.

c. *Radiasi Pengion Tipe Gamma ( $\gamma$ )*

Radiasi  $\gamma$  memiliki daya tembus besar dan tidak dibelokkan oleh medan magnet. Radiasi ini diamati oleh Paul Ulrich Villard dari Perancis pada tahun 1900. Rutherford menyebut radiasi ini radiasi  $\gamma$  (1903). Rutherford berpendapat bahwa radiasi  $\gamma$  adalah cahaya dengan panjang gelombang pendek seperti sinar-X. Hal ini terbukti setelah dilakukan pengukuran panjang gelombang radiasi  $\gamma$  melalui pengamatan hamburan sinar  $\gamma$  oleh kristal (tahun 1914, Rutherford dan E.N. Da Costa A.).

### **Konsep Radiasi Non Pengion (Non Ionik)**

Radiasi non-pengion adalah jenis radiasi yang tidak akan menyebabkan efek ionisasi apabila berinteraksi dengan materi. Radiasi non-pengion tersebut berada di sekeliling kehidupan kita. Yang termasuk dalam jenis radiasi non-pengion antara lain adalah gelombang radio (yang membawa informasi dan hiburan melalui radio dan televisi); gelombang mikro (yang digunakan dalam microwave oven dan transmisi seluler handphone); sinar inframerah (yang memberikan energi dalam bentuk panas); cahaya tampak (yang bisa kita lihat); sinar ultraviolet (yang dipancarkan matahari) (Amalia, 2014).

## **Efek yang Ditimbulkan Akibat Ionizing Radiasi**

Bila radiasi mengenai tubuh manusia kemungkinan yang dapat terjadi adalah radiasi akan berinteraksi dengan tubuh manusia atau radiasi hanya melewati saja. Semua energi radiasi yang terserap di jaringan biologis akan muncul sebagai panas karena adanya peningkatan vibrasi (getaran) atom dan struktur molekul. Ini merupakan awal dari perubahan kimiawi yang kemudian dapat mengakibatkan efek biologis yang merugikan (Amalia, 2014).

Setiap organ tubuh umumnya tersusun dari jaringan yang merupakan kumpulan dari sejumlah sel yang mempunyai fungsi dan struktur yang sama. Sel mempunyai inti sel. Sel terdiri dari 80% air dan 20% senyawa biologis kompleks. Jika radiasi menembus jaringan, maka dapat mengakibatkan terjadinya ionisasi dan menghasilkan radikal bebas, misalnya radikal bebas hidroksil (OH), yang terdiri dari atom oksigen dan atom hidrogen. Secara kimia, radikal bebas sangat reaktif dan dapat mengubah molekul-molekul penting dalam sel (Amalia, 2014).

Interaksi radiasi dengan materi biologi diawali dengan terjadinya interaksi fisik yaitu terjadinya proses eksitasi dan/ atau ionisasi, yang terjadi dalam waktu 10-15 detik setelah paparan radiasi. Reaksi ini dalam waktu 10-10 detik segera yang diikuti dengan interaksi fisikokimia yang menghasilkan pembentukan ion radikal. Selanjutnya terjadi reaksi kimia dengan menghasilkan radikal bebas dalam waktu 10-5 detik. Radikal bebas menginduksi terjadinya reaksi biokimia yang menimbulkan kerusakan khususnya pada DNA. Rangkaian proses ini diakhiri dengan terjadinya respon biologi yang dalam waktu harian sampai tahunan akan menimbulkan efek biologi.

Ada dua cara bagaimana radiasi dapat mengakibatkan kerusakan pada sel. Cara pertama adalah radiasi dapat mengionisasi langsung molekul DNA sehingga terjadi perubahan kimiawi pada DNA. Cara kedua adalah perubahan kimiawi pada DNA terjadi secara tidak langsung, yaitu jika DNA berinteraksi dengan radikal bebas hidroksil. Terjadinya perubahan kimiawi pada DNA tersebut, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat menyebabkan efek biologis yang merugikan, misalnya timbulnya kanker maupun kelainan genetik.

Pada radiasi dengan dosis rendah menginfeksi sel, maka kemungkinan sel dapat memulihkan dirinya sendiri dengan sangat cepat. Namun bila dosis lebih tinggi menginfeksi sel ada kemungkinan sel tidak dapat memulihkan dirinya sendiri, sehingga sel akan mengalami kerusakan permanen atau mati. Sel yang mati relatif tidak berbahaya karena akan diganti dengan sel baru. Sel yang mengalami kerusakan permanen dapat menghasilkan sel yang abnormal ketika sel yang rusak tersebut membelah diri. Sel yang abnormal inilah yang akan meningkatkan risiko terjadinya kanker pada manusia akibat radiasi. Hal ini menunjukkan bahwa "Efek radiasi terhadap tubuh manusia bergantung padaseberapa banyak dosis yang diberikan".

Pada tubuh manusia, secara umum terdapat dua jenis sel yaitu sel genetik dan sel somatik. Sel genetik adalah sel oogonium (calon sel telur) pada perempuan dan sel spermatogonium (calon sel sperma) pada laki-laki. Sedangkan sel somatik adalah sel-sel lainnya yang ada dalam tubuh. Radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop akan memberikan dampak pada sel yaitu (Amalia, 2014):

- a. Efek radiasi langsung (efek Somatik) yaitu efek yang dirasakan langsung oleh pasien yang menerima radiasi, contoh: kanker, kemandulan, katarak, dan lain-lain.
- b. Efek genetik yaitu efek radiasi yang diterima oleh individu akan diwariskan kepada keturunannya. Contoh: penyakit keturunan.
- c. Efek teratogenik yaitu efek pada embrio. Contoh: kemunduran mental.
- d. Efek stokastik yaitu efek yang ke boleh jadiannya timbul akibat fungsi dosis radiasi dan tidak mengenal dosis ambang. Contoh: kanker, efek genetik.
- e. Efek deterministik yaitu efek yang tingkat keparahannya bervariasi menurut dosis dan hanya timbul bila telah melewati dosis ambang. Efek deterministik bisa juga terjadi dalam jangka waktu yang agak lama setelah terkena radiasi, dan umumnya tidak berakibat fatal. Contoh: kemandulan, penurunan IQ, sindrom radiasi akut, dan lain-lain.

Waktu yang dibutuhkan sampai terlihatnya gejala efek somatik sangat bervariasi sehingga dapat dibedakan atas efek segera dan efek tertunda. Efek segera adalah kerusakan yang secara klinik sudah dapat

teramati pada individu terpapar dalam waktu singkat (harian sampai mingguan) setelah pemaparan, seperti epilasi (rontoknya rambut), eritema (memerahnya kulit), luka bakar dan penurunan jumlah sel darah. Sedangkan efek tertunda merupakan efek radiasi yang baru timbul setelah waktu yang lama (bulanan- tahunan) setelah terkena paparan radiasi, seperti katarak dan kanker.

Pengaruh radiasi terhadap organ tubuh manusia antara lain adalah sebagai berikut (Balther, 2010):

a. *Organ Kulit*

Efek deterministik pada kulit bergantung pada besarnya dosis. Paparan radiasi sekitar 2-3 Gy dapat menimbulkan efek kemerahan (eritema). Pada kulit saat dosis sekitar 3-8 Gy menyebabkan terjadinya kerontokan rambut (epilasi) dan pengelupasan kulit (deskuamasi kering) dalam waktu 3-6 minggu setelah paparan radiasi. Pada dosis yang lebih tinggi, sekitar 12-20 Gy, akan mengakibatkan terjadinya pengelupasan kulit disertai dengan pelepasan dan berranah (blister) serta peradangan akibat infeksi pada lapisan dalam kulit (dermis) sekitar 4-6 minggu kemudian. Kematian jaringan (nekrosis) timbul dalam waktu 10 minggu setelah paparan radiasi dengan dosis lebih besar dari 20 Gy, sebagai akibat dari kerusakan yang parah pada kulit dan pembuluh darah. Bila dosis yang diterima mencapai 50 Gy, nekrosis akan terjadi dalam waktu yang lebih singkat yaitu sekitar 3 minggu.

Efek stokastik pada kulit adalah kanker kulit. Keadaan ini, berdasarkan studi epidemiologi, banyak dijumpai pada para penambang uranium yang menderita kanker kulit di daerah muka akibat paparan radiasi dari debu uranium yang menempel pada muka.

b. *Mata*

Mata terkena paparan radiasi baik akibat dari radiasi lokal (akut atau protraksi) maupun paparan radiasi seluruh tubuh. Lensa mata adalah struktur mata yang paling sensitif terhadap radiasi. Kerusakan pada lensa diawali dengan terbentuknya titik-titik kekeruhan atau hilangnya sifat transparansi sel serabut lensa yang mulai dapat dideteksi setelah paparan radiasi sekitar 0,5 Gy. Kerusakan ini bersifat akumulatif dan dapat berkembang sampai terjadi kebutaan akibat katarak. Tidak seperti efek deterministik pada umumnya, katarak tidak akan terjadi

beberapa saat setelah paparan, tetapi setelah masa laten berkisar dari 6 bulan sampai 35 tahun, dengan rerata sekitar 3 tahun.

c. *Tiroid*

Tiroid atau kelenjar gondok berfungsi mengatur proses metabolisme tubuh melalui hormon tiroksin yang dihasilkannya. Kelenjar ini berisiko kerusakan baik akibat paparan radiasi eksterna maupun radiasi interna. Tiroid tidak terlalu peka terhadap radiasi. Meskipun demikian bila terjadi inhalasi radioaktif yodium maka akan segera terakumulasi dalam kelenjar tersebut dan mengakibatkan kerusakan. Paparan radiasi dapat menyebabkan tiroiditis akut dan hipotiroidism. Dosis ambang untuk tiroiditis akut sekitar 200 Gy.

d. *Paru*

Paru dapat terkena paparan radiasi eksterna dan interna. Efek deterministik berupa pneumonitis biasanya mulai timbul setelah beberapa minggu atau bulan. Efek utama adalah pneumonitis interstisial yang dapat diikuti dengan terjadinya fibrosis sebagai akibat dari rusaknya sel sistim vaskularisasi kapiler dan jaringan ikat yang dapat berakhir dengan kematian. Kerusakan sel yang mengakibatkan terjadinya peradangan akut paru ini biasanya terjadi pada dosis 5-15 Gy.

Perkembangan tingkat kerusakan sangat bergantung pada volume paru yang terkena radiasi dan laju dosis. Hal ini juga dapat terjadi setelah inhalasi partikel radioaktif dengan aktivitas tinggi dan waktu paro pendek. Setelah inhalasi, distribusi dosis dapat terjadi dalam periode waktu yang lebih singkat atau lebih lama, antara lain bergantung pada ukuran partikel dan bentuk kimiawinya.

Efek stokastik berupa kanker paru. Keadaan ini banyak dijumpai pada para penambang uranium. Selama melakukan aktivitasnya, para pekerja menginhalasi gas Radon-222 sebagai hasil luruh dari uranium.

e. *Organ reproduksi*

Efek deterministik pada organ reproduksi atau gonad adalah sterilitas atau kemandulan. Paparan radiasi pada testis akan mengganggu proses pembentukan sel sperma yang akhirnya akan mempengaruhi jumlah sel sperma yang akan dihasilkan. Proses pembentukan sel sperma diawali dengan pembelahan sel stem/induk dalam testis. Sel

sistem akan membelah dan berdiferensiasi sambil bermigrasi sehingga sel yang terbentuk siap untuk dikeluarkan. Dengan demikian terdapat sejumlah sel sperma dengan tingkat kematangan yang berbeda, yang berarti mempunyai tingkat radiosensitivitas yang berbeda pula. Dosis radiasi 0,15 Gy merupakan dosis ambang sterilitas sementara karena sudah mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah sel sperma selama beberapa minggu. Dosis radiasi sampai 1 Gy menyebabkan kemandulan selama beberapa bulan dan dosis 1-3 Gy kondisi steril berlangsung selama 1-2 tahun. Menurut ICRP 60, dosis ambang sterilitas permanen adalah 3,5-6 Gy.

Pengaruh radiasi pada sel telur sangat bergantung pada usia. Semakin tua usia, semakin sensitif terhadap radiasi. Selain sterilitas, radiasi dapat menyebabkan menopause dini sebagai akibat dari gangguan hormonal system reproduksi. Dosis terendah yang diketahui dapat menyebabkan sterilitas sementara adalah 0,65 Gy. Dosis ambang sterilitas menurut ICRP 60 adalah 2,5-6 Gy. Pada usia yang lebih muda (20-an), sterilitas permanen terjadi pada dosis yang lebih tinggi yaitu 12-15 Gy, tetapi pada usia 40-an dibutuhkan dosis 5-7 Gy.

Efek stokastik pada sel germinal lebih dikenal dengan efek pewarisan yang terjadi karena mutasi pada gen atau kromosom sel pembawa keturunan (sel sperma dan sel telur). Perubahan kode genetik yang terjadi akibat paparan radiasi akan diwariskan pada keturunan individu terpajan. Penelitian pada hewan dan tumbuhan menunjukkan bahwa efek yang terjadi bervariasi dari ringan hingga kehilangan fungsi atau kelainan anatomik yang parah bahkan kematian premature.

#### f. *Sistem Pembentukan Darah*

Sumsum tulang sebagai tempat pembentukan sel darah, adalah organ sasaran paparan radiasi dosis tinggi akan mengakibatkan kematian dalam waktu beberapa minggu. Hal ini disebabkan karena terjadinya penurunan secara tajam sel stem/induk pada sumsum tulang. Dosis radiasi seluruh tubuh sekitar 0,5 Gy sudah dapat menyebabkan penekanan proses pembentukan sel-sel darah sehingga jumlah sel darah akan menurun.

Komponen sel darah terdiri dari sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit) dan sel keping darah (trombosit). Sel leukosit dapat dibedakan atas sel limfosit dan netrofil. Radio sensitivitas dari

berbagai jenis sel darah ini bervariasi, sel yang paling sensitif adalah sel limfosit dan sel yang paling resisten adalah sel eritrosit.

Jumlah sel limfosit menurun dalam waktu beberapa jam pasca paparan radiasi, sedangkan jumlah granulosit dan trombosit juga menurun tetapi dalam waktu yang lebih lama, beberapa hari atau minggu. Sementara penurunan jumlah eritrosit terjadi lebih lambat, beberapa minggu kemudian. Penurunan jumlah sel limfosit absolut/total dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat keparahan yang mungkin diderita seseorang akibat paparan radiasi akut. Pada dosis yang lebih tinggi, individu terpapar umumnya mengalami kematian sebagai akibat dari infeksi karena terjadinya penurunan jumlah sel leukosit (limfosit dan granulosit) atau dari pendarahan yang tidak dapat dihentikan karena menurunnya jumlah trombosit dalam darah.

Efek stokastik pada sumsum tulang adalah leukemia dan kanker sel darah merah. Berdasarkan pengamatan pada para korban bom atom di Hiroshima dan Nagasaki, leukemia merupakan efek stokastik tertunda pertama yang terjadi setelah paparan radiasi seluruh tubuh dengan masa laten sekitar 2 tahun dan puncaknya setelah setelah 6–7 tahun.

#### *g. Sistem Pencernaan*

Bagian dari sistem ini yang paling sensitif terhadap radiasi adalah usus halus. Kerusakan pada saluran pencernaan makanan memberikan gejala mual, muntah, diare, gangguan sistem pencernaan dan penyerapan makanan. Dosis radiasi yang tinggi dapat mengakibatkan kematian karena dehidrasi akibat muntah dan diare yang parah. Efek stokastik yang timbul berupa kanker pada epitel saluran pencernaan.

#### *h. Janin*

Efek paparan radiasi pada janin dalam kandungan sangat bergantung pada kehamilan pada saat terpapar radiasi. Dosis ambang yang dapat menimbulkan efek pada janin adalah 0,05 Gy. Perkembangan janin dalam kandungan dapat dibagi atas 3 tahap. Tahap pertama yaitu preimplantasi dan implantasi yang dimulai dari proses pembuahan sampai menempelnya zigot pada dinding rahim yang terjadi sampai umur kehamilan 2 minggu. Pengaruh radiasi pada tahap ini menyebabkan kematian janin.

Tahap kedua adalah organogenesis pada masa kehamilan 2-7 minggu. Efek yang mungkin timbul berupa malformasi tubuh dan kematian neonatal. Tahap ketiga adalah tahap fetus pada usia kehamilan 8-40 minggu dengan pengaruh radiasi berupa retardasi pertumbuhan dan retardasi mental. Janin juga berisiko terhadap efek stokastik dan yang paling besar adalah risiko terjadinya leukemia pada masa anak-anak.

Kemunduran mental diduga terjadi karena salah sambung sel-sel syaraf di otak yang menyebabkan penurunan nilai IQ. Dosis ambang diperkirakan sekitar 0,1 Gy untuk usia kehamilan 8-15 minggu dan sekitar 0,4-0,6 Gy untuk usia kehamilan 16-25 minggu. Pekerja wanita yang hamil tetap dapat bekerja selama dosis radiasi yang mungkin diterimanya harus selalu dikontrol secara ketat. Komisi merekomendasikan pembatasan dosis radiasi yang diterima permukaan perut wanita hamil tidak lebih dari 1 mSv.

Efek stokastik berupa kanker tiroid. Hal ini banyak terjadi sebagai akibat paparan radiasi tindakan radioterapi (sampai 5 Gy) pada kelenjar timus bayi yang menderita pembesaran kelenjar timus akibat infeksi. Paparan radiasi pada kelenjar timus yang berada tepat di bawah kelenjar tiroid ini menyebabkan kelenjar tiroid juga terirradiasi walaupun dengan dosis yang lebih rendah. Hal ini mengakibatkan individu tersebut menderita kanker tiroid setelah dewasa.

### **Aplikasi Radiasi dalam Bidang Kedokteran dan Kesehatan**

Menurut Suyatno (2010), manusia terkena radiasi melalui radiasi pengion alami, sinar kosmik, zat radioaktif di dalam batuan bumi dan di dalam air. Kemajuan teknologi banyak menggunakan zat radioaktif seperti sinar-X dan zat radioaktif yang untuk kepentingan industri juga merupakan sumber paparan radiasi bagi manusia. Penelitian di Inggris menunjukkan bahwa radiasi terbesar mengenai manusia adalah dari sumber radiasi alami sekitar 70 %, penggunaan radiasi untuk kepentingan medis 30 % dan dari tenaga nuklir 0,1 % terhadap dosis total.

Dalam bidang kedokteran nuklir radioisotop digunakan untuk keperluan mendiagnosis maupun terapi penyakit tertentu. Radiofarmaka adalah sumber radiasi yang digunakan untuk diagnosis maupun terapi.

Radiofarmaka harus memiliki karakteristik dalam penggunaannya, baik untuk diagnostik, terapi maupun penelitian.

Pemeriksaan diagnostik dapat dilakukan secara *in vivo* (dalam tubuh) atau *in vitro* (diluar tubuh). Secara *in vivo* pasien diberi radioisotop baik secara oral (melalui mulut), suntikan atau inhalasi (pernafasan), kemudian dideteksi aktivitasnya dari luar tubuh. Pada pemeriksaan *in vivo* senyawa yang dipilih adalah senyawa yang mempunyai mekanisme pengangkutan maupun metabolisme dalam tubuh yang sesuai dengan organ yang diperiksa. Berbagai jenis radio isotop menurut Arma (2004) digunakan sebagai perunut untuk mendeteksi (diagnosis) berbagai jenis penyakit anatra lain Tecnesium (Tc-99), Talium-201 (Ti-201), Iodin 131(1-131), Natrium-24 (Na-24), Xenon-133 (xe-133) dan Ferrum (Fe-59).

Pesawat sinar-X (pesawat Rontgen) dapat digunakan sebagai alat diagnosis. Sebagai alat untuk pemeriksa pasien pesawat sinar-X perlu dapat diatur dalam menghasilkan sinar-X. Untuk itu ada tiga parameter yang harus diatur yaitu tegangan tinggi (kV), Arus (mA) dan waktu expose (S). Pada saat melakukan pencitraan pada pasien tiga parameter tersebut harus diatur, karena dalam pencitraan tiap-tiap orang berbeda. Pencitraan anak-anak beda dengan orang dewasa (Hilmy, 1995).

Sinar-X dihasilkan dari tabung sinar-X yang hampa udara, dimana didalamnya terdapat dua elemen yaitu anoda dan katoda. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai energi tinggi, sehingga dapat menembus zat padat yang dilaluinya. Sinar-X dibangkitkan dengan jalan menembaki target logam dengan elektron cepat dalam suatu tabung vacum. Perangkat radiologi yang melengkapi dalam kedokteran nuklir adalah pesawat sinar-X, pesawat cobalt, akselerator linier (Linac), dan CT- Scan (Hilmy, 1995).

Radiasi juga mempunyai manfaat untuk pengolahan limbah. Limbah mernpunyai pengaruh negatif terhadap lingkungan dan kesehatan karena limbah baik berbentuk cair, padat atau gas mengandung mikroba patogen, parasit, virus, logam berat, senyawa baracun organik atau anorganik. Namun limbah juga mempunyai pengaruh positif karena masih mengandung bahan dengan nilai nutrisi yang tinggi (N, P dan "*trace element*") yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai

makanan tambahan untuk ternak, memperbaiki kondisi tanah serta dapat dipakai kembali sebagai pupuk alam menggantikan sebagian dari peranan pupuk buatan. Proses pemakaian kembali limbah dengan aman akan menunjang pertanian berkelanjutan (Hilmy, 1995).

Manfaat radiasi untuk lingkungan dan kesehatan masyarakat terutama didasarkan kepada sifat radiasi sinar gamma dan berkas elektron yang dapat mengeliminasi (menghilangkan atau membunuh) mikroba patogen, parasit dan virus, menguraikan senyawa organik beracun, menghilangkan bau busuk sehingga dapat mengubah limbah menjadi senyawa yang berguna untuk menyelamatkan lingkungan dan memperbaiki kesehatan masyarakat. Penanggulangan limbah dengan perlakuan radiasi adalah suatu teknologi pilihan untuk lingkungan dan kesehatan masyarakat. Teknologi tersebut akan sangat bermanfaat untuk negara berkembang yang masih kekurangan sarana pengolahan limbah dan sarana pelestarian lingkungan (Hilmy, 1995).

## **Penelitian Terkait Dampak Radiasi Ion dan Non Ion Terhadap Kesehatan**

1. *Balter, et al (2010). Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A Review of Radiation Effects on Patients' Skin and Hair.*

Fluoroskopi adalah tindakan pencitraan medis yang digunakan oleh dokter untuk mengambil gambar dari organ tubuh tertentu dan untuk melihat video pergerakan berbagai bagian tubuh di layar fluoresen secara langsung. Tindakan ini menggunakan teknologi sinar-X dan bahan pewarna pembanding, yang membuat bagian tubuh menjadi tidak tembus pandang dan terlihat dengan lebih jelas. Fluoroskopi umumnya digunakan untuk mendiagnosis penyakit dan juga sebagai tindakan intervensi dalam bidang ortopedi, gastroenterologi, dan kardiovaskuler.

Fluoroskopi adalah uji pencitraan rutin yang biasanya membutuhkan waktu 45 menit – 1 jam, walaupun durasi setiap fluoroskopi dapat beragam, tergantung pada bagian tubuh yang diperiksa. Proses fluoroskopi biasanya dimulai dengan pemberian zat warna pembanding. Apabila fluoroskopi digunakan untuk pencitraan saluran pencernaan, proses ini dapat menyebabkan sedikit ketidaknyamanan karena pasien harus menelan zat

pewarna tersebut. Saat zat pewarna tersebut mengalir melalui saluran pencernaan, dokter akan mendapatkan gambar yang jelas dari kerongkongan, perut, usus kecil, dan usus besar. Zat warna pembanding juga dapat digunakan untuk pemeriksaan rektum, namun zat tersebut tidak ditelan oleh pasien, melainkan dimasukkan ke tubuh melalui tabung enema.

Fluoroskopi membutuhkan persiapan yang sederhana. Setelah pasien tiba di tempat pencitraan, ia akan diminta untuk menggunakan pakaian laboratorium. Kemudian, tindakan dilanjutkan dengan memberikan obat bius atau obat penenang. Ada beberapa aturan yang harus diikuti mengenai pemberian obat bius dan peraturan ini biasanya dikirim ke pasien beberapa hari sebelum fluoroskopi. Daftar peraturan ini harus terus ditinjau dan diikuti.

Setelah persiapan selesai dilakukan, pemindaian fluoroskopi akan dimulai. Ada dua jenis peralatan yang dapat digunakan dalam tindakan ini, yaitu sistem tetap dan alternatif berjalan. Sistem tetap digunakan dalam laboratorium pencitraan yang tetap, sedangkan unit fluoroskopi C-arm berjalan memberikan fleksibilitas dalam lokasi pelaksanaan fluoroskopi.

Tindakan fluoroskopi pada dasarnya menggunakan sinar-X, yang menghasilkan gambar dari lapisan tubuh saat melewati tubuh dengan kecepatan maksimum 25-30 frame setiap detiknya, sehingga video dari tubuh dapat dibuat. Hasil dari fluoroskopi akan diproses dengan peralatan khusus yang membantu memperjelas dan mencerahkan gambar sebelum gambar tersebut dipindahkan ke layar fluoresen. Model peralatan yang lebih baru dapat menghasilkan gambar digital.

Prosedur fluoroskopi menggunakan sinyal x-ray dengan voltase antara 50-125 kVp dan dengan filtrasi tembaga dari ukuran paling minimum yang diijinkan sampai 1 mm. dosis untuk kulit adalah kurang dari 1 mGym/min. Terapi radiasi dengan sinyal 250 kVp (terapi radiasi orthovoltase) dapat berdampak pada kulit.

Reaksi radiasi kulit berkisar dari ringan sampai berat. Kerusakan dapat terjadi pada epidermis, dermis, dan jaringan subkutan. Meskipun sering disebut sebagai luka pada kulit, cedera radiasi

berat juga dapat mengenai lemak subkutan dan otot. Dosis radiasi, interval antara iradiasi (dosis fraksinasi), dan ukuran daerah kulit yang diradiasi semua mempengaruhi ekspresi dan keparahan dari cedera radiasi, seperti halnya berbagai faktor fisik dan faktor pasien. Waktu munculnya berbagai respon jaringan khusus tergantung pada faktor-faktor biologis intrinsik. Karena variabilitas biologis, ambang dosis dapat cukup rendah untuk pasien paling sensitif relatif untuk rata-rata pasien.

Ulasan ini telah disajikan pada konsensus, berdasarkan informasi yang tersedia, dari radiobiologi kulit dan hubungan antara dosis radiasi dan efek kulit yang diintervensi dengan fluoroscopy. Metode ini untuk menggambarkan hubungan dosis-efek menekankan variabilitas luas dalam hubungan ini. Seperti sebagian besar tindakan medis, fluoroskopi memiliki risiko yang kebanyakan disebabkan oleh radiasi. Inilah alasan mengapa tindakan ini tidak disarankan bagi wanita hamil, karena fluoroskopi memiliki efek radiasi yang dapat membahayakan janin. Sebagai peraturan, tindakan pencitraan ini hanya boleh dilakukan apabila manfaat yang diharapkan melebihi kemungkinan risikonya.

Sebisa mungkin, ahli medis akan menggunakan radiasi dalam dosis rendah untuk mengurangi risiko. Namun, dosis radiasi akan bergantung pada kondisi pasien. Dalam kasus di mana fluoroskopi digunakan untuk membantu tindakan yang membutuhkan waktu yang lama (misalnya dalam tindakan intervensi yang membutuhkan pemasangan cincin), dosis radiasi akan disesuaikan, sehingga ada kemungkinan pasien akan mendapatkan radiasi dalam dosis yang tinggi.

Risiko fluoroskopi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu deterministik dan stokhastik. Risiko ini meliputi cedera pada kulit dan jaringan, seperti luka bakar, katarak akibat radiasi, kanker. Selain radiasi, ada juga elemen lain dari tindakan ini yang bisa menyebabkan efek yang tidak diinginkan, seperti komplikasi yang terjadi akibat obat bius atau obat penenang.

Untuk mengurangi risiko dari fluoroskopi, ahli medis harus memeriksa jumlah kumulatif dari radiasi yang mengenai pasien, ukuran medan sinar-X, yang dapat dikurangi agar sinar-X hanya

akan berada dalam area target gambar dan tidak mengenai bagian tubuh di sekitarnya

Posisi pasti dari sinar-X agar sinar-X tidak harus dipancarkan lagi, filtrasi sinar-X, yang sangat penting terutama dalam tindakan yang lama, fitur last-image hold khusus untuk melihat gambar berulang kali tanpa harus terus menerus memancarkan sinar-X pada pasien.

2. *Sikarwar, Singh & Rajoo, Yamuna (2014). Effects of Radiation on Patient's Health during Imaging Diagnostics.*

Beberapa kategori yang dinilai untuk mempelajari risiko radiasi. Pertama, adalah janin. Pada janin, efek potensial kematian prenatal, malformasi organ, dan berkurangnya kecerdasan intelektual. Namun efek ini bergantung pada dosis radiasi terhadap konsepsi dan tahap perkembangan konsepsi di mana paparan terjadi. Berikut janin, juga terdapat risiko radiasi terhadap perempuan hamil, meningkatkan risiko radiasi terutama selama masa kehamilan karena pencitraan prosedur diagnostik seperti radiografi perut biasanya dilakukan selama periode awal kehamilan. Kategori lain yang dinilai adalah anak-anak. Mereka berisiko tinggi karena jaringan pediatrik lebih radiosensitif. Anak-anak juga memiliki harapan hidup lebih lama untuk mengungkapkan efek stokastik. Pasien trauma juga berisiko karena radiasi. Hal ini disebabkan diagnosis cepat yang diperlukan dan pengobatan prioritas dari cedera sangat penting untuk manajemen trauma. *Computed tomography* (CT) telah menjadi tes skrining pilihan untuk cedera, pemeriksaan CT memiliki dosis radiasi yang lebih tinggi dari foto polos. BMI adalah kriteria lain yang juga dinilai selama studi risiko radiasi. *Body Mass Index* (BMI) yang rendah pada pasien lebih berisiko pada radiasi karena ada massa jaringan yang kurang untuk melindungi organ tubuh. Berdasarkan studi lain, BMI yang tinggi sering menerima dosis lebih besar karena ketebalan daerah dicitrakan meningkat karena penetrasi yang lebih besar dibutuhkan untuk membuat gambar yang baik. Studi menunjukkan bahwa pasien perempuan lebih rentan terhadap kanker akibat radiasi. Tingkat risiko radiasi yang ekstrim lebih tinggi pada wanita yang berhubungan dengan risiko lebih tinggi terkena kanker tiroid dan risiko tinggi sensitivitas pada jaringan payudara.

3. *Frush, Donelly & Rossen (2003): Computed Tomography and Radiation Risks: What Pediatric Health Care Providers Should Know*

CT scan merupakan teknologi pemeriksaan yang memanfaatkan sinar-x untuk menghasilkan gambar tubuh dalam tiga dimensi. Peralatan CT scan dioperasikan oleh radiografer, yakni profesional kesehatan yang terlatih untuk melakukan prosedur pencitraan. CT scan digunakan untuk mendiagnosis atau memantau berbagai kondisi kesehatan, seperti dugaan apendisitis (radang usus buntu) atau kanker jenis tertentu. CT scan juga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam menjalankan suatu prosedur atau perawatan medis. Sebagai contoh, jika akan dilakukan biopsi (pengambilan sedikit sampel jaringan tubuh) pada tubuh pasien, maka CT scan dapat digunakan untuk memandu jarum biopsi ke posisi yang tepat. CT (*Computed Tomography*) scan merupakan alat diagnostik radiologi menggunakan komputer untuk melakukan rekonstruksi data dari daya serap suatu jaringan atau organ tubuh tertentu yang telah ditembus oleh sinar X sehingga terbentuk gambar. Para peneliti menegaskan, risiko kanker secara absolut tampaknya sangat kecil. Meski begitu, mereka merekomendasikan supaya dosis radiasi dari CT scan yang diberikan pada anak sebaiknya seminimum mungkin.

4. *Little (2003): Risks associated with ionizing radiation*

**Efek Deterministik**

Efek deterministik adalah yang paling relevan di radioterapi; dosis terapi jaringan normal dibatasi untuk menghindari efek ini. Efek deterministik diduga timbul dari pembunuhan kelompok besar sel dalam jaringan yang bersangkutan, menyebabkan kerusakan fungsional diorgan yang terkena. Efek deterministik umumnya timbul dalam beberapa hari (misalnya sindrom prodromal, sindrom saluran pencernaan, sistem saraf pusat sindrom) atau beberapa minggu (misalnya *haematopoietic syndrome*, sindrom paru). Namun, efek deterministik tertentu (misalnya katarak, hipotiroidisme) timbul dalam periode tahunan. Kebanyakan informasi tentang efek deterministik radiasi berasal dari (a) kelompok medis yang terkena, (b) yang selamat dari bom atom Hiroshima dan Nagasaki, (c) kecelakaan radiasi dan (d) hewan percobaan.

**Efek Stokastik**

Efek stokastik adalah efek kesehatan yang diperkirakan terjadi pada populasi yang terpapar radiasi pengion; risiko somatik mendominasi estimasi keseluruhan hal yang merugikan kesehatan. Untuk kedua efek somatik dan genetik probabilitas terjadinya mereka, tetapi tidak pada keparahan mereka, tergantung pada dosis radiasi. Dosis-respons mungkin non-linear, seperti untuk efek deterministik. Namun, berbeda dengan situasi untuk efek deterministik, untuk sebagian besar efek stokastik secara umum diterima bahwa secukupnya dosis rendah ada non-zero komponen linear dengan dosis-respons yaitu tidak ada batas. Ada sedikit bukti, epidemiological atau biological, untuk ambang batas untuk efek stokastik.

**Efek Genetik yang Diturunkan**

Risiko genetik yang diwariskan berhubungan dengan paparan radiasi diperkirakan langsung dari studi hewan dalam kombinasi dengan data pada kejadian dasar penyakit di populasi manusia. Tidak ada data manusia dapat digunakan pada radiasi yang menyebabkan mutasi sel germinal, apalagi disebabkan penyakit genetik, dan hasil yang terbesar dan paling komprehensif pada studi epidemiologi manusia.

**Efek Somatik (Kanker)**

Sebagian besar informasi pada risiko kanker karena radiasi berasal dari para korban bom atom Jepang, populasi medis yang terkena dan pekerja yang terekspos radiasi.

5. *Panganiban, Snow & Day (2013): Mechanisms of Radiation Toxicity in Transformed and Non-Transformed Cells.*

Radiasi merusak sistem biologis yang ditentukan oleh jenis radiasi, total dosis paparan, laju dosis, dan bagian tubuh yang terpapar. Tiga jenis kematian sel (nekrosis, apoptosis, dan *autophagy*), serta dipercepat penuaan telah dibuktikan terjadi *in vitro* dan *in vivo* dalam merespon radiasi di sel kanker serta sel normal. Dasar untuk seleksi selular untuk setiap jenis kematian sel tergantung pada berbagai faktor termasuk jenis sel tertentu yang terlibat, dosis radiasi yang diserap oleh sel, dan apakah itu berkembang biak dan/atau diubah. Di sini kita meninjau mekanisme sinyal diaktifkan

oleh radiasi untuk induksi toksisitas di ditransformasikan dan sel-sel normal. Memahami mekanisme molekuler toksisitas radiasi sangat penting untuk pengembangan penanggulangan radiasi serta untuk peningkatan radiasi klinis dalam pengobatan kanker.

Radiasi pengion (IR) menghasilkan kerusakan langsung dan tidak langsung ke dalam molekul biologis. Dalam radiasi transfer energi linier (LET) yang tinggi, seperti neutron dan partikel alpha, sebagian besar sel mengalami kerusakan dari ionisasi langsung makromolekul seluler termasuk DNA, RNA, lipid, dan protein.

Radiasi yang diinduksi dari toksisitas dalam sel mamalia melibatkan berbagai bentuk kematian sel termasuk apoptosis, nekrosis, dan autophagy, serta percepatan penuaan. Peristiwa sinyal kompleks diinduksi dalam jenis ini adalah kematian sel dan respon seluler mungkin tergantung pada paparan radiasi serta aspek seluler. Mekanisme yang tepat untuk temuan biologis jenis tertentu adalah kematian sel. Selain itu, mekanisme dimana radiasi menginduksi kematian sel langsung dipengaruhi oleh radiasi yang mungkin berbeda dari mekanisme dimana sel-sel mengalami kematian sel. Pengetahuan tentang mekanisme kerusakan akibat radiasi dalam konteks kematian sel dapat memberikan wawasan ke dalam pengembangan penanggulangan terapi yang lebih efektif dan intervensi untuk mitigasi radiasi terkait patologi.

6. *Yoshinaga, Mabuchi, Sigurdson, Doody & Ron (2004). Cancer Risks among Radiologists and Radiologic Technologists: Review of Epidemiologic Studies.*

Studi kohort ini mewakili sumber informasi yang diperoleh dari sejumlah besar orang yang bekerja lebih dari beberapa dekade pada radiologi yang modern dan perlindungan radiologis yang berkembang.

*Standardized Mortality Ratio (SMR)* dan *Standardized Incidence Ratio (SIR)*, umumnya digunakan dalam studi kerja, yaitu adalah rasio jumlah kematian atau kasus insiden, masing-masing, diamati di populasi studi dibagi jumlah populasi yang diharapkan mempunyai struktur yang sama seperti yang dilakukan pada populasi standar. SMR dan SIR tidak ideal menghitung risiko karena populasi yang sedang dipelajari, terutama penduduk yang bekerja, dapat berbeda

secara substansial dari populasi umum. Namun, perbandingan kelompok juga dapat berbeda dari kelompok studi dengan cara lain daripada faktor risiko dari suatu kepentingan.

Hal yang lebih penting adalah analisis hubungan antara paparan (dosis) dan risiko kanker (respon), yang penting untuk penilaian risiko. Banyak peneliti telah menggunakan langkah-langkah yang mencerminkan perubahan historis dalam paparan radiasi antara pekerja.

### ***Leukemia dan Limfoma***

Pengamatan paling konsisten dihasilkan dari ulasan ini adalah meningkatnya risiko leukemia yang diamati di subkohort pekerja medis pada bagian radiasi (radiologi).

### ***Kanker***

Temuan yang berkaitan dengan kanker kurang konsisten, tetapi beberapa kesimpulan dapat ditarik tentang beberapa jenis kanker spesifik. Kematian kanker kulit berlebih diamati dalam subkohort awal dari ahli radiologi di Amerika Serikat dan Inggris.

### ***7. Hendii & Connor (2012): Radiation Risks of Medical Imaging: Separating Fact from Fantasy***

Penelitian ini ingin mengetahui perkiraan kanker dan kematian kanker akibat prosedur pencitraan medis yang menggunakan radiasi pengion dihitung dengan mengembangkan risiko hipotetis dengan populasi pasien yang besar untuk menghasilkan ribuan "korban kanker".

Untuk memperkirakan risiko pada dosis rendah prosedur pencitraan medis dari data yang lebih besar dari 100 mSv diperoleh dari studi di Jepang. Model cedera radiasi yang digunakan, meskipun bukti yang cukup menunjukkan bahwa itu adalah model yang tidak cocok untuk perkiraan risiko.

Publikasi yang memperkirakan kanker dan kematian akibat kanker disebabkan oleh pencitraan medis sering sensasional di media elektronik dan cetak sehingga masyarakat cukup cemas dan ketakutan tentang prosedur pencitraan kesehatan.

Pada beberapa kesempatan, rasa takut dan kecemasan menyebabkan keengganan untuk menerima prosedur pencitraan,

bahkan meskipun risiko pemeriksaan ditanggguhkan menciptakan banyak risiko yang lebih besar dari itu terkait dengan radiasi dari prosedur, jika risiko ada sama sekali. Penelitian kohort retrospektif, menggambarkan bahwa terjadi peningkatan risiko leukimia dan kanker otak pada anak-anak usia dibawah 15 tahun.

8. *Brenner, Elliston, Hall & Berdon (2001): Estimated Risks of Radiation-Induced Fatal Cancer from Pediatric CT.*

Atas dasar model standar yang diterapkan dalam penelitian ini, angka risiko kematian akibat kanker yang timbul akibat radiasi dari pemeriksaan CT pada anak/pediatrik diperkirakan jauh lebih tinggi dibandingkan orang dewasa.

Selama dua pemeriksaan CT (abdomen dan kepala) yang dominan diprediksi menjadi penyebab keganasan adalah organ pencernaan dan otak. Meskipun otak pernah dianggap sebagai organ radioresisten relatif, data yang lebih baru menunjukkan bahwa secara signifikan radiosensitif, terutama pada dosis yang sangat rendah, dengan risiko meningkatnya dengan penurunan usia. Perkiraan risiko yang diberikan di sini untuk kematian akibat kanker seumur hidup. Diperkirakan risiko kanker pediatrik karena pemeriksaan CT akan menjadi lebih besar, terutama untuk pemeriksaan CT kepala, karena kontribusi yang lebih besar dari radiation terjadinya kanker tiroid.

Estimasi risiko kanker yang berhubungan dengan CT ada dalam penelitian ini, tetapi mereka harus dipertimbangkan dengan sejumlah peringatan. Peringatan yang paling signifikan berhubungan dengan risiko per unit dosis diasumsikan di sini untuk perbandingan dosis rendah dari relevansi dengan pemeriksaan CT tunggal.

Dosis yang lebih besar dan meningkatkan risiko radiasi seumur hidup pada anak-anak menghasilkan peningkatan tajam, relatif terhadap orang dewasa, dalam estimasi risiko dari CT. Estimasi kematian kanker seumur hidup pada nilai *Attributable Risk* yang timbul dari paparan radiasi dari CT dalam waktu 1 tahun adalah 0,18% (CT abdomen) dan 0,07% (CT kepala), besarnya lebih tinggi dibandingkan orang dewasa, meskipun masih merupakan peningkatan kecil dalam kematian kanker. Di Amerika Serikat, sekitar 600.000 pemeriksaan CT abdominal dan kepala setiap

tahun dilakukan pada anak-anak di bawah usia 15 tahun, perkiraan kasar adalah bahwa 500 dari individu-individu akhirnya mungkin meninggal akibat kanker disebabkan oleh radiasi CT.

9. *Hoong, Kwan (2003): Non-Ionizing Radiations–Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures.*

*Non-Ionisasi Radiasi (NIR)* mengacu pada energi radiasi, bukannya memproduksi dibebankan ion ketika melewati materi, memiliki energi yang cukup hanya untuk eksitasi. Namun demikian itu adalah diketahui menyebabkan efek biologis. Spektrum NIR dibagi menjadi dua wilayah utama, radiasi optik dan medan elektromagnetik. Optik dapat dibagi menjadi ultraviolet, *visible*, dan infra-merah. Medan elektromagnetik dibagi lagi menjadi frekuensi radio (*microwave*, frekuensi sangat tinggi dan rendah gelombang radio frekuensi). Radiasi non-ionisasi berasal dari berbagai sumber: asal alam (seperti sinar matahari atau debit petir, dan lain-lain) dan buatan manusia (dilihat dalam komunikasi nirkabel, industri, ilmiah, dan aplikasi medis).

Dasar-dasar efek biologis dilihat dengan NIR yang relevan dengan kesehatan manusia ditinjau, termasuk efek biologis optik fotokimia dan pemanas; elektromagnetik bidang pemanasan permukaan, membakar listrik dan shock. Sebuah survei dari emisi saat ini dari berbagai sumber dan eksposur dari aktivitas manusia yang melibatkan NIR berdasarkan Badan Nasional Perlindungan Radiologi (NRPB) dari Inggris dan Komisi Internasional Perlindungan Radiasi Non-Ionizing (ICNIRP).

Efek biologis terjadi ketika perubahan dapat diukur dalam sistem biologi setelah pengenalan beberapa jenis rangsangan. Namun, pengamatan efek biologis, dan dari dirinya sendiri, tidak selalu menunjukkan adanya bahaya biologis atau pengaruh kesehatan. Efek biologis hanya menjadi bahaya keamanan ketika menyebabkan kerusakan yang terdeteksi dari kesehatan individu atau keturunannya. Efek biologis bisa menjadi perubahan fisiologis, biokimia atau perilaku diinduksi dalam suatu organisme, jaringan atau sel.

NIR biasanya berinteraksi dengan jaringan melalui panas. Bahaya tergantung pada kemampuan untuk menembus tubuh manusia

dan karakteristik penyerapan jaringan yang berbeda. Masih ada banyak ketidakpastian tentang keparahan efek baik yang akut dan paparan kronis berbagai jenis NIR. Umumnya masyarakat yang bersangkutan tentang risiko dari ELF, RF dan MW. Namun, risiko terbesar untuk umum mungkin timbul dari radiasi UV alami.

## Penutup

Sesuai penjelasan-penjelasan sebelumnya di atas telah diketahui bahwa radiasi, khususnya radiasi pengion dapat berinteraksi baik dengan materi biologik, fisik, maupun kimia. Serta memiliki efek biologik terhadap manusia melalui tahapan fisik, tahap fisikokimia, tahap kimia & biologi serta yang terakhir tahap biologi dan memiliki akibat seperti timbulnya berbagai penyakit, mutasi gen dan yang fatal menimbulkan kematian.

Sebaiknya sebagai profesi kesehatan masyarakat lebih intens memberikan pendidikan kesehatan kepada masyarakat dengan salah satu topik yaitu ionizing dan non ionizing radiasi baik efek dan cara pencegahannya dari radiasi, yang selain memberikan manfaat dalam penggunaannya, ionizing dan non ionizing radiasi juga memberikan dampak negatif bagi kesehatan masyarakat baik tingkat *sub lethal* bahkan tingkat *lethal*.

## Daftar Pustaka

- Alatas, Z dan Lusianti, Y. 2001. *Efek Kesehatan Radiasi Non Pengion pada Manusia. Prosiding Seminar Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan (internet)*. Bersumber dari: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore\\_Public/.../39057175.p](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore_Public/.../39057175.p). Diakses tanggal 12 Oktober 2016.
- Amalia, F., dkk. 2014. Makalah Fisika Radiasi. (Internet). Bersumber dari: <http://www.slideshare.net/HuryCanz>. Diakses tanggal 14 Oktober 2016.
- Anies. 2007. *Mengatasi Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Radiasi Elektromagnetik Dengan Manajemen Berbasis Lingkungan, Disertasi*. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Arma A.J.A. 2004. *Zat Radioaktif dan Penggunaan Radio Isotop Bagi Kesehatan*. (Internet). Bersumber dari: <https://www>.

google.co.id / url? sa = t & rct = j & q = & esrc = s & source = web & cd = 2 & cad = rja & uact = 8 & ved = 0ahUKEwiFnrfqJ3QAhXFM48KHeYiB94QFgglMAE&url = http%3A%2F%2Frepository.usu.ac.id % 2Fbitstream % 2F123456789 % 2F3763 % 2F1 % 2Fbiostatistik-abdul % 2520 jalil.pdf & usg = AFQjCNH6aIG\_qE9LaYSEr4dPfoS6Tj4mUA & sig2 = A67pUh\_pZeOCQhMJOEpFmQ & bvm = bv.138169073,d.c2l. Diakses 13 Oktober 2016.

Balter, et al. 2010. *Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A Review of Radiation Effects on Patients' Skin and Hair. Radiology: volume 254. No 2. February 2010.* (Internet). Bersumber dari: [www.radiology.rsna.org](http://www.radiology.rsna.org). Diakses tanggal: 14 Oktober 2016.

Balther, S., dkk. 2010. *Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A review of Radiation Effects on Patients Skin and Hair.* Journal Radiology Vol. 254. Numb. 2. Page: 326-341.

Batan. 2016. *Penemuan Radiasi Alfa, Beta dan Gamma Ensiklopedi Teknologi Nuklir* (internet). Bersumber dari: <http://www.batan.go.id>. Diakses tanggal 14 Oktober 2016.

Batan. 2016. *Radiasi* (internet). Bersumber dari: [http://www.batan.go.id/ppin/lokakarya/LKSTN\\_13/M%20Sy2010.amsa2.pdf](http://www.batan.go.id/ppin/lokakarya/LKSTN_13/M%20Sy2010.amsa2.pdf). Diakses tanggal 14 Oktober 2016.

Brenner, Elliston, Hall & Berdon .2001. *Estimated Risks of Radiation-Induced Fatal Cancer from Pediatric CT.* Vol. 76.

Deni, A. 2009. *Bagaimana Sejarah Radiasi* (internet). Bersumber dari: <http://goesti-deni.blogspot.com>>2009/01>. Diakses tanggal 14 Oktober 2016.

Fauziah, A dan Dwi Jananti, P. 2013. *Pengaruh Radiasi Sinar X terhadap Motilitas Sperma pada Tikus Mencit (Mus Muculus).* Jurnal Pendidikan Fisika Vol. 9. Hal 93-98.

Frush, Donnelly & Rossen .2003. *Computed Tomography and Radiation Risks: What Pediatric Health Care Providers Should Know.*

- Pediatrics. Vol. 112. Number 112.
- Hendii & Connor. 2012. *Radiation Risks of Medical Imaging: Separating Fact from Fantasy*. Radiology: volume 264. No. 2.
- Hilmy, N. 1995. *Manfaat Radiasi Dalam Industri, Lingkungan dan Kesehatan Masyarakat. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN*. Yogyakarta.
- Hoong, K. 2003. *Non-Ionizing Radiations—Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures*. Journal Interdiscipline Histopatology 2014; Vol. 2, Number 4. Page: 187-190.
- Idayati, R. 2011. *Pengaruh Radiasi Handphone terhadap Kesehatan*. Jurnal Kedokteran Syiah Kuala. Vol 11. No. 2. Hal: 115-120.
- Kurnia, I. 1997. *Radiasi pengion dan Risiko Kanker terhadap Manusia*. Buletin ALARA Vol 1. No. 1, Hal:17-20.
- Little. 2003. *Risks associated with ionizing radiation*. British Medical Bulletin 2003; volume 68; 259-275.
- Malform, B.L.T. 1994. *Comprehending Radiation Risk, in Radiation and Society: Comprehending Radiation Risk*, Vol 1. IAEA. Page: 7-18.
- Mukono, J. 2011. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan Edisi 2*. Surabaya. Airlangga University Press.
- Novertasari, B. S. 2010. *Bahaya Radiasi* (Internet). Bersumber dari: <https://blisha.wordpress.com/2011/10/09/bahaya-radiasi>. Diakses tanggal 12 Oktober 2016.
- Panganiban, Snow & Day. 2013. *Mechanisms of Radiation Toxicity in Transformed and Non-Transformed Cells*. International Journal of Molecular Science. Vol. 14.
- Sikarwar, Singh & Rajoo, Yamuna. 2014. *Effects of Radiation on Patient's Health during Imaging Diagnostics*. International Journal of Inovative Research in Science Engineering and Technology. Volume 3. Issue 7. Page: 14674-14679.
- Suyatno, F. 2010. *Aplikasi Radiasi dan Radioisotop Dalam Bidang Kedokteran*. Yogyakarta. Seminar Nasional VI SDM Teknologi

Nuklir.

Yoshinaga, Mabuchi, Sigurdson, Doody & Ron. 2004. *Cancer Risks among Radiologists and Radiologic Technologists: Review of Epidemiologic Studies*. *Radiology*. Vol. 254. Number 2.

# Bab 10.

## Hubungan Melamin dan Gangguan Kesehatan

Sufyan Anwar  
Mirrah Samiyah  
Nur Baharia Marasabessy  
Darimiyya Hidayati

### **Pendahuluan**

**K**ebutuhan yang paling penting untuk kelangsungan hidup manusia adalah makanan dan minuman. Selain bergizi dan menyenangkan, pangan juga harus aman dari bahaya fisik, kimia dan mikrobiologi. Saat ini, produsen makanan kurang memperhatikan sisi keamanan dari produk pangan yang dihasilkan dengan menambahkan bahan berbahaya pada makanan. Kasus penambahan formalin pada produk ikan, tahu bakso dan produk awetan lain mungkin sudah sering kita dengar. Selain dari bahan pangan sendiri, sumber bahaya kimia bisa berasal dari kemasan primer pangan tersebut. Kemasan pangan yang tidak sesuai dengan standar keamanan dapat memungkinkan terjadinya migrasi bahan penyusun ke pangan, sehingga membahayakan kesehatan konsumen.

Kebutuhan akan makanan dan minuman tidak terlepas dari kebutuhan alat-alat rumah tangga yang digunakan sebagai tempat untuk meletakkan makanan dan minuman tersebut seperti piring, gelas, sendok, mangkok dan peralatan makan lainnya. Peralatan tersebut tersedia dalam berbagai jenis dan bahan pembuatannya. Salah satunya adalah melamin. Peralatan makan dari melamin adalah kemasan primer yang populer ditengah masyarakat. Selain harga yang murah dan bervariasi, produk tersebut juga lebih ringan dan bentuknya cantik.

Produk tersebut lebih mudah dibawa pada saat rekreasi atau kegiatan lainnya. Apalagi sifatnya yang tidak mudah pecah dibandingkan dengan produk yang berasal dari kaca, sehingga dengan beberapa keunggulan tersebut, masyarakat lebih suka memilih produk dari melamin. Namun di sisi lain, peralatan makan dan minum dari melamin mengandung beberapa risiko dengan migrasinya zat berbahaya, yaitu formalin dan melamin dari peralatan makan ke makanan.

Penggunaan formalin dalam proses pembuatan peralatan makan adalah sebagai bahan pengawet dan bahan baku. Formalin dapat terurai dan migrasi ke makanan melalui proses depolimerasi. Proses depolimerasi ini biasanya terjadi dengan adanya proses pemanasan makanan menggunakan wadah melamin. Oleh karena itu, potensi bahaya formaldehid sangat tinggi untuk makanan yang melalui proses pemanasan baik melalui microwave atau perebusan. Penelitian oleh Nelma (2010) menunjukkan bahwa enam dari 10 sampel piring yang diuji mengandung formalin. Penelitian dari BPOM pada tahun 2009 juga memperlihatkan hasil dari 62 sampel yang diuji, 30 diantaranya melepaskan formaldehid.

Pada kenyataannya melamin bukan saja dipakai oleh kalangan industri untuk pembuatan peralatan makan dan minum atau lainnya. Akan tetapi, bukti yang sangat mengejutkan dan mengkhawatirkan adalah adanya penambahan bahan yang berbahaya bagi kesehatan manusia ini secara langsung didalam produk makanan. Kontaminasi melamin pada bahan – bahan makanan yang di produksi di China merupakan krisis kesehatan masyarakat internasional dan dampak dari kondisi tersebut mungkin tidak diketahui untuk beberapa tahun (Bhalla *et al*, 2009).

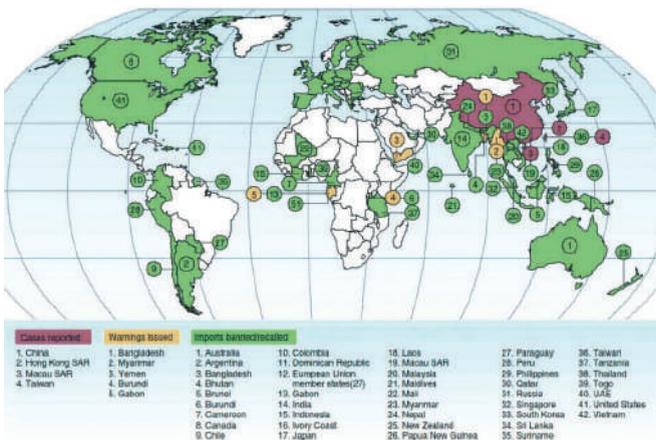
Efek dari mengkonsumsi bahan makanan yang mengandung melamin sangat memprihatinkan, terutama pada anak- anak yang diberikan susu formula yang mengandung melamin. Di dalam sebuah laporan WHO memperkirakan ada 51.900 anak- anak di Cina yang sudah dipengaruhi dan enam kematian yang telah diakibatkan oleh kontaminasi melamin (WHO, 2008 dalam Bhalla *et al*, 2009). Sementara itu di Indonesia kasus melamin ini merebak pada tahun 2007, yaitu penemuan susu bayi produk China yang mengandung melamin. Selain itu melamin juga ditemukan pada pakan ternak,

sehingga menimbulkan kematian ternak. Penambahan melamin pada produk pangan bertujuan untuk meningkatkan total Nitrogen dan memberi kesan seolah-olah produk tersebut tinggi protein.

WHO memberikan peringatan bahwa terjadi pencampuran melamin pada susu bayi dan produk susu lainnya, yaitu yogurt, biskuit dan minuman kaleng. Hal tersebut memicu terjadinya kematian bayi akibat gagal ginjal. WHO menghimbau para negara anggotanya agar berhati-hati dan harus menyadari terhadap kemungkinan distribusi produk yang terkontaminasi melamin.

Pengawasan distribusi baik melalui jalur formal maupun informal terhadap hasil produksi pangan ini harus dilakukan, karena kondisi ini akan berakibat pada konsekuensi kesehatan masyarakat yang cukup serius.

Peta dunia berikut menggambarkan negara-negara yang telah melaporkan kasus – kasus melamin nefrotoksisitas (merah), negara yang telah diberi peringatan oleh pemerintah China setelah laporan pertama cedera ginjal akut pada tahun 2008, laporan negaranegara yang telah mengambil tindakan untuk melarang atau menarik beberapa barang impor yang diduga mengandung melamin (Bhalla *et al*, 2009).



Gambar 10.1. Dampak Global dari Outbreak Melamin Nephrotoxicity pada Manusia

Berdasarkan uraian diatas, perlu dikaji tentang melamin baik yang berasal dari peralatan makan ataupun melamin yang ditambahkan pada produk pangan serta hubungannya bagi kesehatan manusia dan lingkungan

## **Toksikologi Lingkungan**

Toksikologi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari efek merugikan dari bahan kimia terhadap organisme hidup. Toksikologi merupakan disiplin ilmu yang mencakup sejumlah ilmu dasar dan ilmu terapan. Termasuk ilmu dasar adalah ilmu kimia, kimia analitik, biokimia, fisiologi, histologi, patologi, mikrobiologi dan immunologi. Termasuk ilmu terapan adalah ilmu hewan, ilmu dan teknologi makanan, pengobatan hewan, pengobatan manusia, agronomi/ilmu tanah, perikanan, entomologi, biologi laut, rekayasa, ekonomi, ekologi dan ilmu tanaman (Mukono, 2010).

Menurut Mukono (2010) toksikologi dibagi menjadi tiga bidang spesifik yaitu:

- a. Toksikologi forensik  
Mempelajari aspek medikolegal dari bahan kimia yang mempunyai efek membahayakan bagi manusia dan hewan, sehingga dapat dipakai untuk membantu mencari atau menjelaskan penyebab kematian pada penyelidikan suatu kasus kejahatan.
- b. Toksikologi klinik  
Bidang ilmu kedokteran yang memberikan perhatian terhadap penyakit yang disebabkan oleh bahan toksik atau hubungan yang unik dan spesifik dari bahan toksik tersebut.
- c. Toksikologi lingkungan  
Mempelajari efek dari bahan polutan terhadap kehidupan dan pengaruhnya terhadap ekosistem yang digunakan untuk mengevaluasi kaitan antara manusia dengan polutan yang ada di lingkungan. Selain itu toksikologi lingkungan juga sebagai studi mengenai efek yang merugikan atau berbahaya dari zat kimia/toksikan dalam lingkungan yang dapat berakibat buruk terhadap makhluk hidup termasuk manusia.

Ada berbagai macam bahan toksik, untuk memudahkan pemahaman bahan toksik dibedakan klasifikasinya berdasarkan: organ tujuan (misalnya ginjal, hati); penggunaan (misalnya: pestisida, pelarut dan *food additive*); sumber (misalnya tumbuhan atau hewan); efek yang ditimbulkan (misalnya: kanker atau mutasi); bentuk fisik (misalnya: gas, cair atau debu); label kegunaan (misalnya: bahan peledak dan oksidator); susunan kimia (misalnya: amino aromatis, halogen dan hidrokarbon) (Mukono, 2010). Keracunan terjadi karena adanya paparan bahan toksik yang masuk ke dalam tubuh melebihi ambang batas bahan toksik terhadap toleransi tubuh. Tubuh yang keracunan akibat masuknya bahan toksik, dapat diketahui dengan menggunakan rute ekskresi, *half life* dan karakteristik kinestetik bahan toksik. Contoh karakteristik kinestetik adalah aktivitas diuresis, dialisis dan hemoperfusi.

Jalan masuk agen toksik ke dalam tubuh umumnya melalui saluran gastrointestinal (tertelan), paru-paru (terhirup) dan kulit. Selain itu bisa juga masuk melalui intramuskuler, intradermal dan subkutaneus. Jalan masuk yang berbeda ini mempengaruhi toksisitas dari bahan kimia, misalnya keracunan umumnya karena bahan kimia yang tertelan oleh seseorang sedangkan sumber papan dari industri umumnya masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi dan kulit.

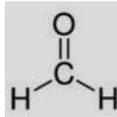
## **Melamin**

### **Pengertian**

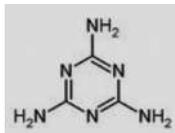
Melamin merupakan senyawa kimia organik yang berbentuk kristal putih dan banyak mengandung unsur nitrogen (Balai POM RI, 2013). Formula dari melamin adalah  $C_3N_6H_6$  dengan kandungan nitrogen sampai 66% yang biasa digunakan oleh industri untuk membuat lem, plastik dan pupuk (Lestari dkk, 2011). Melamin untuk pertama kalinya disintesa oleh seorang peneliti Jerman bernama Leabig pada tahun 1834.

Melamin merupakan persenyawaan (polimerisasi) kimia antara monomer formaldehida dan fenol. Bila kedua senyawa ini bergabung, sifat racun formaldehida akan hilang karena terlebur menjadi satu yaitu melamin. Tetapi formaldehida dapat muncul dan bersifat racun bila melamin mengalami depolimerisasi, misalnya karena paparan panas, sinar ultraviolet, gesekan dan tergerusnya permukaan melamin hingga

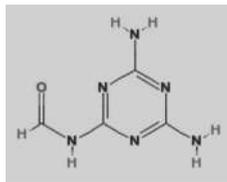
partikel formaldehida terlepas (Nisma, Situmorang, & Syarif, 2011). Melamin juga merupakan nama yang digunakan baik untuk bahan kimia dan untuk plastik yang terbuat dari itu. Tidak ada rekomendasi untuk menggunakan melamin kedalam makanan (WHO, 2016).



Gambar 10.2. Struktur kimia formaldehida – Sumber: Balai POM RI (2013)



Gbr 10.3. Struktur kimia melamin – Sumber: Balai POM RI (2013)



Gbr 10.4. Struktur kimia gabungan melamin dan formaldehid – Sumber: Balai POM RI (2013)

Pada umumnya, senyawa ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan industri, termasuk industri peralatan dapur, perlengkapan makan, kemasan pangan, resin melamin (terutama melalui reaksi dengan formaldehida), kertas, pelapis, penstabil plastik, perekat, dan *flame retardant*. Karena memiliki kandungan unsur nitrogen yang tinggi, oleh beberapa negara melamin juga digunakan sebagai komponen pembuatan pupuk (Balai POM RI, 2013).

Oleh karena mengandung 66% nitrogen, jika melamin dicampur dengan resin, maka akan memiliki sifat-sifat penghambat api, sebab dirilis dengan nitrogen ketika dibakar atau hangus selain itu juga memiliki kegunaan industri lainnya. Pada melamin dapat ditemukan zat pengotor (*impurities*) yaitu asam sianurat, yang secara struktur kimia analog dengan melamin. Asam sianurat ini dapat digunakan sebagai desinfektan pada air kolam renang (Balai POM RI, 2013).

Profil melamin secara umum yang telah dipublikasi oleh *United Nations Environment Programme (UNEP)* disajikan pada Tabel 1. Rekomendasi dari UNEP menyatakan bahwa toksisitas melamin di lingkungan pada organisme akuatik rendah sehingga melamin dianggap memiliki potensi yang rendah untuk mencemari lingkungan. Sedangkan dampak melamin pada kesehatan juga rendah sehingga dianggap memiliki potensi yang risiko yang rendah.

CAS No	108-78-1
Nama Kimia	Melamine (1,3,5-Triazine-2,4,6-triamine)
Sifat kimia	
a. Titik lebur	350 C
b. Titik didih	Melamin terkomposisi pada > ca 280
c. Densitas	1574 kg/m <sup>3</sup>
d. Tekanan Uap	4,7 x 10 <sup>-4</sup> Pa pada suhu 20 C
e. Coeffisient partisi	-1,14
f. Daya larut di air	3,1 g/l suhu 20 C
g. pH	Ca 8 suhu 20 C
h. pKa	Tidak ada data.
i. flamability	Tidak
j. explosivity	Tidak explosif
k. potential redox	Tidak ada data
Jalur di Lingkungan	
a. photodegradasi	Tidak ada data
b. stabilitas di air	Tidak ada data
c. monitoring data	Di udara tidak ada data Di permukaan air ≤ 0,0076 mg/kg Di tanah ≤ 0,32 mg/kg Di biota ≤ 0,55 mg/kg
d. degradasi dg metode standard (waste water treatment plant)	80-90% terdegradasi
e. biodegradasi (lumpur aktif Pseudomonas sp)	Tidak bisa terdegradasi

Tabel 10.1. Profil Melamin berdasarkan *Screening Information Data Sheet (SIDS)*

## Toksikologi Melamin

Berdasarkan sifat fisika dan kimia dari melamin (Tabel 1) menunjukkan bahwa toksisitas melamin pada lingkungan rendah. Perhitungan resiko bahan terhadap lingkungan yang dinyatakan dengan nilai RCR (*The Risk Characterization Ratio*) menghasilkan nilai 0,56 dimana nilai lebih rendah dari 1 menunjukkan risiko rendah terhadap lingkungan.

Melamin memang tidak dapat langsung terurai secara alami dalam lingkungan namun dapat terdegradasi secara efektif dalam sistem pengolahan limbah. Penguraian melamin membutuhkan waktu sekitar 8 jam setelah diinkubasi pada lumpur aktif karena mikroorganisme

di lumpur aktif akan dapat beradaptasi dengan adanya melamin. Sedangkan penguraian melamin di tanah sangat lambat yaitu membutuhkan waktu paruh selama 2-3 tahun.

Melamin lebih banyak mencemari lingkungan air, namun dampak terhadap biota air cukup rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa melamin mempunyai LC 50 cukup tinggi yaitu untuk ikan berkisar antara 500-4400 mg/l dan untuk alga mempunyai LC 50 berkisar 940 mg/l.

Dampak melamin terhadap lingkungan memang rendah namun dapat menyebabkan masalah jika perusahaan membuang limbah melamin langsung ke sungai dengan kecepatan pembuangan limbah yang tinggi/ sedang tanpa melalui pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif.

## **Formaldehida**

Formaldehida adalah suatu campuran organik yang dikenal dengan nama aldehida, membeku pada suhu diatas 92°C dan mendidih pada suhu 300°C dengan rumus kimia  $\text{CH}_2\text{O}$  (Tangdioangga et al, 2015). Formaldehida terdapat dalam bentuk gas, larutan dan padatan. Formaldehida yang digunakan dalam proses pembuatan peralatan makan melamin adalah formaldehida dalam bentuk larutan yang dikenal dengan nama formalin (Windholz, 1976 dalam Tangdionggga et al, 2015).

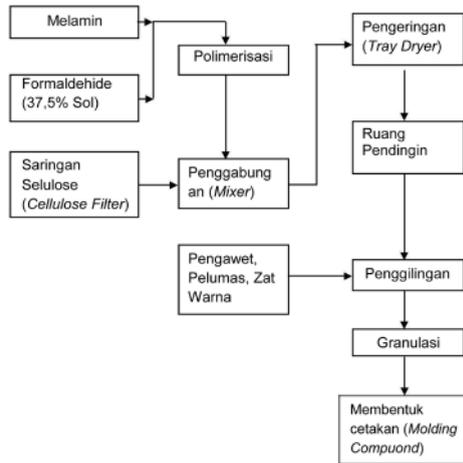
Secara fisik larutan formaldehida mempunyai ciri- ciri berupa cairan 0,0076 mg/kg jernih, bau menusuk, tidak berwarna atau hampir tidak berwarna, uap yang dapat merangsang selaput lendir hidung dan tenggorokan. Apabila disimpan di tempat dingin, formaldehida dapat menjadi keruh. Biasanya disimpan dalam wadah tertutup, terlindung dari cahaya dengan suhu tempat penyimpanan di atas 20. Sementara sifat kimianya sama dengan aldehida, namun lebih reaktif daripada aldehida lainnya. Formaldehida merupakan elektrofil sehingga bisa dipakai dalam reaksi substitusi aromatik elektrofilik dan alkena. Keadaan katalis bisa mengakibatkan formaldehida menghasilkan asam format dan metanol (Depkes RI, 1995).

## **Penggunaan Melamin sebagai Pelapis Alat Rumah Tangga**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah meningkatkan kualitas hidup manusia, termasuk didalam memenuhi kebutuhan primer, seperti kebutuhan akan makanan dan minuman. Diantaranya ditandai dengan gaya hidup manusia yang telah memilih dan menggunakan produk yang berbasis kimia. Sebagai salah satu contoh produk industri yang memakai bahan kimia dalam produksinya untuk peralatan makan dan minum adalah piring, mangkuk, cangkir, sendok dan peralatan lain sebagainya.

Saat ini peralatan makan dan minum yang paling populer dikalangan masyarakat adalah peralatan yang terbuat dari melamine. Di Indonesia sejak diperkenalkan pada 1970-an, perlengkapan makan dan minum dari bahan melamin segera memikat para konsumen. Ini dikarenakan jenis peralatan atau perlengkapan makan dan minum berbahan melamin yang ditawarkan kepada masyarakat dalam bentuk yang lebih menarik dan indah.

Tampilan yang lebih menarik secara tidak langsung diharapkan dapat menggugah dan meningkatkan selera masyarakat terhadap makanan yang disajikan. Sebagai contoh peralatan makan dan minum yang dibuat dengan berbagai gambar yang menarik seperti gambar-gambar tokoh kartun pada peralatan makan dan minum. Peralatan makan dan minum dalam kegiatan perjalanan yang lebih mudah dan praktis untuk dibawa. Selain memiliki beberapa kelebihan yang telah disebutkan, penggunaan melamin sebagai peralatan makan dan minum oleh masyarakat juga disebabkan beberapa keunggulannya, yaitu bahannya ringan, tidak mudah pecah dan relatif lebih murah dibandingkan dengan peralatan makan dan minum yang terbuat dari keramik, logam, atau kaca. Proses produksi peralatan makan yang mengandung melamin dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 10.5. Bagan produksi peralatan melamin (Sumber: Shreve, 1956 dalam Artha, 2007)

Dengan segala kelebihan yang dimiliki oleh peralatan melamine khususnya piring melamine, banyak produsen pembuat piring melamin yang menambahkan formalin ke dalam pembuatan barang yang berbahan dasar melamin. Penambahan formalin dapat membentuk ikatan polimer yang akan menimbulkan warna produk menjadi lebih cerah. Ini dilakukan oleh mereka untuk meningkatkan jumlah penjualan, sehingga mendapatkan keuntungan yang besar.

Walaupun demikian, tidak semua bahan yang digunakan untuk pembuatan peralatan makan seperti melamin aman terhadap makanan yang akan dikonsumsi. Apabila melamin salah digunakan, maka akan mengakibatkan gangguan kesehatan pada penggunaannya. Oleh karena itu diperlukan suatu pengetahuan untuk memilih peralatan makan yang aman bagi kesehatan.

Ariwahjoedi dalam Harjono menjelaskan bahwa melamin berpotensi menghasilkan monomer beracun yang disebut formaldehid. Senyawa yang tahan panas ini dipilih karena dianggap sangat cocok digunakan sebagai wadah makanan panas atau digunakan dalam microwave (Imam, 2007). Fungsi dari formaldehid pada proses pembuatan peralatan makan dan minum melamin adalah sebagai bahan baku dan pengawet. Di dalam senyawa melamin, partikel formaldehid dapat muncul kembali sebagai monomer apabila terjadi depolimerisasi (degradasi) dan otomatis menghasilkan racun yang berbahaya bagi

kesehatan apabila masuk dalam tubuh manusia. Keadaan ini dapat terjadi saat senyawa melamin terkena air panas, sinar ultraviolet, adanya gesekan-gesekan dan abrasi terhadap permukaan melamin (Harjono, 2006 dalam Tangdionga et al, 2015).



Gambar 10.6. Contoh peralatan makan berbahan melamin – (sumber: [www.google.co.id](http://www.google.co.id) diakses tanggal 24 Oktober 2016)

Berdasarkan kerja sama penelitian antara Universitas Indonesia dan Yayasan Lembaga Konsumen Indonesia (YLKI), diketahui kandungan formaldehida dalam perkakas melamin mencapai 4,769,22 miligram per liter. Permasalahannya, dalam polimerisasi yang kurang sempurna dapat terjadi residu, yaitu sisa monomer formaldehida atau fenol yang tidak bersenyawa sehingga terjebak di dalam materi melamin. Sisa monomer formaldehida inilah yang berbahaya bagi kesehatan apabila masuk dalam tubuh manusia. Dalam sistem produksi melamin yang tidak terkontrol, bahan formaldehida yang digunakan cenderung tidak sebanding dengan jumlah fenol. Maka, kerap terjadi residu. Ini bukan berarti proses produksi yang sudah menerapkan *well controlled* dan tidak menghasilkan residu terbebas dari potensi mengeluarkan racun.

### **Cara Aman Menggunakan Melamin pada Peralatan Makan**

Penggunaan peralatan makan berbahan melamin pada anak, biasanya disarankan oleh orang tua semata-mata agar tidak pecah pada saat terjatuh tanpa sengaja dan yang terpenting adalah tidak melukai anak. Namun penggunaannya tidak selamanya aman. Peralatan makan dari melamin yang tidak lolos uji dari Kementerian Kesehatan dalam hal ini Balai Pengawasan Obat dan Makanan biasanya mengandung

bahan kimia yang berbahaya yang bisa menimbulkan penyakit secara langsung maupun tidak langsung.

Penggunaan peralatan makan dari melamin perlu mempertimbangkan beberapa hal berikut:

a. Kode barang

Pertimbangan memilih produk melamin adalah jangan hanya tertarik pada bentuk dan warnanya tetapi harus memeriksa kode barang tersebut. Biasanya kode terdapat pada bagian bawah peralatan makan melamin. Peralatan makan berbahan melamin yang aman digunakan adalah yang ada kode "PP" atau *polypropylene* dan angka 5 (lima). Selain itu juga peralatan makan dengan tanda "BPA free" atau "non BPA. BPA merupakan singkatan dari *bisphenol-A*, bahan kimia berbahaya yang menyerupai hormon estrogen versi kimia. Bahan ini berbahaya karena jika terlalu banyak masuk ke dalam tubuh, akan mengganggu sistem kerja kelenjar endokrin yang menyebabkan penyimpangan metabolisme tubuh.

b. Kondisi barang

Kondisi barang yang kurang baik akan menjadi tempat bersarangnya kuman dan bakteri pada peralatan makan yang terbuat dari melamin. Sebaiknya memilih barang yang tidak cacat, walaupun hanya sebuah goresan kecil.

c. Warna

Cara aman memilih peralatan makan dari melamin yang aman adalah memilih melamin yang berwarna jernih dan tidak berawan. Produk melamin PP yang paling aman memiliki ciri-ciri lebih ringan, mengkilap jernih, kandungan plastiknya transparan serta daya tembus uapnya rendah.

d. Usia Barang

Usia peralatan makan juga menjadi salah satu pertimbangan yang perlu diperhatikan saat memilih peralatan makan berbahan melamin. Usia maksimal melamin dipengaruhi oleh kondisi barang itu sendiri. Jika sudah tergores, sebaiknya segera diganti dengan wadah yang baru agar tidak terkontaminasi bakteri patogen penyebab diare atau gangguan pada ginjal.

## **Penggunaan Melamin pada Bahan Pangan**

Kasus melamin yang terjadi di China yaitu adanya peningkatan kasus bayi gagal ginjal dan mengalami penyakit saluran kencing. Departemen Kesehatan China mencatat sebanyak 6.244 kasus batu ginjal dan 4 diantaranya menyebabkan kematian. Hal ini terjadi karena beberapa susu yang diproduksi di China diberi tambahan secara ilegal melamin untuk meningkatkan kadar nitrogen susu bayi yang berkorelasi dengan kadar protein susu bayi. Seluruh bayi yang terdeteksi batu ginjal diketahui telah mengkonsumsi susu yang diproduksi oleh Perusahaan susu Sanlu Co.Ltd. Kadar nitrogen yang tinggi pada melamin (66%) menyebabkan peningkatan kadar nitrogen susu sehingga dianggap kadar protein meningkat karena analisis protein menggunakan metode Kjeldahl yang mengukur tingkat nitrogen dalam bahan pangan.

Di Indonesia sendiri, ditemukan produk susu dan produk berbahan baku susu yang mengandung melamin. Data BPOM tahun 2010-2011, beberapa produk yang diimpor dari China terbukti mengandung melamin dalam jumlah yang tinggi yaitu 8,51 ppm pada minuman susu kedelai, 945,8 ppm pada permen susu, telur bubuk sebesar 0,13 – 7,05 ppm dan telur pita sebesar 0,16 – 0,1 ppm. Sedangkan kadar melamin pada biskuit yang diimpor dari Malaysia sebesar 0,18-2,74 ppm (Nisa, 2011).

Hasil penelitian oleh Rakhmawati dan Widiyanti (2013) menunjukkan bahwa 91,3 % sampel yang dianalisis mengandung melamin dengan kadar sebesar 6,7 ppb – 61,5 ppb, sampel susu dari Bandung dan Jakarta terdeteksi adanya melamin dengan kadar antara 5,1 ppb – 26,5 ppb. Semua sampel yang diuji mengandung melamin dibawah batas maksimal yang telah ditetapkan WHO/FAO sebesar 1 ppm. BPOM sendiri mengeluarkan daftar makanan yang diimpor dari China dan positif mengandung melamin yang disajikan pada Tabel di bawah ini.

Tabel 10.2. Produk Pangan china yang mengandung melamin – Sumber: BPOM, 2008

Jenis pangan dan merk	Status
Ghouzen Pine Pollen Calcium Milk	Terdaftar
Oreo stick wafer	Terdaftar
M&M's Peanuts chocolate candies (kemasan kuning)	Terdaftar
M&M's Peanuts chocolate candies (kemasan coklat)	Terdaftar
Biskuit Snicker	?
Kembang gula white rabbit (kemasan biru)	Tidak terdaftar
Kembang gula white rabbit (kemasan merah)	Tidak terdaftar
Soybean drink with milk (kemasan kuning)	Tidak terdaftar
Soybean drink with milk (kemasan hijau)	Tidak terdaftar
Soyspring instant milk cereal	Tidak terdaftar
Soyspring instant peanut milk	Tidak terdaftar

Sedangkan Amerika Serikat telah menarik semua produk susu dan produk berbahan baku susu yang diimpor dari China. Selain itu, FDA juga melakukan investigasi ke semua makanan yang berasal dari Asia yang dimungkinkan mengandung susu tercemar melamin dari China. Hasil investigasi menunjukkan beberapa produk positif mengandung melamin yaitu Koala March Creme filled cookies, YILI Brand sour milk drink, Yili Brand Pure Milk Drink, Blue Cat Flavored Drinks, White Rabbint Candies, Mr. Brown Mandehlling Blend Instant Coffee, Mr Brown Arabica Instan Coffee, Mr Brown Blue Montain blend instant coffee, Mr. Brown caramel macchiato instant coffee, Mr.Brown Mandheling Blend Instant coffe, Mr. Brown Milk tea dan Susu formula yang diproduksi di China (FDA, 2008).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar melamin dibeberapa produk susu bervariasi dari level yang rendah sampai yang tinggi. Oleh karena itu, harus diberikan aturan yang jelas tentang kandungan melamin pada makanan.

### **Peraturan tentang Penggunaan Melamin**

Untuk melindungi masyarakat terhadap paparan melamin, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah merekomendasikan *tolerable daily intake* (TDI) untuk melamin menjadi 0,2 mg melamin per kg massa tubuh. Sementara itu, *maximum residue levels* (MRLs) untuk melamin

juga telah ditetapkan di seluruh dunia. Di China dan Amerika Serikat, MRL untuk formula bayi telah ditetapkan pada 1,0 mg / kg untuk susu bubuk dan 2,5 mg/kg untuk produk susu lainnya. Sementara di Eropa, *Food Safety Authority* telah menetapkan batas 2,5 mg / kg untuk semua produk yang mengandung susu lebih besar dari 15% (Liu, Todd, Zhang, Shi, & Liu, 2012).

Peraturan tentang penggunaan melamin dalam pangan di Indonesia telah diatur melalui Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 34 tahun 2012 tentang Batas Maksimum Melamin dalam Pangan. Dalam pasal 2 Permenkes tersebut diatur batas maksimum melamin dalam pangan untuk susu formula bayi dalam bentuk bubuk: 1 mg/kg, susu formula bayi siap konsumsi: 0.15 mg/kg dan dalam pangan lain adalah 2.5 mg/kg (Permenkes nomor 34 tahun 2012). Peraturan ini menjadi panduan bagi para pelaku industri makanan dan minuman dalam memberikan atau menambahkan melamin dalam produk yang mereka hasilkan.

### **Penggunaan Melamine pada Pakan**

Pada tahun 2007 terjadi *oubreak* penyakit saluran kencing pada kucing dan anjing yang berhubungan dengan pemberian pakan yang mengandung melamin dan asam sianurat. Kombinasi dari melamin dan asam sianurat dapat menyebabkan terjadinya batu ginjal dan menyebabkan kelainan ginjal pada hewan peliharaan. FDA telah melakukan kajian resiko terhadap melamin dan turunannya yaitu asam sianurat, ammelida, dan ammelina. Hasil penelitian menunjukkan bawa daging babi, ayam, ikan lokal dan telur dari ternak yang diberi pakan *wheat gluten* dan konsentrat protein yang diimpor dari China dinyatakan tercemar melamin.

Hasil analisis 200 sampel pakan menemukan melamin dengan konsentrasi berkisar antara 0 – 2263 mg/kg. Asam sianurat terdeteksi pada level lebih besar dari 10 mg/kg di beberapa pakan. USDFA memperkirakan bahwa gluten gandum yang terdapat pada pakan dapat mengandung melamin dengan konsentrasi berkisar antara 0,2 % sampai 9%. Dalam industri pakan, jumlah gluten gandum yang ditambahkan biasanya berkisar antara 5 -10% dari produk akhir.

## **Penggunaan Melamine dan Dampak bagi Kesehatan**

Kehidupan manusia di era modern dewasa ini tidak terlepas dari paparan bahan kimia. Sulit bagi masyarakat untuk menghindarkan diri mereka dan keluarga dari produk – produk yang tidak mengandung atau terkontaminasi bahan kimia. Didalam produk makanan dan minuman misalnya. Bahan – bahan tersebut jika kandungannya dalam makanan masih dalam jumlah atau nilai yang sesuai dengan aturan kesehatan, tidak akan menimbulkan efek negatif pada kesehatan manusia. Namun sebaliknya apabila tidak sesuai dengan aturan yang ada, maka akan berdampak buruk pada kesehatan masyarakat yang mengkonsumsi dan menggunakan produk tersebut.

Melamin merupakan salah satu contoh bahan kimia yang banyak digunakan dikalangan industri, baik industri makanan maupun industri lainnya. Monomer resin melamin bersama formaldehid dan aditif lainnya biasa digunakan untuk pembuatan plastik, peralatan rumah tangga pecah belah, pelapis papan/kayu, dan adesif. Melamin juga dipakai untuk memperbaiki kekuatan dari kertas. Melamin-pirophospat digunakan untuk meningkatkan daya tahan tekstil karena pencucian. Melamin pun dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pupuk dan pestisida didalam dunia pertanian atau perkebunan (Rakhmawati dan Widiyanti, 2013).

Penggunaan melamin saat sekarang tidak lagi terbatas pada industri barang. Melamin juga dimanfaatkan sebagai bahan campuran tambahan dalam produk makanan dan minuman. Hal ini perlu diwaspadai oleh masyarakat dengan menghindari dan tidak mengkonsumsi produk makanan secara sembarangan. Cara pemakaian yang salah dari barang yang mengandung melamin dan mengkonsumsi makanan yang terpapar melamin akan menyebabkan gangguan kesehatan.

Jalur paparan melamin pada manusia dibagi menjadi 3 yaitu : paparan secara tidak langsung, paparan karena pekerjaan dan paparan sebagai konsumen. Paparan secara tidak langsung adalah paparan melamin karena lingkungan air yang mengandung melamin. Namun hal ini sangat tidak mungkin karena risiko melamin terhadap lingkungan rendah. Paparan karena pekerjaan dimungkinkan bagi para pekerja yang bekerja di industri yang menggunakan melamin. Paparan yang

dimungkinkan yaitu terhirup pada saat produksi atau kontak kulit. Paparan yang terakhir adalah paparan melamin sebagai konsumen. Hal ini sebenarnya sangat kecil kemungkinannya karena seharusnya melamin tidak dalam kondisi bebas namun terikat dalam polimer sehingga tidak seharusnya dapat berpindah ke konsumen. Namun, sekarang ini sangat dimungkinkan karena banyak produsen makanan yang justru menambahkan melamin dalam makanan yang diproduksi.

Gangguan kesehatan yang ditimbulkan oleh melamin atau formaldehida dapat dalam berbagai bentuk. Dalam jangka waktu yang pendek, formaldehida dapat menimbulkan mual, muntah, diare, sakit kepala, vertigo dan kejang. Formaldehida juga dapat mengakibatkan terjadinya iritasi pada membran mukosa, dermatitis, gangguan pada pencernaan, hematemesis, hematuria, proteinuria, anuria, asidosis, koma bahkan kematian. Sedangkan paparan formaldehid terus-menerus dapat meningkatkan potensi kanker nasofaring dan penurunan fungsi otak dan sumsum tulang belakang.

Formaldehida yang terhirup lewat pernafasan (inhalasi) akan segera diabsorpsi ke dalam paru dan menyebabkan paparan akut. Paparan akut dapat ditandai dengan gejala pusing kepala, rhinitis, rasa terbakar, dan lakrimasi (keluar air mata dan dosis yang lebih tinggi bisa buta). Bronchitis, edema pulmonari atau pneumonia juga merupakan tanda dari paparan akut. Ini terjadi karena efek dari paparan formaldehida yang dapat mengecilkan bronchus dan menyebabkan akumulasi cairan paru.

Setiap individu memiliki tingkat kepekaan yang berbeda terhadap formaldehida. Ada orang yang lebih sensitif terhadap paparan formaldehida dibandingkan dengan orang lain. Pada orang sensitif formaldehida dapat menyebabkan alergi, asma dan dermatitis. Jika masuk melalui mulut (ingestion) sebanyak 30 ml (2 sendok makan) dari larutan formaldehida dapat menyebabkan kematian. Hal ini disebabkan sifat korosif formaldehida terhadap mukosa saluran cerna lambung, disertai mual, muntah, nyeri, pendarahan dan perforasi. Jika terpapar secara terus menerus dapat mengakibatkan kerusakan pada hati, ginjal dan jantung (Widyaningsih, 2006).

Ciri-ciri orang atau hewan yang terkena racun formalin:

- a. Pengaruh akut atau segera pada mereka yang teracuni formalin adalah gejala iritasi dan alergi misalnya: mata berair, kemerahan, bersin, radang tonsil, radang tenggorokan, sakit dada, yang berlebihan, lelah, jantung berdebar, sakit kepala mual, muntah, diare, kencing campur darah, rasa terbakar, gatal, pusing bahkan bisa tidak sadarkan diri.
- b. Pengaruh kronis dari keracunan formalin dapat mengakibatkan iritasi yang parah, kerusakan fungsi hati, ginjal, syaraf, gangguan otak mengakibatkan efek neuropsikologis meliputi gangguan tidur, cepat marah, gangguan emosi, keseimbangan terganggu, kehilangan konsentrasi, daya ingat berkurang dan gangguan perilaku lainnya. Dalam jangka panjang dapat terjadi gangguan haid dan kemandulan pada perempuan.
- c. Formalin juga merupakan zat yang bersifat karsinogenik atau bisa menyebabkan kanker. Beberapa penelitian terhadap tikus dan anjing pemberian formalin dalam dosis tertentu jangka panjang secara bermakna mengakibatkan kanker saluran cerna seperti adenocarcinoma pylorus, preneoplastic hyperplasia pylorus dan adenocarcinoma duodenum. Penelitian lainnya menyebutkan peningkatan risiko kanker faring (tenggorokan), sinus dan cavum nasal (hidung) pada pekerja tekstil akibat paparan formalin melalui hirupan. Dalam jumlah sedikit, formalin akan larut dalam air, serta akan dibuang ke luar bersama cairan tubuh. Sehingga formalin sulit dideteksi keberadaannya di dalam darah. Imunitas tubuh sangat berperan dalam berdampak tidaknya formalin di dalam tubuh. Apabila imunitas tubuh seseorang rendah atau mekanisme pertahanan tubuh rendah, maka sangat mungkin formalin dengan kadar rendah pun bisa berdampak buruk terhadap kesehatan orang tersebut. Usia anak khususnya bayi dan balita merupakan salah satu kelompok yang lebih rentan untuk mengalami gangguan kesehatan dari paparan formalin. Secara mekanik integritas mukosa (permukaan) usus dan peristaltik (gerakan usus) merupakan pelindung masuknya zat asing masuk ke dalam tubuh. Secara kimiawi asam lambung dan enzim pencernaan menyebabkan denaturasi zat berbahaya tersebut.

- d. Secara imunologik sIgA (sekretori Immunoglobulin A) pada permukaan mukosa dan limfosit pada lamina propia dapat menangkal zat asing masuk ke dalam tubuh. Pada usia anak yang masih sangat dini, usus mereka masih bersifat imatur (belum sempurna) atau sistem pertahanan tubuh mereka juga masih lemah dan gagal berfungsi. Kondisi ini lebih memudahkan bahan berbahaya masuk ke dalam tubuh dan bahan itu sulit untuk dikeluarkan. Hal ini juga akan lebih mengganggu pada penderita gangguan saluran cerna yang kronis seperti pada penderita Autism, penderita alergi dan sebagainya.

Para ahli dan lembaga yang berwenang telah menentukan ukuran batas tertentu dari bahan – bahan kimia yang dapat masuk kedalam tubuh manusia atau yang dikenal dengan istilah nilai ambang batas. Untuk bahan kimia formalin, menurut IPCS (*International Programme on Chemical Safety*), secara umum nilai ambang batas aman di dalam tubuh adalah 1 miligram per liter. IPCS adalah lembaga khusus dari tiga organisasi di PBB, yaitu ILO, UNEP, serta WHO, yang mengkhususkan pada keselamatan penggunaan bahan kimiawi. Bila formalin masuk ke tubuh melebihi ambang batas tersebut maka dapat mengakibatkan gangguan pada organ dan sistem tubuh manusia. Akibat yang ditimbulkan tersebut dapat terjadi dalam waktu singkat atau jangka pendek dan dalam jangka panjang.

Pertolongan pertama bila terhirup formalin, jika aman memasuki daerah paparan, pindahkan penderita ke tempat yang aman. Bila perlu, gunakan masker berkatub atau peralatan sejenis untuk melakukan pernapasan buatan, segera hubungi dokter. Jika terkena kulit, lepaskan pakaian, perhiasan dan sepatu yang terkena formalin. Cuci kulit selama 15-20 menit dengan sabun atau detergen lunak dan air yang banyak dan dipastikan tidak ada lagi bahan yang tersisa di kulit. Pada bagian yang terbakar, lindungi luka dengan pakaian yang kering, steril dan longgar. Bila perlu, segera hubungi dokter. Bila terkena mata, bilas mata dengan air mengalir yang cukup banyak sambil mata dikedip-kedipkan. Pastikan tidak ada lagi sisa formalin dimata. Aliri mata dengan larutan garam dapur 0,9 % (seujung sendok teh garam dapur dilakukan dalam segelas air). Secara terus menerus sampai penderita siap dibawa kerumah sakit, segera bawa ke dokter.

Apabila tertelan formalin, maka upaya penanganan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. lakukan pembilasan lambung dengan 10 % amonium bicarbonat atau dengan campuran aromatik spirit dan amonia,
- b. berikan larutan sodium sulfat 30 gr dalam 250 cc air melalui mulut,
- c. bila kencing sedikit, berikan diet karbohidrat, lemak, dan protein rendah,
- d. Arachnis oil (minyak arachnis) dan dextrose emulsi melalui selang lambung. Jangan rangsang untuk muntah karena bisa menyebabkan iritasi yang berat. Setelah itu segera bawa korban ke rumah sakit.

Gangguan kesehatan yang dapat terjadi akibat terpapar melamin diantaranya adalah:

- a. Gangguan metabolisme, terutama pada bayi dan anak-anak. Ginjal merupakan organ tubuh yang paling cepat terganggu karena fungsi ginjal yang bertugas membuang racun dari dalam tubuh.
- b. Muntah dan diare sebagai reaksi akut dalam saluran pencernaan.
- c. Kerusakan fungsi otak, hati, ginjal, mata dan telinga dan pada efek lanjut dapat menyebabkan terjadinya kematian.
- d. Sistem kekebalan tubuh menjadi terganggu terutama pada bayi dan anak-anak yang sering mengkonsumsi pangan yang mengandung melamin ditandai dengan mudah terserang flu dan infeksi karena virus dan bakteri.
- e. Hasil penelitian menunjukkan bahwa melamin dapat menyebabkan distress pernafasan pada hewan coba.

Masalah kesehatan yang berhubungan dengan penyalahgunaan melamin pernah terjadi di China. Departemen Kesehatan China pada tanggal 20-21 September 2008, melaporkan bahwa hampir 40.000 anak telah mendapat perawatan medis karena mengkonsumsi susu formula yang terkontaminasi melamin dan sekitar 12.900 anak-anak dirawat di rumah sakit dan 3 orang meninggal dunia. Masalah yang sama juga terjadi di Singapura dan Hong Kong. Pihak yang berwenang di kedua negara tersebut melaporkan bahwa mereka juga menemukan kandungan melamin dalam produk susu yang diproduksi di China. Hasil inspeksi yang dilakukan oleh lembaga inspeksi nasional China ditemukan setidaknya 22 produsen susu di seluruh negara tersebut

ditemukan memiliki melamin pada beberapa produk mereka (tingkat bervariasi antara 0,09 mg / kg dan 2.560 mg / kg) (Sar et al., 2008).

Mengantisipasi kejadian yang sama di waktu yang akan datang, WHO merekomendasikan gerakan menyusui sebagai cara yang ideal untuk memberikan nutrisi yang dibutuhkan oleh bayi dan balita. ASI eksklusif dianjurkan sampai usia 6 bulan, dilanjutkan dengan pemberian ASI + MPASI sehingga diharapkan bayi dan balita menjadi sehat selama masa pertumbuhan dan perkembangannya (Sar et al., 2008).

Selain itu, pada tahun 2007 terjadi *outbreak* penyakit saluran kencing pada kucing dan anjing yang berhubungan dengan pemberian pakan yang mengandung melamin dan asam sianurat. Kombinasi dari melamin dan asam sianurat dapat menyebabkan terbentuknya batu ginjal dan menyebabkan kelainan ginjal pada hewan peliharaan. FDA telah melakukan kajian risiko terhadap melamin dan turunannya yaitu asam sianurat, ammelida, dan ammelina. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daging babi, ayam, ikan lokal dan telur dari ternak yang diberi pakan *wheat gluten* dan konsentrat protein yang diimpor dari China dinyatakan tercemar melamin.

### **Karsinogenik Melamin**

Data yang berkaitan dengan karsinogenisitas melamin pada belum tersedia. Sementara untuk karsinogenisitas pada hewan didasarkan pada penelitian yang dilakukan pada tikus. Paparan menghasilkan transisi sel karsinogen kandung kemih dan ureter pada tikus jantan, tetapi hanya hiperplasi kandung kemih pada mencit jantan. Pada tikus atau mencit betina tidak memiliki karsinoma, namun transisi sel papiloma ditemukan pada tikus jantan. Terjadinya tumor kandung kemih pada tikus jantan berhubungan baik dengan pembentukan batu dan paparan dosis tinggi. Pengaturan natrium klorida untuk meningkatkan asupan cairan dan luaran urin diketahui dapat mengurangi prevalensi batu dan terjadinya tumor.

Tumor kandung kemih yang terlihat pada tikus jantan yang terkena dosis tinggi melamin kemungkinan dihasilkan oleh mekanisme non-DNA-reaktif yang melibatkan hiperplasi epitel sekunder dengan ditemukannya batu kandung kemih yang mengandung melamin. Hasil dari penelitian menyimpulkan bahwa tumor kandung kemih

tidak akan terjadi pada hewan pengerat. Tumor kandung kemih baru dapat terjadi pada hewan pengerat apabila terkena dosis melamin yang dapat menghasilkan batu kandung kemih.

### **Pembentukan Batu**

Tingkat kematian pada bayi yang berkaitan dengan melamin relatif rendah, namun demikian kejadian atau temuan terhadap pembentukan batu tinggi, yaitu sebesar 2,58% di wilayah Cina daratan dan 0,03% di Hong Kong (*Hau et al*, 2009). Dalam sebuah penelitian *case control* yang dilakukan di China pada 44 anak dengan rata-rata umur 25,7 bulan di Sichuan dan pada 22 anak dengan rata-rata berumur 75 bulan dengan batu ginjal yang dikaitkan dengan melamin. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah batu ginjal pada anak-anak Sichuan secara signifikan lebih tinggi dibandingkan pada anak-anak Hong Kong. Sekitar 28% dari anak-anak Sichuan dan 48% dari anak-anak Hong Kong masing-masing memiliki batu ginjal pada satu tahun *follow-up* (*Lau & Tu dalam Research Fund Secretariat, Food & Health Bureau, 2013*).

Sementara pada studi tindak lanjut prospektif yang dilakukan terhadap anak-anak di sekolah Hong Kong dengan usia dari 6 sampai 20 tahun ditemukan sebanyak 46 orang dengan tingkat melamin urin tinggi (urin melamin/rasio kreatinin,  $7,1 \mu\text{g}/\text{mmol}$ ). Sekitar 9% dari anak-anak sekolah Hong Kong ( $n = 502$ ) memiliki kadar melamin urin meningkat. Tidak ada hubungan yang signifikan antara konsumsi susu dan tingkat melamin urin. Anak-anak sekolah Hong Kong dengan tingkat melamin urin tinggi ternyata memiliki perjalanan klinis yang lambat pada jangka waktu pendek. Para peneliti menyarankan bahwa *follow-up* dalam jangka waktu yang panjang terhadap orang-orang dengan tingkat melamin urin tinggi secara menetap untuk mengidentifikasi setiap hasil klinis yang signifikan merugikan (*Kong et al dalam Research Fund Secretariat, Food & Health Bureau, 2013*).

Analisis batu pada bayi-bayi di China menunjukkan bahwa batu-batu yang terdiri dari melamin dan asam urat, diterima sebagai dalil untuk membentuk sebuah struktur kristal kisi dengan rasio molar yang sama dengan dari melamin dan asam urat. Namun demikian rasio molar dari asam urat untuk melamin pada batu yang diisolasi dari bayi dengan batu kemih terkait melamin berkisar 1:2 sampai

2,1:1 (Lam *et al*, 2009). Ini berarti bahwa struktur batu asam urat dan melamin dapat terdiri dari campuran heterogen kristal melamin-asam urat dan melamin-asam urat kompleks. Penelitian histologi dari pada biopsi histologi ginjal bayi memperlihatkan efek toksik terkait melamin yang mungkin bagian dari hasil nefropati retrograt setelah pengendapan melamin dalam saluran kemih bawah.



Gambar 10.7. Melamin dikaitkan dengan batu kemih dari anak-anak China

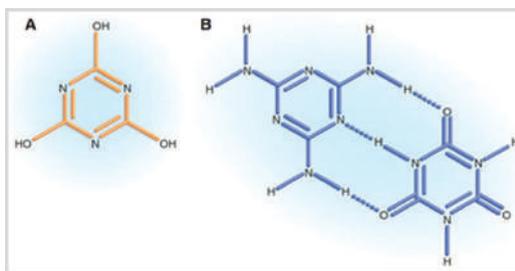
Dosis melamin yang mematikan terhadap 50% tikus yang diperlakukan adalah 3.200 mg/kg. Waktu paruh dari melamin berkisar dari 2,7 jam sampai 4,9 jam pada tikus dan sekitar 4 jam pada babi. Ginjal merupakan sasaran utama keracunan melamin (Hau *et al*, 2009). Anderson *et al* (2008) menyatakan bahwa didalam tubuh mamalia hampir tidak melakukan metabolisme terhadap melamin, sehingga melamin dikeluarkan atau diekskresikan kembali oleh tubuh melalui urin dalam bentuk aslinya. Dapat dipahami bahwa ginjal mempunyai tugas yang berat agar dapat mengeluarkan melamin dari dalam tubuh dan ini akan berpengaruh pada kesehatan ginjal.

### **Keracunan Melamin Dikombinasikan dengan Asam Sianurat**

Asam sianurat merupakan produk kimia antara (*intermediate chemical product*) yang terutama dipergunakan untuk membuat asam trikloroisosianurat (*trichloroisocyanuric acid*, TCCA) dan garam-garamnya. Zat-zat kimia berklor aktif tersebut dewasa ini terkenal sebagai bahan desinfektan, sanitiser, pemutih dan herbisida yang

ramah lingkungan (Nurjannah, 2003). Produk dari asam sianurat kini banyak dipergunakan dalam bidang pengolahan air sebagai biosida untuk membasmi mikroorganisme dalam sistem air, seperti dalam sistem air pendingin, kolam renang, pengolahan air limbah dan lain-lain.

Apabila jumlah kadar asam sianurat yang masuk kedalam tubuh manusia atau hewan akan menimbulkan gangguan kesehatan. Pengaruh kesehatan lebih berat akan dialami jika asam sianurat dikombinasikan dengan melamin. Ini terbukti dengan kejadian yang terjadi pada tahun 2007 di Amerika Utara. Keracunan melamin yang dikombinasikan dengan asam sianurat sebagai sebuah epidemi keracunan melamin yang diketahui secara luas yang disebut "*pet food-induced nephrotoxicity di Amerika Utara*" pada tahun 2007. Pada bulan Maret 2007, sejumlah kasus gagal ginjal akut pada anjing dan kucing dikaitkan dengan konsumsi berbagai makanan dari anjing dan kucing peliharaan. Salah satu kontaminannya adalah melamin yang ditambahkan untuk alasan yang sama seperti dalam paparan susu baru-baru ini pada manusia, yaitu untuk memberikan kandungan protein palsu tinggi. Dalam wabah hewan peliharaan ini, bukan saja melamin yang ditemukan, namun juga senyawa beracun lainnya yang terkandung, yaitu asam sianurat. Dampaknya adalah pada timbulnya angka kematian yang cukup tinggi pada hewan-hewan tersebut.

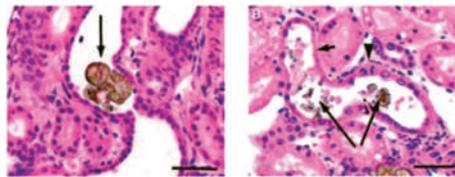


Gambar 10.8. (A). Struktur melokul asam sianurat, ditulis strurnya mirip dengan melamin. (B). Melamin dapat berinteraksi dengan bentuk isomer asam sianurat ke bentuk melamin sianurit (Hau et al, 2009).

Dengan demikian dapat diketahui bahwa asam sianurat (s-triziana -2,4,6-triol) secara struktural berkaitan dengan melamin. Bahan kimia yang biasanya digunakan sebagai stabilizer di kolam renang dan bak air panas bertujuan untuk meminimalkan dekomposisi asam hipoklorit oleh cahaya. Nemuan demikian belum diketahui dengan

baik, bagaimana sebenarnya asam sianurat bisa masuk ke dalam makanan hewan, seperti makanan kucing.

Walaupun asam sianurat ditambahkan dengan cara sengaja dalam makanan, maka asam sianurat akan tetap sebagai kontaminan selama sintesis melamin, karena asam sianurat adalah produk sampingan (Hammond *et al*, 1986). Penelitian tentang toksisitas asam sianurat masih terbatas. Sebuah penelitian dengan pemberian asam sianurat pada 700 atau 2200 mg/kg pada tikus berkaitan dengan terjadinya perubahan pada epitel.



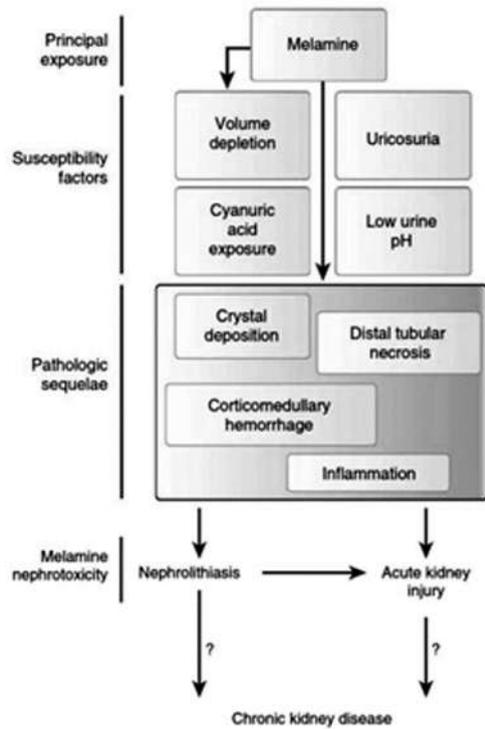
Gambar 10.9. Diagnosis jaringan dari hubungan melamin – gagal ginjal berdasarkan karakteristik kristal ginjal (Sumber : Hou *et al*, 2009).

Hasil kombinasi asam sianurat dengan melamin pada kucing dengan gagal ginjal akut dalam waktu 48 jam setelah konsumsi. Analisis urin dari kucing yang terkena dampak ditemukan adanya amorf atau dalam beberapa kasus ditemukan kristal yang berbentuk kipas, seperti yang terlihat pada gambar 10.9.A. Kristal tersebut merupakan hasil dari kombinasi melamin dengan asam sianurat (Brown *et al*, 2007).

Sedangkan gambar 10.9.B merupakan hasil dari cross bagian ginjal menunjukkan adanya edema interstitial ginjal dan perdarahan di persimpangan *corticomedullary*. Histopatologi terbatas pada ginjal dan beberapa kristal yang ditemukan dalam nefron-nefron distal yang dikaitkan dengan nekrosis tubular apitel dan regenerasi (Brown *et al*, 2007).

Dari penelitian yang dilakukan oleh Cianciolo *et al* (2008) terhadap efek dari kombinasi melamin – asam sianurat pada kasus – kasus kronis di temukan adanya *lymphoplasmacytic* atau peradangan *granulomatous tubulo interstitial* dan ditemukan fibrosis serta kristal-kristal terkait yang lebih besar. Bahkan terjadinya toksisitas yang ditimbulkan dari kombinasi melamin – asam sianurat tidak terbatas pada kucing saja. Kasus nefrotoksitas yang sama seperti kucing juga

di temukan pada saat kombinasi melamin dan asam sianurat diberikan pada ikan dan babi (Raimschuessel et al (2008. Pengaruh toksisitas tergantung dari ukuran besar kecilnya hewan tersebut. Pengaruh yang terjadi pada kucing ditemukan lebih besar dari pada pengaruh yang ditemukan pada anjing dan dampak yang ditemukan pada anjing kecil ternyata lebih besar dari pada dampak yang ditimbulkan pada anjing besar. Sedangkan tingkat kematian dari kombinasi melamin dan asam sianurat sebanyak 74% pada anjing dan 61% pada kucing.



Gambar 10.10. Kemungkinan Mekanisme dari Melamin Nephrotoxicity (Sumber :Bhalla et al, 2009)

Dari bagan di atas memperlihatkan bahwa melamin adalah sebagai penyebab utama dalam penyakit ini, tetapi beberapa studi pada hewan dan manusia menunjukkan beberapa faktor kerentanan. Biopsi spesimen dari bayi dengan penyakit ini belum dilaporkan, tetapi studi pada hewan telah melaporkan beberapa gejala sisa patologis yang berbeda. Melamin nefrotoksitas ditandai dengan nefrolitiasis, cedera ginjal akut atau keduanya. Apakah penyakit ginjal kronis (karena

kasus berulang nefrolitiasis atau karena cedera ginjal akut yang terjadi pada manusia belum diketahui.

Kombinasi melamin dan asam sianurat dianggap bertanggung jawab terhadap terjadinya kasus gangguan pada ginjal mamalia. Pada sebuah penelitian tentang toksisitas reproduksi melamin dalam ketiadaan dan kehadiran asam sianurat pada tikus jantan didapatkan kerusakan patologis dalam derajat yang berbeda diamati dalam testis mencit jantan diobati dengan dosis yang berbeda dari kedua melamin sendiri dan kombinasi melamin dan asam sianurat secara dosis-tergantung. Berdasarkan uji TUNEL, tikus diobati dengan dosis tinggi melamin (50mg / kg / hari) memiliki peningkatan yang signifikan dalam indeks apoptosis sel spermatogenik ( $p < 0,05$ ) dibandingkan dengan kelompok kontrol. Tes kelainan sperma menunjukkan bahwa melamin saja mengakibatkan morfologi sperma abnormal. Tikus-tikus dari kelompok perlakuan dari melamin dan asam sianurat tidak makan, dan terjadi gagal ginjal. Paparan gabungan untuk melamin dan asam cyanuric terungkap memiliki efek toksik tertentu pada testis mencit jantan pada dosis yang relatif rendah (masing-masing pada 1 mg / kg / hari) (Yin *et al.*, 2013).

Konsumsi gabungan dari melamin dan asam sianurat juga dianggap bertanggung jawab terhadap terjadinya kristaluria, batu ginjal dan gagal ginjal pada hewan. Penelitian tentang efek potensial dari melamin pada kekebalan humoral dengan atau tanpa asam sianurat pada tikus yang dibandingkan dengan kelompok kontrol, kandungan secara signifikan lebih rendah dari sel plasma mengekspresikan CD138 diamati dalam kelompok campuran melamin dan asam sianurat dengan kedua dosis menengah dan tinggi. Co-administrasi melamin dan asam sianurat mengakibatkan signifikan penurunan balon udara-1 ekspresi protein dan isi sIgA, C3, IL-21 dan IL-4 dibandingkan dengan kelompok kontrol (Yin *et al.*, 2014).

## Penutup

Melamin ( $C_3N_6H_6$ ) adalah senyawa kimia organik antara monomer formaldehida dan fenol yang berbentuk kristal putih dan mengandung 66% nitrogen. Formaldehida akan muncul menjadi racun bila melamin mengalami depolimerisasi.

Banyak peralatan rumah tangga dewasa ini, seperti piring, mangkuk, cangkir dan lain sebagainya diproduksi dari bahan melamin dan peralatan tersebut sangat populer dikalangan masyarakat. Hasil investigasi, melamin juga terdapat dalam produk susu dan produk berbahan baku susu yang diimpor dari China.

Formaldehida pada melamin dapat muncul dan menjadi racun yang akan mengganggu kesehatan bila melamin mengalami depolimerisasi. Dampak terhadap kesehatan akan lebih berat dialami jika melamin dikombinasikan dengan asam sianurat.

Paparan melamin pada manusia dapat menyebabkan gangguan kesehatan berupa alergi, kanker, kerusakan fungsi hati, ginjal dan otak.

Pelaku usaha yang bergerak dibidang produksi makanan dan minuman dan pelaku usaha yang bergerak dibidang produksi peralatan rumah tangga harus mempertimbangkan keselamatan konsumen yang memanfaatkan produk mereka dalam penggunaan melamin sebagai bahan produksi.

Pemerintah dapat melakukan pengawasan yang ketat terhadap produk yang dicurigai mengandung unsur melamin, terutama produk impor dan produk yang tidak memiliki izin produksi. Masyarakat harus diberi pengetahuan tentang bahaya- bahaya dari melamin terhadap kesehatan.

Masyarakat dalam menggunakan atau mengkonsumsi suatu produk, seperti peralatan makan dan susu tidak saja melihat dari sisi harga, keindahan dan merk, namun yang lebih penting adalah pertimbangan keselamatan dan keamanan dari penggunaan produk tersebut.

## **Daftar Pustaka**

Anderson KM, Day GM, Paterson MJ, Byrne P, Clarke N, & Steed JW.

*Structure calculation of an elastic hydrogel from sonication of rigid small molecule components.* Angew Chem Int Ed Engl. 2008;47:1058-62. doi: 10.1002/anie.200703785.

Artha, E. (2007). *Pemeriksaan Kandungan Formaldehid Pada Berbagai Jenis Peralatan Makan Melamin Di Kota Medan.*

Medan.

- Bhalla V., Grimm P.C., Chertow G.M., & Pao A.C. (2009). *Melamine Nephrotoxicity: an Emerging Epidemic in an Era of Globalization*. *Kidney International* 75, 774–779; doi:10.1038/ki. Diakses tanggal 22 Oktober 2016
- BPOM (Badan Pengawas Obat dan Makanan). 2008. Keterangan Pers Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan tahun 2008 tentang Kandungan Melamin dalam Produk Pangan Impor dari China yang Mengandung Susu. Jakarta. BPOM [diakses tanggal 22 Oktober 2016]
- BPOM (Badan Pengawas Obat dan Makanan). 2008. Melamin dalam Produk Pangan. *InfoPom*. Vol 9, no 6
- BPOM RI. (2013). Bahaya Keracunan Melamin yang Terkandung Dalam Pangan. *Balai POM RI*, 14(4), 7–12
- Brown CA, Jeong KS, Poppenga, Robert HP, Puschner B & et al (2007). *Outbreaks of renal failure associated with melamine and cyanuric acid in dogs and cats in 2004 and 2007*. *J Vet Diagn Invest* 19: 525–531, 2007
- Cianciolo RE, Bischoff K, Ebel JG, Van Winkle TJ, Goldstein RE, Serfilippi LM (2008). *Clinico-pathologic, histologic, and toxicologic findings in 70 cats inadvertently exposed to pet food contaminated with melamine and cyanuric acid*. *J Am Vet Med Assoc* 233: 729–737, 2008
- Codex alimentarius commssion. 2010. International experts limit melanin level in food [<http://www.fao.org/news/story/en/item/43719/icode/>, diakses tanggal 22 Oktober 2016].
- FDA. 2008. Melamin contamination in China. [<http://www.fda.gov/oc/opacom/hottopics/melamine.html>, diakses tanggal 22 Oktober 2008]
- Hammond BG, Barbee SJ, Inoue T (1986) *A review of toxicology studies on cyanurate and its chlorinated derivatives*. *Environ Health Perspect* 69: 287– 292, 1986
- Hau A.Kc., Kwan T.H., & Li P.Kt (2009) *Melamine Toxicity and the*

- Kidney*. J Am Soc Nephrol 20: 245–250,. doi: 10.1681/ASN.2008101065, diakses tanggal 22 Oktober 2016
- Lam CW, Lan L, Che X, Tam S, Wong SS, Chen Y et al. *Diagnosis and spectrum of melamine-related renal disease: plausible mechanism of stone formation in humans*. Clin Chim Acta. 2009;402;150-5. doi: 0.1016/j.cca.2008.12.035.
- Lestari I.P., Rahayu W.S., & Utami P.I. (2011). *Identifikasi Melamin dalam susu Impor yang Beredar di Swalayan Brebes dengan Metode Kromatografi Cair Kinerja Tinggi*. Pharmacy 8 (1): 84-92 [http://www.portalgaruda, diakses tanggal 22 Oktober 2016].
- Liu, Y., Todd, E. E. D., Zhang, Q., Shi, J., & Liu, X. (2012). Recent developments in the detection of melamine \*, 13(7), 525–532. <http://doi.org/10.1631/jzus.B1100389>
- Mukono, H. . (2010). *Toksikologi Lingkungan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Nisma, F., Situmorang, A., & Syarif, A. K. (2011). PERALATAN MAKAN MELAMIN MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER UV-VIS The effect of temperature and soaking duration on the content of formaldehyde in the melamine dining wares by ditecting with Spectrophotometry UV-Vis Fatimah Nisma . Almawati Situmorang dan Ani K. *Seminar Hasil Riset UHAMKA*, 1–17.
- Nurjannah R. (2003). *Produksi Assam Sianurat dari Urea*. [http://digilib.itb.ac.id/gdl., diakses tanggal 16 Oktober 2016].
- Permenkes nomor 34 tahun 2012. (2012). Retrieved from [jdih.pom.go.id](http://jdih.pom.go.id) diakses tanggal 22 Oktober 2016.
- Rachmawati S dan Widiyanti PM. 2013. Kadar Melamin pada Produk Berbahan susu dan Susu Bubuk yang dianalisis secara *Liquid Chromatography Mass Spectrometri* (LC-MS). JITV, Vol 18: 63-69
- Reimschuessel R, Giesecker CM, Miller RA, Ward J, Boehmer J, & et al (2008).  
*Evaluation of the renal effects of experimental feeding of melamine and cyanuric acid to fish and pigs*. Am J Vet Res 69: 1217–

1228.

- Research Fund Secretariat, Food & Health Bureau (2013). *Summary report on commissioned research studies related to the melamine incident*. Hong Kong Med J Vol 19 No 6: 3 – 9.
- Sar, H. K., Sar, H. K., Food, I., Authorities, S., San, I., Kong, H., & Kong, H. (2008). Melamine-contaminated powdered infant formula , China Lait maternisé en poudre contaminé à la mélamine, Chine. *Proquest*, (39). Retrieved from <http://e-resources.perpusnas.go.id:2071/docview/216307796?pq-origsite=summon>
- WHO (2016). *Food Safety*. [ <http://www.who.int>, diakses tanggal 22 Oktober 2016]
- Yin, R. H., Liu, J., Li, H. S., Bai, W. L., Yin, R. L., Wang, X., Han, X. R. (2014). The toxic effects of melamine on spleen lymphocytes with or without cyanuric acid in mice. *Research in Veterinary Science*, 97(3), 505 – 513. <http://doi.org/10.1016/j.rvsc.2014.10.001>
- Yin, R. H., Wang, X. Z., Bai, W. L., Wu, C. D., Yin, R. L., Li, C., He, J. B. (2013). The reproductive toxicity of melamine in the absence and presence of cyanuric acid in male mice. *Research in Veterinary Science*, 94(3), 618– 627. <http://doi.org/10.1016/j.rvsc.2012.11.010>

