



EPIDEMIOLOGI KESEHATAN LINGKUNGAN

Dr. Sutarmi, MN; Dismo Katiandagho, SST, M. Kes. Epid; Yozua Toar Kawatu, S.Pd, M.K.M Ns. Wahidanur, S.Kep., MKM Amsal, SKM., M. Kes Nurmala Hayati Sihombing, SKM.,M.Kes Indra Haryanto Ali, S.KM., M.Epid Jasman, S.Pd., M.Kes Bongakaraeng, SKM, M.Kes Mirnawati Dewi, M.Si. Suwarja, S.Pd, M.Kes Dr. Drs Agus Rokot, S.Pd.,M.Kes Marlyn M. Pandean, S.Pd., SKM., MPH Pratiwi Soni Redha, SKM.,M.K.M Yauwan Tobing Lukiyono, S.S.T., M.T



EPIDEMIOLOGI KESEHATAN LINGKUNGAN

Dr. Sutarmi, MN

Dismo Katiandagho, SST, M. Kes. Epid

Yozua Toar Kawatu, S.Pd, M.K.M

Ns. Wahidanur, S.Kep., MKM

Amsal, SKM., M. Kes

Nurmala Hayati Sihombing, SKM.,M.Kes

Indra Haryanto Ali, S.KM., M.Epid

Jasman, S.Pd., M.Kes

Bongakaraeng, SKM, M.Kes

Mirnawati Dewi, M.Si.

Suwarja, S.Pd, M.Kes

Dr. Drs Agus Rokot, S.Pd.,M.Kes

Marlyn M. Pandean, S.Pd., SKM., MPH

Pratiwi Soni Redha, SKM.,M.K.M

Yauwan Tobing Lukiyono, S.S.T., M..T

Editor

La Ode Alifariki, S.Kep., Ns., M.Kes



EPIDEMIOLOGI KESEHATAN LINGKUNGAN

Penulis:

Dr. Sutarmi, MN

Dismo Katiandagho, SST, M. Kes. Epid

Yozua Toar Kawatu, S.Pd, M.K.M

Ns. Wahidanur, S.Kep., MKM

Amsal, SKM., M. Kes

Nurmala Hayati Sihombing, SKM.,M.Kes

Indra Haryanto Ali, S.KM., M.Epid

Jasman, S.Pd., M.Kes

Bongakaraeng, SKM, M.Kes

Mirnawati Dewi, M.Si.

Suwarja, S.Pd, M.Kes

Dr. Drs Agus Rokot, S.Pd.,M.Kes

Marlyn M. Pandean, S.Pd., SKM., MPH

Pratiwi Soni Redha, SKM.,M.K.M

Yauwan Tobing Lukiyono, S.S.T., M..T

ISBN : 978-634-04-2396-9

Editor Buku:

La Ode Alifariki, S.Kep., Ns., M.Kes

Cetakan Pertama : 2025

Diterbitkan Oleh :

Perkumpulan Pendidikan dan Pelatihan Tenaga Kesehatan Progres Ilmiah Kesehatan

Jl. Kancil, Pelangi Residance, Poasia, Kota Kendari

+62 85145272116

Website: <https://promise.nchat.id>

E-mail: progresilmiahkesehatan@gmail.com

Anggota IAKPI: 011/SULTRA/2025

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian karya tulis ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kami sehingga buku ini dapat tersusun. Buku ini diperuntukkan bagi Dosen, Praktisi, dan Mahasiswa Kesehatan sebagai bahan bacaan dan tambahan referensi.

Buku ini berjudul Epidemiologi kesehatan lingkungan mencoba menyuguhkan dan mengemas beberapa hal penting konsep epidemiologi kesehatan lingkungan. Buku ini berisi tentang segala hal yang berkaitan dengan konsep Dasar epidemiologi dan kesehatan lingkungan serta konsep lainnya yang disusun oleh beberapa Dosen Perguruan Tinggi.

Buku ini dikemas secara praktis, tidak berbelit-belit dan langsung tepat pada sasaran. Selamat membaca.

Kendari, 20 Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KONSEP DASAR EPIDEMIOLOGI KESEHATAN LINGKUNGAN

• Pendahuluan	1
• Epidemiologi Lingkungan	1
• Manfaat Epidemiologi Lingkungan	5
• Komponen Epidemiologi Lingkungan	5
• Perkembangan Epidemiologi	7
• Perspektif Penyakit Berbasis Lingkungan	9

TRANSISI EPIDEMIOLOGI DAN DETERMINAN LINGKUNGAN

• Pendahuluan	12
• Konsep Transisi Epidemiologi dan Determinan Lingkungan	13

MODEL PENYAKIT BERBASIS LINGKUNGAN

• Pendahuluan	19
• Faktor Risiko Penyakit Berbasis Lingkungan	23

RANTAI PENULARAN PENYAKIT BERBASIS LINGKUNGAN

• Pendahuluan	34
• Rantai Penularan Penyakit Berbasis Lingkungan	35

DESAIN STUDI EPIDEMIOLOGI LINGKUNGAN (DSEL)

• Pendahuluan	44
• Ruang Lingkup Epidemiologi Lingkungan	44
• Klasifikasi Desain Studi Epidemiologi Lingkungan	45
• Langkah-langkah Merancang Studi Epidemiologi Lingkungan	49
• Tantangan dalam Studi Epidemiologi Lingkungan	50
• Aplikasi Nyata dalam Studi Epidemiologi Lingkungan	50

EPIDEMIOLOGI PAPARAN LINGKUNGAN (EXPOSURE ASSESMENT)

• Pendahuluan	54
• Penilaian Paparan Lingkungan (Exposure Assesment)	55

TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN DALAM PERSPEKTIF EPIDEMIOLOGI

• Pendahuluan	65
• Toksikologi Lingkungan dalam Perspektif Epidemiologi	66

AIR, SANITASI DAN PENYAKIT MENULAR BERBASIS AIR

• Pendahuluan	75
• Air, Sanitasi dan Penyakit Menular Berbasis Air	76

UDARA DAN GANGGUAN KESEHATAN RESPIRATORI

• Pendahuluan	86
• Konsep Udara dan Pencemaran Udara	86
• Gangguan Respiratori Akibat Cemaran Udara	87

TANAH, LIMBAH, DAN RISIKO INFENSI/ZOONOSIS

• Pendahuluan	95
• Klasifikasi Zoonosis	96

VEKTOR DAN PENYAKIT BERBASIS EKOLOGI LINGKUNGAN

• Pendahuluan	107
• Penyakit Berbasis Ekologi Lingkungan	108

ZAT KIMIA LINGKUNGAN DAN PENYAKIT TIDAK MENULAR

• Pendahuluan	119
• Konsep Zat Kimia Lingkungan Dan Penyakit Tidak Menular	120

PENCEMARAN LINGKUNGAN DENGAN KANKER

• Pendahuluan	129
• Konsep Pencemaran Lingkungan dengan Kanker	130

PERUBAHAN IKLIM DAN DAMPAKNYA TERHADAP PENYAKIT

• Pendahuluan	145
• Perubahan Iklim dan Dampaknya Terhadap Penyakit	145

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN (ARKL)

• Pendahuluan	154
• Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan	155

BAB

Konsep Dasar Epidemiologi Kesehatan Lingkungan

1

Dr. Sutarmi, MN

A. Pendahuluan

Penyakit berbasis lingkungan adalah kondisi kesehatan yang disebabkan atau diperburuk oleh paparan faktor lingkungan, mulai dari keracunan akut hingga penyakit multifaktorial seperti asma dan penyakit jantung. Pendekatan epidemiologi menggunakan model *Source-to-Outcome Continuum* yang menjelaskan perjalanan kontaminan dari sumber (pabrik, kendaraan, pertanian) melalui tahap emisi ke lingkungan (udara, air, tanah), hingga proses transport dan transformasi kimia.(A'qoulah et al., 2025) *Framework* ini membantu memahami bagaimana faktor lingkungan berkembang menjadi ancaman kesehatan dan mengidentifikasi titik intervensi efektif untuk pencegahan penyakit berbasis lingkungan.(Pakaya et al., 2025)

B. Epidemiologi Lingkungan

1. Pengertian Epidemiologi Lingkungan

Epidemiologi lingkungan adalah cabang epidemiologi yang mempelajari distribusi dan determinan penyakit terkait faktor lingkungan dalam populasi manusia serta aplikasinya untuk pencegahan dan pengendalian masalah kesehatan lingkungan.(Pinontoan, 2019)

Bidang ini mencakup tiga aspek fundamental: distribusi yang mengkaji pola penyakit berdasarkan waktu, tempat, dan orang untuk mengidentifikasi populasi berisiko tinggi; determinan yang menganalisis faktor lingkungan penyebab penyakit meliputi faktor fisik (radiasi, kebisingan), kimia (pestisida, logam berat), biologis

(mikroorganisme patogen), dan sosial (kemiskinan, akses air bersih); serta aplikasi yang menggunakan temuan epidemiologi untuk mengembangkan intervensi melalui kebijakan kesehatan lingkungan, program surveilans, dan strategi komunikasi risiko. Ketiga aspek ini membentuk landasan komprehensif untuk memahami hubungan kompleks antara lingkungan dan kesehatan manusia.(Fahmi & Ririn, 2024)

2. Ruang Lingkup Epidemiologi Lingkungan

Ruang lingkup epidemiologi lingkungan sangat luas dan terus berkembang seiring dengan munculnya ancaman kesehatan lingkungan baru. Menurut klasifikasi yang dikembangkan oleh World Health Organization (2016), ruang lingkup ini dapat dibagi menjadi beberapa kategori utama, yaitu:

a. Lingkungan Fisik

Lingkungan fisik adalah komponen lingkungan yang dapat diukur secara fisik dan berdampak langsung pada kesehatan manusia. Komponen ini meliputi kualitas udara dengan polutan seperti partikulat matter nitrogen dioksida, ozon, dan senyawa organik volatil yang meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, respiratori, dan kanker paru-paru; kualitas air yang dapat terkontaminasi mikroorganisme patogen dan bahan kimia beracun sehingga menyebabkan penyakit diare dan infeksi; kontaminasi tanah oleh logam berat, pestisida, dan limbah industri yang mempengaruhi kesehatan melalui kontak langsung atau kontaminasi rantai makanan; serta radiasi ionisasi dan non-ionisasi yang dapat menyebabkan kanker, kelainan genetik, dan gangguan reproduksi jika paparan berlebihan.(Marlinae et al., 2018)

b. Lingkungan Kimia

Lingkungan kimia mencakup berbagai bahan kimia buatan manusia maupun alami yang berdampak negatif terhadap kesehatan. Komponen ini meliputi

pestisida dan herbisida yang dapat menyebabkan gangguan neurologis, kanker, dan masalah reproduksi; logam berat (timbal, merkuri, kadmium, arsenik, kromium) yang bersifat persisten dan terakumulasi dalam tubuh sehingga menyebabkan keracunan kronis; polutan organik persisten (POPs) seperti DDT, PCBs, dan dioxin yang resisten terhadap degradasi lingkungan dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan serta menyebabkan kanker dan gangguan endokrin; serta ribuan bahan kimia industri seperti pelarut organik, plastisizer, dan flame retardants yang memiliki efek toksik berpotensi menimbulkan berbagai gangguan kesehatan.(Marlinae et al., 2018)

c. Lingkungan Biologis

Lingkungan biologis mencakup organisme hidup yang berpengaruh signifikan terhadap kesehatan manusia. Komponen ini meliputi agen infeksi (bakteri, virus, parasit, jamur) yang menyebabkan penyakit menular dengan distribusi dipengaruhi faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan ketersediaan inang; vektor penyakit seperti nyamuk penular malaria dan demam berdarah, tikus pembawa pes dan leptospirosis, serta tungau penyebab scrub typhus yang distribusi dan kepadatan populasinya dipengaruhi perubahan kondisi lingkungan; serta allergen lingkungan meliputi serbuk sari, tungau debu, jamur, dan dander hewan yang dapat memicu reaksi alergi dengan konsentrasi dan distribusi semakin dipengaruhi perubahan iklim global.(Maksuk, 2024)

d. Lingkungan Sosial dan *Built Environment*

Lingkungan sosial dan *built environment* adalah aspek lingkungan yang terbentuk melalui aktivitas manusia dan struktur sosial. Komponen ini mencakup kondisi perumahan dengan faktor kualitas bangunan, kepadatan hunian, ventilasi, dan akses sanitasi yang mempengaruhi risiko penyakit menular dan tidak

menular; infrastruktur sanitasi meliputi sistem pembuangan limbah, pengolahan air limbah, dan pengelolaan sampah yang menjadi determinan kunci kualitas lingkungan; serta perencanaan kota yang mencakup tata ruang urban, sistem transportasi, dan ruang terbuka hijau yang berdampak pada kualitas udara, aktivitas fisik, dan kesehatan mental. Aspek ini menunjukkan bagaimana desain dan pengelolaan lingkungan buatan dapat membentuk profil kesehatan populasi.(Maksuk, 2024)

3. Karakteristik Khusus Epidemiologi Lingkungan

Epidemiologi lingkungan memiliki karakteristik khusus yang membedakannya dari cabang epidemiologi lainnya. Karakteristik ini meliputi kompleksitas paparan dimana manusia terpapar berbagai kontaminan secara bersamaan melalui multiple jalur (inhalasi, ingesti, kontak dermal) sehingga menyulitkan isolasi efek satu agen tertentu; paparan tingkat rendah jangka panjang yang berbeda dengan paparan okupasional, berlangsung seumur hidup namun sulit dideteksi dan memerlukan studi dengan sampel besar dan *follow-up* panjang; periode laten yang sangat panjang (10-30 tahun atau lebih) terutama untuk kanker dan penyakit degeneratif yang menyulitkan hubungan kausal; keberadaan populasi rentan (anak-anak, ibu hamil, lansia) yang menunjukkan efek paparan lebih besar; serta tingkat ketidakpastian ilmiah tinggi akibat keterbatasan data paparan historis dan kompleksitas interaksi faktor lingkungan-genetik yang menjadi tantangan metodologis tersendiri.(A'qoulah et al., 2025)

4. Pendekatan Metodologi

Epidemiologi lingkungan menggunakan berbagai pendekatan metodologi inovatif untuk mengatasi tantangan khusus yang dihadapi. Pendekatan ini meliputi penggunaan biomarker untuk mengukur paparan internal, dosis biologis efektif, dan efek biologis dini yang memberikan informasi lebih akurat tentang paparan dan respons biologis;

Geographic Information Systems (GIS) yang memungkinkan analisis spasial canggih untuk mengkarakterisasi paparan dan mengidentifikasi cluster penyakit melalui integrasi data dan visualisasi pola spasial; pemodelan paparan menggunakan model matematika untuk mengestimasi paparan individu atau populasi dengan mengintegrasikan data konsentrasi lingkungan, pola aktivitas manusia, dan karakteristik fisiologis; serta molekuler epidemiologi yang mengintegrasikan teknologi molekuler untuk memahami mekanisme biologis hubungan paparan-penyakit melalui analisis polimorfisme genetik, epigenetik, dan ekspresi gen.(Fahmi & Ririn, 2024)

C. Manfaat Epidemiologi Lingkungan

Epidemiologi lingkungan memberikan kontribusi berharga dalam kesehatan masyarakat dan kebijakan lingkungan melalui lima manfaat utama. Pertama, identifikasi *hazard* dan penilaian risiko untuk mengidentifikasi agen lingkungan berbahaya dan mengungkap hubungan kausal seperti asbes dengan mesothelioma atau benzene dengan leukemia. Kedua, pengembangan standar dan regulasi kesehatan lingkungan dimana hasil penelitian menjadi dasar penetapan baku mutu lingkungan dan nilai ambang batas paparan seperti standar PM2.5. Ketiga, evaluasi efektivitas intervensi untuk menilai program kesehatan lingkungan dan memastikan alokasi sumber daya optimal. Keempat, sistem peringatan dini dan respons darurat melalui surveilans untuk mendeteksi ancaman kesehatan seperti *outbreak* akibat kontaminasi air. Kelima, komunikasi risiko dan edukasi masyarakat menggunakan temuan epidemiologi sebagai dasar komunikasi efektif untuk membantu keputusan tentang paparan lingkungan dan perilaku kesehatan.(Naningsi et al., 2023)

D. Komponen Epidemiologi Lingkungan

Epidemiologi lingkungan terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terkait dan mendukung satu sama lain, meliputi:

1. Agent (Agen)

Agent dalam epidemiologi lingkungan adalah faktor lingkungan yang dapat menyebabkan penyakit atau masalah kesehatan, terbagi menjadi tiga kategori utama. Agent fisik meliputi radiasi, kebisingan, getaran, suhu ekstrem, dan tekanan atmosfer yang dapat menyebabkan kerusakan jaringan atau mempengaruhi proses fisiologis. Agent kimia berupa senyawa alami maupun sintetik yang bersifat toksik, karsinogenik, mutagenik, atau teratogenik yang masuk tubuh melalui berbagai rute dan menyebabkan efek akut maupun kronis. Agent biologis mencakup mikroorganisme patogen, vektor penyakit, dan allergen biologis yang menyebabkan infeksi, reaksi alergi, atau respons imun lainnya.(Fahmi & Ririn, 2024)

2. Host (Pejamu)

Host adalah individu atau populasi yang berisiko terpapar agent lingkungan dengan karakteristik kerentanan yang dipengaruhi empat faktor utama. Faktor demografis (umur, jenis kelamin, ras/etnis) mempengaruhi metabolisme dan eliminasi kontaminan. Faktor genetik berupa polimorfisme yang mempengaruhi enzim metabolisme dan reseptor sehingga memodifikasi respons paparan. Status kesehatan mencakup kondisi yang sudah ada, status nutrisi, dan penggunaan obat yang mempengaruhi kerentanan. Faktor perilaku meliputi pola aktivitas, kebiasaan makan, merokok, dan konsumsi alkohol yang memodifikasi tingkat paparan dan respons tubuh.(Fahmi & Ririn, 2024)

3. Environment (Lingkungan)

Environment mencakup semua faktor eksternal yang mempengaruhi paparan dan transmisi agent kepada host, terdiri dari tiga komponen utama. Lingkungan fisik meliputi karakteristik geografis, topografi, iklim, dan meteorologi yang mempengaruhi transport dan transformasi kontaminan. Lingkungan sosial-ekonomi mencakup tingkat pendidikan, pendapatan, pekerjaan, dan akses pelayanan kesehatan yang mempengaruhi tingkat paparan dan

kerentanan. Lingkungan built berupa infrastruktur, perumahan, sistem transportasi, dan fasilitas industri yang dapat menjadi sumber paparan atau mempengaruhi kualitas lingkungan keseluruhan.(Fahmi & Ririn, 2024)

4. Time (Waktu)

Dimensi waktu dalam epidemiologi lingkungan mencakup berbagai aspek temporal yang kompleks. Timing paparan dimana periode kehidupan ketika paparan terjadi (in utero, masa kanak-kanak, dewasa) menentukan jenis dan tingkat keparahan efek kesehatan. Durasi paparan meliputi lamanya paparan dari akut, subkronik, hingga kronik yang mempengaruhi mekanisme toksik. Pola temporal berupa variasi paparan harian, musiman, atau jangka panjang yang mempengaruhi estimasi risiko. Periode laten yaitu waktu antara paparan dengan munculnya efek kesehatan yang perlu dipertimbangkan dalam desain studi dan interpretasi hasil penelitian.(Fahmi & Ririn, 2024)

E. Perkembangan Epidemiologi

1. Perkembangan Epidemiologi Kesehatan Lingkungan

Perkembangan epidemiologi lingkungan melalui lima era utama. Era klasik (abad ke-19 hingga awal abad ke-20) dipelopori *John Snow* dengan investigasi kolera di London (1854) dan *Edwin Chadwick* dengan laporan sanitasi yang mendorong reformasi kesehatan masyarakat. Era mikrobiologi (akhir abad ke-19 hingga awal abad ke-20) ditandai penemuan mikroorganisme sebagai penyebab penyakit oleh Pasteur dan Koch, dengan Postulat Koch sebagai kerangka kerja hubungan kausal. Era transisi epidemiologi (pertengahan abad ke-20) mengalami pergeseran dari penyakit menular ke tidak menular dengan studi landmark seperti *British Doctors Study and Framingham Heart Study*. Era lingkungan (1960-1980an) meningkatkan kesadaran dampak polusi melalui smog London 1952 dan "Silent Spring" *Rachel Carson*, dengan pengembangan penilaian risiko dan pembentukan EPA.(Pinontoan, 2019)

Era molekuler (1990an-sekarang) mengalami revolusi biologi molekuler melalui teknologi genomik, proteomik, dan metabolomik. Perkembangan penting meliputi farmakogenetik dan toxicogenomics yang mempelajari variasi genetik dalam respons paparan; epigenetik yang mengkaji perubahan ekspresi gen akibat paparan lingkungan dengan efek transgenerational; konsep exposome yang mengintegrasikan semua paparan sepanjang hidup; serta pemanfaatan big data dan artificial intelligence untuk analisis dataset kompleks dan prediksi risiko kesehatan yang lebih akurat.(Pakaya et al., 2025)

2. Tantangan dan Peluang Era Digital

Era digital memberikan tantangan dan peluang baru dalam epidemiologi lingkungan melalui empat inovasi teknologi utama. Pertama, pengembangan sensor dan *wearable technology* berupa sensor lingkungan *portable* dan perangkat yang dapat dikenakan untuk monitoring paparan *real-time* dengan resolusi temporal dan spasial tinggi. Kedua, *citizen science* yang melibatkan partisipasi masyarakat dalam pengumpulan data melalui aplikasi *mobile* dan platform digital untuk meningkatkan cakupan dan representativitas data. Ketiga, algoritma *machine learning* yang mampu mengidentifikasi pola kompleks dalam data epidemiologi lingkungan yang terlewat analisis statistik konvensional. Keempat, integrasi data dari berbagai sumber seperti satelit, sensor, rekam medis elektronik, dan media sosial yang memungkinkan analisis komprehensif hubungan lingkungan-kesehatan. Keempat perkembangan ini membuka dimensi baru dalam metodologi penelitian epidemiologi lingkungan kontemporer.(A'aqoulah et al., 2025)

3. Perkembangan di Indonesia

Perkembangan epidemiologi lingkungan di Indonesia mengikuti pola global dengan karakteristik khusus dalam empat era. Era kolonial dan kemerdekaan berfokus pada pengendalian penyakit tropis seperti malaria, demam

berdarah, dan diare melalui perbaikan sanitasi dan pengendalian vektor. Era pembangunan (1970-1990an) ditandai industrialisasi pesat yang menimbulkan masalah pencemaran baru dan pembentukan Bapedal (1990) sebagai penanda regulasi lingkungan modern. Era reformasi (1998-sekarang) mengalami peningkatan kesadaran lingkungan dan transparansi yang mendorong penelitian epidemiologi lingkungan berkualitas. Era kontemporer menghadapi *triple burden of disease* dengan tingginya penyakit menular, meningkatnya penyakit tidak menular, dan munculnya *emerging diseases* seperti COVID-19 yang berinteraksi dengan faktor lingkungan.(A'aqoulah et al., 2025; Fahmi & Ririn, 2024)

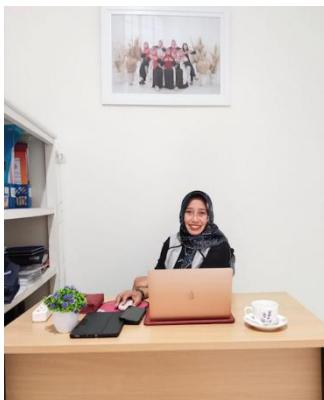
F. Perspektif Penyakit Berbasis Lingkungan

Konsep penyakit berbasis lingkungan adalah kondisi kesehatan yang disebabkan, dipicu, atau diperburuk oleh paparan faktor lingkungan dengan spektrum luas dari keracunan akut hingga penyakit multifaktorial seperti asma atau penyakit jantung. Perspektif epidemiologi menggunakan model *Source-to-Outcome Continuum* yang menggambarkan perjalanan kontaminan dari sumber (pabrik, kendaraan, pertanian) melalui tahap emisi/*release* ke lingkungan (udara, air, tanah), hingga transport dan transformasi yang mencakup pergerakan dan perubahan kimia kontaminan. *Framework* ini memberikan pemahaman sistematis bagaimana faktor lingkungan berkembang menjadi ancaman kesehatan melalui proses kompleks dan saling terkait.(Inovasi et al., 2025; Candra, 2020)

DAFTAR PUSTAKA

- A'aqoulah, A., El-Metwally, A. A., Al Khateeb, B., Alammari, D., Alshahrani, A., Aldubikhi, A., Alsulami, A., Fatani, F., & Innab, N. (2025). Challenges and opportunities of complexity theory in health care systems. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 20(4), 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2025.06.006>
- Candra, A. (2020). *Epidemiologi Stunting*.
- Fahmi, U., & Ririn, W. (2024). *Paradigma Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*.
- Inovasi, J., Lingkungan, K., Kerja, K., Anwas, R., & Trianto, A. B. (2025). Metode Pengelolaan Limbah Padat Domestik Dan Dampaknya Di Kelurahan Barrang Lombo Kecamatan Ujung Tanah Kota Makassar. I(1), 38–47. <https://ejournal.polindo.ac.id/index.php/ecohealth/index#Hal.38-47>
- Maksuk. (2024). *Buku Ajar Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*.
- Marlinae, L., Laily Khairiyati, M., Fauzie Rahman, M., & Nur Laily, M. (2018). *Buku Ajar Dasar - Dasar Kesehatan Lingkungan*.
- Naningsi, A., Kep, S., Kes, M., Saepudin, M., Skm, M., Kes, R., Hasan, S., Pd, M., Kes, L., & Handayani, S. K. M. (2023). Epidemiologi Lingkungan.
- Pakaya, R., Lubis, I., Bato, M., Sitorus, E., March Syahadat, R., Purnawati Rahayu, E., Yulia Wardani, E., Isma Sari Usman, J., Simbolon, B. R., & Arfeni Warongan, V. (2025). Epidemiologi Lingkungan. www.freepik.com
- Pinontoan, O. S. O. ; N. J. (2019). *Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*.

BIODATA PENULIS



Dr. Sutarmi, MN lahir di Demak, pada tanggal 15 Juni 1974. Menyelesaikan pendidikan S1 di Postgraduate Diploma, Melbourne University dan S2 di School of Postgraduate Nursing, Melbourne University, Australia. Gelar Doktor diperoleh dari Program Doktor Ilmu Kedokteran dan Kesehatan, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Program Studi Diploma III keperawatan, Jurusan Keperawatan Poltekkes Kemenkes Semarang.

BAB

2

Transisi Epidemiologi dan Determinan Lingkungan

Dismo Katiandagho, SST, M. Kes. Epid

A. Pendahuluan

Transisi epidemiologi penyakit merupakan pola pergeseran dan perubahan penyakit. Perubahan tersebut dapat berupa dengan berkurangnya jumlah penderita penyakit infeksi dan bertambahnya jumlah penderita penyakit non infeksi atau penyakit degeneratif. Di Indonesia transisi epidemiologi dapat terjadi diakibatkan perubahan sosial, ekonomi dan lingkungan, perubahan struktur penduduk, dan adopsi gaya hidup tidak sehat (Boslaugh, Sarah, eds. (2008).

Penyakit degeneratif merupakan penyakit non-infeksi yang ditimbulkan akibat bertambahnya usia sehingga kemampuan sel menjadi berkurang (Achmadi, U.F. (2014). Seiring dengan majunya teknologi maka gaya hidup manusia semakin beragam dan hal itu dapat menjadi faktor timbulnya penyakit degeneratif lebih awal. Banyak contoh penyakit degeneratif yang sekarang banyak diderita pada usia muda seperti penyakit jantung koroner, stroke, dan diabetes (Arundar, S, ads. 2012)

Menurut *World Health Organization* (WHO) (2015) banyak negara yang memiliki beban finansial yang besar akibat penduduknya banyak menderita penyakit degenerative sehingga dibutuhkan langkah yang nyata untuk menanggulanginya. WHO juga menyebutkan bahwa hampir 17 juta orang setiap tahunnya meninggal akibat penyakit degeneratif. Sebanyak 80% dari jumlah tersebut terdapat di negara-negara berkembang dan berpenghasilan rendah seperti Tanzania, Pakistan, Nigeria, dan Indonesia (CDC, 2012).

B. Konsep Transisi Epidemiologi dan Determinan Lingkungan

1. Pengertian Transisi Epidemiologi

Transisi epidemiologi adalah perubahan pola kesehatan dan pola penyakit yang berinteraksi dengan demografi, ekonomi, dan sosial. Transisi epidemiologi berkaitan dengan transisi demografi, begitu juga dengan transisi teknologi. Misalnya pergantian dari penyakit infeksi ke penyakit *man-made disease* atau *lifestyle disease* (Fahmi, U., & Wulandari, R. A. 2014)

Transisi epidemiologi adalah keadaan yang ditandai dengan adanya perubahan dari mortalitas dan morbiditas yang dulunya lebih disebabkan oleh penyakit infeksi (*infectious disease*) atau penyakit menular (*communicable disease*) sekarang lebih sering disebabkan oleh penyakit-penyakit yang sifatnya kronis atau tidak menular (*non-communicable disease*) dan penyakit-penyakit degeneratif. penyakit degeneratif diantaranya adalah Diabetes melitus, Jantung koroner, Kardiovaskuler, Dislipidemia/kelainan kolesterol (Gordis, L. 2004).

Pergeseran penyakit ini dapat dibuktikan dengan berubahnya pola penyakit penyebab kematian tertinggi antara tahun 1960, dengan wabah penyakit pneumonia, tuberkulosis, dan diare, dengan 1990 penyakit jantung, neoplasma, dan penyakit otak-pembuluh darah (Brownson, ADS. 1998 dan McNabb, Scott JN. 2002)

2. Penyebab terjadinya transisi epidemiologi

- Teknologi Kedokteran
- Perubahan standar hidup
- Angka kelahiran
- Peningkatan gizi
- Kontrol vektor dan sanitasi
- Perubahan gaya hidup

3. Model transisi epidemiologi

- Model Klasik, contohnya di Eropa Barat
- Model Dipercepat, contohnya di Jepang
- Model Lambat, contohnya di negara berkembang

4. Proposisi-proposisi dalam transisi epidemiologi
 - a. Mortalitas adalah faktor fundamental
 - b. Pergeseran pola kematian penyakit pandemi penyakit infeksi secara bertahap diganti penyakit degenerative
 - c. Perubahan pola penyakit pada anak-anak dan wanita muda, keselamatan anak-anak dan wanita muda meningkat.
 - d. Pergeseran pola kesehatan dan penyakit pada masa transisi erat hubungannya dengan transisi demografi dan sosioekonomi (Budiarto, dkk. 2002)
5. Pola kematian yang timbul tiga periode transisi epidemiologi
 - a. Tahap 1
 - 1) Tahap kesengsaraan dan paceklik
 - 2) Mortalitas tinggi tidak ada pertambahan penduduk
 - 3) Angka harapan hidup 20 – 40 tahun
 - b. Tahap 2
 - 1) Penyakit infeksi menghilang
 - 2) Penurunan mortalitas
 - 3) Angka harapan hidup 30 – 50 tahun
 - 4) Pertambahan jumlah penduduk secara eksponensial
 - c. Tahap 3
 - 1) Penyakit degeneratif turun
 - 2) Angka pertumbuhan penduduk tergantung angka fertilitas
6. Transisi epidemiologi yang lambat dapat memicu ledakan penduduk. Faktor transisi negara berkembang
 - a. Faktor Ekobiologi
Terjadi keseimbangan antarkomponen dalam segitiga epidemiologi
 - b. Faktor Sosial, Ekonomi, Sosial, dan Budaya
Pada faktor ini kelompok yang rentan menjadi korban adalah kelompok usia balita
 - c. Faktor Kesehatan Masyarakat dan Kedokteran Pencegahan (Hadisaputro S, dkk. 2011)

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, U.F. (2014). Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah: Edisi Revisi. Jakarta: Rajawali Press
- Arundar, S., Teske, R., Toal, S. B., Hunt, N. M., Welch, S. D., & Edward, C. (2012). *Principles of Epidemiology in Public Health Practice (third)*. Atlanta, Georgia: Center for Disease Control Prevention (CDC)
- Boslaugh, Sarah, eds. (2008), *Encyclopedia of Epidemiology 1&2*, Los Angeles: Sage publication
- Brownson, Ross C dan Diana B. Petiti, eds (1998), *Applied Epidemiology: Theory and Practice*, New York: Oxford University Press
- Budiarto, Eko dan Dewi Anggraeni. 2002. Pengantar Epidemiologi Edisi 2. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Centers for Disease Control and Prevention (2012), *Principles of Epidemiology in Public Health Practice*, Third Edition, Atlanta: CDC
- Fahmi, U., & Wulandari, R. A. (2014). Paradigma Epidemiologi Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Universitas Terbuka
- Gordis, L. 2004. *Epidemiology thir d edition*. Elsevier Saunders: Philadelphia
- Hadisaputro S., Nizar, M, dan Suwandono. A. 2011. Epidemiologi Manajerial. Badan penerbit UNDIP. Semarang
- McNabb, Scott JN. 2002. *Conceptual Framework of Public Health Surveillance and Action and Its Application in Health Sector Reform*

BIODATA PENULIS



Dismo Katiandagho, SST, M. Kes. **Epid** lahir di Sangihe Provinsi Sulawesi Utara, pada 2 Desember 1978. Menyelesaikan pendidikan D3 di Akademi Kesehatan Lingkungan Depkes Manado (2000), D4 Kesehatan Lingkungan, di Poltekkes Kemenkes Manado Peminatan Epidemiologi Lingkungan (2010) dan S2 Epidemiologi peminatan Epidemiologi Lapangan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang (2012). Penulis aktif sebagai pengurus HAKLI Provinsi Sulawesi Utara dan sebagai ketua HAKLI Kota Manado. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen Tetap di Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado mengajar mata kuliah Epidemiologi, Penanggulangan Penyakit, Menular, Epidemiologi Lingkungan, Manajemen Penanggulangan Bencana, Sanitasi Total Berbasis Masyarakat (STBM), Klinik Sanitasi, dan Sanitasi Kawasan Pesisir. Penulis juga mengajar mata kuliah Epidemiologi pada Prodi Promosi Kesehatan, dan pengajar mata kuliah Penyelidikan KLB dan Wabah serta Epidemiologi Kawasan pesisir pada Prodi IKM Universitas Negeri Manado serta Biostatistik pada Fakultas

Keperawatan Universitas Katolik De La Salle Manado. Sampai sekarang diberikan tugas tambahan sebagai Ketua Program Studi Sarjana Terapan Sanitasi Lingkungan Poltekkes Kemenkes Mando

BAB

3

Model Penyakit Berbasis Lingkungan

Yozua Toar Kawatu, S.Pd, M.K.M

A. Pendahuluan

Penyakit berbasis lingkungan adalah suatu kondisi yang disebabkan oleh faktor lingkungan yang kotor dan terjadinya di seluruh dunia, salah satunya Indonesia. 10 penyakit berbasis lingkungan yang paling umum terjadi di puskesmas yaitu seperti ISPA, diare, malaria, demam berdarah dengue (DBD), cacingan, filaria, TB paru, penyakit kulit, dan keracunan, semuanya tergantung pada lingkungan setempat tersebut (Ahyanti, 2020). Jumlah kasus diare yang ditemukan pada tahun 2022 cukup tinggi setiap bulannya. Tingginya kasus Penyakit Berbasis Lingkungan ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti: lingkungan, ketersediaan air bersih, kebersihan perorangan, sanitasi makanan, ketersediaan jamban, dan perilaku membuang tinja (Hamzah B, 2020). Kebersihan sangat penting dalam hidup kita dan harus dipertimbangkan karena kebersihan pribadi yang buruk sangat erat hubungannya dengan kesehatan, dan kesejahteraan seseorang. Kondisi lingkungan yang tidak baik atau kurang bersih sangat rentan menyebabkan penyakit yang disebabkan oleh faktor lingkungan maka dari itu menjaga kesehatan lingkungan supaya bersih penting sekali dilaksanakan untuk memutus mata rantai penyebab penyakit.

Sehat atau sakit suatu kelompok penduduk merupakan hasil atau resultante hubungan manusia dengan lingkungannya. Dalam bab *Genomic Public Health* (Achmadi, 2008) pengertian sosok manusia mengandung makna manusia dengan *genomic*

status yang ada dalam dirinya. Hubungan manusia dengan *genomic statusnya*, manakala berinteraksi dengan lingkungan menghasilkan kondisi sehat atau kondisi sakit kelompok manusia tersebut. Hubungan interaksi antara kondisi lingkungan dengan manusia (dengan *genomic statusnya*) dapat digambarkan ke dalam suatu model, atau sebuah konsep berpikir yang disebut Paradigma Kesehatan Lingkungan (Achmadi, 2011).

Seperti halnya proses perkembangan penyakit berbasis individual, kejadian penyakit yang menimpa kelompok komunitas dalam suatu wilayah, merupakan pula sebuah proses kejadian. Manifestasi penyakit baik yang menimpa orang per orang maupun kelompok dalam suatu komunitas adalah babak akhir dari sebuah proses kejadian. Untuk mempelajari proses patogenesis penyakit berbasis lingkungan dalam sebuah komunitas memerlukan landasan beberapa keilmuan, seperti patogenesis penyakit pada manusia umumnya, epidemiologi, dan ilmu kesehatan lingkungan.

Patogenesis bermakna mempelajari proses perkembangan sebuah penyakit. Dalam perspektif komunitas yang hidup dalam sebuah wilayah, patogenesis penyakit berbasis lingkungan berarti mempelajari proses kejadian penyakit yang menimpa atau terjadi pada masyarakat yang hidup atau bertempat tinggal dalam sebuah wilayah.

Indonesia sebagai negara tropis merupakan kawasan endemis berbagai penyakit menular. Beberapa penyakit menular endemis yang terjadi di Indonesia diantaranya adalah diare, tuberculosis (TBC), malaria, filariasis dan demam berdarah dengue (Achmadi, 2014; Sumampouw, 2017).

B. Tinjauan Umum Penyakit Berbasis Lingkungan

1. Definisi Penyakit menurut ahli.

- a. Menurut Permenkes R.I (2014) yang dimaksud dengan Penyakit adalah kondisi tidak normal pada tubuh yang menyebabkan gangguan fungsi organ, baik fisik, mental, maupun sosial, sehingga tidak memungkinkan seseorang untuk hidup produktif secara sosial dan

ekonomis. Penyakit bisa disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk agen biologi (seperti virus, bakteri, jamur, dan parasit), fisik, atau kimia, dan penularannya bisa langsung atau melalui media atau vektor.

- b. Menurut Timreck (2005) Penyakit adalah keadaan di mana terdapat gangguan pada bentuk dan fungsi tubuh sehingga berada dalam keadaan tidak normal.
- c. Menurut Acmadi (2008) menyatakan bahwa penyakit adalah suatu kondisi patologis berupa kelainan fungsi dan /atau morfologi suatu organ dan/atau jaringan tubuh.
- d. Parson (2010) menyatakan bahwa Penyakit adalah kondisi di mana terjadi ketidakseimbangan dari fungsi normal tubuh manusia, termasuk sistem biologis dan kondisi penyesuaiannya.
- e. Menurut Thabraney (2016) menyatakan bahwa penyakit adalah keadaan yang tidak normal pada tubuh yang ditandai dengan adanya kelainan atau gangguan pada sistem tubuh manusia
- f. Penyakit didefinisikan sebagai suatu pola respon yang diberikan oleh organisme hidup terhadap beberapa bentuk infasi benda asing atau terhadap cedera, yang mengakibatkan berubahnya fungsi normal organisme tersebut. Penyakit lebih jauh lagi didefinisikan sebagai suatu keadaan abnormal saat tubuh tidak dapat merespon atau menjalankan fungsi normalnya. Penyakit juga merupakan suatu kegagalan mekanisme tubuh organisme untuk bereaksi terhadap invasi benda asing sehingga mengakibatkan gangguan pada fungsi atau struktur dibeberapa bagian organisme tersebut. (Yusnita, dkk, 2022)
- g. Menurut World Health Organization (WHO), penyakit adalah keadaan yang tidak normal pada tubuh atau pikiran seseorang yang menyebabkan gangguan pada fungsi tubuh atau sosial. Penyakit dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti infeksi, keturunan, lingkungan,

atau gaya hidup yang tidak sehat.

<https://www.mitakesmas.com/2023/03/pengertian-penyakit-menurut-who-kbbi.html>

h. Menurut Dorland (2022) dalam bukunya "Kamus Kedokteran Dorland" menyebutkan bahwa penyakit adalah kondisi abnormal tertentu yang berdampak buruk pada struktur atau fungsi sebagian atau seluruh tubuh makhluk hidup, dan bukan merupakan akibat langsung dari cedera eksternal. Penyakit seringkali ditandai dengan tanda dan gejala yang spesifik dan berbeda dari cedera fisik.

2. Definisi Penyakit Berbasis Lingkungan menurut beberapa Ahli.

a. Menurut (Achmadi, 2011), Penyakit Berbasis Lingkungan adalah ilmu yang mempelajari proses kejadian/fenomena penyakit yang terjadi pada sekelompok masyarakat yang berhubungan, berakar (bounded), memiliki keterkaitan yang erat dengan satu atau lebih komponen lingkungan pada sebuah ruang sehingga masyarakat tersebut bertempat tinggal/beraktivitas dalam jangka waktu tertentu.

b. Menurut (Purnama, 2016), menyatakan bahwa Penyakit Berbasis Lingkungan adalah suatu kondisi patologis berupa kelainan fungsi atau morfologi suatu organ tubuh yang disebabkan oleh interaksi manusia dengan segala sesuatu disekitarnya yang memiliki potensi penyakit.

3. Patogenesis penyakit berbasis lingkungan.

Patogenesis adalah proses berjangkitnya penyakit yang dimulai dari permulaan terjadinya infeksi sampai dengan timbulnya reaksi akhir. Pengertian patogenesis secara generik lebih bermakna suatu proses timbulnya atau manifestasi gejala penyakit pada diri seorang individu. Manifestasi gejala penyakit baik pada seorang individu dalam suatu komunitas maupun kelompok orang dalam sebuah komunitas adalah babak akhir dari sebuah proses. Proses tersebut kita sebut sebagai proses kejadian penyakit atau *disease occurrences*. Namun, proses kejadian penyakit

yang menimpa sebuah komunitas dalam sebuah wilayah, memerlukan pengumpulan data dan analisis yang berbeda. Kejadian penyakit yang menimpa sekelompok penduduk memerlukan analisis diagnostik penyakit berbasis lingkungan dengan terlebih dahulu mempelajari patogenesisis (kejadian) penyakit dalam sebuah komunitas.

Patogenesisis penyakit berbasis lingkungan dapat diberi pengertian sebagai proses perkembangan sebuah penyakit, yang melibatkan berbagai variabel di luar subjek manusia. Kejadian penyakit yang menimpa sekelompok penduduk, bermula dari sebuah agen penyakit yang dikeluarkan dari sumbernya. Agen penyakit dalam media atau lazim dikenal sebagai komponen lingkungan, seperti air, udara, ataupun pangan, yang kemudian kontak dengan penduduk secara sendiri-sendiri maupun bersama, dalam waktu yang bersamaan atau berbeda. Kita mengenal istilah agen penyakit berada dalam media transmisi penyakit seperti udara, pangan, maupun air.

Seperti sudah dibicarakan, ada tiga kelompok agen penyakit di dunia ini, yakni kelompok mikroorganisme, kelompok bahan kimia beracun, dan kelompok fisik seperti radiasi dan kebisingan. Jenis dan jumlahnya amat banyak di sekitar kita. Mereka masuk ke dalam tubuh manusia melalui 'wahana' transmisi atau kendaraan, seperti media air, media udara, media pangan, media binatang penular penyakit atau lazim dikenal sebagai vector penyakit, serta menggunakan manusia sebagai wahana transmisi penularan. (Achmadi, 2011).

4. Jenis Penyakit Berbasis Lingkungan.

Jenis Penyakit berbasis lingkungan yang pertama disebabkan oleh virus seperti ISPA, TBC paru, Diare, Polio, Campak, dan Kecacingan; yang kedua disebabkan oleh binatang seperti Flu burung, Pes, Anthrax ; dan yang ketiga disebabkan oleh vektor nyamuk diantaranya DBD, Chikungunya dan Malaria. Dalam Bab ini penulis hanya akan membahas penyakit ISPA, TB Paru, dan DBD.

C. Faktor Risiko Penyakit Berbasis Lingkungan

1. Faktor Risiko Lingkungan Terhadap Penyakit ISPA.

Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA) adalah Infeksi akut yang menyerang salah satu bagian/lebih dari saluran napas mulai hidung sampai *alveoli* termasuk adneksanya (sinus, rongga telinga tengah, pleura). ISPA meliputi saluran pernapasan bagian atas dan saluran pernapasan bagian bawah. ISPA adalah infeksi saluran pernapasan yang berlangsung sampai 14 hari, pada organ pernapasan berupa hidung sampai gelembung paru, beserta organ-organ disekitarnya seperti sinus, ruang telinga tengah dan selaput paru. Sebagian besar dari infeksi saluran pernapasan hanya bersifat ringan seperti batuk pilek dan tidak memerlukan pengobatan dengan antibiotik.

Penyakit ISPA merupakan penyakit yang sering terjadi pada anak, karena sistem pertahanan tubuh anak masih rendah. Kejadian penyakit batuk pilek pada balita di Indonesia diperkirakan 3 sampai 6 kali pertahun, yang berarti seorang balita rata- rata mendapat serangan batuk pilek sebanyak 3 sampai 6 kali setahun. Istilah ISPA meliputi tiga unsur yakni infeksi, saluran pernapasan dan akut, dimana pengertiannya sebagai berikut : Infeksi, adalah masuknya kuman atau mikroorganisme ke dalam tubuh manusia dan berkembang biak sehingga menimbulkan gejala penyakit. Saluran pernapasan, adalah organ mulai dari hidung hingga *alveoli* beserta organ adneksanya seperti sinus – sinus, rongga telinga tengah dan *pleura*. (Kemenkes, 2011). Berdasarkan data Kementerian Kesehatan tahun 2024, prevalensi ISPA pada balita di Indonesia adalah 5,2%. Ini berarti sekitar 5,2 dari 100 balita di Indonesia didiagnosis menderita ISPA.

ISPA merupakan penyakit yang diakibatkan oleh virus ataupun bakteri yang muncul akibat adanya interaksi beberapa faktor, faktor risiko ISPA menurut (Risma, 2019) sebagai berikut :

- a. Serangan jamur, virus, dan bakteri.

Faktor risiko ISPA yang paling sering ditemukan di antara virus, bakteri, dan jamur adalah virus dimana jenis-jenis virus yang dapat menyebabkan ISPA di

antaranya *respiratory syncytial virus adenovirus, coronavirus, pneumokokus, streptokokus, rhinovirus, dan virus influenza.*

b. Debu dan asap

Asap dan debu halus yang tidak kasat mata dapat memasuki lapisan mukosa kearah *faring*. Secara umum, udara tercemar akan mengakibatkan gerakan silia hidung menjadi lambat, kaku, atau bahkan berhenti. Hal ini mengakibatkan saluran pernapasan menjadi iritasi karena tidak bisa mengeluarkan sumber kontaminasi. Jika produksi lendir terus meningkat, saluran pernapasan juga dapat menyempit dan sel-sel kuman di saluran pernapasan dapat rusak. apabila ini terus terjadi, maka akan mengalami kesulitan bernafas sehingga bakteri tidak dapat dikeluarkan, ketika terdapat benda asing di dalam saluran pernapasan, terjadilah infeksi pada saluran pernapasan. Hal ini sesuai dengan temuan (Putra & Wulandari, 2019) bahwa pencemaran udara akibat dari asap/gas dapat menyebabkan infeksi saluran pernapasan akut, *bronkitis*, asma, dan kanker paru-paru.

c. Faktor lingkungan

1) Polusi udara dalam rumah.

Asap hasil dari pembakaran yang berada di dalam rumah (asap rokok, dan asap bahan bakar memasak) dengan konsentrasi yang tinggi dengan jangka waktu yang panjang serta sering berdampak pada kerusakan mekanisme pertahanan paru-paru sehingga mendorong munculnya infeksi saluran pernapasan. Situasi ini dapat terjadi di rumah dengan ventilasi yang buruk serta dapur terhubung dengan kamar tidur, dan ruangan bermain anak. Hal ini lebih berisiko terjadi pada bayi dan balita karena mereka lebih banyak menghabiskan waktu dengan ibunya di rumah, sehingga dosis polusi pasti akan lebih tinggi. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara ISPA dengan polusi udara, termasuk

anak-anak yang tinggal di daerah dengan tingkat pencemaran berat yang memiliki peningkatan risiko bronkitis dan pneumonia, dampaknya dapat dirasakan pada usia 9 bulan dan 6-10 tahun..

2) Ventilasi rumah

Ventilasi adalah media untuk memasok atau memobilisasi udara kedalam ruangan atau dari ruangan dengan alami atau mekanis. Ventilasi menjadi salah satu faktor risiko ISPA karena keberadaan ventilasi dapat mempengaruhi kelembapan ruangan dimana ruangan yang memiliki kelembapan tinggi dapat menjadi tempat yang sangat baik untuk perkembangbiakan virus (Juniartha et al., 2014).

3) Kepadatan hunian rumah

Berdasarkan kepmenkes RI No. 829/MENKES/SK/VII/1999 tentang kesehatan perumahan menyatakan bahwa luas ruang tidur minimal 8 m² dan tidak dianjurkan digunakan lebih dari dua orang tidur dalam satu ruang tidur, kecuali anak di bawah umur 5 tahun. Kepmenkes tersebut telah dicabut dan diperbaharui dengan Permenkes R.I No. 2 Tahun 2023 yang menyatakan bahwa Kepadatan Hunian adalah Kebutuhan ruang per orang dihitung berdasarkan aktivitas dasar manusia di dalam rumah. Aktivitas seseorang tersebut meliputi aktivitas tidur, makan, kerja, duduk, mandi, kakus, cuci dan masak serta ruang gerak lainnya yaitu 9 m² dengan ketinggian rata-rata langit-langit adalah 2,80 m.

Kebutuhan luas bangunan dan lahan dengan cakupan Kepala Keluarga (KK) dengan 3 jiwa yaitu 21,6 m² sampai dengan 28,8 m², dan cakupan kepala keluarga dengan 4 jiwa yaitu 28,8 m² sampai dengan 36 m². Dengan standar tersebut diharapkan dapat mencegah distribusi penyakit dan tidak mengganggu kegiatan penghuni rumah. Kondisi hunian yang padat

dapat meningkatkan koefisien polusi rumah yang ada.
(Permenkes R.I, 2023)

2. Faktor Risiko Lingkungan Terhadap Penyakit TB Paru.

Tuberkulosis adalah penyakit menular langsung yang disebabkan oleh kuman TB (*Mycobacterium tuberculosis*). Sebagian besar kuman TB menyerang paru, tetapi dapat juga mengenai organ tubuh lainnya dan yang paling sering terkena adalah organ paru (90%). Tuberkulosis yang menyerang paru disebut Tuberkulosis Paru dan yang menyerang selain paru disebut Tuberkulosis ekstra paru. Tuberkulosis paru dengan pemeriksaan dahak menunjukkan BTA (Basil Tahan Asam) positif, dikategorikan sebagai Tuberkulosis paru menular (Depkes RI, 2008). Tuberkulosis paru merupakan penyakit infeksi yang menyerang parenkim paru-paru, disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*. Penyakit ini juga menyebar ke bagian tubuh lain seperti meningen, ginjal, tulang, dan nodus limfe (Soemantri, 2012).

Beberapa faktor lingkungan yang menjadi faktor risiko terjadinya TB Paru adalah :

a. Kelembapan.

Kelembapan adalah kandungan air di udara dalam ruangan/rumah. Kelembapan merupakan salah satu faktor risiko terjadinya TB Paru. Penilaian kelembaban udara dalam rumah dilakukan dengan menggunakan Hygrometer. Kelembapan udara yang memenuhi syarat kesehatan dalam rumah adalah antara 40-60%. Kelembapan di luar rentang ini, yaitu kurang dari 40% atau lebih dari 60%, dianggap tidak memenuhi syarat kesehatan. Rumah dengan kelembapan tinggi menjadi lingkungan yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme, termasuk bakteri *Mycobakterium tuberculosis* yang merupakan penyebab tuberkulosis.

Bakteri *Mycobakterium tuberculosis*, seperti halnya bakteri lain akan tumbuh akan dengan subur pada lingkungan dengan kelembapan tinggi, karena membentuk 80% volume sel bakteri dan merupakan hal yang esensial

untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup sel bakteri (Gould & Brooker, 2003).

b. Pencahayaan.

Pencahayaan mempunyai peranan penting terhadap keberadaan *Mycobacterium tuberculosis*. Dimana setiap rumah memerlukan cahaya yang cukup. Menurut Permenkes No.1077 tahun 2011 bahwa minimum cahaya yang masuk ke dalam rumah sebesar 60 lux dengan indikator pengukuran menggunakan *lux meter*. Pengukuran cahaya yaitu yang berasal dari cahaya alami berupa sinar matahari yang masuk ke dalam jendela, ventilasi maupun pintu.

Pencahayaan, terutama sinar matahari, memiliki pengaruh signifikan terhadap penyakit tuberkulosis (TB) paru. Sinar matahari mengandung ultraviolet (UV) yang dapat membunuh bakteri penyebab TB, yaitu *Mycobacterium tuberculosis*. Rumah dengan pencahayaan alami yang kurang memadai, sering kali lembap dan gelap, menjadi tempat ideal bagi bakteri TB untuk berkembang biak dan bertahan hidup, meningkatkan risiko penularan.

c. Ventilasi.

Ventilasi terdiri dari 2 jenis yaitu :

1) Ventilasi alami.

Ventilasi alamiah adalah ventilasi yang terjadi secara alamiah dimana udara dalam ruangan mengalir melalui pintu, jendela dan jalusi (lubang diatas pintu/jendela), lubang pada dinding dan sebagainya.

Persyaratan Luas Lubang Ventilasi alamiah minimal $10\% \times$ luas lantai, sebaiknya aliran udara dibuat *cross ventilation* yaitu lebong ventilasi yang saling berhadapan antar dua dinding dan aliran udara tidak terhalang oleh lemari, dinding, sekat dan lain-lain.

2) Ventilasi Buatan.

Ventilasi buatan yaitu menggunakan alat-alat khusus dan digerakkan dengan tenaga listrik/baterai untuk

mengalirkan udara tersebut, seperti kipas angin, AC, dan lain-lain.

Fungsi dari ventilasi adalah untuk menjaga agar aliran udara dalam ruangan tetap segar. Hal ini berarti keseimbangan O₂ yang diperlukan oleh penghuni rumah tersebut tetap terjaga. Kurangnya ventilasi akan menyebabkan kurangnya O₂ dalam rumah yang berarti kadar CO₂ yang bersifat racun bagi penghuninya menjadi meningkat. Cukupnya ventilasi akan menyebabkan kelembapan udara dalam ruangan

3. Faktor Risiko Lingkungan terhadap Demam Berdarah Dengue (DBD).

Demam Berdarah Dengue (DBD) adalah penyakit infeksi virus akut yang disebabkan oleh virus dengue yang ditandai demam 2 – 7 hari disertai dengan manifestasi perdarahan, penurunan trombosit (*trombositopenia*), adanya hemokonsentrasi yang ditandai kebocoran plasma (peningkatan *hematokrit*, *asites*, *efusi pleura*, *hipoalbuminemia*). Dapat disertai gejala-gejala tidak khas seperti nyeri kepala, nyeri otot & tulang, ruam kulit atau nyeri belakang bola mata (Kemenkes R.I, 2017).

Berdasarkan data Kementerian Kesehatan (Kemenkes) hingga minggu ke-17 tahun 2024, terdapat 88.593 kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan 621 kematian di Indonesia. Pada minggu ke-22, jumlah kasus meningkat menjadi 119.709 dengan 777 kematian. Peningkatan kasus DBD ini menjadi perhatian serius, terutama karena adanya peningkatan kasus dan kematian dibandingkan tahun sebelumnya.

a. Faktor Risiko DBD

DBD diperkirakan akan masih cenderung meningkat dan meluas sebarannya. Hal ini karena vektor penular DBD tersebar luas baik di tempat pemukiman maupun ditempat umum. Selain itu kepadatan penduduk, mobilitas penduduk, urbanisasi yang semakin meningkat terutama sejak 3 dekade yang terakhir.

1) Faktor-faktor lain yang mempengaruhi penyebar luasan DBD antara lain adalah Perilaku masyarakat

2) Perubahan iklim (*climate change*) global

3) Pertumbuhan ekonomi

4) Ketersediaan air bersih

Sampai saat ini belum ada obat atau vaksin yang spesifik, tetapi bila pasien berobat dini, dan mendapat penatalaksanaan yang adekuat, umumnya kasus-kasus penyakit ini dapat diselamatkan.

Cara yang dapat dilakukan saat ini dengan menghindari atau mencegah gigitan nyamuk penular DBD. Oleh karena itu upaya pengendalian DBD yang penting pada saat ini adalah melalui upaya pengendalian nyamuk penular dan upaya membatasi kematian karena DBD. Atas dasar itu maka upaya pengendalian DBD memerlukan kerjasama dengan program dan sektor terkait serta peran serta masyarakat. (Kemenkes R.I, 2017).

b. Tempat Perkembangbiakan Nyamuk Aedes aegypti.

Nyamuk Aedes aegypti berkembang biak di tempat penampungan air untuk keperluan sehari-hari atau barang-barang lain yang memungkinkan air tergenang dan tidak beralaskan tanah, misalnya:

1) Bak mandi/WC, tempayan, drum

2) Tempat minum burung

3) Vas bunga

4) Kaleng bekas, ban bekas, botol, tempurung kelapa, sampah plastik, dan lain-lain yang dibuang sembarangan tempat (Kementerian Kesehatan RI, 2012)

5) Ember, dispenser, kulkas, ketiak daun, tempurung kelapa, lubang bambu, ataupun pelepas daun (Kementerian Kesehatan RI, 2014).

Banyak faktor yang mempengaruhi kejadian penyakit Demam Berdarah Dengue, antara lain faktor host, lingkungan (environment) dan faktor virusnya sendiri. Faktor host yaitu kerentanan (susceptibility) dan respon

imun. Faktor lingkungan (environment) yaitu kondisi geografi (ketinggian dari permukaan laut, curah hujan, angin, kelembaban, musim); kondisi demografi (kepadatan, mobilitas, perilaku, adat istiadat, sosial ekonomi penduduk). Jenis nyamuk sebagai vektor penular penyakit juga ikut berpengaruh. Faktor agent yaitu sifat virus dengue, yang hingga saat ini telah diketahui ada 4 jenis serotipe yaitu dengue 1, 2, 3 dan 4 (Zulkoni, 2011).

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, Umar Fahmi. (2008). "Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah". Jakarta: UI Press
- Achmadi, Umar Fahmi, (2011), "Dasar-dasar Penyakit Berbasis Lingkungan", PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Ahyanti, M. (2020). Sanitasi Pemukiman pada Masyarakat dengan Riwayat Penyakit Berbasis Lingkungan, Jurnal Kesehatan Poltekkes Tanjungkarang, 11(1), Hal. 44-50
- Dorland, W.A. Newman. 2012. Kamus Kedokteran Dorland; Edisi 28. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Gould, D dan Brooker, C. 2003. Mikrobiologi Terapan untuk Perawat. Jakarta : EGC
- Hamzah, B. (2020). Analisis Hubungan Personal Hygiene dengan Kejadian Diare pada Anak Usia 4- 5 Tahun di Desa Muntoi Timur Kabupaten Bolaang Mongondow. Infokes, 10(1), 219-224.
- <https://www.mitakesmas.com/2023/03/pengertian-penyakit-menurut-who-kbbi.html>
- Juniartha, S. K., Hadi, H. M. C., & Notes, N. (2014). Hubungan Antara Luas Dan Posisi Ventilasi Rumah Dengan Kejadian Ispa Penghuni Rumah Diwilayah Puskesmas Bangli Utara Tahun 2012. Jurnal Kesehatan Lingkungan, 4(2), 169-174.Kementerian Kesehatan R.I, (2011), "Pedoman Pengendalian Infeksi Saluran Pernafasan Akut," Dirjen Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan, Jakarta
- Kementerian Kesehatan R.I, 2017, "Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Demam Berdarah Dengue di Indonesia", Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit, Jakarta.
- Parsons JK, (2010), Benign Prostatic Hyperplasia and Male Lower Urinary Tract Symptoms: Epidemiology and Risk Factors. Curr Bladder Dysfunct Rep. 2010;5:212-218
- Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 1077/MENKES/PER/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah

- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2014 Tentang Penanggulangan Penyakit Menular
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan
- Putra, Y., & Wulandari, S. S. (2019). Faktor Penyebab Kejadian ISPA. *Jurnal Kesehatan*, 10(1), 37. <Https://Doi.Org/10.35730/Jk.V10i1.378>
- Risma, Y. Prasetyawati. (2019). *Inovasi Keperawatan Fisioterapi Dada Untuk Mempertahankan Bersihkan Jalan Napas Pada Anak Dengan Ispa Di Kabupaten Magelang.* In Universitas Muhammadiyah Magelang.
- Sumampouw, O. J. (2019). *Perubahan Iklim Dan Kesehatan Masyarakat.* Deepublish
- Sumantri, A. (2011). *Metode Penelitian Kesehatan.* Edisi pertama. Jakarta: Kencana.
- "Sutamihardja, A. 2013. Climate change: dokumen penting perubahan iklim: ICC, UNFCCC, dan Protokol Kyoto.
- Thabrany, Hasbullah. 2016. *Jaminan Kesehatan Nasional.* Jakarta: Raja Grafindo Persada
- Timmreck, CT. (2005). *Epidemiologi Suatu Pengantar edisi 2.* Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Yusnita., Dewi, Nur., Mardhatillah., Corsita, Lieza., Hakim, Rosyid Al., Darwel., Wijayanti, Anisa Catur., Ritonga, Paruhum Tiruon., 2022, "DASAR-DASAR EPIDEMIOLOGI," Penerbit PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI, Padang.
- Zulkoni Akhsin. 2011. *Parasitologi.* Yogyakarta : Nuha Medika.

BIODATA PENULIS



Yozua Toar Kawatu, S.Pd, M.K.M.

Lahir di Surabaya, 22 Mei 1965. Menyelesaikan pendidikan D-I Sanitasi (SPPH) Regional Manado (1986), D-III APK-TS Jakarta (1992), S1 Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Negeri Manado (2006) dan S2 di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia (2012) (Prodi Ilmu Kesehatan Masyarakat - Peminatan Epidemiologi Kesehatan Lingkungan). Sampai saat ini penulis sebagai Dosen Tetap di Program Studi D-III Sanitasi & Program Studi S1 Terapan Sanitasi Lingkungan Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.

BAB

4

Rantai Penularan Penyakit Berbasis Lingkungan

Ns. Wahidanur, S.Kep., MKM

A. Pendahuluan

Rantai penularan penyakit berbasis lingkungan merupakan proses kompleks yang melibatkan interaksi antara agen patogen, lingkungan, dan inang manusia. Faktor-faktor lingkungan seperti air tercemar, sanitasi yang buruk, perubahan iklim, dan sistem pengelolaan limbah yang tidak memadai memainkan peran penting dalam penyebaran penyakit menular. Penularan ini sering kali terjadi secara tidak langsung, di mana patogen berpindah dari satu inang ke inang lain melalui media lingkungan seperti udara, air, tanah, atau vektor hidup.

Sebagai contoh, dalam sistem pengelolaan limbah, kegagalan dalam penanganan limbah medis dan domestik dapat memperpanjang rantai penularan penyakit menular dan berkontribusi terhadap beban kesehatan masyarakat. Hal ini terlihat dalam studi terbaru yang menyoroti hubungan antara sistem pengelolaan limbah dan kesehatan masyarakat serta pentingnya peta jalan regional untuk menginterupsi penularan penyakit (Ziabina et al. 2023).

Selain itu, studi lain menggarisbawahi pentingnya pengendalian jalur penularan berbasis lingkungan dalam skala rantai pangan dan pertanian. Misalnya, penggunaan tembaga yang berlebihan dalam pakan ternak dapat menciptakan risiko toksik pada lingkungan dan manusia melalui jalur penularan yang kompleks seperti hewan–lingkungan–tanaman–manusia (Zhen et al. 2022).

Pemahaman yang mendalam terhadap struktur dan titik kritis dalam rantai penularan ini sangat penting untuk

merancang intervensi kesehatan masyarakat yang efektif. Strategi pencegahan yang menargetkan satu atau lebih titik dalam rantai ini, seperti peningkatan kualitas air bersih, pengendalian vektor, dan sanitasi lingkungan, terbukti efektif dalam menghentikan penyebaran penyakit menular (Van Seventer & Hochberg, 2016).

Studi lain menunjukkan bahwa faktor sosial dan tata kota juga mempengaruhi perilaku kesehatan dan kerentanan terhadap penyakit berbasis lingkungan. Akses yang tidak merata terhadap infrastruktur kesehatan dan lingkungan yang bersih dapat memperbesar risiko penularan di komunitas tertentu (Pinter-Wollman & Jelić, 2018).

B. Rantai Penularan Penyakit Berbasis Lingkungan

1. Konsep dasar penularan penyakit

Rantai penularan penyakit menjelaskan bagaimana agen infeksius berpindah dari sumber ke inang yang rentan. Dalam konteks lingkungan, rantai ini mencakup media seperti air, udara, tanah, dan vektor biologis (seperti nyamuk atau lalat) yang memainkan peran dalam proses transmisi. Konsep ini mendasari pendekatan kesehatan masyarakat dalam mengidentifikasi dan memutus mata rantai penularan melalui intervensi berbasis lingkungan (Foster & Chen, 2002).

Rantai penularan penyakit berbasis lingkungan merupakan sistem kompleks yang melibatkan patogen, inang, vektor, dan media lingkungan seperti air, tanah, udara, serta permukaan benda mati. Penularan dapat terjadi secara langsung atau tidak langsung, dengan faktor lingkungan sebagai penghubung penting dalam menyebarkan penyakit dari sumber ke individu rentan (Foster & Chen, 2002).

Eisenberg et al. (2007) menyusun kerangka kerja untuk menelusuri hubungan kausal antara perubahan lingkungan dan penyebaran penyakit menular. Dalam kerangka ini, lingkungan bukan hanya media pasif, tetapi komponen aktif yang memengaruhi dinamika transmisi.

2. Lingkungan sebagai Media Penularan

Lingkungan fisik seperti tempat tinggal padat penduduk, sanitasi yang buruk, dan air tercemar menjadi media ideal bagi penularan penyakit menular seperti kolera, diare, dan leptospirosis. Eisenberg et al. (2007) menjelaskan bagaimana determinan lingkungan membentuk jalur epidemiologis yang kompleks dan saling terhubung dengan berbagai patogen.

3. Peran Sanitasi dan Higiene dalam Mencegah Penularan

Sanitasi yang buruk meningkatkan risiko kontaminasi air dan makanan, mempercepat penyebaran penyakit berbasis lingkungan. Budge et al. (2022) menekankan pentingnya kombinasi antara pengelolaan air limbah, akses air bersih, dan edukasi higiene masyarakat. Tinjauan sistematis oleh Sclar et al. (2016) menunjukkan hubungan kuat antara peningkatan fasilitas sanitasi dan penurunan paparan fekal.

Sanitasi buruk, seperti drainase tidak memadai, pembuangan limbah terbuka, dan kurangnya akses air bersih, mempercepat penyebaran patogen di lingkungan. Studi oleh Budge et al. (2022) menunjukkan bahwa integrasi sanitasi, air bersih, dan pengendalian vektor penting dalam mengatasi penularan berbasis lingkungan, terutama di wilayah urban padat.

Sclar et al. (2016) menemukan bahwa jalur paparan fekal, seperti kontaminasi air minum dan kontak tangan, sangat bergantung pada kondisi sanitasi lokal. Perbaikan sanitasi terbukti signifikan menurunkan kontaminasi lingkungan dan menghambat rantai penularan.

4. Vektor Penyakit dan Urbanisasi

Urbanisasi yang cepat tanpa perencanaan sanitasi menyebabkan peningkatan habitat bagi vektor penyakit seperti Aedes aegypti (nyamuk demam berdarah). Almeida et al. (2020) menguraikan bagaimana infrastruktur sanitasi yang buruk berkorelasi langsung dengan penyebaran arbovirus di lingkungan urban. Studi ini juga menyoroti

pentingnya tata kelola lingkungan dan pengendalian vektor dalam wilayah padat penduduk.

Kondisi lingkungan yang padat dan tidak sehat sering kali menjadi habitat ideal bagi vektor penyakit seperti nyamuk dan lalat. Almeida et al. (2020) menyoroti keterkaitan antara sanitasi lingkungan, penyebaran arbovirus (seperti demam berdarah), dan tata kelola urban. Ketidakseimbangan ekologi di lingkungan urban juga memicu ledakan populasi vektor.

5. Jalur Penularan Patogen Fekal dan Risiko Kesehatan Masyarakat

Mills et al. (2018) mengembangkan pendekatan untuk memetakan aliran patogen fekal dalam sistem sanitasi urban. Temuan mereka menunjukkan bahwa titik-titik kritis seperti toilet umum, saluran pembuangan terbuka, dan air permukaan dapat menjadi sumber utama kontaminasi. Pengetahuan ini penting untuk merancang sistem sanitasi berbasis risiko.

6. Peran Higiene Rumah Tangga dan Perilaku Individu

Penularan infeksi juga terjadi di lingkungan rumah melalui kontak dengan permukaan, makanan, dan tangan. Bloomfield et al. (2012) memetakan jalur penularan mikroba di rumah dan kehidupan sehari-hari, serta menekankan pentingnya praktik higieni pribadi seperti cuci tangan.

Selain sanitasi publik, transmisi penyakit juga terjadi dalam skala mikro seperti rumah tangga. Bloomfield et al. (2012) menunjukkan bahwa tangan, permukaan dapur, dan makanan mentah berpotensi menjadi bagian dari rantai infeksi. Edukasi higiene yang berkelanjutan seperti cuci tangan pakai sabun dan pengolahan makanan yang baik sangat efektif dalam memutus rantai ini.

7. Penularan Melalui Air dan Penyakit Tropis

Air sebagai media transmisi penyakit menjadi perhatian utama di negara berkembang. Dalam buku klasiknya, Cairncross dan Feachem (2018) membahas berbagai penyakit tropis seperti kolera, disentri, dan hepatitis

A yang menyebar melalui air yang tidak diolah. Mereka menekankan pentingnya teknologi pengolahan air dan intervensi berbasis komunitas di wilayah tropis.

Di daerah tropis, lingkungan yang lembap dan hangat meningkatkan risiko penyakit berbasis lingkungan. Buku karya Cairncross dan Feachem (2018) menekankan bahwa rekayasa sanitasi lingkungan di daerah tropis harus mempertimbangkan karakteristik ekologis lokal dan kebiasaan masyarakat setempat.

8. Perubahan Iklim dan Penyakit Berbasis Lingkungan

Perubahan iklim mengubah distribusi geografis vektor dan meningkatkan frekuensi kejadian cuaca ekstrem yang dapat memperburuk sistem sanitasi. Studi terbaru memperlihatkan peningkatan penyakit akibat banjir, kekeringan, dan suhu tinggi yang mengganggu keseimbangan ekologi patogen dan inang (Eisenberg et al., 2007).

9. Strategi Intervensi untuk Memutus Rantai Penularan

Upaya pemutusan rantai penularan harus bersifat multi-sektoral. Intervensi seperti penyediaan air bersih, pengolahan limbah, pengendalian vektor, serta edukasi masyarakat harus dilakukan secara terintegrasi. Model pendekatan yang holistik seperti Sanitation Safety Planning (SSP) dan One Health telah terbukti efektif dalam mengurangi beban penyakit berbasis lingkungan.

10. Konsep “Chain of Infection” dalam Konteks Lingkungan

Rantai penularan penyakit (chain of infection) secara klasik terdiri dari enam komponen utama: agen infeksi, reservoir, pintu keluar, moda transmisi, pintu masuk, dan inang yang rentan. Dalam konteks berbasis lingkungan, moda transmisi menjadi sangat kompleks karena dapat melibatkan air, udara, tanah, vektor, hingga benda mati (fomites). Bloomfield et al. (2012) menjelaskan bahwa rantai ini dapat diputuskan melalui intervensi pada titik-titik kritis seperti sanitasi, cuci tangan, pengolahan makanan, dan kontrol vektor.

11. Pendekatan Sistem Sosio-Ekologis dalam Penularan Penyakit

Dalam kerangka sistem sosio-ekologis, penyakit tidak hanya dilihat sebagai akibat dari faktor biologis, tetapi juga hasil interaksi manusia dengan lingkungannya. Faktor seperti perubahan penggunaan lahan, deforestasi, urbanisasi, dan kemiskinan menjadi pendorong utama munculnya penyakit berbasis lingkungan. Sattenspiel (2000) menggambarkan bahwa eksplorasi sumber daya alam mempercepat perpindahan patogen dari lingkungan ke manusia melalui jalur tidak langsung.

12. Model Epidemiologi dan Penularan Berbasis Lingkungan

Model epidemiologi klasik seperti model SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered) kini banyak dimodifikasi untuk memperhitungkan faktor lingkungan sebagai parameter penting dalam penularan. Dalam penyakit seperti kolera atau penyakit bawaan air lainnya, variabel lingkungan seperti curah hujan, suhu, dan kualitas air sangat mempengaruhi laju infeksi dan skala epidemi. Macy & Quick (2009) menyatakan bahwa peningkatan risiko air minum yang terkontaminasi adalah variabel paling dominan dalam sistem sanitasi yang lemah.

13. Determinan Sosial dan Ketimpangan Lingkungan

Ketimpangan dalam distribusi sanitasi dan infrastruktur kesehatan menjadikan beberapa kelompok masyarakat lebih rentan terhadap penyakit berbasis lingkungan. Populasi dengan akses terbatas ke air bersih, layanan kesehatan, dan pendidikan higiene lebih berisiko tinggi. Budge et al. (2022) menekankan bahwa intervensi berbasis komunitas dan keadilan lingkungan (environmental justice) adalah bagian integral dalam mengatasi ketimpangan ini.

14. Teknologi dan Inovasi dalam Pengendalian Rantai Penularan

Perkembangan teknologi sanitasi seperti toilet kompos, sistem pengolahan air desentralisasi, dan pemantauan mikroba berbasis sensor digital berpotensi memperkuat strategi pemutusan rantai penularan. Selain itu,

pemanfaatan data geospasial dan pemodelan prediktif berbasis AI juga mulai diterapkan untuk mengidentifikasi wilayah risiko tinggi dan menargetkan intervensi lebih efektif

15. Kerangka One Health dan Interkoneksi Lingkungan-Inang-Patogen

Pendekatan One Health menekankan keterkaitan erat antara kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan dalam dinamika penularan penyakit. Konsep ini sangat penting dalam memahami penyakit zoonotik seperti leptospirosis, rabies, dan COVID-19. Eisenberg et al. (2007) menyarankan penggunaan kerangka interdisipliner yang menggabungkan data epidemiologi, ekologi, dan sosial untuk menganalisis penyebaran penyakit yang dimediasi oleh lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, L. S., Cota, A. L. S., & Rodrigues, D. F. (2020). *Sanitation, arboviruses, and environmental determinants of disease: impacts on urban health.*
- Budge, S., Ambelu, A., Bartram, J., & Brown, J. (2022). *Environmental sanitation and the evolution of water, sanitation and hygiene.*
- Bloomfield, S. F., Exner, M., & Signorelli, C. (2012). *The chain of infection transmission in the home and everyday life settings.*
- Cairncross, S., & Feachem, R. (2018). *Environmental health engineering in the tropics: Water, sanitation and disease control*
- Eisenberg, J. N. S., Desai, M. A., & Levy, K. (2007). *Environmental determinants of infectious disease: A framework for tracking causal links and guiding public health research.*
- Foster, J. A., & Chen, J. S. (2002). *General principles of disease transmission.*
- Macy, J. T., & Quick, R. E. (2009). *Transmission and prevention of water-related diseases.*
- Mills, F., Willetts, J., Petterson, S., & Mitchell, C. (2018). *Faecal pathogen flows and their public health risks in urban environments.*
- Pinter-Wollman, N., & Jelić, A. (2018). *The impact of the built environment on health behaviours and disease transmission in social systems.* Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 373(1753), 20170245. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0245>
- Sattenspiel, L. (2000). *Tropical environments, human activities, and the transmission of infectious diseases.*
- Sclar, G. D., Penakalapati, G., Amato, H. K., & Garn, J. V. (2016). *Assessing the impact of sanitation on indicators of fecal exposure.*
- Van Seventer, J. M., & Hochberg, N. S. (2016). Principles of infectious diseases: Transmission, diagnosis, prevention, and control. In International Encyclopedia of Public Health (pp. 22–39). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7150340/>
- Zhen, Y., Ge, L., Chen, Q., Xu, J., & Duan, Z. (2022). *Latent benefits and toxicity risks transmission chain of high dietary copper*

along the livestock–environment–plant–human health axis and microbial homeostasis: A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01367>

Ziabina, Y. A., Khomenko, L. M., & Osei Owusu, E. K. (2023). *Analysis of accidental transmission impacts in the chain «waste management system–public health».* Health Economics and Management Review, (2), 53–59. <https://doi.org/10.21272/hem.2023.2-07>

BIODATA PENULIS



Ns. Wahidanur, S. Kep., MKM., lahir di Rhieng Blang, 05 Februari 1984. menyelesaikan S-1 Ilmu Keperawatan dan Profesi Ners di Universitas Syiah Kuala. Pendidikan Magister Kesehatan Masyarakat di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Helvetia Medan. Sampai saat ini penulis sebagai dosen dan aktif dalam kegiatan TriDharma Perguruan Tinggi di Prodi D-III Sanitasi lingkungan Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Jabal Ghafur.

BAB

5

Desain Studi Epidemiologi Lingkungan (DSEL)

Amsal, SKM., M. Kes

A. Pendahuluan

Epidemiologi lingkungan merupakan cabang ilmu epidemiologi yang mempelajari hubungan antara faktor-faktor lingkungan dengan kejadian penyakit pada populasi. Dalam memahami hubungan tersebut, diperlukan pendekatan sistematis melalui desain studi epidemiologi yang tepat. Desain studi adalah kerangka metodologis yang digunakan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasi data agar dapat menarik kesimpulan yang valid. Pemilihan desain studi yang sesuai sangat penting untuk menghasilkan bukti ilmiah yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan kebijakan kesehatan lingkungan. Bab ini akan menguraikan secara komprehensif berbagai jenis desain studi epidemiologi lingkungan, kelebihan dan kekurangannya, serta aplikasinya dalam penelitian.

B. Ruang Lingkup Epidemiologi Lingkungan

Ruang lingkup epidemiologi lingkungan sangat luas dan bersifat multidisipliner. Studi ini mencakup berbagai kegiatan yang bertujuan untuk:

1. **Identifikasi dan Karakterisasi Paparan:** Menentukan jenis agen lingkungan yang berisiko, misalnya:
 - a. Pencemaran udara (PM2.5, ozon, NOx)
 - b. Pencemaran air (bakteri E. coli, arsenik, nitrat)
 - c. Pencemaran tanah (logam berat, pestisida)
 - d. Radiasi elektromagnetik (EMF dari menara seluler)

2. **Penilaian Risiko Kesehatan:** Menentukan potensi dan tingkat bahaya dari suatu paparan terhadap populasi. Penilaian risiko biasanya mencakup:
 - a. Identifikasi bahaya
 - b. Penilaian dosis-respons
 - c. Penilaian paparan
 - d. Karakterisasi risiko
3. **Surveilans dan Pemantauan:** Menggunakan sistem informasi untuk mengawasi tren penyakit dan kejadian paparan. Contoh:
 - a. Pemantauan kualitas udara oleh BMKG
 - b. Sistem informasi geografis (GIS) untuk memetakan insiden DBD di daerah padat penduduk
4. **Pengembangan dan Evaluasi Intervensi:** Studi epidemiologi dapat mengevaluasi efektivitas teknologi atau kebijakan baru, seperti penggunaan filter air rumah tangga, pembangunan sanitasi layak, atau pelarangan bahan kimia tertentu.
5. **Advokasi dan Kebijakan:** Bukti ilmiah dari studi epidemiologi digunakan oleh pembuat kebijakan untuk merancang regulasi seperti ambang batas emisi kendaraan atau standar kualitas air minum.

C. Klasifikasi Desain Studi Epidemiologi Lingkungan

Desain studi epidemiologi lingkungan diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar: **studi observasional** dan **studi eksperimental**. Pemilihan desain tergantung pada tujuan, sumber daya, dan sifat masalah yang diteliti.

1. Studi Observasional

a. Studi Ekologis

Dalam desain studi ini, unit analisisnya adalah kelompok, bukan individu. Dalam hal ini, korelasi diperoleh antara tingkat paparan dan tingkat penyakit di antara berbagai kelompok, atau populasi. Karena istilah 'ekologis', studi ekologi cenderung disalahartikan dengan studi 'lingkungan', dan hal ini mungkin terjadi terutama jika suatu isu lingkungan

dipelajari menggunakan desain ini. Namun, secara umum, studi ekologi merujuk pada kelompok yang diteliti.

Studi ekologi menyediakan suatu kondisi dimana pengamatan yang dilakukan pada tingkat kelompok mungkin tidak mewakili hubungan paparan-penyakit pada tingkat individu, hal ini disebut, *kekeliruan ekologis*, yang terjadi ketika kesimpulan yang salah tentang individu dibuat dari data tingkat kelompok.

Intinya, ini berarti bahwa kesimpulan dari "hasil studi ekologi hanya dapat diterapkan pada kelompok, tetapi tidak pada individu". karena tujuan studi ekologi adalah untuk menangkap bagaimana peristiwa kesehatan memengaruhi kelompok, komunitas, dan bukan individu.

1) Kelebihan:

- a) Biaya rendah, cepat dilakukan
- b) Cocok untuk studi awal dan eksplorasi hipotesis

2) Kekurangan:

- a) Rentan terhadap ecological fallacy
- b) Tidak dapat mengontrol variabel perancu individu

b. Studi Potong Lintang (Cross-Sectional)

Mengumpulkan data paparan dan status kesehatan secara bersamaan dalam satu waktu. Contoh: survei rumah tangga untuk menilai hubungan antara kualitas air sumur dan kejadian diare dalam seminggu terakhir.

Desain studi ini sering digunakan, terutama ketika tidak banyak uang untuk membiayai jenis studi lain. Jadi, studi cross-sectional sangat populer tidak hanya karena lebih murah, tetapi juga cepat untuk diselesaikan. Keuntungan besar lainnya dari studi cross-sectional adalah bahwa studi ini digunakan untuk menghasilkan hipotesis, atau, pertanyaan

penelitian spesifik tentang paparan dan penyakit, namun, jenis studi ini tidak membahas masalah temporalitas, karena hanya satu titik waktu), studi ini tidak memberikan informasi untuk mengetahui apa yang pertama antara sebab dan akibat.

1) Kelebihan:

- a) Efisien dalam waktu dan biaya
- b) Cocok untuk memperkirakan prevalensi penyakit

2) Kekurangan:

- a) Tidak dapat menentukan hubungan sebab akibat secara pasti
- b) Bias karena hanya melihat satu titik waktu

c. Studi Kasus-Kontrol

Studi kasus kontrol merupakan studi yang membandingkan kelompok dengan penyakit (kasus) dan tanpa penyakit (kontrol), lalu menelusuri riwayat paparan mereka. Contoh: studi yang membandingkan paparan pestisida pada petani yang menderita kanker darah (kasus) dan petani yang sehat (kontrol). Studi ini umumnya bergantung pada pengumpulan data retrospektif. Studi ini mungkin memiliki bias ingatan, yaitu kecenderungan orang yang menderita penyakit untuk mengingat penyebab dugaan lebih mudah daripada mereka yang tidak menderita penyakit tertentu. Namun, seringkali studi kasus-kontrol dapat mengumpulkan riwayat paparan terhadap berbagai faktor dan mengendalikan faktor perancu secara lebih efisien daripada studi kohort besar, yang mana biaya pengumpulan data paparan substansial dari semua anggota kohort mungkin mahal.

1) Kelebihan:

- a) Efektif untuk penyakit langka atau berjangka lama
- b) Hemat waktu dan biaya

- 2) Kekurangan:
 - a) Bias recall
 - b) Sulit menemukan kontrol yang cocok
- d. Studi Kohort

Studi kohort mengikuti sekelompok orang yang memiliki tingkat paparan tertentu untuk melihat apakah mereka lebih berisiko terhadap penyakit dibandingkan kelompok lain. Contoh: mengikuti dua kelompok ibu hamil yang tinggal di dekat pabrik dan yang tinggal jauh selama masa kehamilan untuk menilai insidensi bayi lahir prematur.

Studi ini mengidentifikasi sekelompok orang yang disebut kohort, atau terkadang beberapa kohort dengan jenis paparan yang berbeda-beda. Terkadang, kelompok kontrol tidak memiliki paparan sama sekali. Studi kohort mengevaluasi hubungan antara paparan dan satu atau lebih hasil kesehatan dalam kohort tersebut. Dalam studi kohort, individu dengan paparan berbeda terhadap faktor risiko yang diduga diidentifikasi dan kemudian diobservasi untuk mengetahui terjadinya dampak kesehatan tertentu selama periode tertentu, umumnya tahunan, bukan mingguan atau bulanan. Tingkat kejadian penyakit yang dimaksud diukur dan dikaitkan dengan perkiraan tingkat paparan. Studi kohort terdiri dari 2 jenis yaitu :

 - 1) Studi Kohort Retrospektif

Studi kohort retrospektif (atau historis) menghubungkan serangkaian luaran lengkap yang telah diamati dalam populasi tertentu dengan paparan yang terjadi sebelumnya; data tentang paparan dan luaran harus tersedia pada saat studi dilakukan.
 - 2) Studi Kohort Prospektif

Studi kohort prospektif dimana paparan saat ini diukur secara langsung dan individu kemudian

diikuti, memiliki potensi pengukuran yang lebih akurat tetapi mungkin mengalami kehilangan subjek untuk ditindaklanjuti atau bias dalam penentuan titik akhir. Selain itu, mungkin perlu menunggu selama bertahun-tahun atau bahkan hingga waktu tindak lanjut melebihi periode laten antara paparan dan efek atau hingga kejadian luaran yang cukup terjadi.

a) Kelebihan:

- (1) Cocok untuk menilai hubungan temporal dan kausalitas
- (2) Dapat menilai beberapa hasil (multiple outcomes)

b) Kekurangan:

- (1) Mahal dan memakan waktu lama
- (2) Kehilangan partisipan menjadi kendala besar

2. Studi Eksperimental

a. Studi Intervensi Komunitas Dilakukan di tingkat kelompok masyarakat. Contoh: menerapkan sistem sanitasi baru di beberapa desa dan membandingkan kejadian penyakit cacingan dengan desa kontrol.

b. Studi Lapangan (Field Trials) Dilakukan pada individu dalam kondisi lingkungan nyata. Contoh: memberikan suplemen zat besi pada anak - anak dan memantau penurunan anemia di daerah dengan pencemaran timbal.

1) Kelebihan:

Memberikan bukti kausal yang kuat

2) Kekurangan:

Biaya tinggi dan rumit dalam pelaksanaannya

D. Langkah-langkah Merancang Studi Epidemiologi Lingkungan

1. Merumuskan Masalah dan Tujuan: Identifikasi isu lingkungan yang relevan dan nyatakan dalam bentuk

pertanyaan penelitian. Contoh: "Apakah penggunaan air sumur di daerah pesisir yang tercemar air laut meningkatkan risiko hipertensi akibat natrium tinggi?"

2. Menentukan Populasi dan Sampel: Pemilihan lokasi dan subjek studi harus mempertimbangkan distribusi paparan, ketersediaan data, dan kemudahan akses.
3. Pengukuran Paparan: Dilakukan melalui:
 - a. Survei dan wawancara
 - b. Sampling lingkungan (udara, air, tanah)
 - c. Biomonitoring (darah, urin)
4. Pengukuran Hasil Kesehatan:
 - a. Diagnosis klinis
 - b. Rekam medis
 - c. Pemeriksaan laboratorium
5. Analisis Data: Menggunakan pendekatan statistik: uji chi-square, regresi logistik, Kaplan-Meier (untuk kohort), serta kontrol faktor perancu.
6. Etika Penelitian: Peneliti harus menjamin informed consent, kerahasiaan data, dan perlindungan partisipan.

E. Tantangan dalam Studi Epidemiologi Lingkungan

1. Paparan yang Kompleks dan Beragam: Individu bisa terpapar dari berbagai sumber secara bersamaan.
2. Efek Jangka Panjang: Banyak penyakit akibat lingkungan memiliki masa laten panjang (misal kanker karena asbes).
3. Variasi Geografis dan Temporal: Paparan dan efek kesehatan dapat berubah dari waktu ke waktu dan antar lokasi.
4. Kesulitan dalam Menentukan Paparan Individual: Ketersediaan data personal kadang terbatas dan mengandalkan estimasi atau data sekunder.

F. Aplikasi Nyata dalam Studi Epidemiologi Lingkungan

1. **Pencemaran Udara di Jakarta:** Studi kohort menilai hubungan antara tingkat paparan PM2.5 dan peningkatan kejadian ISPA pada anak-anak.

2. Sanitasi dan Diare di NTT: Studi potong lintang mengevaluasi hubungan antara jenis toilet dan frekuensi diare balita.
3. Kanker dan Paparan Limbah Industri: Studi kasus-kontrol di wilayah industri logam berat meneliti hubungan paparan logam berat dan kanker saluran kemih.
4. Pestisida dan Gangguan Neurologis: Studi kohort di kalangan petani hortikultura yang rutin menggunakan pestisida menunjukkan peningkatan gejala tremor dan kehilangan memori jangka pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- Beaglehole, R., Bonita, R., & Kjellström, T. (2006). *Basic Epidemiology*. World Health Organization.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2019). *Pengelolaan Sampah*. Bandung: ITB Press.
- Friis, R. H. (2021). *Essentials of Environmental Health* (4th ed.). Jones & Bartlett Learning.
- Freedman, DA. (1999). Inferensi Ekologis dan Kesalahan Ekologis. Departemen Statistik, Universitas California Berkeley, tersedia di <https://web.stanford.edu/class/ed260/freedman549.pdf>
- H. Giovanni Antunez Prinsip-Prinsip Epidemiologi di bawah Licensi Internasional Creative Commons Atribusi-NonKomersial-BerbagiSerupa 4.0.
- Nuckols, J. R., Ward, M. H., & Jarup, L. (2004). Using geographic information systems for exposure assessment in environmental epidemiology studies. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 1007–1015.
- National Research Council. (1991). *Human Exposure Assessment for Airborne Pollutants*. National Academy Press.
- Rothman, K. J., Greenland, S., & Lash, T. L. (2008). *Modern Epidemiology* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Prüss-Ustün, A., & Corvalán, C. (2006). *Preventing disease through healthy environments*. WHO.
- Sitorus, H. A. (2020). *Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Thacker, S. B., & Berkelman, R. L. (1988). Public health surveillance in the United States. *Epidemiologic Reviews*, 10, 164–190.
- World Health Organization. (2018). *Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks*.

BIODATA PENULIS



Amsal, SKM. M.Kes, Dosen Program Studi Sanitasi Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kemenkes Palu. Penulis lahir di Donggala tanggal 13 Mei 1966. Penulis Menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun 2000 di Universitas Hasanuddin Makassar dan melanjutkan S2 tahun 2007 Juga di Universitas Hasanuddin Makassar. Sampai dengan sekarang penulis masih sebagai dosen tetap pada Program Studi Sanitasi Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kemenkes Palu.

BAB |

6 | Epidemiologi Paparan Lingkungan (Exposure Assessment)

Nurmala Hayati Sihombing, SKM.,M.Kes

A. Pendahuluan

Manusia dalam kehidupannya memanfaatkan lingkungan untuk hidup dan memenuhi kebutuhannya. Interaksi manusia dengan lingkungan bersifat kodrat dan mutlak. Manusia tidak bisa hidup tanpa adanya lingkungan. Manusia memberikan aksi dan menerima aksi pula dari lingkungan sebagai reaksi dari apa yang dilakukan terhadap lingkungan. Seringkali dalam melakukan aksi dan reaksi ini, manusia menghasilkan limbah yang dibuang ke lingkungan. Manusia memberikan aksi dan menerima aksi pula dari lingkungan sebagai reaksi dari apa yang dilakukan manusia terhadap lingkungan. Sehingga dengan demikian, apabila limbah yang dikeluarkan manusia dibuang ke lingkungan berada pada kondisi yang melebihi kemampuan lingkungan melakukan *self purification* (kemampuan alami lingkungan membersihkan dirinya melalui sistem keseimbangan) maka yang terjadi adalah kondisi lingkungan berpotensi memberikan aksi atau pengaruh buruk pada manusia (Pakaya, 2025).. Pengaruh buruk/bahaya yang terjadi pada manusia yang berasal dari lingkungan disebut paparan lingkungan . Pada saat ini kemajuan epidemiologi lingkungan sangat pesat dengan memperhitungkan bahan polutan yang berada di udara, air, tanah, dan bahan toksik, pestisida, serta bahan non biologis lainnya. Bahan toksik yang berada di lingkungan merupakan paparan lingkungan yang dapat menyebabkan efek negatif pada kesehatan. Bahan toksik tersebut akan menyebabkan gangguan

proses di dalam tubuh manusia termasuk proses absorpsi, metabolisme, dan ekresi (Purnama, 2024).. .

B. Penilaian Paparan Lingkungan (*Exposure Assesment*)

Paparan suatu agen terhadap lingkungan dan manusia dapat dilihat dari interaksi antara agen tersebut dengan tubuh manusia (melalui kulit, traktus respiratorius, traktus gastro intestinalis). Dosis paparan tergantung pada jumlah yang dihisap/ditelan, lokasi, kecepatan translokasi polutan serta pemaparan akut atau kronis. Penilaian paparan (*exposure assessment*) adalah merupakan tahap dari suatu penilaian risiko lingkungan (*environmental risk assessment*). Penilaian risiko (*risk assessment*) tergantung dari penilaian paparan (*exposure assessment*) dan penilaian toksisitas (*toxicity assessment*). Untuk meminimalisir paparan lingkungan tersebut, dilakukan manajemen *risk*.

Penilaian risiko (*risk assessment*) meliputi 3 tahapan metode perhitungan dan model (Hidayat, 2023), meliputi:

1. Dasar-dasar Penilaian Resiko (*Base Line Risk Assessment*)

Dasar-dasar penilaian risiko, mencakup unsur-unsur:

- a. Koleksi data dan evaluasi (data collection and evaluation)
- b. Penilaian pemaparan (*exposure assessment*)
- c. Penilaian toksisitas (*toxicity assessment*)
- d. Karakteristik dari risiko (*risk characterization*)

Sementara penilaian resiko dibagi menjadi 4 tahap yaitu:

- a. Identifikasi macam bahaya (*hazard identification*)
Adalah suatu proses identifikasi bahan kimia yang berpengaruh terhadap kesehatan manusia, misalnya bahan kimia yang dapat mengakibatkan kanker dan cacat lahir. Jika data dari efek bahan kimia terhadap manusia sukar didapat, maka dipakai data dari hasil percobaan binatang.
- b. Penilaian dosis-respon (*dose-response assessment*)
Adalah suatu proses untuk mengetahui hubungan antara dosis suatu agen dengan respon/efek terhadap kesehatan. Pada analisis ini termasuk metode ekstrapolasi data dari binatang ke manusia.

c. Penilaian paparan (*exposure assessment*)

Adalah mengidentifikasi dan menghitung jumlah populasi yang terpapar serta lamanya agen tersebut bekerja. Mengidentifikasi faktor umur, status kesehatan, sejarah merokok dan memperkirakan adanya efek sinergistik pada pemaparan bahan toksik.

d. Sifat dari risiko (*risk characterization*)

Merupakan gabungan dari ketiga tahap di atas yang menghasilkan perkiraan adanya masalah kesehatan masyarakat (Jana, 2024).

2. Prinsip penilaian paparan

Penilaian paparan (*Exposure Assesment*) memiliki prinsip meliputi:

- a. Mengestimasi paparan maksimum di lingkungan dengan pemakaian lahan dimasa yang akan datang
- b. Mengetahui estimasi
- c. Pengelolaan bagi pengambil keputusan

3. Perhitungan penilaian paparan

Berikut ini beberapa contoh penilaian paparan lingkungan (Hidayat, 2023):

- a. Seorang pekerja dengan berat badan 60 kg terpapar oleh bahan karsinogen. Paparan terjadi 5 hari perminggu, 50 minggu pertahun dan pemaparan terjadi selama 20 tahun. Pekerja diasumsikan menghisap bahan beracun selama 2 jam setiap hari sebanyak $1,5 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan 6 jam perhari sebanyak $1 \text{ m}^3/\text{jam}$. Faktor potensi dari bahan beracun (karsinogen) adalah $0,02 \text{ mg/kg perhari}$. Faktor absorpsi diperkirakan 80%. Rata-rata bahan beracun di udara sekitar $0,05 \text{ mg/m}^2$. Dari data tersebut di atas dapat di hitung besarnya risiko terkena kanker sebagai berikut:

Total udara yang dihisap (daily intake rate) $(1,5 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam}) + (1 \text{ m}^3/\text{jam} \times 6 \text{ jam}) = 9 \text{ m}^3/\text{jam}$

- Chronic daily intake (CDI)

$1,800 \text{ mg} \times 0,00117 \text{ mg/kg/hari}$

$60 \text{ kg} \times 70 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari/tahun}$

- Risiko menderita kanker adalah

$= 0,00117 \text{ mg/kg/hari} \times 0,02 \text{ mg/kg/hari} \times 2,3 \times 10^{-6} \times 23 \text{ kemungkinan dalam 1 juta}$.

- b. Pada suatu pabrik yang mempunyai cerobong asap dengan ketinggian efektif 100 m, mengeluarkan emisi gas N^*O_2 dengan kecepatan 110 g/detik. Kecepatan angin pada ketinggian 100 m adalah 5 m/detik. Dari data tersebut di atas dapat diperkirakan risiko masyarakat yang bertempat tinggal 2 km dari cerobong tersebut.

Maka:

$$Y=126 \text{ m}$$

$$X=51 \text{ m:}$$

(Y dan Z = horizontal dan vertical spread parameter)

Berdasarkan rumus Gaussan model:

$$\begin{aligned} C &= \frac{110 (10)^6}{\exp[\frac{1}{2} \cdot 0^2 / 126^2] \times \{ \exp[-\frac{1}{2} \times \frac{(Y-H)^2}{51^2}] + \exp[-\frac{1}{2} \times \frac{(Z-H)^2}{51^2}] \}^2} \\ &= \frac{(22/7)(12.6)(51)}{51^2 \quad 51^2} \\ &= 545 (1) 2 \exp \left[-\frac{1}{2} \times \frac{126^2}{100^2} \right] \\ &\quad 51^2 \\ &= 545 \times 0,293 \\ &= 159 \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

Konversi 159 mikrogram/m³ NO₂ menjadi ppm pada suhu 15°C dan tekanan 1 atmosfer, maka:

$$\begin{aligned} NO_2 &= \frac{24,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol} \times 159}{46 \text{ g/mol} \times 10^{-6} \text{ g/m}^3} \\ &= 85,5 \times 10^{-9} \text{ g/mol} \\ &= 0,086 \text{ ppm} \text{ (lebih besar dari } 0,05 \text{ ppm)} \end{aligned}$$

Baku Mutu udara ambien untuk NO₂ (Permenkes No.2/2023) adalah 0,05 ppm.

Kesimpulan: masyarakat yang berdomisili pada jarak 2 km dari cerobong asap pabrik cukup besar risikonya untuk keracunan gas NO₂.

4. Perhitungan Paparan pada Manusia

Paparan bahan kimia pada manusia dapat dihitung dengan menggunakan TLV (*Threshold Limit Values*). TLV adalah besarnya konsentrasi suatu bahan kimia di udara yang memapar manusia secara terus menerus, tanpa menyebabkan efek samping yang merugikan pada tubuh. TLV tidak bisa digunakan untuk mengukur tingkat polusi udara, *relative index*

of toxicity, dan memperkirakan bahaya keracunan dari paparan secara terus menerus tanpa adanya jeda. Ada beberapa tipe dari TLV:

- TLV-TWA (*Threshold Limit Values Time Weight Average*), adalah besarnya konsentrasi suatu bahan kimia di udara yang memapar selama 8 jam setiap hari, 40 jam dalam satu minggu secara terus menerus, tanpa menyebabkan efek samping yang merugikan pada tubuh manusia.
- TLV-STEL (*Threshold Limit Values-Short Term Exposure Limit*), besarnya konsentrasi yang diizinkan dari suatu bahan kimia selama 15 menit atau dalam waktu singkat secara terus menerus, tanpa menyebabkan cedera, iritasi yang berat, efek kronis terhadap jaringan lunak, efek bius. Hal yang diperbolehkan adalah jika tidak lebih dari 4 kali pemaparan, dengan sedikitnya istirahat 60 menit di setiap periode pemaparan dan tidak melampaui nilai harian..
- TLV-C (*Threshold Limit Values Ceiling*), batas paling maximum. Konsentrasi yang tidak boleh dilanggar, dan seketika itu juga harus diambil tindakan. Satuan TLV yaitu menggunakan ppm (*part per million by volume*), mg/m³ (milligram uap per meter kubik udara), mppef (*millions of particle per cubic foot air*). Bagaimana kita membayar kan 1 ppm. yaitu kita bisa mengandaikan nilai dars I detik dalam 11.5 hari (1000000 detik). Metode yang digunakan untuk menentukan tingkat paparan suatu bahan kimia terhadap pekerja yaitu dengan cara melakukan monitoring terhadap konsentrasi racun yang ada di udara selama pekerjaan itu berlangsung Dari data hasil monitoring kita dapat menghitung Konsentrasi TWA (Time Weight Average) dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$TWA = \frac{1}{8} \int_0^{Tw} C(t) dt \quad (1-1)$$

Keterangan:

Tw = Shift pekerja (jam)

C (t)= konsentrasi bahan kimia diudara (ppm atau mg/m³)

Integral ini dalam 8 jam, merupakan kondisi jam kerja seseorang dalam satu shift. Apabila pekerja terpapar selama

12 jam (1 shift 12 jam) dan dihitung dengan menggunakan rumus ini maka TLV-TWA akan melampaui karena rumus ini hanya digunakan untuk 8 jam kerja dalam 1 shift. Monitoring memerlukan fasilitas dan perlatan yang mencukupi untuk melakukannya. Sampel yang diperoleh dipengaruhi oleh cara dan waktu pengukuran. Jika diamsumsikan konsentrasi C_t adalah tetap (atau rata-rata) dalam sebuah periode pengukuran T_i , maka TWA bisa dihitung dengan:

$$TWA = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + C_3 T_3 + \dots + C_n T_n}{8 \text{ hr}} \quad (1-2)$$

Adapun kekurangan dari perhitungan hasil monitoring terhadap gas beracun yang ada di udara diantaranya adalah pekerja yang keluar masuk dari tempat kerja dan konsentrasi racun yang bervariasi di tempat kerja. Apabila bahan kimia yang ada di tempat kerja diperkirakan lebih dari satu, salah satu prosedur untuk memperkirakan efek dari racun yaitu dengan mengkombinasikan TLV-TWA dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(TLV - TWA)_i} \quad (1-3)$$

Dimana:

n = jumlah total bahan beracun

C_i = konsentrasi bahan kimia dengan memperhatikan bahan kimia lain (TLV-TWA)

i = TLV-TWA dari bahan kimia jenis i

Apabila hasil perhitungan rumus lebih dari 1, dalam hal ini pekerja terpapar lama, maka kontrol yang harus dilakukan adalah semua pekerja harus menggunakan alat pelindung pernafasan yang sesuai (Hidayat, 2023).

C. Baku Mutu Udara Ambien

Udara ambien adalah udara di sekitar kita yang secara umum ditemui di lingkungan terbuka atau di luar ruangan, atau

dengan kata lain udara yang kita hirup sehari-hari dan terdiri dari beberapa komponen seperti nitrogen, oksigen karbon dioksiada dan beberapa polutan dan partikelnya yang ada di udara. Baku mutu udara ambien menjadi nilai batas keberadaan unsur pencemar di udara. Jika suatu wilayah memiliki baku mutu udara di luar nilai Ambang Batas (NAB), maka dikatakan wilayah tersebut telah tercemar. Regulasi mengenai Baku Mutu Udara Ambien secara nasional diatur dalam PP No 22 Tahun 2021. Cara mendapatkan sampel udara harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Area dengan konsentrasi pencemaran tinggi atau di sekitar lokasi emisi besar
2. Area dengan kepadatan penduduk yang tinggi
3. Di area lokasi diperuntukkan untuk studi/ penelitian
4. Pemantauan udara ambien dilakukan di wilayah proyeksi untuk menentukan efek dan akibat perkembangan lingkungan di masa depan
5. Seluruh wilayah pengambilan sampel dapat dipantau

Hal-hal yang perlu dihindari dalam pengambilan sampel uji udara antara lain:

1. Menghindari tempat yang dapat merubah konsentrasi akibat adanya absorpsi atau adsorpsi seperti area dekat pepohonan dan gedung
2. Hindari area dimana pengganggu kimia dan fisika terhadap bahan pencemar yang akan diukur. Hindari area yang terkena emisi kendaraan bermotor, lokasi dekat incenerator, dan jaringan listrik bertekanan tinggi.
3. Meletakkan alat uji di wilayah gedung yang sangat rendah dan berjauhan
4. Apabila pemantauan berkelanjutan, pemilihan lokasi harus mempertimbangkan perubahan kondisi peruntukan di masa yang akan datang

TABEL BAKU MUTU UDARA AMBIEN

No.	PARAMETER	WAKTU PENGUKURAN	BAKU MUTU
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 jam	150 µg/m ³
		24 jam	75 µg/m ³
		1 tahun	45 µg/m ³
2.	Karbon monoksida (CO)	1 jam	10.000 µg/m ³
		8 jam	4.000 µg/m ³
3,	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	200 µg/m ³
		24 jam	65 µg/m ³
		1 tahun	50 µg/m ³
4.	Oksidan fotokimia (O _x) sebagai Ozon (O ₃)	1 jam	150 µg/m ³
		8 jam	100 µg/m ³
		1 tahun	35 µg/m ³
5.	Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	3 jam	160 µg/m ³
6.	Partikulat Debu <100 µm (TSP)	24 jam	230 µg/m ³
	Partikulat Debu < 10 µm (PM ₁₀)	24 jam	75 µg/m ³
	Partikulat Debu < 25 µm (PM _{2,5})	1 tahun	40 µg/m ³
		24 jam	55 µg/m ³
		1 tahun	15 µg/m ³
7.	Timbal (Pb)	24 jam	2 µg/m ³

Pengendalian pencemaran udara mencakup kegiatan yang berintikan:

- Inventarisasi kualitas udara daerah dengan mempertimbangkan berbagai kriteria yang ada dalam pengendalian pencemaran udara;
- Penetapan baku mutu udara ambien dan baku mutu emisi yang digunakan sebagai tolok ukur pengendalian pencemaran udara;

- c. Penetapan mutu kualitas udara di suatu daerah termasuk perencanaan pengalokasian kegiatan yang berdampak meneemari udara;
- d. Pemantauan kualitas udara baik ambien dan emisi yang diikuti dengan evaluasi dananalisis;
- e. Pengawasan terhadap penaatan peraturan pengendalian pencemaran udara,
- f. Peran masyarakat dalam kepedulian terhadap pengendalian pencemaran udara:
- g. Kebijakan bahan bakar yang diikuti dengan serangkaian kegiatan terpadu dengan mengacu kepada bahan bakar bersih dan ramah lingkungan:
- h. Penetapan kebijakan dasar teknis maupun non teknis dalam pengendalian pencemaran udara secara nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Hidayat, dkk (2023). Buku Ajar Toksikologi Lingkungan. Penerbit PT. Nas Media Indonesia Cetakan Pertama.
- Oldi R. Pinontoan, dkk (2019). Epidemiologi Kesehatan Lingkungan. Penerbit Deepublish Cetakan Pertama.
- I Wayan Jana, dkk (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. Penerbit CV. Rey Medika Grafika
- Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020
- PP Nomor 22 Tahun 2021
- Ririn Pakaya (2025). Epidemiologi Lingkungan. Penerbit Widina Media Utama.
- Sang G. Purnama, dkk (2024). Buku Ajar Epidemiologi Kesehatan Lingkungan: Pendekatan One Health dan Penilaian Risiko Ekologi. Penerbit CV Mega Press Nusantara Cetakan Pertama.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA).** (2021). *Exposure Factors Handbook: 2021 Edition (Final Report)*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- World Health Organization (WHO).** (2020). *Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air – Technical Report*. Geneva: WHO.

BIODATA PENULIS**Nurmala Hayati Sihombing,
SKM, M. Kes**

Penulis dilahirkan di Medan pada tanggal 16 Agustus 1975. Riwayat Pendidikan Penulis, menyelesaikan S1 dari Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat (FKM) USU tahun 2000, dan menyelesaikan S2 dari Jurusan Epidemiologi Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan masyarakat (FKM) USU tahun 2014. Riwayat pekerjaan, Penulis pernah bekerja di Puskesmas dan Dinas Kesehatan. Dari tahun 2019-sekarang Penulis sebagai Dosen di Jurusan Keperawatan Poltekkes Kesehatan Kemenkes Medan. Penulis juga aktif dalam kegiatan Tridharma perguruan tinggi meliputi pengajaran, penelitian dan pengabdian masyarakat..

BAB

7

Toksikologi Lingkungan dalam Perspektif Epidemiologi

Indra Haryanto Ali, S.KM., M.Epid

A. Pendahuluan

Toksikologi lingkungan adalah ilmu yang mempelajari tentang pengaruh merugikan dari bahan kimia yang berada di lingkungan terhadap sistem biologi organisme hidup. Efek merugikan ini dalam kisaran ringan seperti iritasi kulit sampai efek yang berat berupa kerusakan jaringan liver, kelainan kongenital, atau bahkan kematian. Bahan kimia dapat berasal dari sumber alami maupun industri. Kajian dalam toksikologi lingkungan memerlukan pendekatan dari berbagai bidang ilmu, seperti fisiologi, kimia, biokimia, epidemiologi, patologi, kedokteran, farmakologi, maupun ekologi (Keman, 2018). Epidemiologi lingkungan memiliki cakupan yang luas, mencakup berbagai aspek yang berkaitan dengan interaksi antara faktor lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dalam perkembangannya, epidemiologi lingkungan tidak hanya berfokus pada analisis dampak lingkungan terhadap kesehatan individu, tetapi juga pada dinamika populasi secara lebih luas, termasuk aspek sosial, ekonomi, dan perubahan global yang memengaruhi distribusi penyakit (Pakaya et al., 2025).

Toksikologi lingkungan mempelajari efek berbahaya bahan kimia atau fisik, baik alami maupun buatan manusia terhadap makhluk hidup dan ekosistem. Fokusnya tidak hanya pada individu tapi juga komunitas dan lingkungan secara luas. Dalam perspektif epidemiologi, toksikologi lingkungan menjadi sangat penting untuk menganalisis, memprediksi, serta mengendalikan potensi dampak buruk paparan zat berbahaya terhadap kesehatan masyarakat. Perpaduan kedua bidang ini

penting untuk merumuskan kebijakan kesehatan, pengendalian risiko, serta memberikan dasar ilmiah dalam upaya pencegahan penyakit akibat paparan bahan berbahaya di lingkungan.

B. Toksiologi Lingkungan dalam Perspektif Epidemiologi

1. Pengertian

Toksiologi adalah cabang ilmu yang mendalamai berbagai aspek racun atau toksik, termasuk pengaruhnya terhadap organisme hidup dan lingkungan. Toksiologi mencakup berbagai aspek yang sangat penting dalam menjaga kesehatan dan keselamatan manusia serta lingkungan. Salah satu elemen utama dari toksiologi adalah identifikasi zat beracun, yang bertujuan untuk mengenali dan memahami senyawa kimia yang berpotensi menimbulkan efek negatif (Apriyani et al., 2025).

Lingkungan merupakan semua faktor luas dari suatu individu yang dapat berupa lingkungan fisik, biologis, dan sosial (Pinontoan et al., 2019). Lingkungan memiliki peran penting dalam menentukan status kesehatan individu dan populasi karena berbagai elemen didalamnya, seperti faktor fisik, kimia, biologis, dan sosial, dapat mempengaruhi munculnya penyakit. Perubahan lingkungan yang cepat akibat industrialisasi, urbanisasi, dan perubahan iklim telah menimbulkan dampak signifikan terhadap kesehatan masyarakat. Polusi udara, pencemaran air, paparan bahan kimia berbahaya, dan degradasi ekosistem menjadi faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan angka kesakitan dan kematian akibat penyakit berbasis lingkungan (Pakaya et al., 2025).

Epidemiologi didefinisikan sebagai ilmu tentang distribusi penyakit dan determinan dari keadaan dan kejadian yang memengaruhinya pada populasi yang spesifik, dan aplikasi studi ini untuk mengendalikan masalah kesehatan (Keman, 2013). Sinergi toksiologi lingkungan dan epidemiologi sangat krusial untuk memahami, mengukur, serta mengendalikan risiko

penyakit akibat faktor lingkungan. Pendekatan ini mendorong strategi pencegahan berbasis bukti ilmiah dan perlindungan kesehatan masyarakat secara menyeluruh.

Faktor penting yang perlu diperhatikan dalam epidemiologi lingkungan adalah mengidentifikasi masalah lingkungan dengan memakai pendekatan epidemiologi untuk mempelajari interaksi antara peran lingkungan dengan terjadinya penyakit yang ditimbulkan. Metode dalam pelaksanaan epidemiologi lingkungan adalah dipakainya penanda biologis (*biological marker*) pada proses biological monitoring akibat dari suatu paparan (Pinontoan et al., 2019).

2. Prinsip Toksiologi Lingkungan

Toksiologi lingkungan menjadi tumbuh dan kembang sebagai ilmu karena adanya 3 hal yang menjadi dasar atau prinsip, yaitu (Dewata & Danhas, 2021; Hidayat et al., 2023):

a. Interaksi Manusia dan Lingkungan

Interaksi manusia dengan lingkungan adalah hal yang mutlak. Manusia sebagai makhluk hidup tertinggi di dunia ini hidupnya sangat bergantung pada sumber daya alam yang ada di sekitarnya. Manusia tidak bisa hidup tanpa adanya lingkungan. Manusia tergantung pada lingkungan, sekaligus berinteraksi dengan lingkungan tersebut. Kondisi lingkungan akibat manusia akan memberikan aksi dan pengaruh pada manusia, itulah artinya interaksi. Manusia membrikan aksi dan menerima aksi pula dari lingkungan sebagai reaksi dari apa yang dilakukan manusia terhadap lingkungan. Sehingga dengan demikian, apabila limbah yang dikeluarkan manusia lalu dibuang ke lingkungan berada pada kondisi yang melebihi kemampuan lingkungan untuk melakukan *self purification* (kemampuan alami lingkungan membersihkan dirinya melalui sistem keseimbangan) maka yang terjadi adalah kondisi lingkungan berpotensi memberikan aksi atau pengaruh buruk pada manusia. Kondisi lingkung

seperti ini disebut telah terdegradasi. Artinya, terjadi penurunan fungsi lingkungan bagi kesejahteraan manusia. Degradasi lingkungan berarti daya dukung dan daya tampungnya tidak lagi optimal bagi tatanan kehidupan manusia.

b. Pertumbuhan Populasi dan Aktivitas Manusia

Pertumbuhan populasi manusia sepanjang waktu berfluktuasi. Akan tetapi, polanya selalu menunjukkan kenaikan jumlah. Hal ini tentu mengakibatkan jumlah limbah yang dibuang atau dikembalikan pada lingkungan pun semakin meningkat. Aktivitas manusia memang berpotensi untuk meningkatkan taraf hidupnya. Manusia dalam meningkatkan kemudahan dalam hidupnya banyak membuat industri. Hal tersebut dapat menimbulkan limbah, buangan yang memasuki lingkungan akan banyak berupa zat beracun dan berbahaya (B3) serta jumlahnya akan semakin bertambah juga semakin beragam.

c. Perubahan Rona Lingkungan

Perubahan rona lingkungan adalah suatu konsekuensi dari interaksi dan pertumbuhan populasi serta peningkatan aktivitas manusia. Lingkungan awal yang alamiah, yang seimbang akan direkaya oleh manusia. Hal ini tak terelakkan karena populasi manusia meningkat diiringi dengan pola aktivitas yang meningkat pula. Perubahan rona lingkungan tidak jarang menimbulkan dampak yang buruk bagi manusia. Dampak buruk ini terjadi karena lingkungan telah rusak dan tercemar. Misalnya pada penambangan emas yang menggunakan merkuri cair, memungkinkan merkuri mengalir ke badan air dan menyerap ke tanah. Selanjutnya merkuri dikonsumsi oleh manusia secara tidak langsung seperti pada tragedi Minamata, dimana manusia memakan ikan yang telah mengandung merkuri.

3. Toksiologi Lingkungan terhadap Kesehatan

Keberlangsungan hidup manusia dan organisme lainnya di lingkungan dapat terancam akibat adanya berbagai sisa zat kimia yang bersifat mengganggu atau bahkan beracun, yang sering kali merupakan hasil dari aktivitas manusia. Zat-zat kimia ini dapat mencemari udara, air, tanah, dan makanan, serta mengganggu keseimbangan ekosistem. Aktivitas industri, pertanian, transportasi, dan pembuangan limbah yang tidak terkelola dengan baik menjadi sumber utama polusi yang mengandung bahan-bahan toksik seperti logam berat, pestisida, bahan kimia industri, dan gas berbahaya. Polusi ini tidak hanya merusak kualitas lingkungan, tetapi juga menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia dan organisme lainnya, seperti gangguan pernapasan, kerusakan organ, penurunan kesuburan tanah, dan penurunan kualitas air (Apriyani et al., 2025).

Manusia dan organisme lainnya dapat terpapar oleh zat-zat toksik melalui berbagai jalur dan sumber yang ada di sekitar mereka, baik secara sengaja maupun tidak sengaja. Paparan ini bisa terjadi melalui udara yang dihirup, baik karena polusi udara dari industri, asap kendaraan, atau bahan kimia di tempat kerja. Selain itu, air yang tercemar oleh limbah beracun atau senyawa kimia berbahaya dapat menjadi medium utama yang membawa zat toksik ke dalam tubuh saat diminum atau digunakan untuk keperluan sehari-hari. Makanan yang terkontaminasi oleh pestisida, logam berat, atau bahan tambahan berbahaya juga menjadi jalur paparan yang signifikan. Bahkan. Kontak kulit dengan zat beracun dalam produk sehari-hari, seperti kosmetik, deterjen, atau bahan kimia industri, turut menjadi jalur yang memungkinkan masuknya racun ke dalam tubuh (Apriyani et al., 2025).

Toksitas adalah derajat atau potensi kerusakan yang diakibatkan oleh suatu zat atau senyawa asing yang masuk ke dalam organisme, mencerminkan sejauh mana senyawa

tersebut dapat membahayakan kesehatan atau kehidupan. Toksisitas suatu senyawa bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti dosis, jalur masuk ke tubuh, durasi paparan, dan karakteristik spesifik organisme yang terpapar. Efek toksi yang diimbulkan oleh suatu senyawa asing (xenobiotik) dapat bervariasi secara signifikan, tergantung pada sejumlah faktor seperti target organ yang diserang, mekanisme kerja senyawa tersebut, serta besarnya dosis yang masuk ke dalam tubuh. Dalam beberapa kasus, efek toksik bersifat lokal, artinya dampak racun terbatas pada area tubuh yang terpapar langsung, seperti iritasi kulit, luka bakar akibat bahan kimia, atau kerusakan jaringan pada titik kontak. Sebaliknya, efek toksik dapat bersifat sistemik, dimana senyawa beracun menyebar melalui aliran darah dan memengaruhi berbagai organ atau sistem tubuh, seperti hati, ginjal, sistem saraf, atau sistem pernapasan (Apriyani et al., 2025).

4. Epidemiologi dan Toksikologi

Bahan toksik lingkungan yang berasal dari industri yang mencemari lingkungan akan dapat mengganggu kesehatan masyarakat dan sebagai indikator adalah kenaikan morbiditas dan mortalitas. Kejadian tersebut sangat jelas berkaitan antara bahan polutan (toksikan) dan distribusi penyakit pada lingkungan industri. Agen fisik dan kimia yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan mempunyai berbagai efek pada kesehatan. Paparan oleh faktor lingkungan akan mengenai host (induk semang) yang peka atau kebal terhadap paparan dan akan memberikan pula suatu perubahan fungsi. Tahap permulaan untuk mengetahui efek dari agen lingkungan adalah dengan pencatatan mortalitas dan morbiditas. Studi pendekatan yang dipakai untuk mempelajari efek agen lingkungan adalah pendekatan retrospeksi (Pinontoan et al., 2019).

Klasifikasi bahan pencemar dari lingkungan dan risiko terhadap kesehatan (Budiman & Suyono, 2019):

a. *Respiratory pollutant*

Efek terhadap sistem saluran pernafasan, contoh: polutan SO₂, NH₃, Cadmium, Nox, H₂S, Cobalt, Asbestos, Mangan, Zinc, partikel padat dan lain-lain.

b. *Systemic pollutant*

Efek terhadap lebih dari satu jaringan tubuh, masuk dalam saluran pencernaan dan disebarluaskan melalui aliran darah menyebabkan gangguan pada lambung, sistem syaraf pusat dan saluran air seni, contoh: Pb, Hg, Florida, Cd, Organofosfat, Chlorinated Hydrocarbon.

c. Host specific pollutant

Efek dari bahan pencemar yang dapat menimbulkan reaksi, misal alergi, karsinogenik ataupun mutagenik, contoh: Formaldehid, Thyocyanate, Nikel, Asbestos, Selenium, Arsenik, MetilMerkury, Chlorinated Hydrocarbon, dan lain-lain.

Kejadian sakit akibat lingkungan tergantung dari posisi keseimbangan ketiga komponen pada segitiga epidemiologi antara Host, Agent, dan Environment. Apabila antara agent, host, dan environment dalam keadaan seimbang maka tidak akan terjadi penularan penyakit. Jika kemampuan agent meningkat ditunjang dengan kondisi environment yang buruk maka dapat menginfeksi host yang sehat serta menjadikan sakit pada host tersebut. Dalam kondisi environment cukup baik namun kondisi host yang lemah maka agent dapat menjadi infektif menjadikan host yang lemah tersebut menjadi sakit (Budiman & Suyono, 2019).

5. Peran Epidemiologi dalam Toksiologi Lingkungan

Dalam konteks toksiologi lingkungan, epidemiologi memainkan beberapa peran penting:

a. Identifikasi dan pemetaan masalah

Epidemiologi membantu mengidentifikasi kelompok populasi yang berisiko tinggi terpapar zat berbahaya dan memetakan distribusi penyakit atau kondisi kesehatan yang terkait dengan paparan tersebut.

b. Penilaian pajanan (*exposure assessment*)

Epidemiologi mengembangkan metode untuk mengukur tingkat dan durasi paparan zat toksik pada individua atau populasi, yang merupakan Langkah krusial untuk memahami hubungan dosis-respons pada manusia.

c. Penilaian risiko (*risk assessment*)

Data epidemiologi yang menunjukkan hubungan antara paparan dan penyakit pada manusia sangat penting untuk melakukan penilaian risiko. Informasi ini digunakan untuk membuat kebijakan atau peraturan guna melindungi kesehatan masyarakat.

d. Studi kasus

Epidemiologi sering digunakan untuk menyelidiki kasus penyakit yang tidak biasa dalam suatu komunitas, misalnya kasus keracunan massal, dan kemudian menelusuri kembali ke sumber paparan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyani, Musdalifah, Murdani, A. P., Tryanda, S. V. P., Rahmawati, Melanie, R., Pati, D. U., Miranti, I. P., Drastyana, S. F., & Mardian, A. (2025). *Pengantar Toksiologi Lingkungan*. Sada Kurnia Pustaka.
- Budiman, & Suyono. (2019). *Buku Ajar Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*. Refika Aditama.
- Dewata, I., & Danhas, Y. H. (2021). *Toksiologi Lingkungan: Konsep & Aplikatif*. Rajagrafindo Persada.
- Hidayat, Erlani, Sahani, W., Inayah, & Haderiah. (2023). *Buku Ajar Toksiologi Lingkungan*. Nas Media Indonesia.
- Keman, S. (2013). *Penelitian Epidemiologi Lingkungan: Dalam Perspektif Kesehatan Masyarakat*. Airlangga University Press.
- Keman, S. (2018). *Pengantar Toksiologi Lingkungan*. Airlangga University Press.
- Pakaya, R., Lubis, I., Herniwanti, Bato, M., Sitorus, E., Suryani, Syahadat, R. M., Rahayu, E. P., Wardani, E. Y., Usman, J. I. S., Simbolon, B. R., & Warongan, V. A. (2025). *Epidemiologi Lingkungan*. Widina Media Utama.
- Pinontoan, O. R., Sumampouw, O. J., & Nelwan, J. E. (2019). *Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*. Deepublish.

BIODATA PENULIS

Indra Haryanto Ali, S.KM., M.Epid lahir di Gorontalo, pada 27 November 1993. Menyelesaikan pendidikan S1 Sarjana Kesehatan Masyarakat di Fakultas Olahraga dan Kesehatan Universitas Negeri Gorontalo dan S2 Magister Epidemiologi di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga. Saat ini penulis sebagai Dosen di Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Lambung Mangkurat.

BAB

Air, Sanitasi dan Penyakit Menular Berbasis Air

8

Jasman, S.Pd., M.Kes

A. Pendahuluan

Air dan sanitasi merupakan dua komponen vital dalam menjaga kesehatan masyarakat dan mencegah terjadinya penyakit menular. Akses terhadap air bersih dan sanitasi yang layak merupakan hak dasar manusia dan berkontribusi secara langsung terhadap kesejahteraan, pendidikan, serta produktivitas ekonomi suatu komunitas (WHO & UNICEF, 2023). Meskipun demikian, menurut laporan *Joint Monitoring Programme* (JMP), pada tahun 2022 sekitar 2,2 miliar orang di dunia masih tidak memiliki akses terhadap air minum yang dikelola dengan aman, dan 3,5 miliar orang tidak memiliki layanan sanitasi yang layak (WHO & UNICEF, 2023).

Ketidakterpenuhinya akses terhadap air bersih dan sanitasi dapat menyebabkan munculnya berbagai penyakit menular berbasis air, seperti diare, kolera, hepatitis A, dan demam tifoid. Penyakit-penyakit tersebut masih menjadi beban kesehatan masyarakat yang signifikan, terutama di negara-negara berkembang. Diare, misalnya, menyebabkan kematian lebih dari 480.000 anak balita setiap tahun di seluruh dunia (UNICEF, 2021).

Sanitasi yang buruk juga berdampak terhadap penyebaran kontaminan dari limbah manusia ke lingkungan dan sumber air. Limbah yang tidak dikelola secara memadai dapat mencemari sumber air permukaan dan tanah, sehingga meningkatkan risiko paparan terhadap patogen enterik. Interaksi antara air, sanitasi, dan perilaku masyarakat menjadi kunci dalam memahami epidemiologi penyakit-penyakit ini. Oleh karena itu, strategi

pengendalian berbasis lingkungan sangat penting untuk memutus rantai penularan penyakit yang berkaitan dengan air dan sanitasi.

Di Indonesia, permasalahan sanitasi masih menjadi tantangan besar. Menurut Riskesdas 2018, sebanyak 17% rumah tangga di Indonesia masih melakukan praktik buang air besar sembarangan (BABS), dan cakupan akses air minum layak masih belum merata terutama di daerah tertinggal dan pedesaan. Hal ini menunjukkan pentingnya intervensi yang terintegrasi antara sektor kesehatan dan sektor lingkungan.

Air dan sanitasi yang buruk bukan hanya memicu penyakit menular, tetapi juga memperparah dampak kejadian bencana dan krisis iklim. Perubahan pola curah hujan dan banjir dapat merusak infrastruktur air bersih dan memicu ledakan kasus penyakit berbasis air, seperti leptospirosis atau kolera. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai hubungan antara air, sanitasi, dan penyakit menular sangat penting dalam merancang intervensi yang efektif dalam konteks epidemiologi kesehatan lingkungan.

B. Air, Sanitasi dan Penyakit Menular Berbasis Air

1. Akses Air Minum

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan nomor 2 tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan PP nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan terkait persyaratan kualitas air minum. Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum yang dikonsumsi masyarakat perlu ditetapkan persyaratan kualitas air minum sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Untuk menjaga kualitas air minum yang dikonsumsi masyarakat, diperlukan pengawasan kualitas air minum baik secara eksternal maupun internal. Pengawasan kualitas air minum secara eksternal dilakukan oleh dinas kesehatan kabupaten/kota. Pengawasan secara internal dilakukan oleh pelaksana penyelenggara air minum yaitu Badan Usaha Milik Negara/Badan Usaha Milik Daerah

(BUMN/BUMD), koperasi, badan usaha swasta, usaha perorangan, kelompok masyarakat, dan/atau individual yang melakukan kegiatan penyediaan air minum.

Kegiatan pengawasan kualitas air minum meliputi inspeksi sanitasi, pengambilan sampel air, pengujian kualitas air, analisis hasil pemeriksaan laboratorium, rekomendasi, dan tindak lanjut. Kegiatan yang sudah dilaksanakan oleh Kementerian Kesehatan dalam pengawasan kualitas air minum dilakukan oleh tenaga Sanitarian Puskesmas (Profil kesehatan Indonesia, 2023).

Secara nasional, jumlah sarana air minum yang diawasi/diperiksa kualitas air minumnya sesuai standar tahun 2023 sebesar 21.791 dari jumlah keseluruhan total sarana air minum yang sebanyak 30.172 dengan capaian presentase sarana air minum yang diawasi/diperiksa kualitas air minumnya sesuai standar tahun 2023 sebesar 72,2%.

Menurut Statistik Indonesia, BPS (2024), rumah tangga yang memiliki akses terhadap air minum layak adalah:

- a. Jenis sumber air minum utama yang digunakan oleh rumah tangga meliputi leding, air terlindungi, atau air hujan. Air terlindungi mencakup sumur bor/pompa, sumur terlindung dan mata air terlindung;
- b. Bagi rumah tangga yang menggunakan sumber air minum berupa air kemasan bermerk atau air isi ulang, maka rumah tangga dikategorikan memiliki akses air minum layak jika sumber air untuk mandi/cuci berasal dari leding, sumur bor/pompa, sumur terlindung, mata air terlindung, dan air hujan.

2. Akses Sanitasi Layak

Sanitasi yang baik merupakan elemen penting yang menunjang kesehatan manusia. Definisi sanitasi dari WHO merujuk kepada penyediaan sarana dan pelayanan pembuangan limbah kotoran manusia seperti urin dan feses. Istilah sanitasi juga mengacu kepada pemeliharaan kondisi higienis melalui upaya pengelolaan sampah dan pengolahan

limbah cair. Sanitasi berhubungan dengan kesehatan lingkungan yang mempengaruhi derajat kesehatan masyarakat. Buruknya kondisi sanitasi akan berdampak negatif di banyak aspek kehidupan, mulai dari turunnya kualitas lingkungan hidup masyarakat, tercemarnya sumber air minum bagi masyarakat, meningkatnya jumlah kejadian diare dan munculnya beberapa penyakit.

Strategi penyelenggaraan STBM yang meliputi penciptaan lingkungan yang kondusif, peningkatan kebutuhan sanitasi dan peningkatan penyediaan akses sanitasi. Peningkatan penyediaan layanan sanitasi secara khusus diprioritaskan untuk meningkatkan dan mengembangkan percepatan penyediaan akses dan layanan sanitasi yang aman dan layak. Pendataan yang dilakukan oleh Sanitarian Puskesmas meliputi Kepala Keluarga (KK) dengan akses terhadap penggunaan layanan sanitasi (aman, layak, sharing/numpang dan belum layak).

Persentase keluarga dengan akses terhadap fasilitas sanitasi yang layak (jamban sehat) di Indonesia tahun 2023 adalah 93,3% sedangkan yang belum mengakses sebesar 6,7%. Terdapat 4 (empat) Provinsi dengan persentase keluarga dengan akses terhadap fasilitas sanitasi yang layak (jamban sehat) mencapai 100% yaitu Provinsi Jawa Tengah, Nusa Tenggara Barat, DI Yogyakarta dan Sulawesi Selatan. Provinsi dengan persentase terendah adalah Provinsi Papua Pegunungan (26,6%), Papua Tengah (37,6%), dan Papua Selatan (53,8%). Rincian lengkap mengenai keluarga dengan akses terhadap fasilitas sanitasi yang layak (jamban sehat) dapat dilihat pada Lampiran 80.

Untuk memenuhi hak asasi manusia, setiap penduduk idealnya memiliki akses ke sanitasi layak. Menurut Statistik Indonesia, BPS (2024), definisi rumah tangga yang memiliki akses sanitasi layak adalah fasilitas sanitasi yang memenuhi syarat kesehatan, antara lain:

- a. Kloset menggunakan leher angsa, tempat pembuangan akhir tinja menggunakan tangki septik (*septic tank*) atau

Instalasi/ Sistem Pengolahan Air Limbah (IPAL/SPAL), dan fasilitas sanitasi tersebut digunakan oleh rumah tangga sendiri, bersama dengan rumah tangga lain tertentu, ataupun di Mandi Cuci Kakus (MCK) komunal.

b. Untuk daerah perdesaan, jika kloset menggunakan leher angsa, tempat pembuangan akhir tinja ke tangka septic atau Instalasi/Sistem Pengolahan Air Limbah (IPAL/ SPAL) atau lubang tanah dan fasilitas sanitasi tersebut digunakan oleh rumah tangga sendiri, bersama dengan rumah tangga tertentu, ataupun di MCK Komunal.

3. Penyakit Menular Berbasis Air

Penyakit menular berbasis air adalah penyakit yang ditularkan melalui konsumsi atau kontak dengan air yang telah terkontaminasi oleh agen patogen. Penularan dapat terjadi secara langsung melalui air minum yang tidak bersih atau secara tidak langsung melalui makanan, kulit, dan lingkungan yang tercemar air limbah.

Penyakit yang menyerang manusia dapat ditularkan dan menyebar secara langsung maupun tidak langsung melalui air. Penyakit yang ditularkan melalui air disebut sebagai *waterborne disease* atau *water related disease*. Dalam buku Kesehatan Lingkungan oleh Sumantri A (2015) disebutkan beberapa jenis penyakit yang dapat ditularkan melalui air berdasarkan tipe dan agen penyebabnya, yaitu: penyakit viral seperti hepatitis dan poliomielitis. Penyakit bakterial seperti kolera, disentri, tifoid, diare. Penyakit protozoa seperti amoebiasis dan giardiasis. Penyakit helmintik seperti ascariasis. Leptospiran seperti *Weil's disease*.

Menurut Manetu W.M, dkk (2021), penyakit yang ditularkan melalui air disebabkan oleh air minum yang sebagian besar terkontaminasi oleh kotoran manusia atau hewan yang mengandung mikroorganisme patogen. Secara global, penyakit diare yang ditularkan melalui air merupakan penyakit utama yang menyebabkan kematian dan kesakitan, menewaskan 1,8 juta orang dan menyebabkan sekitar 4 miliar kasus penyakit setiap tahunnya. Selain itu, di negara-negara

kurang berkembang, diare yang ditularkan melalui air terus menjadi penyebab utama kematian dan penyakit pada anak-anak dengan 90% kematian akibat diare terjadi pada anak-anak di bawah lima tahun. Sanitasi yang buruk, air minum yang tidak memadai dan praktik kebersihan yang buruk merupakan faktor utama terjadinya penyakit yang ditularkan melalui air. Selain itu, WHO memperkirakan bahwa 6,3% dari seluruh kematian disebabkan oleh terbatasnya akses terhadap air minum yang aman, peningkatan fasilitas sanitasi dan praktik kebersihan, serta pengelolaan air yang mengurangi penularan penyakit yang ditularkan melalui air. Menurut data, 780 juta dari total populasi global tidak memiliki akses terhadap air bersih, dan diperkirakan 2,5 miliar orang di negara berkembang hidup tanpa akses terhadap sanitasi yang memadai. Namun, pasokan air minum bersih merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi sebagian besar negara Afrika saat ini.

Klasifikasi Penyakit Terkait Air

Penyakit yang berhubungan dengan air disebabkan oleh patogen yang berhubungan dengan air. Penyakit tersebut juga merupakan penyakit yang berhubungan dengan kekurangan air atau kontaminasi air selama kondisi iklim yang merugikan, seperti banjir dan kekeringan, dan penyakit yang berhubungan dengan vektor yang sebagian siklus hidupnya berada di habitat air. Penyakit air adalah penyakit yang diakibatkan oleh paparan langsung dari air minum yang terkontaminasi. Pada dasarnya, penyakit yang berhubungan dengan air diklasifikasikan menjadi empat kelas utama: *Water-borne diseases*, *Water-washed diseases*, *Water-based diseases* and *Insect vector diseases*.

Water-borne diseases

Penyakit yang ditularkan melalui air adalah penyakit yang ditularkan melalui konsumsi langsung air yang terkontaminasi dengan kotoran manusia atau hewan. Air minum yang terkontaminasi bila digunakan dalam penyiapan makanan dapat menjadi sumber penyakit yang

ditularkan melalui makanan yang mengandung mikroorganisme patogen. Sebagian besar penyakit yang ditularkan melalui air ditandai dengan diare, yang menyebabkan buang air besar berlebihan, sering kali mengakibatkan dehidrasi dan kemungkinan kematian.

Water-washed diseases

Penyakit berbasis air adalah penyakit yang berkembang dalam kondisi kelangkaan air bersih dan sanitasi yang buruk. Pengendalian penyakit yang disebabkan oleh air lebih bergantung pada kuantitas air dibandingkan kualitasnya. Beberapa contoh penyakit akibat pencucian air adalah; Kudis, Tifus, Frambusia, Demam Kambuh, Impetigo, Trachoma, dan Bisul Kulit. Mencuci dan meningkatkan kebersihan pribadi berperan penting dalam mencegah penularan penyakit melalui air.

Water-based diseases

Penyakit berbasis air adalah infeksi yang disebabkan oleh penyebaran organisme yang berkembang di air dan menjadi parasit pada manusia. Penyakit berbasis air juga merupakan infeksi yang disebabkan oleh patogen parasit yang ditemukan pada organisme inang perairan. Organisme inang ini sebagian besar meliputi; siput, ikan, atau hewan air lainnya. Manusia biasanya terinfeksi dengan menelan bentuk infeksi atau melalui penetrasi kulit. Contoh penyakit berbasis air termasuk Schistosomiasis, Dracunculiasis, Paragonimiasis dan Clonorchiasis. Penyakit-penyakit ini dapat dicegah dengan menghindari kontak dengan air yang terkontaminasi atau penggunaan pakaian pelindung atau krim pelindung.

Insect-vector diseases

Penyakit yang disebabkan oleh serangga sebagai vektor Ini adalah penyakit yang tidak berhubungan langsung dengan air minum. Penyakit-penyakit tersebut disebabkan oleh serangga sebagai vektor penyakit seperti nyamuk dan lalat yang memerlukan air untuk berkembang biak. Manusia terinfeksi karena digigit oleh serangga tersebut.

Jenis-Jenis Penyakit Menular Berbasis Air

Tabel 1. Beberapa Penyakit Menular Yang Umum
Terkait Dengan Air

Penyakit	Agen Penyebab	Mekanisme Penularan
Kolera	<i>Vibrio cholerae</i>	Air dan makanan yang terkontaminasi
Hepatitis A	Hepatitis A virus	Air minum dan makanan tercemar
Tifoid (tipes)	<i>Salmonella typhi</i>	Air atau makanan tercemar feses
Diare akut	<i>E. coli, Rotavirus</i>	Air atau tangan tercemar
Giardiasis	<i>Giardia lamblia</i>	Air minum dari sumber tak terlindungi
Cryptosporidiosis	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Air minum dan kolam renang
Leptospirosis	<i>Leptospira interrogans</i>	Air banjir tercemar urin hewan

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi

Faktor-faktor yang mempengaruhi penularan penyakit berbasis air antara lain:

- **Kualitas air minum:** Kadar cemaran mikrobiologis seperti coliform total dan E. coli menjadi indikator utama kualitas air.
- **Perilaku higienis masyarakat:** Kurangnya kebiasaan mencuci tangan dan pengolahan air yang tidak memadai meningkatkan risiko.
- **Infrastruktur sanitasi:** Sistem pembuangan limbah yang buruk, tangki septik bocor, atau drainase yang tidak berfungsi dapat menjadi sumber kontaminasi.
- **Kondisi lingkungan:** Curah hujan tinggi, banjir, dan perubahan iklim dapat memperluas jangkauan kontaminasi.
- **Kepadatan penduduk:** Daerah padat penduduk dengan sanitasi terbatas meningkatkan risiko transmisi.

Mekanisme Penularan

Secara umum, mekanisme penularan penyakit berbasis air dapat dijelaskan melalui skema *F-Diagram* (Fluids, Fingers, Flies, Fields, Food). Penularan terjadi ketika patogen dalam feses memasuki mulut manusia melalui air yang tercemar, tangan yang kotor, atau makanan yang tidak higienis. Penanganan yang efektif perlu dilakukan melalui pendekatan WASH (*Water, Sanitation, and Hygiene*) dengan penguatan pada:

- Penyediaan air minum aman
- Sistem sanitasi yang layak
- Promosi perilaku higienis

WHO (2022) menekankan bahwa setiap USD 1 yang diinvestasikan untuk air bersih dan sanitasi dapat menghasilkan manfaat ekonomi hingga USD 4 melalui pengurangan biaya kesehatan dan peningkatan produktivitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Hunter, P.R., MacDonald, A.M., & Carter, R.C. (2017). *Water supply and health*. *PLoS Medicine*, 7(11): e1000361. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000361>
- Manetu, W.W, Karanja A.M, 2021, Water Borne Diseases Risk Factors an Intervention Practices, A Review, *Open Access Library Journal*, Volume 8. e7401.
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Bartram, J., et al. (2019). *Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries*. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765-777. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004>
- Riskesdas. (2018). *Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar*. Badan Litbangkes, Kemenkes RI.
- Sumantri A, (2015). Kesehatan Lingkungan, Penerbit Kencana, Jakarta.
- UNICEF. (2021). *The State of the World's Children 2021: On My Mind – Promoting, protecting and caring for children's mental health*. UNICEF. <https://www.unicef.org>
- WHO & UNICEF. (2023). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: Special focus on gender*. World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF). <https://washdata.org>
- WHO. (2022). *Water, sanitation, hygiene and health: A primer for health professionals*. World Health Organization. <https://www.who.int>

BIODATA PENULIS



Jasman, S.Pd, M.Kes, lahir di Majene Sulawesi Barat, 7 September 1967. Menyelesaikan Pendidikan dasar dan menengah di Majene, kemudian melanjutkan Pendidikan Diploma III Akademi Penilik Kesehatan (APK) Makassar, selesai tahun 1989. Pendidikan S1 pada Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Manado Jurusan Administrasi Pendidikan, selesai tahun 1997. Pada tahun 2005, Atas beasiswa Kementerian Kesehatan RI, penulis meneruskan pendidikan Program S-2 di Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta dan memperoleh gelar Magister Kesehatan (M. Kes) Peminatan Kesehatan Lingkungan pada tahun 2007. Sejak tahun 1992 penulis bertugas sebagai dosen tetap pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Manado. Pada tahun 2014 - 2022 penulis diberi tugas sebagai Ketua Program Studi Diploma III Sanitasi Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.. Pada tahun 2024 diangkat sebagai Kepala Unit Pengembangan Kompetensi SDM Kesehatan Poltekkes kemenkes Manado.

BAB

9

Udara dan Gangguan Kesehatan Respiratori

Bongakaraeng, SKM, M.Kes

A. Pendahuluan

Udara merupakan komponen esensial bagi kehidupan di bumi. Sebagai campuran gas yang menyelimuti planet ini, udara menyediakan oksigen untuk respirasi, karbon dioksida untuk fotosintesis, serta berperan dalam menjaga keseimbangan iklim dan cuaca. Setiap manusia menghirup udara antara 12.000 hingga 15.000 liter per hari, menjadikannya salah satu jalur utama masuknya zat dari lingkungan ke dalam tubuh. Dengan volume udara yang terhirup begitu besar, kualitasnya menjadi faktor penentu kesehatan, khususnya kesehatan sistem pernapasan. Kualitas udara yang buruk, akibat pencemaran atau perubahan komposisi alaminya, dapat memicu berbagai gangguan kesehatan respiratori, mulai dari gejala ringan seperti batuk dan sesak napas, hingga penyakit kronis seperti penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), asma, kanker paru, dan bahkan kematian dini.

B. Konsep Udara dan Pencemaran Udara

1. Udara Bersih

Udara merupakan zat yang paling penting setelah air dalam kontribusinya memberikan kehidupan di permukaan bumi. Udara bersih adalah udara yang bebas dari polutan dan partikel berbahaya. Udara normal mengandung sebanyak 78,1% nitrogen, 20,93% oksigen dan 0,03% karbon dioksida (Chandra, 2007).

2. Udara Tercemar

Udara tercemar adalah udara yang mengandung polutan dan partikel berbahaya. Polutan udara dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk kendaraan bermotor,

industri, dan pembakaran sampah. Polusi atau pencemaran udara adalah dimasukkannya komponen lain ke dalam udara, baik oleh kegiatan manusia secara langsung atau tidak langsung maupun akibat proses alam, sehingga kualitas udara turun sampai ke tingkatan tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya. Setiap substansi yang bukan merupakan bagian dari komposisi udara normal disebut polutan (Chandra, 2007; Fadila, 2021). Udara tercemar dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, terutama pada sistem respiratori.

Polusi udara berdampak signifikan pada saluran pernapasan manusia yang tidak terbatas pada jangka pendek. Dalam jangka pendek, menghirup udara yang tercemar dapat menyebabkan berbagai masalah seperti kesulitan bernapas, iritasi mata, dan rasa lelah. Kontak yang lama dengan polusi udara dapat mengakibatkan bronkitis kronis, suatu kondisi yang ditandai dengan peradangan pada saluran udara kecil di paru dan produksi lendir yang berlebihan. Paparan polusi udara berdampak buruk pada kesehatan, meliputi gangguan pernapasan (iritasi hidung, tenggorokan, dan paru; peningkatan risiko asma, bronkitis kronis, dan PPOK), infeksi saluran pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan peningkatan risiko kanker Anandari, dkk (2024).

C. Gangguan Respiratori Akibat Cemaran Udara

Secara umum pencemaran udara berdampak buruk terhadap kesehatan manusia. Dampaknya bervariasi tergantung dari rentang indeks kualitas udara, jenis polutan, dan sensitivitas kelompok individu. Semakin tinggi angka indeks kualitas udara, dan semakin banyak jenis polutan serta semakin sensitif kelompok individu, maka semakin buruk pengaruh polusi udara terhadap kesehatan manusia. Akibat menghirup udara yang mengandung polutan berbahaya, berbagai penyakit pada saluran pernapasan, paru-paru dan jantung bisa terjadi (Slamet, 2000; Chandra, 2007; Shera, 2013).

Jenis cemaran udara yang berdampak pada sistem respirasi antara lain:

1. Partikulat halus (PM2.5)

Pada umumnya udara yang telah tercemar partikel debu dapat menimbulkan berbagai macam penyakit saluran pernapasan. Partikel debu terdiri dari cairan dan padatan yang sangat kecil dan melayang-layang di udara, partikel debu ini akan terhirup dan masuk ke dalam paruparu. Letak penempelan atau pengendapan partikel debu di dalam paruparu tergantung ukuran partikel debu tersebut. Partikel debu yang berukuran 8 sampai 25 mikron akan tertahan di saluran napas bagian atas yaitu melekat di hidung dan tenggorokan, sedangkan partikel debu yang berukuran 2 sampai 8 mikron akan tertahan pada saluran pernapasan bagian tengah yaitu melekat di saluran bronkial. Partikel debu yang berukuran 0,5 sampai 2 mikron akan masuk ke dalam kantung udara paruparu dan menempel pada alveoli. Partikel yang lebih kecil dari 0,5 mikron akan bebas keluar masuk melalui pernapasan (Chandra, 2006).

2. Ozon Troposferik (O_3)

Ozon troposferik merupakan polutan berbahaya yang ada dipermukaan tanah sebagai penyusun utama kabut asap yang terbentuk dari reaksi terhadap sinar matahari bersama-sama dengan nitrogen oksida (NO_x) dan volatile organic compounds (VOC) dari asap kendaraan, bahan kimia dan limbah industri.

3. Nitrogen dioksida (NO_2)

Nitrogen dioksida adalah sumber utama dari aerosol nitrat yang membentuk particulate matter berukuran kecil (PM 2,5) dan ozone jika ada sinar ultraviolet dari matahari. Sumber utama emisi nitrogen dioksida berasal dari proses pembakaran, seperti pemanas, pembangkit listrik, mesin kendaraan, dan kapal laut.

4. Sulfur dioksida (SO_2)

Sulfur dioksida adalah gas yang tidak berwarna dengan bau yang menyengat. Berbentuk cairan ketika berada

di bawah tekanan, dan dengan mudah larut dalam air. SO₂ di udara berasal dari kegiatan seperti pembakaran batubara dan minyak di pembangkit listrik atau dari peleburan tembaga. Di alam sendiri, SO₂ dapat dilepaskan ke udara dari letusan gunung berapi. Sumber-sumber SO₂ alamiah adalah gunung-gunung berapi, pembusukan bahan organik oleh mikroba dan reduksi sulfat secara biologis.

Dampak SO₂ bagi kesehatan manusia dimana pada pajanan jangka panjang untuk tingkat persisten SO₂ dapat mengakibatkan perubahan fungsi paru-paru terlihat di beberapa pekerja yang terpapar SO₂ tingkat rendah selama 20 tahun. Selain itu SO₂ ini juga menyebabkan iritasi mata, selaput lendir, kulit, dan saluran pernapasan tentunya. Bronkospasme, edema paru, pneumonitis, dan obstruksi jalan napas akut dapat terjadi. Paparan inhalasi konsentrasi SO₂ dengan konsentrasi yang sangat rendah saja dapat memperburuk penyakit paru kronis, seperti asma dan emfisema.

5. Karbon monoksida (CO)

Paparan gas marbon monoksida dapat mempengaruhi berbagai keluhan kesehatan yang dapat ditandai dengan tingginya kadar CO dalam tubuh karena proses pembentukkan ikatan COHb pada darah. Polusi atau paparan gas CO juga dapat menyebabkan keluhan pernapasan seperti sesak napas. Mekanisme kerja yang jelas mendasari efek toksik potensial dari paparan CO tingkat rendah adalah penurunan kapasitas darah untuk membawa oksigen dan selanjutnya mengurangi pelepasan oksigen di tingkat jaringan. Gangguan pengiriman oksigen yang diakibatkannya dapat mengganggu respirasi seluler dan menyebabkan hipoksia jaringan.

Jenis penyakit respiratori yang dapat disebabkan oleh udara tercemar antara lain:

1. **Asma:** Penyakit pernapasan kronis yang menyebabkan peradangan dan penyempitan saluran napas.

Polutan udara seperti partikulat halus (PM2.5), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) dapat masuk ke dalam saluran napas dan menyebabkan peradangan pada saluran napas, yang dapat memicu pelepasan mediator inflamasi seperti histamin dan leukotrien. Mediator inflamasi dapat menyebabkan kontraksi otot polos pada saluran napas, yang dapat mempersempit diameter saluran napas. Peradangan dan kontraksi otot polos dapat meningkatkan produksi lendir pada saluran napas, yang dapat mempersulit aliran udara.

2. **Bronkitis:** Peradangan pada saluran napas besar yang dapat menyebabkan batuk dan produksi lendir berlebihan.

Polutan udara seperti partikulat halus (PM2.5), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) dapat masuk ke dalam saluran napas. Polutan udara dapat menyebabkan peradangan pada saluran napas besar (bronkus), yang dapat memicu pelepasan mediator inflamasi seperti sitokin dan kemokin. Peradangan pada bronkus dapat meningkatkan produksi lendir, yang dapat mempersulit aliran udara dan menyebabkan batuk. Paparan polutan udara dapat menyebabkan kerusakan pada epitel bronkus, yang dapat memicu peradangan kronis dan fibrosis. Peradangan kronis dan kerusakan pada bronkus dapat menyebabkan bronkitis kronis, yang dapat memanifestasikan sebagai batuk kronis, produksi lendir berlebihan, dan kesulitan bernapas.

Faktor-faktor yang dapat meningkatkan risiko terjadinya bronkitis akibat paparan polusi udara antara lain konsentrasi polutan udara, semakin tinggi konsentrasi polutan udara, semakin tinggi risiko terjadinya bronkitis; Durasi paparan, Semakin lama paparan polutan udara, semakin tinggi risiko terjadinya bronkitis; Sensitivitas individu serta faktor genetik.

3. **Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK):** Penyakit pernapasan kronis yang menyebabkan kerusakan pada paru-paru dan kesulitan bernapas.

Polutan udara seperti partikulat halus (PM2.5), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) masuk ke dalam paru-paru dan menyebabkan peradangan pada paru-paru, yang dapat memicu pelepasan mediator inflamasi seperti sitokin dan kemokin. Peradangan kronis dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan paru-paru, termasuk bronkus dan alveoli. Kerusakan pada bronkus dapat menyebabkan obstruksi saluran napas, yang dapat mempersulit aliran udara masuk dan keluar paru-paru. Kerusakan pada alveoli dapat menyebabkan penurunan kemampuan paru-paru untuk melakukan pertukaran gas, yang dapat menyebabkan hipoksemia dan hiperkapnia.

4. **Pneumonia:** Infeksi pada paru-paru yang dapat menyebabkan peradangan dan kesulitan bernapas.

Paparan polutan udara: Polutan udara seperti partikulat halus (PM2.5), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) dapat masuk ke dalam paru-paru yang dapat menyebabkan kerusakan pada epitel paru-paru, dan memicu peradangan serta meningkatkan kerentanan terhadap infeksi. Infeksi dapat memicu peradangan pada paru-paru, yang dapat menyebabkan gejala seperti batuk, demam, dan kesulitan bernapas. Peradangan dan infeksi dapat menyebabkan pneumonia.

Polutan udara dapat mengaktifkan sel inflamasi seperti neutrofil dan makrofag, yang dapat memicu peradangan pada paru-paru. Polutan udara dapat meningkatkan stres oksidatif pada paru-paru, yang dapat memicu peradangan dan kerusakan jaringan. Selain itu, polutan udara juga dapat menghambat fungsi imun paru-paru, yang dapat meningkatkan kerentanan terhadap infeksi.

Semakin tinggi konsentrasi polutan udara, semakin tinggi risiko terjadinya pneumonia. Durasi paparan: Semakin lama paparan polutan udara, semakin tinggi risiko terjadinya pneumonia. Sensitivitas individu, faktor genetik serta kondisi kesehatan dapat meningkatkan risiko terjadinya pneumonia.

5. **Kanker paru-paru:** Penyakit kanker yang dapat disebabkan oleh paparan polutan udara, seperti asap rokok dan polusi udara. Paparan polutan udara: Polutan udara seperti partikulat halus (PM2.5), hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), dan logam berat dapat masuk ke dalam paru-paru. Polutan udara ini dapat menyebabkan kerusakan DNA pada sel paru-paru, yang dapat memicu mutasi genetik. Mutasi genetik dapat mengaktifkan oncogen, yang dapat memicu pertumbuhan sel yang tidak terkendali. Mutasi genetik juga dapat menginaktifkan gen penekan tumor, yang dapat memicu pertumbuhan sel yang tidak terkendali. Pertumbuhan sel yang tidak terkendali dapat menyebabkan pembentukan tumor pada paru-paru. Tumor dapat berkembang menjadi kanker paru-paru yang lebih agresif dan dapat menyebar ke bagian lain tubuh.
6. **Radang Tenggorokan:** Peradangan pada tenggorokan yang dapat menyebabkan sakit tenggorokan dan kesulitan bernapas. Polutan udara seperti partikulat halus (PM2.5), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) dapat masuk ke dalam saluran pernapasan. Polutan ini dapat menyebabkan peradangan pada tenggorokan, yang dapat memicu pelepasan mediator inflamasi seperti sitokin dan kemokin.. Peradangan pada tenggorokan dapat menyebabkan kerusakan pada epitel, yang dapat memicu gejala seperti sakit tenggorokan dan kesulitan menelan.selain itu, peradangan pada tenggorokan dapat meningkatkan produksi lendir, yang dapat mempersulit aliran udara dan menyebabkan gejala lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anandari AA, Wadjdi AF, Harsono G. Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan dan Kesiapan Pertahanan Negara di Provinsi DKI Jakarta. *J Educ.* 2024;6(2):10868–10884. doi:10.31004/joe. v6i2.4880
- Chandra, B. (2006). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Chandra, B. 2007. Pengantar Kesehatan Lingkungan. Penerbit Buku Kedokteran. Jakarta.
- Fadila, I. 2021. Dampak Buruk Pencemaran Udara Untuk Kesehatan,
- Shera, S. 2013. *Pengaruh Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan*. Diakses dari : <https://www.slideshare.net/> sherly sishera/ pengaruh-pencemaran-udara- terhadap-kesehatan.
- Slamet, J. S. 2000. *Kesehatan Lingkungan (Cetakan Ke 4)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta

BIODATA PENULIS



Bongakaraeng, SKM, M.Kes lahir di Sulawesi Barat, Alumni S1 FKM UNHAS Makassar dan S2 UGM Yogyakarta. Pendidikan S1 sampai S2 konsentrasi keilmuan bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Sampai sekarang sebagai Dosen di Poltekkes Kemenkes Manado.

BAB | Tanah, Limbah, dan Risiko Infeksi/Zoonosis

10 |

Mirnawati Dewi

A. Pendahuluan

Tanah didefinisikan sebagai lapisan permukaan aktif kerak bumi. Tanah meliputi lapisan atas tanah, yang ditembus oleh akar tanaman dan dipengaruhi oleh praktik pertanian (Cowie et al., 2018). Perubahan kualitas tanah dapat ditentukan menggunakan berbagai indikator yang mencakup sifat fisik, kimia, dan biologi, serta berbagai proses yang terjadi di dalamnya.

Tanah termasuk salah satu reservoir utama mikroorganisme. Selain mikroflora alami, lingkungan tanah juga dapat mengandung mikroorganisme yang masuk akibat pengelolaan limbah yang tidak tepat. Penggunaan pupuk alami yang terkontaminasi (pupuk kandang, dan pupuk cair), pupuk organik dan lumpur limbah, serta penggunaan air yang terkontaminasi tinja untuk irigasi tanaman. Faktor biologis yang menyebabkan kontaminasi tanah tidak hanya mencakup bakteri, tetapi juga virus, jamur, dan telur寄生虫 (Samaddar et al., 2021)

Organisme hidup adalah sumber informasi yang dapat diandalkan tentang proses yang terjadi di lingkungan, baik positif maupun negatif. Kehadiran mikroorganisme indikator di tanah tidak hanya mencerminkan tingkat kontaminasi tanah tetapi juga memberikan informasi tentang potensi risiko kontaminasi produk pertanian dan ancaman terhadap kesehatan manusia dan hewan (Chmiel & Frączek, 2016).

Untuk menentukan kualitas tanah maka pengujian dilakukan untuk keberadaan bakteri *Salmonella*, serta telur寄生虫 dari genus *Ascaris*, *Trichuris*, dan *Toxocara*. Bakteri

E. coli (Chmiel & Frączek, 2016; Samaddar et al., 2021) juga semakin banyak digunakan sebagai indikator kondisi sanitasi tanah. Manusia, hewan, dan lingkungan memainkan peran penting pada kemunculan dan penularan berbagai penyakit menular (Cowie et al., 2018). Bab ini membahas resiko infeksi zoonosis melalui tanah dan limbah.

Kontamiasi Tanah, Limbah dan Resiko Zoonosis

Masalah kesehatan seringkali terkait dengan kurangnya infrastruktur sanitasi, pengelolaan limbah dan air yang tidak memadai, serta penumpukan limbah padat, yang mengakibatkan meningkatnya insiden dan prevalensi penyakit diare, dan parasitosis usus. Pola penyebaran penduduk dapat menyebabkan meluasnya permukiman. Hal tersebut menyebabkan buruknya sistem pembuangan limbah rumah tangga seperti toilet dan dapur yang tidak tertata dengan baik. Limbah tersebut juga dapat menyebabkan pencemaran air tanah yang memengaruhi terjadinya penyebaran penyakit menular. Tanah merupakan jalur penting penularan berbagai patogen manusia, termasuk cacing parasit yang ditularkan melalui tanah. Manusia, hewan, dan lingkungan memainkan peran penting dalam kemunculan dan penularan berbagai penyakit menular. Sebagian besar penyakit menular yang menyerang manusia berasal dari hewan. Penyakit yang baru muncul pada manusia dalam beberapa dekade terakhir berasal dari hewan dan secara langsung berkaitan dengan pangan asal hewan (Oestergaard et al., 2017).

B. Klasifikasi Zoonosis

Istilah "Zoonosis" berasal dari kata Yunani "Zoon", yang berarti hewan, dan "nosos", yang berarti penyakit. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), setiap penyakit atau infeksi yang dapat menular secara alami dari hewan vertebrata ke manusia atau dari manusia ke hewan diklasifikasikan sebagai zoonosis (Singh, 2020). Zoonosis merupakan penyakit menular yang ditularkan dari manusia ke hewan atau sebaliknya (*sylvatic cycle*).

Penyakit zoonosis disebabkan oleh beragam patogen. Berdasarkan etiologinya, zoonosis diklasifikasikan menjadi zoonosis bakteri (seperti antraks, salmonelosis, tuberkulosis, penyakit Lyme, bruselosis, dan pes), zoonosis virus (seperti rabies, sindrom defisiensi imun didapat - AIDS, Ebola, dan influenza burung), zoonosis parasit (seperti trikinosis, toksoplasmosis, trematoda, giardiasis, malaria, dan ekinokokosis), zoonosis jamur (seperti kurap), zoonosis riketsia (demam Q), zoonosis klamidia (psittacosis), zoonosis mikoplasma (infeksi *Mycoplasma pneumoniae*), zoonosis protozoa, dan penyakit yang disebabkan oleh agen patogen non-virus aseluler (seperti ensefalopati spons transmissible dan penyakit sapi gila) (Baker et al., 2022).

Patogen dapat ditularkan ke manusia secara langsung maupun tidak langsung dari hewan. Penyakit yang ditularkan langsung ke manusia dari hewan melalui media seperti udara dikenal sebagai zoonosis langsung (Bertelloni et al., 2023) Salah satu contoh zoonosis langsung adalah flu burung, yaitu penyakit virus yang menyebar dari hewan ke manusia melalui droplet atau fomite. Hewan yang terinfeksi juga dapat secara langsung menularkan patogen ke manusia yang rentan melalui gigitan, seperti pada kasus rabies, yang merupakan salah satu penyakit zoonosis paling mematikan. Penyakit ini disebabkan oleh virus rabies yang termasuk dalam famili Rhabdoviridae. Ketika hewan yang terinfeksi rabies (anjing, kelelawar, monyet, sigung, rakun, atau rubah) menggigit manusia, virus tersebut langsung masuk ke tubuh manusia melalui air liur. Demikian pula, patogen dapat ditularkan ke manusia melalui vektor (demam berdarah). Arthropoda seperti nyamuk dan kutu sering dianggap sebagai satu-satunya vektor; namun, hewan apa pun yang berpotensi menularkan patogen ke manusia dapat dianggap sebagai vektor

Banyak patogen zoonosis yang mampu bereplikasi dan bertahan hidup pada bahan organik mati seperti saprofit, dan penyakit yang disebabkan oleh agen-agen ini dikenal sebagai sapronosis. Contoh sapronosis meliputi penyakit jamur (seperti

koksidiodomikosis, histoplasmosis, dan aspergilosis) dan penyakit bakteri (seperti legionelosis). Istilah "saprozoonosis" didefinisikan oleh komite ahli WHO untuk zoonosis sebagai patogen yang memiliki inang vertebrata serta reservoir non-hewan atau tempat perkembangan (tanah, tumbuhan, dan bahan organik). Dalam banyak kasus, penularan penyakit mungkin memerlukan lebih dari satu inang vertebrata seperti pada taeniasis manusia. Jenis zoonosis ini dikenal sebagai siklozoonosis. Zoonosis yang melibatkan inang vertebrata dan invertebrata dikenal sebagai metazoonosis seperti pada infeksi arbovirus.

Penyakit zoonosis dan penyakit tular vektor yang perlu diwaspadai di Indonesia yaitu Rabies, Leptospirosis, malaria, filariasis, Chikungunya dan dengue (DBD). Penularan zoonosis dapat melalui beberapa media yaitu tanah dan limbah (padat maupun cair). Potensi penyakit zoonosis melalui media tanah yaitu Leptospirosis, penyakit cacing, bakteri dan rabies.

1. Faktor Resiko dan Infeksi cacing zoonosis pada manusia yang ditularkan melalui tanah

Tanah merupakan jalur penularan penting bagi sejumlah besar agen parasit patogen, baik bagi hewan maupun manusia. Sumber utama kontaminasi tanah oleh parasite diwakili oleh hewan atau manusia yang terinfeksi yang dapat menyebarkan sejumlah besar elemen infeksius (telur, larva) di lingkungan melalui feses. Cacing yang Menular melalui Tanah adalah cacing nematoda gastrointestinal yang membutuhkan tanah sebagai media penularan. Cacing yang Menular melalui Tanah adalah jenis cacing nematoda yang menyebabkan infeksi pada hewan atau manusia melalui kontaminasi telur atau larva yang berkembang di tanah lembap, terutama di negara-negara tropis dan subtropis. Telur yang dikeluarkan membutuhkan waktu 3 minggu di dalam tanah untuk menjadi infektif. Di daerah dengan sanitasi yang buruk, telur-telur ini akan mengkontaminasi tanah. Cacing yang termasuk dalam Soil Transmitted Helminths (STH) dan termasuk cacing

gastrointestinal meliputi genus *Toxocara* (cacing gelang), *Trichuris* (cacing cambuk), *Strongyloides* (cacing kremi), *Ancylostoma* (cacing tambang) (Mahartina et al., 2020).

Infeksi *Toxocara* pada manusia memiliki distribusi kosmopolitan. Toksokariasis cenderung lebih prevalen di wilayah tropis dibandingkan dengan wilayah beriklim sedang, sementara populasi pedesaan biasanya lebih rentan daripada populasi perkotaan di wilayah yang sama. Memiliki anjing telah diakui sebagai faktor risiko, di mana anjing berkeliaran bebas dan menyebarkan telur di area yang luas. Sebagai Akibatnya, infeksi dapat terjadi, terutama di bak pasir taman bermain anak-anak, terlepas dari keberadaan anjing peliharaan di rumah.

Individu yang terinfeski *Toxocara* (seropositif) berpeluang terinfeksi oleh nematoda lain seperti cacing cambuk (*Trichulariasis*), *scaris lumbricoides* (cacing gelang), dan *Trichuris trichiura* (cacing cambuk). *Necator americanus* dan *Ancylostoma duodenale* (cacing tambang) adalah sekelompok寄生虫 usus yang disebut *Soil-transmitted helminth*. *Toxocara* dan cacing parasit lain yang ditularkan melalui tanah dapat menginfeksi inang yang sama karena cara penularan infeksi yang serupa.

2. Hubungan antara kondisi sosial ekonomi dan limbah

Kondisi sosial ekonomi dianggap sebagai salah satu pendorong kejadian emerging infectious diseases (Oestergaard et al., 2017). Tingkat urbanisasi yang tinggi di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah berkaitan dengan peningkatan konsumsi, perubahan tata guna lahan, dan kepadatan penduduk yang tinggi yang dapat memengaruhi risiko penyakit bagi Masyarakat (Baker et al., 2022; Otte & Pica-Ciamarra, 2021). Pertumbuhan populasi yang pesat di perkotaan juga meningkatkan produksi sampah, yang mengakibatkan masalah sanitasi. Komposisi sampah padat perkotaan berbeda-beda, bergantung pada berbagai faktor seperti pembangunan ekonomi, budaya, dan iklim. Pembuangan sampah yang tidak terkendali, seperti

tempat pembuangan sampah terbuka dengan pembakaran terbuka, biasanya ditemukan pada negara-negara berpenghasilan rendah. Pengelolaan sampah yang tidak tepat dapat menarik berbagai spesies hewan dan serangga ke tempat pembuangan sampah. Selain itu, terdapat bukti bahwa lalat rumah yang tertangkap di daerah pemukiman berpenghasilan rendah memiliki lebih banyak telur dan kista par寄生虫 dibandingkan dengan daerah pemukiman berpenghasilan tinggi (Chmiel & Fraczek, 2016).

Di negara berkembang, pemulung bergantung pada pemungutan sampah sebagai sumber penghasilan mereka, dan banyak rumah pemulung lokal terletak di daerah seperti daerah kumuh. Pemulung informal berpotensi membawa penyakit tanpa mampu melakukan sesuatu atau tanpa menyadari penyakit transmisi. Aktivitas mereka meningkatkan risiko infeksi terhadap paparan limbah yang mungkin mengandung bahan kimia dan zat biologis berbahaya. Infeksi pada pemulung dapat timbul dari luka, tusukan jarum, minum air tanpa filter, konsumsi makanan yang terkontaminasi, dan gigitan imal atau serangga. Pemulung sering tidak memiliki akses alat pelindung yang tepat atau menerima pelatihan yang tepat sebelum masuk ke tempat pembuangan sampah. Selain itu, beberapa pekerja menolak menggunakan peralatan pelindung diri karena keyakinan religius mereka. Beberapa pribadi percaya bahwa Peralatan pelindung tidak akan pernah melindungi mereka dari cedera atau tertular penyakit (Ali & Yusuf, 2021). Sebaliknya, pekerja limbah di negara maju sering mendapatkan pelatihan dan pedoman untuk menangani limbah infeksi (Le et al., 2018). Oleh karena itu, orang yang tinggal di daerah berpenghasilan rendah mungkin memiliki risiko infeksi yang lebih tinggi.

Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang lebih baik akan mengurangi interaksi antara manusia, hewan, vektor, dan patogen pada sampah. Pengelolaan sampah berkelanjutan juga akan mengurangi dampak kesehatan dan

lingkungan. Dimulai dengan mengurangi timbulan sampah di tingkat rumah tangga dengan mendidik dan mendorong masyarakat untuk mengurangi membuang sampah. Pekerja limbah harus menerima pelatihan rutin dan memiliki peralatan pelindung untuk memastikan keamanan dalam pengumpulan dan pembuangan limbah. Selain itu, sesuai Metode dan lokasi pembuangan juga penting untuk mengurangi dampak lingkungan terhadap kesehatan. Maka, Pedoman keselamatan harus dikembangkan.

3. Pencegahan dan pengendalian zoonosis oleh infeksi cacing tanah pada manusia dan hewan peliharaan

Tanah yang terkontaminasi merupakan jalur utama penularan cacing zoonosis ke manusia. Kontaminasi lingkungan khususnya relevan ketika area publik (taman, taman bermain, pantai) terdampak. Langkah-langkah pencegahan yang efektif meliputi penutupan kotak pasir di taman umum dan taman bermain saat tidak digunakan, larangan anjing dan kucing di pantai pemandian, dan pengendalian populasi anjing dan kucing liar.

Pemberian obat cacing profilaksis berkala pada hewan peliharaan dan langkah-langkah edukasi yang ditujukan kepada pemilik hewan **peliharaan** juga penting untuk mengendalikan infeksi cacing yang ditularkan melalui tanah. Program strategis untuk mengurangi kontaminasi tanah dengan cacing zoonosis harus mencakup eliminasi parasit usus dari anak anjing dan anak kucing. Karena anak anjing dan anak kucing mengandung Toxocara dan cacing tambang akibat infeksi melalui plasenta dan/atau susu. pengobatan harus menargetkan hewan yang baru lahir, sebelum telur pertama kali dikeluarkan melalui feses (Alho et al., 2018).

Infeksi cacing anjing, kucing pada manusia termasuk di antara infeksi zoonosis paling umum di seluruh dunia. Namun masih relatif tidak diketahui oleh masyarakat umum dan pemilik hewan peliharaan. Pemilik hewan peliharaan harus mengetahui cara mencegah kontaminasi lingkungan untuk mengurangi risiko infeksi cacing zoonosis pada

manusia. Hal ini membutuhkan pemahaman yang jelas tentang zoonosis yang ditularkan dari hewan peliharaan (Yusuf et al., 2024). Strategi pemberian obat cacing yang tepat untuk hewan peliharaan, dan perlunya membuang feses dari lingkungan.

Masyarakat juga harus diinformasikan tentang risiko anak-anak yang terpapar di taman umum dan pantai yang sering dikunjungi hewan. Resiko memakan tanah atau menggigit kuku, serta manfaat mencuci tangan setelah memegang feses atau bermain dengan hewan peliharaan. Pendekatan holistik dan kolaboratif yang ditujukan untuk meningkatkan kesehatan hewan dan manusia secara global melalui kolaborasi antara semua ilmu kesehatan, terutama antara profesi kedokteran hewan dan manusia.

C. Kesimpulan

Pengembangan metode baru diperlukan untuk menyediakan data yang lebih andal dalam kondisi lapangan. Analisis molekuler, berdasarkan amplifikasi materi genetik yang diekstraksi dari telur/larva yang terdapat di dalam tanah, merupakan teknik yang menjanjikan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi cacing yang terdapat di dalam tanah.

Diperhatikan juga bahwa kontaminasi tanah di area publik dapat dikurangi dengan menerapkan sejumlah langkah, termasuk: pembatasan anjing dan kucing yang tidak terkontrol, pembersihan kotoran anjing/kucing dari tanah dan trotoar oleh pemiliknya. Pencegahan akses anjing dan kucing ke ruang publik (terutama taman bermain anak-anak). Penggunaan pengobatan antelmintik strategis untuk anjing dan kucing dengan penekanan pada anak anjing, anak kucing, induk anjing, dan induk kucing yang sedang menyusui. Program dirancang melalui upaya kolaboratif antara dokter/peneliti manusia dan hewan. Pengembangan teknologi untuk diagnosis serta strategi baru untuk mengendalikan penularan cacing zoonosis yang ditularkan melalui tanah ke manusia.

Banyak penyakit dianggap sebagai penyakit zoonosis terabaikan, termasuk cacing yang ditularkan melalui tanah dan

limbah. Oleh karena itu, dibutuhkan program edukasi publik yang meningkatkan kesadaran akan penyakit Soil Transmitted Helminths untuk mencegah beban penyakit pada hewan peliharaan dan manusia. Lebih lanjut, peningkatan dalam pengujian diagnostik dan perluasan surveilans epidemiologi harus didorong sejalan dengan upaya pengendalian dan pencegahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alho, A. M., Lima, C., Colella, V., Madeira De Carvalho, L., Otranto, D., & Cardoso, L. (2018). Awareness of zoonotic diseases and parasite control practices: A survey of dog and cat owners in Qatar. *Parasites and Vectors*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2720-0>
- Ali, A. F., & Yusuf, F. I. (2021). PREVALENCE OF INJURIES AMONG WASTE PICKERS. A CASE STUDY IN NIGERIA. *Detritus*, 17. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2021.15144>
- Baker, R. E., Mahmud, A. S., Miller, I. F., Rajeev, M., Rasambainarivo, F., Rice, B. L., Takahashi, S., Tatem, A. J., Wagner, C. E., Wang, L. F., Wesolowski, A., & Metcalf, C. J. E. (2022). Infectious disease in an era of global change. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 20, Issue 4). <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00639-z>
- Bertelloni, F., Bresciani, F., Cagnoli, G., Scotti, B., Lazzerini, L., Marcucci, M., Colombani, G., Bilei, S., Bossù, T., De Marchis, M. L., & Ebani, V. V. (2023). House Flies (*Musca domestica*) from Swine and Poultry Farms Carrying Antimicrobial Resistant Enterobacteriaceae and *Salmonella*. *Veterinary Sciences*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/vetsci10020118>
- Chmiel, M. J., & Frączek, K. (2016). MIKROORGANIZMY WSKAŹNIKOWE W OCENIE STANU SANITARNEGO GLEBY. In *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* nr (Vol. 587).
- Cowie, A. L., Orr, B. J., Castillo Sanchez, V. M., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G. I., Minelli, S., Tengberg, A. E., Walter, S., & Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science and Policy*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- Le, A. B., Hoboy, S., Germain, A., Miller, H., Thompson, R., Herstein, J. J., Jelden, K. C., Beam, E. L., Gibbs, S. G., & Lowe, J. J. (2018). A pilot survey of the U.S. medical waste industry

- to determine training needs for safely handling highly infectious waste. *American Journal of Infection Control*, 46(2). <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2017.08.017>
- Mahartina, D., Hastutiek, P., Mulyati, S., Soeharsono,), & Hambal, M. (2020). Identification and Distribution of Soil Transmitted Helminths around The Shed and Grazing Fields of Madura Cattle in Sub-District of Geger, Bangkalan Regency. *Journal of Parasite Science*, 4(2). <https://e-journal.unair.ac.id/JoPS>
- Oestergaard, L. B., Schmiegelow, M. D., Bruun, N. E., Skov, R. L., Petersen, A., Andersen, P. S., & Torp-Pedersen, C. (2017). The associations between socioeconomic status and risk of *Staphylococcus aureus* bacteremia and subsequent endocarditis - a Danish nationwide cohort study. *BMC Infectious Diseases*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2691-3>
- Otte, J., & Pica-Ciamarra, U. (2021). Emerging infectious zoonotic diseases: The neglected role of food animals. *One Health*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100323>
- Samaddar, S., Karp, D. S., Schmidt, R., Devarajan, N., McGarvey, J. A., Pires, A. F. A., & Scow, K. (2021). Role of soil in the regulation of human and plant pathogens: Soils' contributions to people. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 376, Issue 1834). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0179>
- Singh, A. (2020). *IMPACT OF GAS NANOBUBBLES ON THE EFFICACY OF COMMONLY USED ANTIMICROBIALS IN THE FOOD INDUSTRY*.
- Yusuf, M. B., Tiuria, R., & Dewantoro, G. I. (2024). Study of Animal Owners' Knowledge of Helminthiasis in Cats at Mayda Animal Care and iVet Clinic Dramaga, Bogor. *Jurnal Medik Veteriner*, 7(2), 355–361. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol7.iss2.2024.355-361>

BIODATA PENULIS



Mirnawati Dewi, M.Si. lahir di Tonggolobibi, 29 Juni 1988. Menyelesaikan pendidikan S1 di Prodi Biologi Fmipa Universitas Tadulako (UNTAD) pada tahun 2011. Tahun 2018 menyelesaikan Pendidikan S2 di Jurusan Parasitologi dan Entomologi Kesehatan, FKH Institut Pertanian Bogor (IPB). Sampai saat ini penulis sebagai Dosen Biologi di FMIPA Universitas Palangka Raya (UPR).

BAB

11

Vektor dan Penyakit Berbasis Ekologi Lingkungan

Suwarja, S.Pd, M.Kes

A. Pendahuluan

Vektor adalah arthropoda yang dapat menularkan, memindahkan atau menjadi sumber penularan penyakit pada manusia. Vektor yang berperan sebagai penyakit dikenal sebagai *arthropoda borne disease* atau sering juga disebut *vektor bone disease* yang merupakan penyakit yang penting dan seringkali bersifat endemis dan menimbulkan bahaya bagi kesehatan bahkan kematian (Permenkes RI No. 374 , 2010).

Di Indonesia masalah vektor merupakan isu kesehatan yang signifikan karena memiliki berbagai vektor yang dapat menyebarkan berbagai penyakit menular. Untuk mengatasi masalah vektor di Indonesia berbagai langkah telah diambil, termasuk perogram imunisasi, pengendalian vektor, pendidikan masyarakat dan surveilens. Penting untuk terus meningkatkan upaya pengendalian vektor dan kesadaran masyarakat untuk mengurangi beban penyakit menular yang disebabkan oleh vektor di Indonesia masih terdapat lalat dalam rumah sebanyak 48,4% rumah, terdapat kecoak dalam rumah sebesar 28% terdapat tikus di dalam rumah sebanyak 39,8% Kanan.M. dkk, 2023).

Salah satu upaya yang bisa dilakukan dalam pengendalian vektor untuk memutuskan rantai penularan penyakit. Faktor yang penting dalam pengendalian vektor adalah mengetahui bionomik vektor, yaitu tempat perkembangbiakan, tempat istirahat, serta tempat kontak vektor dan manusia. Pengendalian vektor bisa dilakukan dengan

pengubahan lingkungan, yaitu lingkungan fisik dan lingkungan sosial, ekonomi dan budaya (Ismanto.H, 2016).

B. Penyakit Berbasis Ekologi Lingkungan

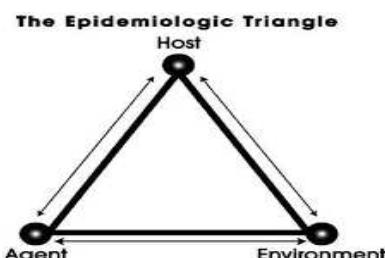
Penyakit berbasis ekologi lingkungan ini muncul akibat interaksi antara manusia dan lingkungan yang tidak sehat, seperti penyakit Demam Berdarah Dengue, Malaria, Diare, Leptospirosis.

1. Penyakit Malaria

Malaria masih menjadi salah satu masalah di Indonesia. Meskipun tren *Annual Parasite Incidence* (API) pada tahun 2011 - 2015 mengalami penurunan dari 1,75 menjadi 0,85, namun wilayah timur Indonesia masih memiliki API tertinggi. Nilai API menunjukkan jumlah kasus positif per 1000 penduduk dalam 1 tahun (Kemenkes 2021).

Penyakit malaria disebabkan oleh *Plasmodium sp*, yang disebarluaskan oleh vektor nyamuk *Anopheles sp*, manusia berperan sebagai *Host-Intermediate* (perantara) dan nyamuk *Anopheles sp* sebagai Host definitif. Host perantara malaria ini selain manusia juga bisa primata dan hewan vertebrata lainnya (Syarkawi.J,dkk, 2015).

Tiga faktor yang bersifat dalam penularan malaria, yaitu inang (*host*) yaitu manusia sebagai inang antara dan nyamuk vektor sebagai inang tetap parasit malaria, penyebab penyakit (*agent*) Parasit plasmodium, dan Lingkungan (*environment*) yang saling mempengaruhi sehingga terjadi penularan dan penyebaran malaria secara alamiah.



Gambar 1. Segitiga Epidemiologi Penyakit Malaria
(Kemenkes, 2022)

Lingkungan merupakan faktor yang mempengaruhi perkembangbiakan dan penyebaran vektor malaria yang mencakup lingkungan fisik, kimia dan biologis. Parameter yang harus diukur adalah:

a. Pengelolaan Lingkungan

Pengelolaan lingkungan dapat dilakukan dengan cara:

1). Modifikasi lingkungan

Cara ini misalnya, dengan mengatur sistem irigasi, penimbunan tempat-tempat yang dapat menampung air menggenang atau mengalirkan air yeng menggenang hingga kering.

2). Manipulasi lingkungan

Cara ini keadaan lingkungan diubah sedemikian rupa sehingga tidak menjadi tidak cocok untuk perkembangan vektor. Misalnya pembersihan tanaman air yang mengapung (ganggang dan lumut) dari lagon, akan mengubah lagon menjadi tidak cocok untuk perkembangbiakan nyamuk *Anopheles sunsaicus*. Begitu pula perubahan kadar garam air menjadi tawar atau terlalu asin juga merupakan cara agar tempat tersebut tidak cocok untuk perkembangbiakan nyamuk *Anopheles sudaicus* yang berkembangbiak di air payau. Pemutusan pengairan secara berkala juga cara yang efektif untuk pemberantasan Nyamuk *Anopheles balabacensis* tetapi sebaliknya dipelihara secara baik pemberantasan hutan bakau untuk dijadikan tambak tetapi tidak dipelihara dengan baik akan membuat tempat perindukan yang ideal unyuk nyamuk *Anopheles sundaicus* (Sumanteri A, 2015).

b. Lingkungan Fisik

- 1). Faktor iklim, seperti sinar mata hari (pencahayaan), suhu, kelembaban, curah hujan dan kecepatan angin.
- 2). Jenis perindukan, seperti daerah persawahan, tambak yang tidak dirawat, bekas galian tambang,

- pembukaan lahan pertanian baru, lagun, penebangan hutan bakau, dan pembangunan daerah pemukiman yang baru.
- b. Lingkungan kimia adalah Salinitas dan pH air.
 - c. Lingkungan Biologis
 - 1). Tanaman air, tumbuhan bakau, ganggang, lumut sutera, rumput-rumputan serta vegetasi lainnya di sekitar tempat perindukan
 - 2). Hewan predator larva, Ikan kepala timah, nila, mjair dan *dragonflies*
 - 3). Hewan ternak: sapi, kerbau
 - d. Lingkungan Budaya Sosial
Kegiatan surveilens sosial budaya masyarakat dapat dilakukan dengan cara:
 - 1). Mengidentifikasi kelompok masyarakat yang rentan tertular malaria
 - 2). Mengidentifikasi kebiasaan atau perilaku masyarakat setempat yang berkaitan dengan risiko penularan malaria
 - 3). Mengidentifikasi penduduk atau kelompok masyarakat yang melakukan mobilitas atau berpindah (migrasi penduduk) melalui kegiatan surveilens migrasiKegiatan surveilens sosial budaya masyarakat tersebut di atas dapat dilakukan secara aktif dan pasif dengan cara penemuan suspek malaria, pengambilan dan pemeriksaan sediaan darah, pengobatan terhadap kasus positif, penyuluhan, *crossnitification* (pelaporan kedaerah asal), monitoring dan evaluasi, serta pencatatan dan pelaporan. Kegiatan secara aktif dapat dilakukan dengan cara mengunjungi kelompok masyarakat yang bermigrasi dan atau sedang dalam perjalanan, kelompok masyarakat pekerja ilegal, kelompok masyarakat yang bermigrasi musiman seperti hari raya keagamaan, sedangkan secara pasif adalah menunggu kunjungan masyarakat yang datang

ke fasilitas pelayanan kesehatan seperti Puskesmas, rumah sakit dan klinik. (Kemenkes, 2022)

2. Penyaki Demam Berdarah Dengue (DBD)

Perubahan iklim dan faktor lingkungan yang mendukung perkembangan nyamuk menjadi penyebab utama meningkatnya penyakit demam berdarah. Argumen yang menyatakan bahwa tingginya angka kasus demam berdarah kemungkinan besar disebabkan oleh faktor epidemiologi, perubahan kepadatan, urbanisasi, peningkatan mobilitas penduduk dan perubahan iklim. Salah satu hal yang berkontribusi terhadap munculnya penyakit termasuk demam berdarah adalah tingginya curah hujan di Indonesia (Zulianti.D, 2024).

Berbagai upaya untuk menurunkan, menekan dan mengendalikan nyamuk vektor penyakit demam berdarah dengan cara pengelolaan lingkungan adalah:

a. Modifikasi Lingkungan

Modifikasi lingkungan, yaitu setiap kegiatan yang mengubah fisik lingkungan secara permanen agar tempat perindukan nyamuk vektor demam berdarah (*Aedes aegypti* dan *albopictus*) hilang. Kegiatan ini termasuk penambunan, pengeringan, pembuatan bangunan serta pengaturan sistem penyediaan air. Kegiatan ini di Indonesia populer dengan nama kegiatan pengendalian sarang nyamuk "3M" yaitu dari kata menutup, menguras dan mendaur ulang berbagai yang menjadi tempat bersarangnya nyamuk (Sigit.S.H, 2016).

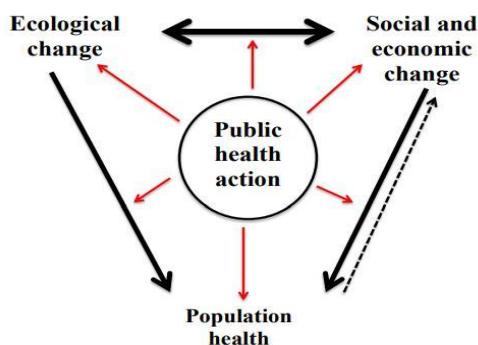
b. Pengelolaan Sampah Dalam Pencegahan Demam Berdarah

Pengelolaan sampah yang dilakukan secara benar dapat mencegah penyakit demam berdarah. Pengelolaan sampah yang benar akan mengurangi tempat berkembangbiak nyamuk. Jika perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti* dapat dikendalikan dengan cepat dan tepat, serta

berkesinambungan, maka secara efektif dapat menurunkan infeksi baru demam berdarah yang signifikan. Pengelolaan sampah dan pencegahan penyakit demam berdarah sangat erat kaitannya. Komponen penting dalam keberhasilan pengelolaan sampah adalah partisipasi masyarakat. Pemahaman tentang pentingnya pengelolaan sampah dan dukungan pemerintah dalam penyediaan infrastruktur persampahan dapat menyelesaikan permasalahan sampah, yang diharapkan akan berdampak pada berkurangnya tempat berkembang biakan nyamuk Aedes aegypti (Hamzah, 2025).

c. Metode *Ecohealth*

Merupakan pendekatan yang mengutamakan semua aspek yang terkait dengan ekosistem, metode pengendalian penyakit dilakukan berdasarkan azas keamanan, rasionalitas dan kemudahan, efektifitas, sosial ekonomi, potensi lokal dan budaya masyarakat dalam pelaksanaannya serta dengan mempertimbangkan kelestarian, keberhasilan dan keberlanjutan pengendalian. Pengendalian *ecohealth* dapat dilakukan dengan:



Gambar 2. Metode Ecohealth, Siyam.N,(2022)

1). Modifikasi dan manipulasi lingkungan

Menyediakan tempat sampah tertutup dan menjaga kebersihannya, mengelola sampah dan barang-barang bekas, memastikan limbah dapat mengalir lancar ke tempat pembuangan/tidak menggenang, mengosongkan wadah yang dapat menjadi tempat penampungan air , meniadakan bak mandi non permanen (ember), penggunaan jamban tertutup, memantau tempat-tempat umum dan rumah/bengunan yang tidak ditempati dari jentik nyamuk, menjaga kebersihan bak mandi, Mengganti air dalam pas bunga/air minum burung secara teratur minimal 1 minggu sekali, memasang kawat kasa pada ventilasi rumah, memelihara ikan untuk menekan jentik nyamuk pada kolam yang sukar dibersihkan dan mengelola ban/botol-botol bekas di lingkungan sekitar rumah.

2). Perubahan Perilaku

Masyarakat dari semua lapisan dan golongan umur harus ikut berpartisipasi dalam pemberantasan sarang nyamuk, Menguras bak mandi minimal 1 minggu sekali, menutup tempat penampungan air, menjaga kebersihan penanmpungan air, tidak menggantung pakaian, memakai kelambu saat tidur di pagi-sore, memakai lotion anti nyamuk jika diperlukan, memeriksa keberadaan jentik nyamuk setiap seminggu sekali di rumah sendiri dan rumah warga, memberi tahu masyarakat untuk melakukan perilaku PSN dan 3M plus, semua masyarakat harus melakukan PSN 3M Plus secara rutin dan serentak, segera membuang larva yang hidup di genangan air (Siyam.N. dkk, 2022).

2. Penyakit Diare

Penyakit diare merupakan salah satu penyakit yang berbasis lingkungan .Tiga faktor yang dominan adalah sarana air bersih, pembuangan tinja, dan limbah. Ketiga

faktor ini akan berinterkasi bersama dengan perilaku buruk manusia. Apabila faktor lingkungan (terutama air) tidak memenuhi syarat kesehatan karena tercemat bakteri didukung dengan perilaku manusia yang tidak sehatn seperti pembuangan tinja tidak higieneis, kebersihan perorangan dan lingkungan yang jelek, serta penyiapan dan penyimpanan makanan yang tidak semestinya, maka dapat menimbulkan kejadian disre. (Selomo.M,dkk, 2018)

Diarae atau bahasa sehari-hari disebut menceret menceret adalah adalah sebuah penyakit dimana penderita mengalami rangsangan buang air besar yang terus menerus dan tinja atau fecesnya memeliki kandungan air yang berlebihan. Ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya penyakit diare dan diantaranya yaitu faktor lingkungan seperti sarana air bersih pembuangan kotoran manusia, saluran pembuangan air limbah, perumahan (kondisi rumah) dan kebersihan diri (Sengkey. A, dkk, 2020)

a). Hubungan Jamban dengan Penyakit Diare

- (1) Jamban sebagai sarana sanitasi dasar , jamban yang sehat dan layak berfungsi sebagai tempat pembuangan tinja yang aman. Jika tidak tersedia atau tidak digunakan dengan benar, tinja dapat mencemari lingkungan dan menjadi sumber penularan penyakit diare malalui air, makanan, tangan dan vektor seperti lalat.
- (2) Lingkungan tanpa jamban resiko diare tinggi, hasil penelitian menunjukkan bahwa tempat pembuangan tinja yang tidak saniter memperpendek rantai penularan diare, Masyarakat yang tidak memiliki jamban cenderung buang air besar sembarangan, sehingga meningkatkan kontaminasi lingkungan dan penyebaran agent penyebab diare seperti *Rotavirus* dan *Escherichia coli* (Hamzah. B dan Sudirman, 2021)
- (3) Jamban yang tidak bersih, tidak hanya kepemilikan jamban, tetapi kualitas dan kebersihan jamban juga berpengaruh. Jamban yang kotot atau rusak dapat

menjadi tempat berkembangnya mikroorganisme patogen dan vektor penyakit (Hamzah.B dan Sudirman, 2021).

- (4) Data Statistik, Studi di Desa ropang menunjukkan bahwa penggunaan jamban sehat memiliki hubungan signifikan dengan penurunan kasusus diare. Hasil uji Chi Squer menunjukkan nilai $P=0,002$, yang berarti ada pengaruh nyata antara penggunaan jamban sehat dan kejadian diare (Stiawaty.E, dkk, 2022)
- b). Penderkatan Ekologi Lingkungan Penyakit Diare
- (1) Modifikasi lingkungan dengan cara membangun dan memilih jamban sehat.
 - (2) Edukasi masyarakat , tentang pentingnya sanitasi dan perilaku hidup bersih.
 - (3) Pemantauan sanitasi oleh kader kesehatan dan petugas puskesmas
 - (4) Inergrasi dengan Perilaku Hidup Bersih Dan Sehat (PHBS)

DAFTAR PUSTAKA

- Hamzah (2025), Artikel Ilmiah Populer, Universitas Air Langga Surabaya
- Hamzah.B dan Sudirman, (2021), Hubungan Penggunaan Air Baersih dan Jamban Keluraga Dengan Kejadian DiarePada Balita, Jurnal Kesehatan Masyarakat STIKES Graha Mediika Kotamobagu.
- Ismanto.H, (2016), Pengendalian Vektor Dengan Pengubahan Lingkungan, Jurnal Litbang pengendalian Penyakit Bersumber Binatang Banjarnegara
- Kanan.M, dkk, (2023), Penyuluhan Tentang Vektor dan Binatang Pembawa Penyakit, Jurnal Pengabdian Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Luwuk
- Kemenkes, (2021), Survei Vektor malaria, Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit
- Setiawaty.E, dkk, (2022), Pengaruh Penggunaan Jamban Sehat terhadap Kejadian Penyakit Diare,Di Desa Ropang Kecamatan Ropang , Jurnal Kesehatan Samawa (JKS), Universitas Samawa Indonesia.
- Sengkey.A, dkk, (2020), Hungan antara Kesediaan jamban keluraga dan sistim pembuangan air limab rumah tangga dengan kejadian diarae pada balita usia 24 – 59 bulan di Desa Raanan Baru Kecamatan Modoinding Kabupaten Minahasa, Jurnal KESMAS Nol.9 No.1 Januari 2020
- Sumantri.H, (@016), Pengendalian Vektor dengan pengubahan Lingkungan, Jurnal Litbang Pengendalian Penyakit Bersumber binatang
- Syarkawi.J.dkk, (2015), Gambaran Mikroskopik Sedian Hapus darah malaria, Politeknik Kesehatan Kementerian kesehatan Manado, Jurusan Kesehatan Lingkungan
- Sigit.H.S, (2016), Hama Pemukiman Indonesia, Institut Pertanian Bogor.
- Siyam.N, dkk, (2022), Penerapan Pencegahan dan Pengendalian Demam Berdarah Dengue Berbasisi *Ecohealth* di Kota Semarang, Universitas Semarang.

Selomo.M, dkk, (2018), Potensi Risiko kejadian Diaer akibat Kondisi sanitasi di Pulau Kecil Kota Makasar, Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan, Universitas Hasanudin

Zulianti.D, (2024), Analisis Kbijakan Pencegahan Vektor Penyakit Berbasis Lingkungan dalam Pencegahan DBD, Jurnal Kesehatan Tujuh Belas, Universitas Teuku Umar.

BIODATA PENULIS



Suwarja, S.Pd, M.Kes lahir di Cijeruk , pada 19 April 1963. Menyelesaikan pendidikan Diploma 1 di Sekolah Pembantu Penilik Hygiene (SPPH) Manado, Diploma 3 di Akademi Kesehatan Lingkungan (AKL) Surabaya, S1 di Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Manado Fakultas Pendidikan dan S2 di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Fakultas Kesehatan Masyarakat Program Studi Ilmu Kesehatan Kerja, peminatan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.

BAB

12

Zat Kimia Lingkungan dan Penyakit Tidak Menular

Dr. Drs Agus Rokot, S.Pd.,M.Kes

A. Pendahuluan

Zat kimia lingkungan merupakan komponen kimia yang secara umum menyelimuti alam dimana manusia tinggal dan ketergantungan akan zat kimia ini dapat berpengaruh positif maupun negatif dalam kehidupan manusia. Kimia lingkungan umumnya mengkaji berkaitan dengan berbagai kondisi yang berlaku bagi manusia khususnya tanah, udara dan air yang dipijak dan didiami, diolah, dinikmati oleh manusia. Konsentrasi reaksi berbagai Zat kimia dapat merangsang atau memusnahkan fungsi zat (misalnya makanan basi/ adanya mikro organisme yang tidak dibutuhkan seperti bakteri *patogen* atau terkontaminasi zat lain seperti polusi udara) maka zat kimia yang seimbang yang dibutuhkan mempengaruhi Kesehatan manusia; sehingga kita perlu memahami zat kimia dalam kimia lingkungan itu. Kimia lingkungan adalah studi ilmiah terhadap fenomena kimia dan biokimia yang terjadi di alam.bidang ilmu ini dapat didefinisikan sebagai studi terhadap sumber , reaksi, transport, efek, dan Nasib zat kimia di lingkungan udara, tanah dan air; serta efek aktivitas manusia terhadapnya. Kimia lingkungan juga adalah ilmu antar disiplin yang memasukkan ilmu kimia *atmosfer*, *akuatik*, dan tanah dan juga sangat tergantung dengan kimia analitik, ilmu lingkungan dan bidang ilmu lainnya (Nuswowati dkk, 2024) Keterkaitan dengan berbagai ilmu yang terkait dengan lingkungan hal ini dapat dilihat bahwa seluruh bagian dari alam ini berupa tanah udara dan air disusun oleh komponen kimia yang keadaannya dalam bentuk tiga jenis zat padat, cair dan gas, dapat terurai menjadi

bagian terkecil; partikel, senyawa/molekul, atom dan ion yang dapat berkontribusi pada epidemiologi lingkungan. Hirsch (1883): Epidemiologi adalah suatu gambaran kejadian, penyebaran dari jenis – jenis penyakit pada manusia pada saat tertentu di berbagai tempat di bumi dan mengaitkan dengan kondisi *eksternal* (Sitorus 2023) Kondisi eksternal ini seperti zat kimia dalam lingkungan factor pemicu maupun penghambat terjadinya penyakit pada manusia

B. Konsep Zat Kimia Lingkungan Dan Penyakit Tidak Menular

Zat kimia lingkungan terdiri dari berbagai bagian posisi dan kondisi dari zat tersebut dalam lingkungan dan masing masing unsur dapat bereaksi membentuk senyawa, partikel dan molekul yang ada pada tanah, udara dan air. bahan kimia yang tersebar meluas dalam lingkungan hidup, ada yang berbentuk gas, zat cair dan ada juga yang berbentuk padatan. Bahan bahan kimia yang tersebar dalam lingkungan hidup ini berupa senyawa *anorganik* (air, oksigen, karbon dioksida, nitrogen, dan mineral-mineral *esensial* lainnya), senyawa organik (protein, lemak, karbohidrat, vitamin, dan senyawa-senyawa organik lainnya yang lebih kompleks dan sangat diperlukan untuk hidup) serta bermacam-macam logam. Bahan-bahan kimia ini tersebar dalam tiga media fisik lingkungan hidup, yaitu dalam udara air (*hidrosfer*) dan dalam tanah (*litosfer*) (Morin dan Santi 2022) . kondisi zat kimia dalam lingkungan tentunya saling berada pada posisi kesetimbangan yang ada ,jika keadaan antara zat kimia yang ada pada tanah dan air mengalami Konsentrasi kesetimbangan maka reaksi yang muncul tentunya sesuai dengan prinsip alam yang berlaku saling memerlukan saling melepaskan dan mengikat reaksi satu sama lainnya namun jika posisi tidak seimbang maka dapat menyebabkan penyakit yang dapat mempengaruhi Kesehatan secara umum maupun spesifik pada manusia yang bisa memicu berbagai macam penyakit yang sifatnya tidak menular, misalnya gula dalam darah, Secara umum kadar gula itu penting untuk memberikan tenaga tetapi jika reaksinya tidak seimbang maka akan meningkatkan kadar gula yang terdapat dalam tanaman yang tumbuh di alam ini.

Meningkatnya kadar gula juga dipengaruhi dari berbagai zat kimia dalam proses metabolisme karbohidrat, lemak protein dan mineral dalam tubuh seseorang. *Diabetes Mellitus* (DM) terjadi karena *hiperglikemia*, abnormalitas metabolisme karbohidrat, protein dan lemak disebabkan oleh penurunan sekresi insulin, atau penurunan sensitivitas insulin atau keduanya, menyebabkan komplikasi kronis *mikrovaskular, mikrovaskular, dan neuropati* (Quraisy dan Mulyani 2021). Berbagai macam kondisi penyakit tidak menular seperti: penyakit yang disebabkan oleh berbagai zat kimia yang ada di alam yang dapat menyebabkan berbagai zat kimia yang dikonsumsi menyebabkan terganggunya sistem metabolisme dalam tubuh sehingga menyebabkan penyakit secara spesifik yang disebabkan oleh kadar gula yang tinggi seperti *diabetes melitus, kolesterol* dan asam urat pada kadar yang berada di atas ambang batas yang sumbernya dari zat kimia pada makanan(Karbohidrat, Protein, Lemak, Vitamin dan Mineral) yang terdapat pada hewan yang akan dikonsumsi sebagai makanan atau nutrisi, dan pada tumbuhan-tumbuhan di alam atau di lingkungan dimana kita berada.

1. Zat Kimia lingkungan

Zat kimia yang dibutuhkan tubuh manusia yaitu cakupan yang ada dalam lingkungan yaitu (tanah dengan berbagai jenisnya, udara dengan berbagai lapisan (troposfer, stratosfer mesosfer), dan air dengan berbagai kondisi (air Sungai , mata air air laut danau dan sebagainya). Keseluruhan ini dikategorikan zat kimia pendukung kehidupan karena di dalamnya menghasilkan berbagai siklus pada tanaman dan hewan yang menghasilkan makanan yang dapat dikonsumsi oleh manusia berupa (Karbohidrat, lemak, protein, Vitamin dan mineral serta air sebagai pelarutnya) komponen ini diperlukan dengan kondisi sesuai kebutuhan untuk mendukung kesehatan serta zat ini berada pada kondisi yang belum mengalami reaksi yang sifatnya tercemar oleh *mikroorganisme* maupun pencemaran lainnya seperti reaksi tidak seimbang dalam udara. Keadaan

kesetimbangan dalam udara (Polusi udara) dapat memicu penyakit dari paparan zat kimia ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat memicu atau memperburuk kondisi seperti penyakit jantung, kanker, penyakit pernapasan kronis, dan diabetes. Infeksi saluran pernafasan dan alergi saluran pernafasan Alergi pada saluran pernafasan dan penyakit infeksi saluran pernafasan kemungkinan akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah dan waktu paparan penduduk terhadap debu (dari kekeringan), polusi udara, racun *aerosol* dari laut dan peningkatan jumlah serbuk sari dari tanaman akibat perubahan pola pertumbuhan. Kanker Potensi bahaya lainnya yang bersifat langsung dari perubahan iklim adalah peningkatan jumlah kejadian kanker, hal berhubungan dengan peningkatan paparan bahan kimia beracun penyebab kanker yang berasal dari penguapan berbagai bahan kimia tersebut. Dalam kasus peningkatan curah hujan atau banjir, kemungkinan terjadi peningkatan bahan kimia dalam proses mencuci dan kontaminasi air oleh logam berat. (Mallongi dkk 2023). Polutan masuk ke dalam tubuh maka dampak penyakit yang akan dialami juga akan semakin besar dan juga sebaliknya. Adapun berbagai jenis risiko polutan dan penyakitnya adalah sebagai berikut ini: 1) Kromium, yang merupakan zat kimia yang digunakan dalam berbagai pestisida dan juga herbisida ini mampu membuat munculnya dampak karsinogenik pada semua populasi bukan hanya untuk spesies manusia saja namun juga makhluk hidup lainnya. 2) Zat timbal, ini sangat berbahaya jika terlalu banyak terpapar ke dalam tubuh karena dapat mengakibatkan peningkatan resiko terkena penyakit ginjal dan kerusakan otak pada manusia 3) Benzene, jika tubuh terus menerus mengalami paparan benzena dalam jumlah yang sangat banyak dan intensitas yang sering maka bisa meningkatkan terkena penyakit leukemia atau kanker darah, dan tentu saja penyakit ini sangat berbahaya bahkan mematikan.⁴⁾

Merkuri, tubuh yang terlalu sering mendapatkan Kimia Lingkungan. Paparan dari zat ini akan sangat mudah mengalami gangguan pada organ ginjalnya bahkan ada beberapa penyakit juga yang tidak bisa diobati karena zat ini. 5) *Sikoldenia*, zat ini memicu timbulnya infeksi dan gangguan pada fungsi organ hati 6) Karmabat, yang mampu membuat gangguan pada saraf otot sehingga tubuh akan mengalami kesulitan dalam bergerak, 7) Klorin, zat cair yang mengandung klorin ini sangat berbahaya bagi tubuh karena mengganggu fungsi kinerja dari organ hati dan ginjal serta menyebabkan gangguan pada saraf pusat di dalam otak. 8) Selain dampak pada kesehatan yang telah disebutkan di atas, dampak pada kesehatan lainnya yang akan dirasakan oleh para penderitanya antara lain adalah gangguan pada penglihatan, pendengaran, ruam pada kulit, pusing, letih, lelah, dan gejala penyakit lainnya. apabila terjadi dosis yang sangat besar pada paparan pencemaran ke dalam tubuh bahkan bisa berakibat fatal pada kematian. (Sylvia dkk, 2022). Berbagai zat makanan yang dikonsumsi tubuh terdiri dari zat makanan (Karbohidrat, lemak, protein, Vitamin , mineral dan air sebagai pelarut) dikelompokkan kedalam bahan kimia organic dan anorganik yang bersumber dari tanaman yang tumbuh dan hewan yang disembelih ketika dikonsumsi tidak melebihi ambang batas yang ditentukan agar tidak memicu berbagai penyakit tidak menular yang banyak menyebabkan sakit bahkan kematian. Pentingnya Zat kimia dalam tubuh sesuai kebutuhan atau dalam kesetimbangan. Seringkali diperlukan cara untuk meramalkan adanya suatu gangguan dari luar yang dapat mempengaruhi kesetimbangan (Haryono 2020)

2. Penyakit Tidak Menular

Berkembangnya teknologi berbagai penemuan dengan peralatan yang sangat pesat di hari-hari ini sesungguhnya secara luar biasa dapat dinikmati oleh para penderita berbagai penyakit yang tidak menular, namun fakta

lapangan menunjukkan berbagai macam penyakit bisa terjadi dimana saja sehingga ada yang memprediksi diantaranya gaya hidup. Penyakit Tidak Menular (PTM) merupakan penyakit yang tidak dapat ditularkan sehingga dianggap tidak mengancam kondisi orang lain. PTM merupakan beban kesehatan utama di negara-negara berkembang dan negara industri. Berdasarkan laporan WHO, di kawasan Asia Tenggara paling sering ditemui lima PTM dengan tingkat kesakitan dan kematian yang sangat tinggi, beberapa di antaranya adalah penyakit Jantung (*Kardiovaskuler*), DM, kanker, penyakit pernafasan *obstruksi kronik* dan penyakit karena kecelakaan. Kebanyakan PTM dikategorikan sebagai penyakit *degeneratif* dan cenderung diderita oleh orang yang berusia lanjut (Utama, 2021). Penyakit tidak menular (PTM) disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk zat kimia tertentu yang dapat memicu penyakit tersebut. Beberapa zat kimia yang sering dikaitkan dengan PTM antara lain adalah polutan udara yaitu adanya kontaminasi udara seperti pembakaran tidak sempurna pada berbagai mesin yang digunakan di pabrikan maupun mobil, pestisida yang digunakan pada pertanian untuk meningkatkan produksi pertanian dengan membasmi hama pada tanaman dengan menggunakan berbagai pestisida, bahan kimia dalam makanan berbagai jenis pengawet seperti Rhodamin B, dan zat kimia dalam produk rumah tangga kesemuanya dapat memicu berbagai jenis penyakit. Istilah Penyakit Tidak Menular memiliki kesamaan arti dengan : 1) *Penyakit Kronik* juga merujuk pada PTM mengingat kasus PTM yang umumnya bersifat *kronik/ menahun/lama*. Akan tetapi, beberapa PTM juga bersifat mendadak atau akut, misalnya keracunan. 2). Penyakit *Non-Infeksi* Sebutan penyakit non-infeksi digunakan mengingat PTM umumnya tidak disebabkan oleh mikro-organisme. Meskipun demikian, *mikro-organisme* juga merupakan salah satu penyebab PTM, 3). *New Communicable Disease* Hal ini dikarenakan anggapan

bahwa PTM dapat menular melalui gaya hidup (*Life Style*). Gaya hidup saat ini bisa dikatakan sebagai penyebab penularan berbagai penyakit, beberapa contoh di antaranya yaitu pola makan, kehidupan seksual, dan komunikasi global. Misalnya, asupan makan dengan kandungan kolesterol tinggi merupakan salah satu faktor penyebab meningkatnya kasus penyakit jantung (Irwan, 2016) sumber utama pemicu kolesterol yaitu adanya kandungan yang berlebihan dalam tubuh yang sebenarnya kolesterol penting dalam tubuh pada batas yang diperlukan. Kolesterol yang kita butuhkan tersebut, secara normal diproduksi sendiri oleh tubuh dalam jumlah yang tepat, tetapi dapat meningkat jumlahnya karena asupan makanan yang berasal dari lemak hewani, telur dan yang disebut sebagai makanan sampah (*junkfood*). Kolesterol yang berlebihan akan tertimbun di dalam dinding pembuluh darah dan menimbulkan suatu kondisi yang disebut *aterosklerosis* yaitu penyempitan atau pengerasan pembuluh darah (Utama, 2021), DM dapat mempengaruhi Kesehatan serta menggerogoti kualitas hidup untuk dapat hidup sehat maka berbagai usaha mengatasinya. Langkah pencegahan dengan penatalaksanaan khusus, penatalaksanaan DM dimulai dengan menerapkan pola hidup sehat(terapi nutrisi medis dan aktivitas fisik) bersamaan dengan intervensi farmakologis dengan obat anti hiperglikemia secara oral dan/atau suntikan . obat anti *hiperglikemik* oral dapat diberikan sebagai terapi Tunggal atau kombinasi pada keadaan emergensi dengan dekompensasi metabolic berat, misalnya *ketoasidosis*, stress berat, berat badan menurun dengan cepat, atau adanya *ketonuria* harus segera dirujuk ke pelayanan Kesehatan sekunder atau tersier (Soelistijo dkk 2021). Asam Urat (*Gout*) atau *gout arthritis* (radang sendi akibat asam urat)atau hiperurisemia yang menggambarkan kondisi asam urat yang tinggi. Dalam mencapai hidup yang sehat terhindar dari asam urat yang tinggi maka ada berbagai Langkah yang perlu dilakukan

diantaranya pola hidup dengan memperhatikan: Kadar asam urat serum harus dimonitor dan di upayakan < 6 mg/dl kecuali pada pasien dengan gout berat (terdapat topi *artropati kronis*, sering terjadi serangan *arthritis gout* walaupun kadar asam urat serum < 6 mg/dl) target kadar asam urat serum diupayakan sampai < 5 mg/dl untuk melarutkan kristal *monosodium urat* (Manuaba dkk 2024) inilah Gambaran beberapa penyakit tidak menular yang diderita umumnya masyarakat Indonesia Karena zat kimia makanan yang dikonsumsi tidak sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan karena kebutuhan Zat makanan tergantung pada kondisi tubuh seperti besar kecil tubuh, aktivitas yang dilakukan, kondisi lingkungan dimana kita hidup panas atau dingin, tercemar lewat polusi udara pada tanah, udara dan air dan kondisi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Haryono, H. E. (2020). *Kimia dasar*. Deepublish.
- Irwan. (2016). *Epidemiologi Penyakit Tidak Menular*. Deepublish.
- Mallongi, A., Rauf, A. U., Astuti, R. D. P., & Ernyasih. (2023). Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Pajanan Polutan di Udara. Gosyen Publishing.
- Manuaba, R. W., Marpaung, B., Pramudiyo, R., ... & Ariane, A. (2024). Pedoman Diagnosis dan Tata laksana Hiperurisemia & Artritis Gout. Perhimpunan Reumatologi Indonesia.
- Morin, J. V., & Santi, D. (2022). *Kimia Lingkungan*. Eureka Media Aksara.
- Nuswowati, M., Jabbar, A., & Taufiq, M. (2024). *Buku Ajar Kimia Lingkungan: Terintegrasi Kompetensi Education for Sustainable Development (ESD)*. Penerbit NEM.
- Quraisy, C. C. R. S. A., & Mulyani, N. S. (2021). Faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian diabetes mellitus tipe-II pada pasien rawat jalan. *Jurnal SAGO Gizi dan Kesehatan*, 2(2), 122-128.
- Sitorus, R. J. (2023). *Buku Ajar Dasar Epidemiologi*. Wawasan Ilmu.
- Soelistijo, S. A., Suastika, K., Lindarto, D., Decroli, E., Permana, H., ... & Susanto, H. (2021). Pedoman Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes Melitus Tipe 2 Dewasa di Indonesia. PB PERKENI.
- Sylvia, D., Linggarweni, B. I., Nurhajawarsi, M. S., Lestari, M. F., Lieza Corsita, S. T., Dwityaningsih, R., ... & Herniwanti, S. P. (2022). *Kimia Lingkungan*. Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI).
- Utama, R. D. (2021). *Kolesterol dan penanganannya* STRADA PRESS.

BIODATA PENULIS

Dr Drs Agus Rokot, SPd., M.Kes lahir di Liwutung, Minahasa, pada 27 Agustus 1963. Menyelesaikan, S1 Kimia (1990) S1 Psikologi (1997), S2 KesMas (2004) dan S3 (2015). Penulis sebagai Dosen di Poltekkes Kemenkes Manado

BAB

13

Pencemaran Lingkungan dengan Kanker

Marlyn Magdalen Pandean

A. Pendahuluan

Kanker merupakan penyebab kematian tertinggi kedua di dunia, dan angka kejadiannya di Indonesia menempati urutan ke-8 di Asia Tenggara (Kemkes, 2024). Sebagai salah satu penyebab utama kematian penyakit tidak menular, kanker terus menjadi beban yang semakin meningkat secara global. Pada tahun 2022 tercatat bahwa kanker menyebabkan kematian sekitar 9,7 juta orang atau 18,7% dari seluruh kematian di seluruh dunia pertahun. Secara global, kasus kanker diperkirakan meningkat dari 20 juta kasus baru pada 2022 menjadi 35 juta pada tahun 2050, sehingga diperlukan berbagai langkah strategis untuk meningkatkan hasil intervensi kesehatan baik melalui fasilitas kesehatan maupun perubahan perilaku individu. Jumlah kasus kanker di Indonesia terus meningkat dan diprediksi melonjak hingga lebih dari 70 persen pada 2050 jika langkah pencegahan dan deteksi dini tidak diperkuat. Saat ini, sekitar 400 ribu kasus baru kanker terdeteksi setiap tahunnya, dengan angka kematian mencapai 240 ribu kasus. Tanpa intervensi yang efektif, beban kanker akan semakin besar, baik dari segi kesehatan masyarakat maupun ekonomi. Di Indonesia, deteksi dini kanker masih menjadi tantangan. Banyak pasien datang dalam kondisi stadium lanjut, sehingga tingkat keberhasilan pengobatan menurun dan biaya perawatan meningkat. Padahal, hingga 50 persen kasus kanker bisa dicegah dengan pola hidup sehat seperti menjaga pola makan, rutin berolahraga, tidak merokok, menghindari alkohol, serta menjalani pemeriksaan kesehatan secara berkala (Kemkes, 2025).

Di Indonesia sendiri, kanker merupakan penyebab kematian tertinggi ketiga setelah penyakit stroke dan jantung. Pusat observasi kanker global atau Globocan mencatat terdapat 408.661 kasus baru dan 242.988 kematian yang disebabkan oleh kanker pada tahun 2022. Jumlah kasus tertinggi adalah kanker payudara pada perempuan dan kanker paru pada laki-laki dengan jumlah kematian tertinggi diakibatkan oleh kanker payudara, leher rahim, dan paru. Terdapat bukti yang menunjukkan bahwa dari kasus kanker yang diteliti, hanya 5-10% yang memiliki kaitan dengan faktor genetik, sedangkan 90-95% berkaitan dengan faktor lingkungan dan gaya hidup.

Hal ini juga didukung oleh fakta lain bahwa dari semua kematian akibat kanker, sekitar 25-30% disebabkan oleh tembakau, 25-30% terkait dengan pola makan yang tidak sehat, 15-20% disebabkan oleh infeksi, dan selebihnya disebabkan oleh faktor lain seperti radiasi, stres, dan kurangnya aktivitas fisik yang menyebabkan kegemukan dan mempengaruhi keseimbangan hormon, serta polutan lingkungan. Oleh sebab itu, dalam upaya pencegahan kanker diperlukan perhatian terhadap pencegahan dan pengendalian faktor risiko (KemenKes RI, 2024a). Kontaminan lingkungan berkontribusi signifikan terhadap penyakit pada manusia berbagai dampak polutan lingkungan bertanggung jawab atas gangguan kronis maupun akut, termasuk salah satunya adalah kanker (Shetty *et al.*, 2023).

B. Konsep Pencemaran Lingkungan dengan Kanker

1. Tinjauan Umum Tentang Kanker

Kanker terjadi akibat pertumbuhan sel yang tidak terkendali atau pembelahan sel abnormal akibat kerusakan DNA. Karsinogen adalah faktor penyebab mutasi DNA dan diketahui menyebabkan kanker dalam tubuh kita dengan mengubah tingkat gen. Kerentanan genetik juga berperan penting dalam perkembangan kanker, bersama dengan faktor-faktor seperti kondisi hidup yang buruk. Selain itu, semua faktor lingkungan seperti sinar-X, sinar gamma, radiasi yang dipancarkan dari bahan radioaktif, pewarna

anilin, rokok, radikal bebas, asbes, debu silika, polusi udara, zat aditif makanan, berbagai obat-obatan, beberapa bahan kimia yang digunakan dalam parfum, virus dan bakteri onkogenik, berperan penting dalam pembentukan kanker dan berkontribusi pada peningkatan insiden kanker. Faktor lingkungan penyebab kanker terdapat di udara, air, tanah, dan makanan yang kita butuhkan untuk hidup. Akibatnya, manusia terkena kanker akibat paparan karsinogen dari lingkungan tempat tinggal mereka. Kanker merupakan penyakit yang sulit diobati dan menurunkan kualitas hidup penderita kanker. Penelitian tentang pengaruh faktor lingkungan terhadap kanker dan pencegahan perkembangan kanker dengan menentukan faktor-faktor penyebab kanker sangat penting dari perspektif ini (Kaleli, Deveci and Guney Eskiler, 2018).

2. Pengertian Lingkungan

Pengertian lingkungan menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH) Pasal 1 Ayat 1 berbunyi: "Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain."

3. Pengertian Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan hidup menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH) Pasal 1 Ayat 14 adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan

4. Fakto-faktor Lingkungan yang berhubungan dengan kanker

Faktor lingkungan yang menyebabkan kanker terdapat di udara, air, tanah, dan makanan yang kita butuhkan untuk hidup. Akibatnya, manusia terkena kanker akibat

paparan karsinogen dari lingkungan tempat tinggalnya (Parsa, 2012). Paparan karsinogen lingkungan tersebar luas, dan mencakup sejumlah besar agen yang dipancarkan oleh berbagai sumber yang terpapar pada populasi manusia melalui berbagai rute. Banyak orang mungkin terpapar karsinogen lingkungan dalam kadar yang relatif rendah, sehingga berpotensi menyebabkan sejumlah besar kasus kanker berlebih. Pola makan dapat memengaruhi risiko kanker. Beberapa faktor lingkungan seperti polusi udara, air, dan makanan yang terkontaminasi, serta gaya hidup seperti merokok dan konsumsi alkohol, dapat meningkatkan risiko kanker (Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, 2020).

a. Pencemaran Udara Dengan Kanker

Pencemaran udara merupakan salah satu masalah lingkungan yang serius di berbagai belahan dunia. Paparan terhadap polutan udara dalam jangka panjang telah dikaitkan dengan berbagai masalah kesehatan, termasuk peningkatan risiko kanker. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), polusi udara luar ruangan telah diklasifikasikan sebagai karsinogen oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC). Pencemaran udara memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan masyarakat, termasuk meningkatkan risiko kanker. Diperlukan upaya kolaboratif antara pemerintah, masyarakat, dan sektor industri untuk mengurangi polusi udara dan melindungi kesehatan masyarakat.

1) Jenis Polutan dan Sumbernya

Polutan udara yang paling sering dikaitkan dengan kanker meliputi partikel halus (PM2.5), nitrogen dioksida (NO_2), ozon (O_3), karbon monoksida (CO), dan senyawa organik volatil (VOC). Sumber utama polutan ini adalah kendaraan bermotor, pabrik industri, pembakaran

bahan bakar fosil, dan aktivitas rumah tangga (Mitra and Padvetnaya, 2020).

2) Mekanisme Terjadinya Kanker

Paparan kronis terhadap polutan udara dapat menyebabkan stres oksidatif dan peradangan kronis pada jaringan tubuh. Hal ini dapat merusak DNA dan mengganggu mekanisme perbaikan sel, sehingga meningkatkan risiko mutasi genetik yang berujung pada perkembangan kanker, khususnya kanker paru-paru (Circ *et al.*, 2010).

3) Studi Epidemiologi

Berbagai studi telah menunjukkan hubungan antara pencemaran udara dan peningkatan risiko kanker. Misalnya, penelitian oleh Hamra *et al.* (2014) yang diterbitkan dalam jurnal *Environmental Health Perspectives* menyimpulkan bahwa setiap peningkatan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5 dikaitkan dengan peningkatan risiko kanker paru-paru sebesar 9% (Hamra *et al.*, 2014). Polusi udara, baik di dalam maupun di luar ruangan, merupakan kontributor yang paling banyak diteliti dan paling penting terhadap beban kanker lingkungan pada populasi manusia. Polusi udara sendiri bertanggung jawab atas sekitar 350.167 kematian akibat kanker paru-paru di seluruh dunia pada tahun 2017.

Prediktor paling konsisten untuk karsinogenitas polusi udara adalah konsentrasi partikulat udara dengan diameter aerodinamis kurang dari $2,5 \mu\text{m}$. Campuran polutan kompleks ini terutama berasal dari pembakaran bahan bakar untuk transportasi, pembangkit listrik, aktivitas industri, pembakaran biomassa, serta pemanasan dan memasak rumah tangga (Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, 2020).

4) Upaya Pencegahan

Beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko kanker akibat pencemaran udara antara lain: mengurangi penggunaan kendaraan bermotor, meningkatkan penghijauan kota, menggunakan masker saat polusi tinggi, dan mendorong penggunaan energi bersih (Mitra and Padvetnaya, 2020).

b. Pencemaran Air Dengan Kanker

Pencemaran air merupakan isu lingkungan yang berdampak besar terhadap kesehatan manusia. Salah satu dampak serius dari pencemaran air adalah peningkatan risiko kanker akibat kontaminasi bahan kimia berbahaya. Air yang terkontaminasi bahan karsinogenik seperti arsenik, nitrat, dan senyawa organik klorinasi telah terbukti menyebabkan berbagai jenis kanker, terutama kanker kandung kemih, hati, dan kulit. Pencemaran air memiliki dampak serius terhadap kesehatan masyarakat, termasuk meningkatkan risiko kanker. Diperlukan tindakan nyata dan kolaboratif dari semua pihak untuk memastikan ketersediaan air bersih dan aman guna melindungi kesehatan masyarakat (Widiatmika, 2015).

1) Sumber Pencemaran Air

Sumber pencemaran air dapat berasal dari limbah industri, pertanian, dan rumah tangga. Limbah industri dapat mengandung logam berat seperti arsenik dan merkuri, sedangkan limbah pertanian mengandung pestisida dan pupuk kimia yang mengandung nitrat tinggi. Pembuangan limbah rumah tangga yang tidak dikelola dengan baik juga berkontribusi terhadap pencemaran air (Herschy, 2012). Air minum, atau air yang digunakan untuk kegiatan pertanian atau rekreasi, dapat tercemar oleh kontaminan karsinogenik alami (misalnya arsenik) atau oleh polutan

antropogenik (misalnya zat terklorinasi, zat teralkilasi perfluorinasi, dan logam). Pencemaran air dapat disebabkan oleh kebocoran dari tanah yang terkontaminasi, dan dapat mengakibatkan kontaminasi pada rantai makanan (Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, 2020).

2) Mekanisme Terjadinya Kanker

Beberapa zat pencemar air bersifat karsinogenik dan dapat memicu mutasi DNA setelah tertelan atau terserap ke dalam tubuh. Contohnya, arsenik anorganik dapat menyebabkan stres oksidatif dan mengganggu proses metilasi DNA, yang dapat memicu kanker. Paparan nitrat dalam air minum juga dikaitkan dengan pembentukan nitrosamin di dalam tubuh, yang merupakan senyawa karsinogenik (Circ *et al.*, 2010)

3) Studi Epidemiologi

Penelitian menunjukkan bahwa paparan arsenik dalam air minum berkaitan erat dengan peningkatan risiko kanker kulit, paru-paru, dan kandung kemih. Studi oleh Smith *et al.* (2002) menunjukkan bahwa masyarakat yang tinggal di daerah dengan konsentrasi arsenik tinggi dalam air minum memiliki risiko kanker kulit yang signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang tidak tercemar.

4) Upaya Pencegahan

Beberapa upaya penting dalam mencegah kanker akibat pencemaran air antara lain: memperbaiki sistem sanitasi, mengawasi kualitas air secara berkala, mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya di pertanian dan industri, serta memberikan edukasi kepada masyarakat tentang pentingnya menjaga kebersihan air (Smith, Lingas and Rahman, 2000). Pencegahan paparan polutan lingkungan karsinogenik membutuhkan tindakan

regulasi dan komitmen masyarakat. Di tingkat global, situasi saat ini membaik di negara-negara berpenghasilan tinggi dan memburuk di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah (Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, 2020).

c. Pencemaran Tanah Dengan Kanker

Pencemaran tanah adalah akumulasi bahan kimia berbahaya di permukaan tanah yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu dampak kesehatan yang paling mengkhawatirkan dari pencemaran tanah adalah peningkatan risiko kanker. Zat pencemar seperti logam berat, pestisida, dan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) diketahui memiliki sifat karsinogenik. Pencemaran tanah merupakan ancaman serius terhadap kesehatan masyarakat, terutama dalam hal peningkatan risiko kanker. Diperlukan upaya berkelanjutan dari semua pihak untuk mengendalikan pencemaran tanah dan melindungi kesehatan manusia dari paparan bahan kimia berbahaya. Kontaminasi tanah dapat menjadi faktor risiko kanker, karena zat karsinogenik yang ada di dalam tanah, baik secara alami maupun akibat aktivitas manusia, dapat terhirup (seperti pada kasus asbes atau serat mineral lainnya, sebagaimana dibahas sebelumnya), tertelan secara tidak sengaja (terutama oleh anak-anak yang bermain dengan kontak langsung dengan tanah), atau terserap melalui rantai makanan, sebagai akibat dari pelepasannya dari tanah ke dalam air tanah dan air permukaan (Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, 2020).

1) Sumber Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah dapat berasal dari aktivitas industri, pertanian, pembuangan limbah, dan kebocoran bahan kimia. Limbah industri mengandung logam berat seperti timbal, kadmium,

dan arsenik yang dapat bertahan lama di dalam tanah. Pestisida dan herbisida yang digunakan dalam pertanian juga dapat meresap ke dalam tanah dan mencemari sumber makanan serta air tanah (OMS, 2010).

2) Mekanisme Terjadinya Kanker

Zat karsinogen dalam tanah dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui kontak kulit, inhalasi debu, atau konsumsi tanaman yang tumbuh di tanah yang tercemar. Senyawa seperti PAH dan logam berat dapat menyebabkan kerusakan DNA, mutasi genetik, dan gangguan regulasi sel yang berujung pada pembentukan sel kanker (Widiatmika, 2015).

3) Studi Epidemiologi

Beberapa studi menunjukkan adanya hubungan antara paparan zat pencemar tanah dengan peningkatan risiko kanker. Contohnya, studi oleh ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) menemukan bahwa penduduk yang tinggal dekat lokasi pembuangan limbah beracun memiliki risiko lebih tinggi terkena kanker, terutama kanker hati, kandung kemih, dan darah (ATSDR, 1995). Menurut laporan Pusat Penelitian Gabungan Eropa, diperkirakan terdapat 342.000 lokasi di negara-negara Uni Eropa yang mengalami kontaminasi tanah, dan hanya 15% dari lokasi tersebut yang telah menjalani intervensi remediasi. Aktivitas industri, termasuk pembuangan dan pengolahan limbah industri, bertanggung jawab atas sekitar dua pertiga dari keseluruhan kontaminasi. Kontaminan utama adalah logam berat, minyak mineral, dan hidrokarbon aromatic (Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, 2020).

4) Upaya Pencegahan

Pencegahan pencemaran tanah dan dampak karsinogeniknya dapat dilakukan melalui pengelolaan limbah yang baik, pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya, remediasi tanah tercemar, serta peningkatan kesadaran masyarakat mengenai bahaya kontaminasi tanah terhadap kesehatan.

d. Pencemaran Makanan Dengan Kanker

Makanan yang tercemar merupakan salah satu faktor risiko yang dapat menyebabkan berbagai penyakit kronis, termasuk kanker. Bahan pencemar dalam makanan dapat berasal dari berbagai sumber seperti pestisida, logam berat (misalnya merkuri, timbal dan arsenic), bahan tambahan pangan yang tidak sesuai standar, serta kontaminasi biologis oleh mikroorganisme pathogen. Beberapa bahan kimia pencemar diketahui bersifat karsinogenik, yaitu mampu memicu pembentukan sel kanker. Misalnya, aflatoksin yang dihasilkan oleh jamur *Aspergillus flavus* pada makanan yang disimpan dalam kondisi lembab dapat menyebabkan kanker hati (Dhakal, A., et all, 2023). Selain itu, nitrit dan nitrat dalam makanan olahan yang dapat berubah menjadi nitrosamine juga terkait dengan risiko kanker lambung (Schrenk *et al.*, 2023). Penting untuk menjaga pola makan sehat dan menghindari faktor risiko lingkungan untuk mengurangi risiko terkena kanker. Selain itu, deteksi dini dan pengobatan yang tepat juga merupakan kunci penting dalam penanganan kanker (Husein, A.M., 2024). Pola makan sehat yang kaya serat, sayuran, dan buah-buahan, serta menghindari makanan olahan dan daging merah, dapat membantu mengurangi risiko kanker (Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, 2020).

Paparan jangka panjang terhadap bahan pencemar ini, meskipun dalam jumlah kecil, dapat menimbulkan

efek kumulatif dalam tubuh yang memicu mutase DNA dan kerusakan sel, sehingga meningkatkan risiko kanker. Oleh karena itu, pengawasan terhadap keamanan makanan dan penerapan prinsip kehigienisan sangat penting untuk mencegah dampak negative terhadap kesehatan masyarakat (Dhakal, A., et all, 2023).

Beberapa Contoh Makanan Berisiko Kesehatan

- 1) Makanan Berisiko Tinggi
 - a) Daging merah olahan (osis, bacon, ham): Kanker usus besar, penyakit jantung.
 - b) Makanan cepat saji (fast food): Obesitas, diabetes, penyakit jantung.
 - c) Makanan berminyak goreng (gorengan, kerupuk): Penyakit jantung, stroke.
 - d) Makanan tinggi gula (es krim, permen): Diabetes, obesitas.
 - e) Makanan kaleng (sarden, kornet): Keracunan logam berat, penyakit jantung.
- 2) Makanan Berisiko Sedang
 - a) Daging merah (daging sapi, kambing): Kanker usus besar, penyakit jantung.
 - b) Makanan berlemak tinggi (mentega, minyak kelapa): Penyakit jantung.
 - c) Makanan asin (kecap, saus): Hipertensi.
 - d) Makanan ringan (chips, popcorn): Obesitas.
 - e) Minuman berkafein (kopi, teh): Insomnia, hipertensi.
- 3) Makanan Berisiko Rendah
 - a) Makanan mentah atau tidak matang (daging, telur): Keracunan bakteri.
 - b) Makanan basi atau kadaluarsa: Keracunan makanan.
 - c) Makanan yang mengandung MSG: Sakit kepala, mual.

- d) Makanan yang mengandung zat pewarna sintetis: Kanker.
 - e) Makanan yang mengandung lemak trans: Penyakit jantung.
- 4) Tips Menghindari Risiko
- a) Konsumsi makanan seimbang.
 - b) Batasi konsumsi makanan olahan.
 - c) Pilih makanan alami dan bergizi.
 - d) Periksa tanggal kadaluarsa.
 - e) Masak makanan dengan benar.
 - f) Hindari konsumsi berlebihan.
 - g) Minum air yang cukup.
 - h) Lakukan aktivitas fisik teratur.

DAFTAR PUSTAKA

- ATSDR, (1995). Agency for Toxic Substances and Disease Registry Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>; Diakses pada 5 Agustus 2025.
- Circ *et al.*, (2010). *DNA damage and oxidative stress in human liver cell L-02 caused by surface water extracts during drinking water treatment in a waterworks in China.* https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf; Diakses pada 5 Agustus 2025.
- Dhakal, A., et all, (2023). Aflatoxin Toxicity Aayush Dhakal; Muhammad F. Hashmi; Evelyn Sbar. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK55778/>; Diakses pada 8 Agustus 2025.
- Hamra *et al.*, (2014). *Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: A systematic review and meta-analysis.* https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp/140809_2; Diakses pada 5 Agustus 2025.
- Herschy, (2012). *Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition.* https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf?sequence=1; Diakses pada 5 Agustus 2025.
<https://puskesmasperampuan.dinkes.lombokbaratkab.go.id/artikel/beberapa-contoh-makanan-berisiko-kesehatan/2025>; Diakses pada 8 Agustus 2025.
- Husein, A.M., (2024). Penerapan Pola Hidup Sehat untuk Mencegah Risiko Terkena Kanker <https://www.emc.id/id/care-plus/penerapan-pola-hidup-sehat-untuk-mencegah-risiko-terkena-kanker>; Diakses pada 8 Agustus 2025.
- Kaleli, Deveci and Guney Eskiler (2018). *Which environment makes cancer?* <https://www.oatext.com/pdf/ORR-1-115.pdf> Diakses pada 5 Agustus 2025.

- Kemenkes RI (2024). Deteksi Dini Kanker Di Layanan Kesehatan Primer: (<https://lms.kemkes.go.id/courses/23aefb528c2c-4a9d-8e31-669718e2e2b8>): Diakses pada 3 Agustus 2025.
- KemenKes RI. (2024) Rencana Kanker Nasional 2024-2034 Kementerian Kesehatan Republik Indonesia SEPTEMBER 2024 https://www.iccp-portal.org/sites/default/files/plans/Rencana_Kanker_Nasional_2024-2034.pdf, Diakses pada: 3 Agustus 2025.
- Kemkes RI (2025). Kasus Kanker Diprediksi Meningkat 70 Persen Pada 2050. <https://kemkes.go.id/id/kasus-kanker-diprediksi-meningkat-70-persen-pada-2050-kemenkes-perkuat-deteksi-dini>, Diakses pada 5 Agustus 2025.
- Mitra and Padvetnaya (2020). *Ambient air pollution.* <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/331797/WHO-CED-PHE-EPE-19.12.14-eng.pdf?sequence=1>, Diakses pada 5 Agustus 2025.
- OMS (2010). *Exposure to cadmium: a major public health concern.* <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/329480/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.3-eng.pdf>; Diakses pada 5 Agustus 2025.
- Parsa (2012). *Environmental factors inducing human cancers.* <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3521879/pdf/ijph-41-1.pdf>; Diakses pada 5 Agustus 2025.
- Schrenk *et al.*, (2023). *Risk assessment of N-nitrosamines in food.* <https://efsajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2023.7884>; Diakses pada 8 Agustus 2025.
- Shetty *et al.*, (2023). *Environmental pollutants and their effects on human health.* https://www.researchgate.net/publication/373411086/Environmental_pollutants_and_their_effects_on_human_health, Diakses pada: 5 Agustus 2025.

Smith, Lingas and Rahman. (2000). *Contamination of Drinking Water by Arsenic in Bangladesh : A Public Health Emergency*. Bulletin of the World Health Organization. [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/268217/P
PMC2560840.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/268217/PMC2560840.pdf?sequence=1&isAllowed=y); Diakses pada: 5 Agustus 2025.

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 32 TAHUN 2009 TENTANG PERLINDUNGAN DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP. [https://jdih.kemenkeu.go.id/api/download/FullText/
2009/32TAHUN2009UU.HTM](https://jdih.kemenkeu.go.id/api/download/FullText/2009/32TAHUN2009UU.HTM), Diakses pada: 5 Agustus 2025.

Widiyatmika (2015). *DNA damage and oxidative stress in human liver cell L-02 caused by surface water extracts during drinking water treatment in a waterworks in China*. [https://cdn.who.int/media/docs/default-
source/radiation/mono100d.pdf?sfvrsn=e2f88f22_3&do
wnload=true](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/radiation/mono100d.pdf?sfvrsn=e2f88f22_3&download=true); Diakses pada: 5 Agustus 2025.

Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW (2020). *World Cancer Report: Cancer Research for Cancer Prevention*. [https://publications.iarc.who.int/Non-Series-
Publications/World-Cancer-Reports/World-Cancer-
Report-Cancer-Research-For-Cancer-Prevention-2020L](https://publications.iarc.who.int/Non-Series-Publications/World-Cancer-Reports/World-Cancer-Report-Cancer-Research-For-Cancer-Prevention-2020L)
Diakses pada 6 Agustus 2025.

BIODATA PENULIS



Marlyn M. Pandean, S.Pd., SKM., MPH. Lahir di Tondano, pada 20 Juli 1965. Menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Psikologi Pendidikan dan Bimbingan di Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Negeri Manado, S1 Jurusan Kesehatan Lingkungan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin dan S2 Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat di Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.

BAB

14

Perubahan Iklim dan Dampaknya Terhadap Penyakit

Pratiwi Soni Redha, SKM.,M.K.M

A. Pendahuluan

Iklim adalah pola cuaca rata-rata yang terjadi di suatu wilayah selama waktu yang lama (biasanya 30 tahun atau lebih). Cuaca berbeda dengan cuaca karena cuaca bersifat harian dan dapat berubah dalam waktu singkat, sedangkan iklim menunjukkan kecenderungan jangka panjang terhadap suhu, curah hujan, kelembapan, angin, dan komponen atmosfer lainnya (Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri, 2025). Perubahan iklim menghadirkan tantangan besar bagi keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan manusia, dan telah menjadi masalah global yang mendesak.

Bericara tentang perubahan suhu dan pola cuaca yang terjadi dalam waktu yang lama, istilah "perubahan iklim" mengacu pada fakta bahwa perubahan ini terjadi secara alami, seperti variasi siklus matahari. Namun, sejak tahun 1800-an, aktivitas manusia telah menjadi faktor utama yang menyebabkan perubahan iklim, terutama yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas (Nations, 2025).

B. Perubahan Iklim dan Dampaknya Terhadap Penyakit

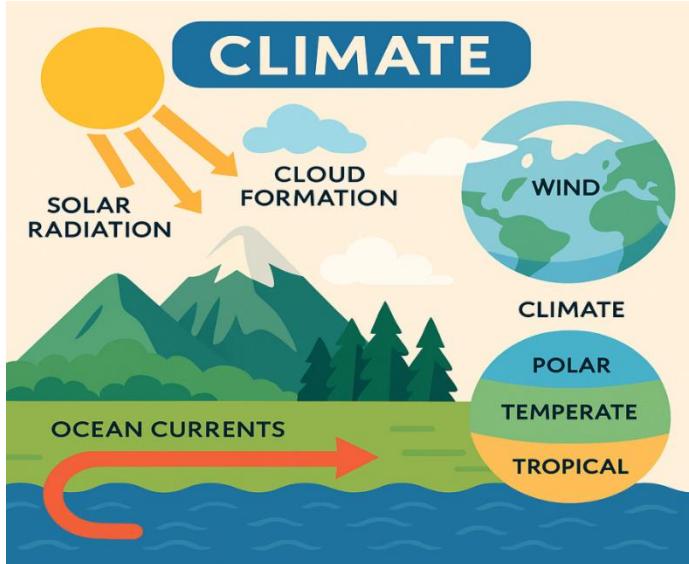
1. Komponen Iklim

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi iklim sebuah wilayah adalah:

- Temperatur Udara

Memberikan dampak kepada kenyamanan, produktivitas, dan kehidupan makhluk hidup.

- b. Jumlah Intensitas hujan
Menentukan ketersediaan air, lahan pertanian, dan ekosistem.
- c. Kelembapan atmosfer
Berhubungan dengan uap air yang ada di atmosfer.
- d. Tekanan atmosfer dan angin
Memengaruhi pola cuaca dan pergerakan massa udara.
Adapun proses pembentukan iklim adalah:



Gambar 1. Proses Pembentukan Iklim
(Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri, 2025).

2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Iklim

Adapun faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Iklim adalah :

- a. Lokasi geografis (lintang)
Ketika Anda berada di dekat khatulistiwa, Anda cenderung memiliki iklim tropis.
- b. Ketinggian tempat
Suhu cenderung lebih rendah di daerah yang lebih tinggi.

c. Jarak dari laut

Dimana Lingkungan pesisir biasanya lebih sejuk dan lembap

d. Kondisi tutupan lahan

Dimana Hutan, kota, dan gurun menyerap dan memantulkan panas.

e. Arus laut dan angin

Mempengaruhi bagaimana panas didistribusikan di seluruh Bumi (Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri, 2025).

3. Proses Terjadinya Perubahan Iklim

Energi matahari memberi energi kepada Bumi. Sebagian dipantulkan kembali ke luar angkasa, sedangkan sebagian lainnya diserap dan dipantulkan kembali oleh Bumi sebagai radiasi inframerah, atau panas. Gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, dan N₂O menyerap panas ini dan menjebaknya ke atmosfer, membuat suhu bumi tetap hangat. Ini penting bagi kehidupan dan alami. Suhu Bumi akan rata-rata -18 derajat Celcius jika tidak ada efek rumah kaca alami. Jika aktivitas manusia meningkatkan konsentrasi gas-gas ini secara berlebihan, hal itu menyebabkan pemanasan global, atau pemanasan global, dan akhirnya memicu perubahan iklim (Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu, 2025)

4. Penyebab Terjadinya Perubahan Iklim

Adapun penyebab utama terjadinya perubahan iklim adalah: Efek rumah kaca yang berlebihan adalah penyebab utama perubahan iklim saat ini. Efek rumah kaca secara alami membantu menjaga suhu bumi stabil (Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu, 2025). Dimana peningkatan emisi gas rumah kaca bisa disebabkan oleh:

a. Penghasil energi

Sebagian besar energi listrik dihasilkan melalui pembakaran batu bara, minyak, atau gas, dan pembakaran ini menghasilkan emisi besar karbon dioksida dan dinitrogen oksida, gas rumah kaca berbahaya yang menyelimuti Bumi dan memerangkap panas matahari.

Angin, tenaga surya, dan sumber daya terbarukan lainnya menghasilkan hanya sekitar seperempat dari energi listrik global.

b. Produksi Barang

Emisi yang dihasilkan oleh industri dan manufaktur sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil selama proses pembuatan energi yang digunakan untuk membuat berbagai bahan seperti semen, besi, baja, elektronik, plastik, pakaian. Gas dihasilkan oleh pertambangan dan proses industri lainnya, seperti industri konstruksi. Mesin yang digunakan dalam proses manufaktur biasanya bekerja dengan batu bara, minyak, atau gas, dan beberapa bahan baku seperti plastik juga berasal dari bahan kimia yang berasal dari bahan bakar fosil.

c. Penebangan lingkungan hutan

Penebangan hutan untuk membangun lahan pertanian, peternakan, atau alasan lainnya akan menghasilkan emisi karena karbon yang tersimpan di pohon yang ditebang dilepaskan. Sekitar 12 juta hektar hutan dihancurkan setiap tahun. Hutan menyerap karbon dioksida, jadi penghancurannya akan membatasi upaya alam untuk mengurangi emisi di atmosfer. Sekitar seperempat emisi gas rumah kaca global berasal dari penggulingan hutan, bersama dengan pertanian dan perubahan fungsi lahan lainnya.

d. Pemakaian Transportasi

Sebagian besar kendaraan, truk, kapal, dan pesawat menggunakan bahan bakar fosil. Ini menunjukkan bahwa sektor transportasi bertanggung jawab atas sebagian besar emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida. Emisi kapal dan pesawat terus meningkat, tetapi kendaraan darat menghasilkan lebih banyak karena pembakaran produk berbahan dasar minyak bumi, seperti bensin, dalam mesin pembakaran internalnya. Hampir seperempat emisi karbon dioksida global berasal dari

transportasi, dan tren menunjukkan bahwa penggunaan energi dalam transportasi akan meningkat di masa depan.

e. Produksi bahan makanan

Selain penggunaan bahan bakar fosil untuk peralatan pertanian atau perahu nelayan, penggunaan gas dari sapi dan domba, penggundulan hutan dan pembersihan lahan untuk pertanian dan penggembalaan, dan produksi dan penggunaan pupuk dan pupuk kandang untuk bercocok tanam adalah beberapa cara produksi makanan menghasilkan emisi karbon dioksida, metana, dan gas rumah kaca lainnya.

f. Penyimpanan energi untuk struktur

Bangunan tempat tinggal dan komersial menggunakan lebih dari setengah energi listrik global. Ini disebabkan oleh peningkatan penggunaan gas alam, minyak, dan batu bara untuk sistem penghangat dan pendingin, serta oleh peningkatan emisi gas rumah kaca.

g. Penggunaan Berlebihan

Sebagian besar emisi gas rumah kaca di dunia disebabkan oleh rumah dan penggunaan energi Anda, cara Anda bepergian, apa yang Anda makan, dan jumlah makanan yang Anda buang. Pemakaian barang-barang seperti pakaian, elektronik, dan plastik juga berkontribusi pada emisi gas rumah kaca. Pekerjaan rumah tangga juga bertanggung jawab atas sebagian besar emisi ini (Nations, 2025).

Emisi rumah kaca dipengaruhi beberapa jenis gas seperti : Karbon dioksida (CO_2), Metana (CH_4), Dinitrogen oksida (N_2O) dan Gas fluorokarbon (HFC, PFC) (Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu, 2025).

4. Dampak yang Terjadi Akibat Perubahan Iklim

Adapun dampak yang Terjadi Akibat Perubahan Iklim adalah:

a. Dampak terhadap Penyakit (Kesehatan)

Perubahan iklim ini juga mempengaruhi kesehatan. Dimana pengaruhnya adalah:

1) Kesehatan mental

Orang-orang yang tinggal di daerah yang rentan terhadap banjir, kekeringan, dan perubahan iklim harus bermigrasi ke tempat lain, yang berdampak pada kesehatan mental mereka (David, J.K., 2020).

2) Munculnya depresi, stres, kecemasan, ketegangan, gangguan tidur akibat perubahan iklim (Melo & Rahmadani, 2022) (Fajrini et al., 2023).

3) Perubahan suhu, pencemaran udara, penyakit bawaan air dan makanan, serta penyakit bawaan ventor dan hewan pengerat menyebabkan kematian dan sakit akibat penyakit terkait perubahan iklim.

4) Malnutrisi, yang dapat terjadi karena sumber makanan dan panen yang terganggu (Susilawati, 2021).

b. Dampak Terhadap Lingkungan

Perubahan Iklim membawa dampak terhadap lingkungan seperti:

1) Suhu global naik

2) Es yang mencair di Kutub

3) Permukaan Laut Meningkat

Dimana rata-rata meningkat sekitar 3,3 mm setiap tahun dan mempengaruhi terjadinya banjir rob dan tenggelamnya area rendah

4) Cuaca Ekstrem Semakin Sering

Banjir parah, gelombang panas, badai siklon, dan kekeringan yang sangat parah terjadi dengan lebih sering dan dengan intensitas yang lebih tinggi. Indonesia menghadapi kekeringan berkepanjangan akibat El Niño 2023.

5) Gangguan Musiman & Pertanian

Musim kering dan hujan semakin sukar diprediksi sehingga produktivitas pertanian menurun disebabkan oleh perubahan cuaca yang tidak stabil.

6) Kematian Besar Terumbu Karang

Indonesia sebagai negara dengan keanekaragaman hayati laut yang sangat tinggi sangat terpengaruh dikarenakan oleh suhu laut yang meningkat

mengakibatkan pemutihan karang (Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu, 2025).

DAFTAR PUSTAKA

BIODATA PENULIS



Pratiwi Soni Redha, SKM., M.K.M lahir di Pasaman, pada 10 Juli 1988. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Andalas dan S2 di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Program Studi D4 Keselamatan Kesehatan Kerja Institut Kesehatan dan Teknologi Pondok Karya Pembangunan DKI Jakarta.

BAB

15

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Yauwan Tobing Lukiyono, S.S.T., M..T

A. Pendahuluan

Analisis risiko merupakan sebuah pendekatan sistematis yang bertujuan untuk menilai atau menghitung kemungkinan munculnya risiko pada suatu organisme, sistem, atau kelompok populasi tertentu setelah terjadi paparan terhadap agen tertentu. (WHO, 2004). Dari perspektif lingkungan, Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) memiliki peran yang signifikan dalam menilai serta mengenali dampak berbagai faktor lingkungan terhadap kesehatan manusia dan ekosistem.

Pendekatan ini memberikan gambaran komprehensif mengenai bagaimana pencemaran udara, degradasi kualitas air dan tanah, serta dampak perubahan iklim dapat mengganggu keseimbangan lingkungan dan secara tidak langsung meningkatkan risiko terhadap kesehatan masyarakat. Misalnya, penurunan kualitas udara akibat emisi industri tidak hanya memicu gangguan pernapasan, tetapi juga mempercepat laju perubahan iklim dan mengancam keanekaragaman hayati (UNEP, 2022; European Environment Agency).

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) terdiri atas empat tahapan utama, yaitu identifikasi bahaya, evaluasi dosis-respons, penilaian paparan, serta karakterisasi risiko. Proses ini diterapkan dalam berbagai bidang, seperti pencemaran udara, kualitas air, paparan bahan kimia di lingkungan kerja, hingga kontaminasi tanah dan pangan. Dengan memahami sejauh mana paparan terhadap suatu bahaya dapat menimbulkan efek kesehatan, kita dapat merancang langkah-langkah pencegahan dan perlindungan yang efektif, terutama bagi kelompok masyarakat yang rentan (United States Environmental

Protection Agency [EPA], 2020; World Health Organization [WHO], 2021; Lelieveld et al., 2020).

B. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

1. Tahapan ARKL

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) mencakup empat tahapan pokok yang saling berkaitan dan dilaksanakan secara sistematis. Masing-masing tahapan dirancang untuk menilai sejauh mana potensi bahaya lingkungan dapat berdampak terhadap kesehatan manusia serta menyusun strategi penanggulangan yang sesuai. Proses ini meliputi:

a. Identifikasi Bahaya

Tahap identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam menilai risiko kesehatan lingkungan, yang bertujuan untuk mengenali unsur-unsur lingkungan yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan. Bahaya tersebut bisa berasal dari agen fisik (seperti paparan radiasi), agen kimia (seperti pestisida atau logam berat), maupun agen biologis (seperti virus dan bakteri). Tujuan dari proses ini adalah untuk menentukan jenis-jenis bahaya yang memiliki keterkaitan signifikan dengan risiko kesehatan manusia (WHO, 2021).

b. Penilaian Dosis-Respons

Tahap ini menggambarkan sejauh mana peningkatan paparan dapat meningkatkan risiko atau efek merugikan pada kesehatan. Biasanya, semakin tinggi dosis atau konsentrasi dari agen tersebut, semakin besar pula potensi bahaya yang ditimbulkan. Hubungan ini sering divisualisasikan dalam bentuk kurva dosis-respons yang bisa bersifat linier atau memiliki titik ambang batas, tergantung pada karakteristik agen yang diteliti (EPA, 2020).

Analisis dosis-respons bertujuan untuk menentukan nilai seperti RfD (Reference Dose), RfC (Reference Concentration), atau SF (Slope Factor) dari

agen risiko yang menjadi objek kajian ARKL, serta mengidentifikasi berbagai dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan oleh agen tersebut pada tubuh manusia (Azizah, A. (2022).

c. Penilaian Paparan

Penilaian paparan (exposure assessment) merupakan proses untuk mengukur atau mengestimasi tingkat, frekuensi, dan situasi di mana seseorang atau kelompok populasi mengalami kontak dengan suatu agen berbahaya. Evaluasi ini mencakup berbagai jalur paparan, seperti melalui pernapasan (inhalasi), konsumsi makanan atau minuman, serta kontak langsung dengan kulit. Selain itu, penilaian juga mempertimbangkan lama waktu dan seberapa sering paparan terjadi, serta konsentrasi agen tersebut di lingkungan. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui besarnya paparan nyata yang dialami oleh kelompok yang menjadi target penilaian (WHO, 2021).

d. Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko adalah tahapan terakhir dalam proses ARKL yang menyatukan informasi dari ketiga tahapan sebelumnya. Tahap ini menghasilkan penilaian baik secara kuantitatif maupun kualitatif terkait potensi dampak kesehatan yang mungkin timbul pada suatu kelompok populasi. Informasi yang diperoleh dari karakterisasi ini menjadi dasar bagi para pengambil kebijakan dan pemangku kepentingan dalam merumuskan keputusan terkait pengelolaan risiko, termasuk tindakan pencegahan dan strategi mitigasi yang dibutuhkan (IPCC, 2023).

Pada tahapan ini, semua informasi dari proses sebelumnya dikombinasikan untuk menentukan apakah suatu agen risiko menimbulkan dampak kesehatan pada populasi tertentu. Hasil karakterisasi dapat menunjukkan ada tidaknya risiko, serta tingkat keparahannya. Penilaian ini penting untuk

merumuskan kebijakan pengelolaan risiko, termasuk langkah-langkah pencegahan dan mitigasi yang sesuai dalam konteks umum, baik pada tingkat individu maupun masyarakat luas (Tualeka, 2014).

2. Penerapan ARKL Dalam Isu Kesehatan Lingkungan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan metode yang terstruktur dan sistematis yang digunakan untuk mengenali, menilai, serta mengendalikan risiko kesehatan yang berasal dari berbagai faktor lingkungan. Dalam kaitannya dengan permasalahan kesehatan lingkungan, ARKL memiliki peranan yang signifikan dalam:

a. Polusi Udara

Polusi udara merupakan dampak dari limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dalam memenuhi berbagai kebutuhan, baik di sektor industri maupun transportasi. Peningkatan jumlah penduduk turut mendorong bertambahnya volume emisi yang mencemari udara. Akibatnya, kadar zat pencemar di atmosfer semakin tinggi dan berkaitan erat dengan meningkatnya kasus gangguan pernapasan serta penyakit yang disebabkan oleh tingginya konsentrasi karbon monoksida (CO) di udara. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dapat dimanfaatkan untuk mengenali berbagai sumber pencemaran udara, seperti emisi dari industri dan kendaraan bermotor. Selain itu, ARKL juga digunakan untuk mengukur tingkat paparan terhadap partikel berbahaya seperti PM10 dan PM2.5, serta untuk memperkirakan potensi risiko kesehatan yang ditimbulkan, seperti gangguan pada sistem pernapasan dan penyakit kardiovaskular. (Rosyidah, 2016).

b. Kualitas Air

ARKL berfungsi dalam menilai risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh pencemaran air, seperti keberadaan bakteri atau logam berat. Selain itu, pendekatan ini juga berguna untuk mengidentifikasi sumber pencemaran dan menetapkan langkah-langkah pengendalian yang diperlukan guna menjamin tersedianya air bersih yang aman untuk digunakan. Pencemaran air ditandai dengan menurunnya kualitas air hingga mencapai tingkat tertentu yang menyebabkan air tersebut tidak lagi dapat digunakan sesuai dengan fungsinya (Faisal et al., 2019).

c. Limbah Berbahaya

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dapat dimanfaatkan untuk mengenali potensi risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh limbah berbahaya, baik yang berasal dari aktivitas industri maupun rumah tangga. Selain itu, ARKL juga berperan dalam merancang strategi pengelolaan limbah yang aman. Melalui pendekatan ini, dampak kesehatan akibat paparan limbah berbahaya dapat dianalisis secara menyeluruh, sehingga langkah-langkah intervensi yang efektif dapat dikembangkan guna menurunkan risiko yang ada.

3. Kelompok Rentan dan Faktor Risiko

Kelompok yang tergolong rentan mencakup anak-anak, orang lanjut usia, ibu hamil, serta individu dengan kondisi penyakit kronis. Tingkat kerentanan mereka cenderung lebih tinggi karena lemahnya sistem kekebalan tubuh, keterbatasan dalam mengakses layanan kesehatan, serta tingginya tingkat paparan terhadap faktor lingkungan (WHO, 2021; UNEP, 2022).

a. Kondisi Sosial dan Ekonomi Rendah

Kelompok masyarakat dengan tingkat sosial ekonomi yang rendah umumnya menghadapi berbagai

- hambatan, seperti terbatasnya akses terhadap fasilitas kesehatan, ketersediaan makanan bergizi, air bersih, serta tempat tinggal yang aman dan layak. Selain itu, mereka cenderung memiliki keterbatasan dalam memperoleh informasi terkait ancaman lingkungan dan langkah-langkah perlindungan yang diperlukan.
- b. Bertempat Tinggal di area dengan tingkat pencemaran tinggi

Orang-orang yang menetap di sekitar area industri, jalan dengan lalu lintas tinggi, atau lokasi pembuangan sampah umumnya lebih sering terpapar pencemaran udara, air, dan tanah. Wilayah-wilayah tersebut biasanya memiliki konsentrasi tinggi zat-zat berbahaya seperti partikel halus (PM2.5), logam berat, dan senyawa organik volatil, yang dapat memicu berbagai gangguan kesehatan seperti asma, penyakit kardiovaskular, iritasi kulit, hingga kanker.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, A. (2022). *Analisis risiko kesehatan lingkungan pada air minum masyarakat di Pulau Kodingareng dan Barrang Lombo, Kota Makassar* [Tesis, Universitas Hasanuddin]. Universitas Hasanuddin Repository.
https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/18251/2/K012_201040_tesis_10-08-2022%201-2.pdf
- Basri, S., Bujawati, E., Amansyah, M., Habibi, & Samsiana. (2014). *Analisis risiko kesehatan lingkungan: Model pengukuran risiko pencemaran udara terhadap kesehatan*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
<https://doi.org/10.24252/kesehatan.v7i2.61>
- Brauer, M., Casadei, B., Harrington, R. A., Kovacs, R., & Sliwa, K. (2021). Taking a stand against air pollution: The impact on cardiovascular health. *Circulation*, 143(14), e800–e804.
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.052666>
- European Environment Agency. (2021). *Air pollution and health*. EEA.
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-pollution-and-health>
- Firdaus, K. R. (2024). *Analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) pajanan karbon monoksida (CO) pada petugas keamanan di gerbang utama Universitas Jambi Kampus Mendalo* [Skripsi, Universitas Jambi]. Universitas Jambi Repository.
https://repository.unja.ac.id/id/eprint/72857/2/SKRIPTASI%20FULL_KHAIR%20RAHMANDANI%20FIRDAUS_M1D119015.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Sixth assessment report*. IPCC.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/>
- Susilawati, S. K. M. (2023). *Dampak perubahan iklim bagi kesehatan*. RSP Respira. <https://rsprespira.jogjaprov.go.id/dampak-perubahan-iklim-bagi-kesehatan/>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Climate adaptation and health*. UNEP.

<https://www.unep.org/resources/report/climate-adaptation-and-health>

United States Environmental Protection Agency. (2020). *Health effects of nitrogen dioxide*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/no2-pollution/health-effects-nitrogen-dioxide>

World Health Organization. (2004). *IPCS risk assessment terminology*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42908>

World Health Organization. (2021). *Air quality and health*. WHO Press.

BIODATA PENULIS



Yauwan Tobing Lukiyono, S.S.T,M.T lahir di Blitar, 10 November 1985. Menyelesaikan Pendidikan dasar dan menengah di Surabaya , kemudian melanjutkan Pendidikan Diploma III Akademi Analis Kesehatan Poltekkes Kemenkes Surabaya, selesai tahun 2007. Pendidikan D4 Analis Kesehatan pada Poltekkes Kemenkes Surabaya selesai tahun 2009. Pada tahun 2018, meneruskan program Magister Di Institut Aditama Surabaya pada jurusan Teknik Lingkungan . Sejak tahun 2020 penulis bertugas sebagai dosen tetap pada program studi Analis Kesehatan di Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya. Selain sebagai dosen, juga memiliki sertifikat Asesor kompetensi yang dikeluarkan oleh BNSP dalam bidang Plebotomy,Teknik Analisa Laboratorium dan Pemeriksaan Analisa Biomolekuler .



PROMISE
Progress Through Education

Perkumpulan Pendidikan dan Pelatihan
Tenaga Kesehatan Progres Ilmiah Kesehatan
JL Kancil, Pelangi Residence
Anduonohu - Poasia
Kendari - Sulawesi Tenggara

ISBN 978-634-04-2396-9 (PDF)



9 78634 0423969