

EKOTOKSIKOLOGI



Penulis :

Waode Rustiah

Eneng Rahmi

Daawia

Erma Suryani

Sahabuddin

Lieza Corsita

Bambang Suhartawan

Rabiatul Adawiyah

Nur Laila Rahayu

EKOTOKSIKOLOGI

**Waode Rustiah
Eneng Rahmi
Daawia
Erma Suryani Sahabuddin
Lieza Corsita
Bambang Suhartawan
Rabiatul Adawiyah
Nur Laila Rahayu**



GET PRESS INDONESIA

EKOTOKSIKOLOGI

Penulis :

Waode Rustiah
Eneng Rahmi
Daawia
Erma Suryani Sahabuddin
Lieza Corsita
Bambang Suhartawan
Rabiatul Adawiyah
Nur Laila Rahayu

ISBN : 978-623-198-505-7

Editor : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : Get Press Indonesia

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Palarik, Air Pacah, Kecamatan. Koto Tengah,
Kota Padang, Sumatera Barat

Website : www.globalekseikutifteknologi.co.id

Email : globalekseikutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Juli 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Ekotoksikologi ini.

Buku Ini Membahas Pengantar ekotoksikologi, Kelas utama polutan, Nasib polutan organik dalam individu dan ekosistem, Kajian Interdisipliner tentang Dampak Kontaminan Lingkungan terhadap Kesehatan dan Lingkungan Hidup, Biomarker dan bioindikator, Efek polutan pada individu, populasi, dan komunitas, Pengujian toksisitas kronik, Biomonitoring.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 PENGANTAR EKOTOKSIKOLOGI	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Pengertian Ekotoksikologi	2
1.3 Penerapan Ekotoksikologi di Lingkungan	5
1.4 Penerapan Ekotoksikologi Pada Rekayasa Teknologi dalam Lingkungan	13
DAFTAR PUSTAKA	18
BAB 2 KELAS UTAMA POLUTAN	19
2.1 Pendahuluan.....	19
2.2 Polutan berdasarkan sumbernya.....	21
2.2.1 Polutan Primer	21
2.2.2 Polutan Sekunder	22
2.3 Polutan berdasarkan lingkungan cemarannya	23
2.3.1 Polutan Udara	23
2.3.2 Polutan Air	29
2.3.3 Polutan Tanah.....	33
2.3.4 Polutan Cahaya.....	36
2.3.5 Polutan Suara	36
DAFTAR PUSTAKA	37
BAB 3 NASIB POLUTAN ORGANIK DALAM INDIVIDU DAN EKOSISTEM	39
3.1 Apa itu Polutan Organik Persisten (POP)?	39
3.2 Sumber-Sumber POPs.	40
3.3 Nasib Polutan Organik dalam Tubuh Mahluk Hidup (Individu)	43
3.4 Nasib Polutan Organik dalam Ekosistem Darat.....	47
3.5 Nasib Polutan Organik dalam Ekosistem Perairan	53

DAFTAR PUSTAKA	56
BAB 4 KAJIAN INTERDISIPLINER TENTANG DAMPAK KONTAMINAN LINGKUNGAN TERHADAP KESEHATAN DAN LINGKUNGAN HIDUP	59
4.1 Pendahuluan.....	59
4.2 Kontaminan Lingkungan.....	60
4.2.1 Pengertian kontaminan lingkungan	60
4.2.2 Sumber kontaminan lingkungan	61
4.2.3 Jenis-jenis kontaminan lingkungan.....	62
4.2.4 Dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia	63
4.2.5 Dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup	64
4.3 Dampak Kontaminan Lingkungan terhadap Organisme Hidup	66
4.3.1 Toksisitas dan Efek Terhadap Organisme Hidup..	66
4.4 Evaluasi Dampak Kontaminan Lingkungan	68
4.4.1 Metode Pengujian Toksisitas	68
4.4.2 Indikator dan Parameter dalam Evaluasi Dampak	70
4.4.3 Studi Kasus: Evaluasi Dampak Limbah Industri pada Kualitas Air	71
4.5 Peran Masyarakat dalam Pengendalian Kontaminan Lingkungan.....	72
4.5.1 Kesadaran dan Partisipasi Masyarakat.....	72
4.5.2 Pendidikan dan Kampanye Lingkungan	74
4.6 Penanggulangan Dampak Kontaminan Lingkungan ..	75
4.6.1 Upaya penanggulangan dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia	75
4.6.2 Upaya penanggulangan dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup	76
DAFTAR PUSTAKA	79

BAB 5 BIOMARKER DAN BIOINDIKATOR	83
5.1 Biomarker	83
5.1.1 Pengertian Biomarker.....	83
5.1.2 Klasifikasi dan kriteria Biomarker.....	84
5.2 Bioindikator	85
5.2.1 Pengertian Bioindikator	85
5.2.2 Keutamaan Bioindikator.....	86
DAFTAR PUSTAKA	99
BAB 6 EFEK POLUTAN PADA INDIVIDU, POPULASI DAN KOMUNITAS	103
6.1 Efek Polutan pada Individu (Biokimia Polutan)	103
6.2 Efek Polutan pada Populasi	110
6.3 Efek Polutan pada Komunitas	111
DAFTAR PUSTAKA	112
BAB 7 PENGUJIAN TOKSISITAS KRONIK	113
7.1 Pendahuluan.....	113
7.2 Uji Toksisitas Kronis Oral.....	113
DAFTAR PUSTAKA	125
BAB 8 BIOMONITORING	127
8.1 Definisi, Tujuan, dan Manfaat	127
8.2 Macam Biomonitoring.....	127
8.3 Biomonitoring terdampak pencemaran:	133
DAFTAR PUSTAKA	141
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Gambaran studi multidisipliner mengenai efek toksik substansi pada species dalam kompleks system.....	3
Gambar 1.1. Sumber, distribusi, transpor dan transformasi polutan serta respon terhadap polutan pada organisme, populasi, komunitas, dan ekosistem.....	4
Gambar 2.1. Ilustrasi polusi primer dan sekunder	23
Gambar 2.2. Sumber Polutan Udara Materi Partikulat ..	34
Gambar 2.3. Interaksi Polutan penyebab efek rumah kaca	46
Gambar 2.4. Proses terjadinya hujan asam.....	58
Gambar 2.5. Aktivitas penyebab polutan air.....	30
Gambar 3.1. Sumber-Sumber Polutan Organik.....	41
Gambar 3.2. Model Nasib Polutan Lipofilik dalam organisme.....	43
Gambar 3.3. Proses uptake, rute distribusi, metabolisme, dan penyimpanan polutan dalam tubuh serta ekskresi polutan organik dari dalam tubuh Mamalia	44
Gambar 3.4. Fase Toksikodinamik POPs dalam Tubuh Organisme	46
Gambar 3.5. Nasib Polutan Organik Persisten pada Lingkungan.....	48
Gambar 3.6. Nasib Polutan organik pada Tanah.....	51
Gambar 3.7. Akumulasi dan magnifikasi polutan organik persisten pada rantai makanan di ekosistem perairan.....	55
Gambar 5.1. Representasi Skematik Polutan Terhadap Sistem Biologi.....	87

Gambar 5.2. Skema Hubungan Antara Faktor Lingkungan Dengan Parameter Biologi.....	88
Gambar 5.3. Perbandingan Toleransi Lingkungan Terhadap (a) Bioindikator (b) Spesies Langkah dan (c) Spesies yang Ada Di Mana-Mana/Sebaran Luasan.....	90
Gambar 5.4. Diagram Tingkat hierarkis suatu ekosistem yang merespon gangguan antropogenik atau tekanan alami.....	91
Gambar 6.1. Asama mini Sistein.....	104
Gambar 6.2. Jalur aktivasi dan detoksifikasi bahan kimia.....	105
Gambar 6.3. Efek polutan terhadap individu, populasi, komunitas dan ekosistem	107
Gambar 6.4. Efek polutan pada populasi	110

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Ciri-Ciri Bioindikator Yang Baik	95
Tabel 5.2. Kriteria Bioindikator Yang Baik.....	96
Tabel 6.1. Respon yang bersifat <i>protektif</i> dan <i>non</i> <i>protektif</i> terhadap polutan	103
Tabel 6.2. Jenis-jenis efek lokal	108

BAB 1

PENGANTAR EKOTOKSIKOLOGI

Oleh Waode Rustiah

1.1 Pendahuluan

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta perkembangan penduduk, masyarakat menuntut perbaikan kondisi kesehatan dan kehidupan yang layak, diantaranya peningkatan gizi, pakaian, tempat tinggal dan transportasi. Untuk memenuhi tujuan tersebut, berbagai jenis bahan kimia telah diproduksi dan digunakan bahkan dalam jumlah besar. Dengan berbagai cara bahan-bahan tersebut bersentuhan dengan berbagai segmen penduduk, baik dalam proses pembuatannya sebagai pengguna, baik untuk dikonsumsi (makanan-minuman, obat-obatan, zat tambahan makanan), bahan pembersih maupun yang menyalahgunakannya. Kemajuan tersebut disisi lain memberikan dampak negatif juga terhadap lingkungan, seperti timbulnya pencemaran.

Terminologi ekotoksikologi pertama kali diciptakan oleh Truhaut pada tahun 1969 sebagai pengembangan dari toksikologi. Ekotoksikologi merupakan ilmu pengetahuan tentang pengaruh racun dalam individu dari suatu organisme yang bersumber dari polutan. Titik berat dari toksikologi yaitu membahas efek bahan toksikan dalam organisme (*single organism*). Ekotoksikologi dikembangkan sebagai sub-disiplin ilmu toksikologi lingkungan dan lebih bermanfaat jika ditafsirkan sebagai studi efek merugikan/berbahaya zat kimia/polutan organik (xenobiotik = senyawa asing) dalam ekosistem. Dikatakan sebagai xenobiotik karena tidak memiliki peranan dalam proses biokimiawi normal dari makhluk hidup.

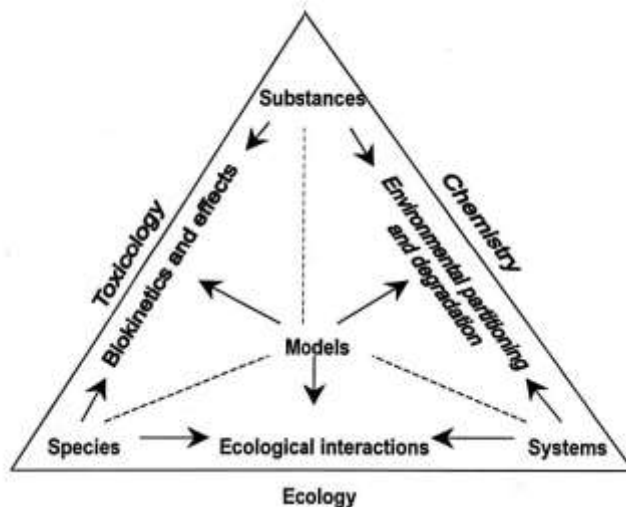
Mengingat semakin banyak orang yang terpajan bahan kimia ini maupun kerusakan lingkungan yang terjadi, maka kita harus mencari upaya pengendalian yang tepat sebelum terjadi kerusakan yang hebat. Oleh sebab itu, diharapkan agar ahli toksikologi modern harus mencoba mengidentifikasikan berbagai indikator pajanan dan tanda efeknya terhadap kesehatan sedini mungkin dan bersifat reversibel. Hal ini akan memungkinkan penentuan keputusan pada saat yang tepat untuk melindungi kesehatan orang per orang, baik sebagai pekerja industri maupun dalam masyarakat yang terpajan/terpapar serta lingkungannya.

1.2 Pengertian Ekotoksikologi

Pada dasarnya Ekotoksikologi merupakan salah satu bidang dari Toksikologi. Ekotoksikologi (Truhaut 1977): Ilmu yang mempelajari efek toksik yang disebabkan oleh polutan alami dan sintesis yang berhubungan dengan ekosistem binatang/manusia, tumbuhan dan mikroba secara integral. Tahun 1567, muncul pertanyaan dari Paracelsus “apakah ada bahan sebagai racun?” pada dasarnya semua bahan kimia adalah racun dan tidak ada satupun tanpa racun. Hanya dosis dari bahan kimia yang membuat sesuatu menjadi racun atau bukan racun. Semakin besar racun yang diserap oleh tubuh, maka semakin besar/cepat efek yang terjadi.

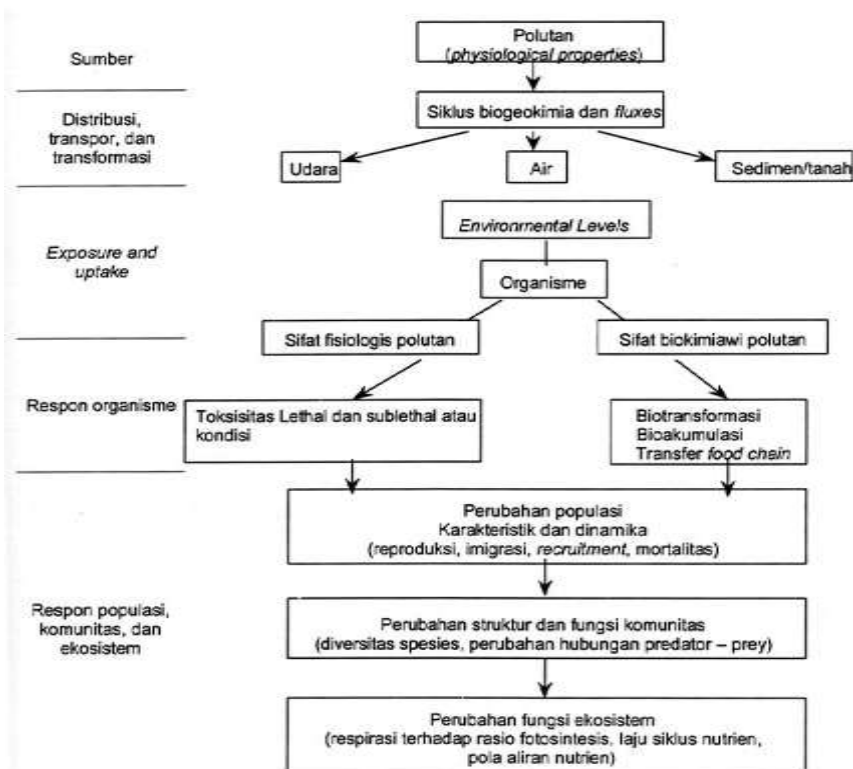
Menurut Butler, 1987 dalam *Principles of Ecotoxicology*, ekotoksikologi adalah ilmu yang mempelajari racun kimia dan fisik pada mahluk hidup, khususnya populasi dan komunitas termasuk ekosistem, jalan masuknya agen dan interaksi dengan lingkungan. Pengaruh-pengaruh racun dapat berupa letalitas (mortalitas), serta pengaruh subletal seperti gangguan pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, tanggapan farmakokinetik, patologi, biokimia, fisiologi dan tingkah laku. Sedangkan menurut Andhika Puspito Nugroho dalam buku ajar Ekotoksikologi, mengatakan ekotoksikologi

mempelajari efek toksik substansi (*substances*) pada *non human species* dalam suatu kompleks sistem (*system*).



Gambar 1.1. Gambaran studi multidisipliner mengenai efek toksik substansi pada species dalam kompleks system (Leuween 1995 dalam Buku Ajar Andhika Puspito Nugroho).

Dengan mempelajari ekotoksikologi dapat diketahui keberadaan polutan dalam suatu lingkungan. Adanya polutan dalam suatu lingkungan (ekosistem) yang dalam waktu singkat, dapat menyebabkan perubahan biokimiawi suatu organisme. Selanjutnya perubahan tersebut dapat mempengaruhi perubahan fisiologis dan respon organisme, perubahan populasi, komposisi komunitas dan fungsi ekosistem. Perubahan biokimiawi sampai dengan ekosistem menunjukkan adanya peningkatan waktu respon terhadap bahan kimia, peningkatan kesulitan untuk mengetahui hubungan respon dengan bahan kimia spesifik, dan *increasing importance*.



Gambar 1.6. Sumber, distribusi, transpor dan transformasi polutan serta respon terhadap polutan pada organisme, populasi, komunitas, dan ekosistem (Francis 1994 dalam Buku Ajar Andhika Puspito Nugroho).

Berdasarkan gambar 1.2 di atas, polutan dilepaskan dari sumber polutan ke dalam ekosistem, selanjutnya mengalami proses distribusi dan transpor melalui daur atau siklus biogeokimia serta mengalami transformasi, baik secara fisik atau biologis. Polutan tersebut kemudian dapat *diuptake* oleh organisme dan dapat menyebabkan efek lethal (kematian) dan sublethal.

Dalam tubuh organisme, polutan dapat mengalami biotransformasi dan bioakumulasi. Selanjutnya, terjadi perubahan karakteristik dan dinamika populasi (reproduksi, imigrasi, *recruitment*, mortalitas), struktur dan fungsi komunitas (diversitas spesies, perubahan hubungan predator-prey), dan fungsi ekosistem (respirasi terhadap rasio fotosintesis, laju siklus nutrien, dan pola aliran nutrien).

1.3 Penerapan Ekotoksikologi di Lingkungan

Pengangkutan dan perubahan bentuk bahan toksik di lingkungan baik di udara, air, tanah maupun dalam tubuh organisme (merupakan bagian utama penyusun ekosfer bumi) sangat dipengaruhi oleh sifat fisika-kimia bahan tersebut. Perilaku serta pengaruh bahan toksik di lingkungan berhubungan dengan dinamika ke empat bagian utama penyusun ekosfer tersebut. Bahan toksik yang ada di lingkungan pada umumnya mengalami perpindahan dari satu bagian utama ekosfer ke bagian utama ekosfer lainnya. Perpindahan atau transformasi bahan toksik di lingkungan dapat berupa transformasi fisik, kimia dan biologik.

Transformasi atau perpindahan bahan toksik di lingkungan yang terjadi secara fisik antara lain dapat melalui proses: perpindahan meteorologik, pengambilan biologik, penyerapan, volatilisasi, aliran, pencucian dan jatuhan. Transformasi kimia dapat melalui proses fotolisis, oksidasi, hidrolisis dan reduksi, sedangkan transformasi biologik berlangsung melalui proses biotransformasi. Penyebaran bahan toksik di lingkungan perairan sangat dipengaruhi oleh sejumlah proses pengangkutan seperti evaporasi (penguapan), presipitasi, pencucian dan aliran. Penguapan akan menurunkan konsentrasi bahan toksik dalam air, sedangkan presipitasi, pencucian dan aliran cenderung meningkatkan konsentrasi bahan toksik.

Dalam ekotoksikologi diketahui bahan-bahan toksik yang berupa senyawa kimia organik yang dapat bersifat toksik atau

menimbulkan pengaruh merugikan lingkungan perairan antara lain: protein, karbohidrat, lemak dan minyak, pewarna, asam-asam organik, fenol, deterjen dan pestisida organik. Pengaruh negatif senyawa kimia organik terhadap organisme perairan dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti konsentrasi senyawa kimia, kualitas fisika-kimia air, jenis, stadium dan kondisi organisme air serta lama organisme terpapar senyawa kimia tersebut.

Berikut ini adalah bahan-bahan senyawa kimia organik dan efeknya terhadap lingkungan :

1. Protein

Kehadiran senyawa protein di dalam badan perairan berasal dari sampah domestik dan buangan industri. Beberapa jenis industri yang mengeluarkan buangan mengandung protein antara lain: industri susu, mentega, keju, pengolahan makanan/minuman, tekstil, penyamakan kulit dan industri pertanian. Kehadiran protein di lingkungan perairan umumnya tidak langsung bersifat toksik, tetapi dapat menimbulkan pengaruh atau efek negatif, antara lain terbentuknya media pertumbuhan berbagai organisme patogen, menimbulkan bau tidak sedap dan meningkatkan kebutuhan BOD (*Biological Oxygen Demand*).

2. Karbohidrat

Selain berasal dari sampah domestik, karbohidrat juga dapat berasal dari buangan industri. Masuknya karbohidrat ke dalam air dapat menyebabkan peningkatan BOD dan menimbulkan warna pada air.

3. Lemak dan minyak

Buangan yang mengandung lemak dan minyak dapat berasal dari berbagai kegiatan industri. Perairan laut juga dapat kemasukan minyak yang berasal dari pengoperasian kapal, kilang minyak, sisa pembakaran bahan bakar minyak di atmosfer yang jatuh bersama air hujan, buangan industri,

limbah perkotaan, kecelakaan kapal tanker, serta pecah atau bocornya sumber minyak lepas pantai.

Seperti halnya dampak masuknya senyawa protein dan karbohidrat ke dalam lingkungan perairan, senyawa lemak dan minyak juga dapat berpengaruh negatif terhadap kehidupan akuatik. Adanya lemak dan minyak dalam badan air dapat menyebabkan peningkatan turbiditas air, sehingga mengurangi ketersediaan cahaya yang sangat diperlukan organisme fotosintetik di dalam air. Disamping itu, molekul lemak dan minyak berukuran besar akan mengendap di dasar perairan, sehingga dapat mengganggu aktivitas serta merusak kehidupan bentos dan daerah pemijahan ikan (spawning ground) dan meningkatkan BOD.

4. Pewarna

Terdapatnya pewarna dalam suatu perairan antara lain berasal dari buangan industri (tekstil, penyamakan kulit, kertas dan industri bahan kimia). Menurut Santaniello (1971), warna air yang lebih dari 50 unit akan membatasi aktivitas organisme fotosintetik, sehingga akan mengurangi kandungan oksigen terlarut atau DO (*Dissolved Oxygen*), serta mengganggu kehidupan berbagai organisme air.

5. Asam-asam organik

Asam-asam organik berada dalam air, antara lain dapat berasal dari buangan industri (bahan kimia dan industri pertanian). Keberadaan senyawa asam organik dapat menyebabkan penurunan derajat keasaman (pH) air dan pada nilai pH tertentu (*acid dead point*) dapat mengakibatkan kematian ikan maupun organisme air lainnya.

6. Fenol

Fenol dapat terkandung dalam limbah berbagai industri seperti: industri tekstil, bahan kimia, petrokimia, minyak dan industri metalurgi.

7. Deterjen

Terdapatnya deterjen dalam suatu perairan dapat berasal dari buangan rumah tangga dan industri (susu, mentega, keju, tekstil, dan industri pertanian). Sebagian besar deterjen dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem perairan yaitu dapat menghambat aktivitas atau bahkan membunuh berbagai jenis mikroorganisme. Selain itu, deterjen juga menyebabkan pengkayaan nutrisi pada suatu badan air, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi yang sangat merugikan lingkungan perairan.

8. Pestisida organik

Pestisida organik yang masuk ke dalam lingkungan air dapat berasal dari aktivitas pertanian, perkebunan dan dari buangan industri pengolahan makanan/minuman. Diantara sejumlah besar pestisida yang diproduksi dan diperdagangkan, yang paling banyak digunakan masyarakat yaitu pestisida yang termasuk golongan organoklorin dan organofosfat. Pestisida organoklorin sangat berbahaya karena mempunyai toksisitas bersifat kronik, stabil dan tahan urai dalam lingkungan. Salah satu contoh organoklorin yang sangat berbahaya yaitu DDT (*Dichloro-Diphenyl-Trichloro-Ethane*). Jenis pestisida yang pertama kali dibuat oleh Zeidler pada tahun 1874 tersebut apabila berada dalam air mempunyai waktu paruh antara 2,5-5 tahun, tetapi residunya dapat bertahan hingga lebih dari 25 tahun.

Pestisida yang tahan urai seperti DDT dapat terakumulasi dalam rantai makanan (*biomagnification*) sehingga dalam tubuh udang dan ikan dapat mengandung konsentrasi pestisida sebanyak 1000-10.000 kali lebih besar daripada yang terkandung dalam perairan di sekelilingnya. Hewan yang di dalam rantai makanan mempunyai *arcs* trofik (*trophic level*) lebih tinggi seperti burung, anjing laut, dan lumba-lumba dapat mengandung hingga 55 ppm DDT dalam jaringan lemaknya. Berdasarkan penelitian

menunjukkan kandungan DDT dalam jaringan lemak tubuh manusia di berbagai negara besarnya sangat bervariasi, misalnya: di Inggris lebih kurang 1 ppm, di Amerika Serikat lebih kurang 2 ppm, dan di India dapat lebih tinggi dari 10 ppm.

Selain itu, bahan-bahan anorganik juga dapat menjadi toksik bila melebihi konsentrasi tertentu dalam lingkungan. Berikut ini adalah bahan-bahan toksik yang berupa senyawa kimia anorganik:

1. Asam dan alkali

Asam dan alkali dapat berasal dari buangan industri tekstil, bahan kimia, rekayasa dan industri metalurgi. Asam dan alkali jika masuk ke dalam tubuh organisme dapat mempengaruhi aktivitas berbagai enzim sehingga menimbulkan gangguan fisiologik, membinasakan organisme serta mempengaruhi daya racun atau toksisitas zat toksik lainnya.

2. Logam dan garam-garam logam

Berbagai unsur logam dan garam logam yang ada dapat berasal dari pelapukan tanah atau batuan, letusan vulkanik, penambangan dan industri (penyamakan kulit, kertas, bahan kimia, rekayasa, metalurgi dan industri pertanian). Dalam jumlah kecil beberapa jenis logam tertentu memang diperlukan organisme, tetapi dalam konsentrasi tinggi semua jenis logam bersifat toksik. Logam-logam berat, yaitu unsur logam yang mempunyai massa atom lebih dari 20 seperti: besi (Fe), timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd), seng (Zn), tembaga (Cu), nikel (Ni) dan arsen (As) umumnya berpengaruh buruk terhadap proses-proses biologi.

Beberapa dampak keracunan logam berat antara lain:

- 1) Bereaksinya kation logam berat dengan fraksi tertentu pada mukosa insang, sehingga insang terselaputi oleh

gumpalan lendir-logam berat dan hal tersebut dapat mengakibatkan organisme air mati lemas,

- 2) Keracunan fisiologik karena logam berat berikatan dengan enzim yang berperan penting dalam metabolisme,
- 3) Merkuri (Hg) dan timbal (Pb) dapat berikatan dengan gugus sulfhidril (-SH) dalam protein, sehingga akan mengubah bagian-bagian katalitik suatu enzim,
- 4) Merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) dapat menghambat pembentukan ATP dalam mitokondria, serta dapat berikatan dengan membran sel sehingga mengganggu proses transpor ion antar sel,
- 5) Seng (Zn) dapat menghambat kerja sistem sitokrom dalam mitokondria karena terganggunya transpor elektron antar sitokrom-b dan sitokrom-c,
- 6) Timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dapat menggantikan kedudukan Ca dalam tulang, sehingga menyebabkan terjadinya kerapuhan tulang,
- 7) Timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg) dan krom (Cr) dapat terakumulasi dalam hati (hepar) dan ginjal (ren), sehingga dapat menyebabkan kerusakan dan gangguan fungsi kedua organ tersebut,
- 8) Merkuri (Hg), timbal (Pb) dan tembaga (Cu) dapat mengakibatkan kerusakan otak dan sistem saraf tepi.

3. Posfat dan nitrat

Posfat dan nitrat dapat berasal dari erosi dan dekomposisi sisa-sisa bahan organik serta industri (susu/mentega/keju, bahan kimia, tungku kokas, rekayasa, metalurgi, dan industri pertanian). Akibat masuknya posfat dan nitrat ke dalam lingkungan perairan antara lain:

- 1) Eutrofikasi yang dicirikan oleh tingginya produksi biologik, antara lain berupa ledakan komunitas alga (*algal*

blooms). Jika suatu perairan dipenuhi oleh tumbuhan air baik makrofita maupun mikrofita (plankton), maka hal tersebut akan mengurangi penetrasi cahaya dan menghalangi proses difusi oksigen dari udara ke dalam air. Kematian massal alga yang diikuti dengan perombakan biologis, akan menyebabkan terjadinya defisiensi oksigen terlarut dan menimbulkan bau tidak sedap,

- 2) Dalam usus manusia, beberapa jenis bakteri dapat mereduksi nitrat menjadi nitrit yang dapat berikatan dengan hemoglobin (Hb) membentuk methaemoglobin. Dengan terbentuknya methaemoglobin dalam darah akan menyebabkan penurunan kapasitas angkut O_2 oleh darah. Jika penurunan kemampuan darah mengangkut oksigen tersebut terus berlanjut dan makin parah, maka dapat menyebabkan anoksia (*methaemoglobin anemia* atau penyakit *blue baby*),
- 3) Dalam tubuh manusia, nitrit dapat mengalami perubahan lebih lanjut menjadi amin atau nitrosamin yang dapat merangsang timbulnya kanker perut.

4. Garam-garam lain

Berbagai senyawa garam yang masuk ke dalam air dapat berasal dari buangan industri (susu/mentega/keju, tekstil, penyamakan kulit, kertas dan industri bahan kimia).

5. Obat pengelantang (*bleaches*)

Obat pengelantang dengan rumus kimia $Ca(ClO)_2$ banyak terkandung dalam buangan industri tekstil, kertas dan *laundry*.

6. Sianida dan sianat

Sianida dan sianat di suatu perairan dapat berasal dari buangan industri. Sianida dan sianat bersifat sangat toksik, terutama pada

pH rendah dan merupakan racun pernafasan yang sangat mematikan. Reaksi CN dengan logam akan menghasilkan senyawa yang sangat beracun.

7. Kromat

Masuknya kromat ke dalam lingkungan perairan dapat berasal dari buangan berbagai jenis industri seperti penyamakan kulit, petrokimia, metalurgi dan industri rekayasa. Toksisitas kromat umumnya tidak setoksik kation logam berat lainnya. Kromium (Cr) bervalensi 6 (kromat atau dikromat) toksisitasnya tidak seakut kromium bervalensi 3 (garam-garam kromium).

8. Mineral (lempung dan tanah)

Mineral yang terkandung dalam partikel-partikel lempung dan tanah yang masuk ke dalam perairan dapat berasal dari buangan industri, seperti industri pengolahan makanan/minuman, kertas dan industri pertanian.

Berdasarkan uraian di atas, diketahui zat-zat yang dapat menimbulkan dampak negatif apabila jumlah atau konsentrasinya di lingkungan telah melebihi baku mutu. Salah satu upaya untuk menanggulangi pencemaran lingkungan perlu baku mutu lingkungan. Baku mutu lingkungan adalah ambang batas atau batas kadar maksimum suatu zat atau komponen yang diperbolehkan berada di lingkungan agar tidak menimbulkan dampak negatif. UU RI No. 23 tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup mendefinisikan baku mutu lingkungan sebagai ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup.

Menurut pengertian secara pokok, baku mutu adalah peraturan pemerintah yang wajib dilaksanakan, berisi spesifikasi dari jumlah bahan pencemar yang boleh dibuang atau jumlah kandungan yang boleh berada dalam media ambien. Secara

objektif, baku mutu merupakan sasaran ke arah mana suatu pengelolaan lingkungan ditujukan. Kriteria baku mutu adalah kompilasi atau hasil dari suatu pengolahan data ilmiah yang akan digunakan untuk menentukan apakah suatu kualitas air atau udara yang ada dapat digunakan sesuai objektif penggunaan tertentu.

Untuk mencegah terjadinya pencemaran terhadap lingkungan oleh berbagai aktivitas industri dan aktivitas manusia, maka diperlukan pengendalian terhadap pencemaran lingkungan dengan menetapkan baku mutu lingkungan. Salah satu cara penetapan baku mutu lingkungan dilakukan melalui uji toksisitas. Adanya peraturan perundangan (nasional maupun daerah) yang mengatur baku mutu, serta peruntukan lingkungan memungkinkan pengendalian pencemaran lebih efektif karena toleransi dan atau keberadaan unsur pencemar dalam media (maupun limbah) dapat ditentukan apakah masih dalam batas toleransi di bawah nilai ambang batas (NAB) atau telah melampaui.

1.4 Penerapan Ekotoksikologi Pada Rekayasa Teknologi dalam Lingkungan

Teknologi dapat didefinisikan teknik yang bersumber dari keadaan pengetahuan manusia saat ini tentang bagaimana cara untuk memadukan sumber-sumber, guna menghasilkan produk-produk yang dikehendaki, menyelesaikan masalah, memenuhi kebutuhan, atau memuaskan keinginan, meliputi metode teknis, keterampilan, proses, teknik, perangkat dan bahan mentah. Rekayasa adalah proses berorientasi tujuan dari perancangan dan pembuatan peralatan dan sistem untuk mengeksploitasi fenomena alam dalam konteks praktis bagi manusia, seringkali menggunakan hasil-hasil dan teknik-teknik dari ilmu. Teknologi seringkali merupakan konsekuensi dari ilmu dan rekayasa. Salah satu contoh rekayasa teknologi dalam lingkungan yaitu fitoremediasi, fitotoksikologi, bioremediasi dan lain-lain.

Istilah fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation*. Kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu *phyto* yang berasal dari kata Yunani *phyton* yaitu tumbuhan dan *remediation* yang berasal dari kata Latin *remedium* yang berarti menyembuhkan. Fitoremediasi berarti juga menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan. Dengan demikian fitoremediasi adalah pemanfaatan tumbuhan, mikroorganisme untuk meminimalisasi dan mendetoksifikasi bahan pencemar, karena tanaman mempunyai kemampuan menyerap logam-logam berat dan mineral yang tinggi atau sebagai *fitoakumulator* dan *fotochelator*. Konsep pemanfaatan tumbuhan dan mikroorganisme untuk meremediasi tanah terkontaminasi bahan pencemar adalah pengembangan terbaru dalam teknik pengolahan limbah. Fitoremediasi dapat diaplikasikan pada limbah organik maupun anorganik, juga unsur logam (As, Cd, Cr, Hg, Pb, Zn, Ni dan Cu) dalam bentuk padat, cair dan gas.

Tumbuhan mempunyai kemampuan untuk menahan substansi toksik dengan cara biokimia dan fisiologisnya serta menahan substansi non nutritive organik yang dilakukan pada permukaan akar. Bahan pencemar tersebut akan dimetabolisme atau diimmobilisasi melalui sejumlah proses termasuk reaksi oksidasi, reduksi dan hidrolisa enzimatis. Mekanisme fisiologi fitoremediasi dibagi menjadi :

1. Fitoekstraksi : pemanfaatan tumbuhan pengakumulasi bahan pencemar untuk memindahkan logam berat atau senyawa organik dari tanah dengan cara mengakumulasikannya di bagian tumbuhan yang dapat dipanen.
2. Fitodegradasi : pemanfaatan tumbuhan dan asosiasi mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik.
3. Rhizofiltrasi : pemanfaatan akar tumbuhan untuk menyerap bahan pencemar, terutama logam berat, dari air dan aliran limbah.

4. Fitostabilisasi : pemanfaatan tumbuhan untuk mengurangi bahan pencemar dalam lingkungan.
5. Fitovolatilisasi : pemanfaatan tumbuhan untuk menguapkan bahan pencemar, atau pemanfaatan tumbuhan untuk memindahkan bahan pencemar dari udara.

Mekanisme tumbuhan dalam menghadapi bahan pencemar beracun adalah :

1. Penghindaran (*escape*) fenologis. Apabila pengaruh yang terjadi pada tanaman musiman, tanaman dapat menyelesaikan siklus hidupnya pada musim yang cocok.
2. Eksklusi, yaitu tanaman dapat mengenal ion yang bersifat toksik dan mencegah penyerapan sehingga tidak mengalami keracunan.
3. Penanggulangan (*ameliorasi*). Tanaman mengabsorpsi ion tersebut, tetapi berusaha meminimumkan pengaruhnya. Jenisnya meliputi pembentukan khelat (*chelation*), pengenceran, lokalisasi atau bahkan ekskresi.
4. Toleransi. Tanaman dapat mengembangkan sistem metabolit yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik tertentu dengan bantuan enzim

Tingkat pencemaran logam berat dalam tanah sebagai akibat kegiatan manusia yang tidak terkendali tampak pula dari hasil penelitian di sekitar kawasan industri. Di daerah yang kegiatan industrinya menonjol dan telah berlangsung dalam jangka lama tingkat pencemaran timbal dan kromium di tanah masing-masing mencapai 206-449 mg/kg dan 56-266 mg/kg. Sebaliknya, di wilayah sub urban yang jauh dari kegiatan industri kadar timbal dan kromium di tanah hanya sebesar 24 dan 1 mg/kg. Konsentrasi logam berat yang tinggi di dalam tanah dapat masuk ke dalam rantai makanan dan berpengaruh buruk pada organisme.

Di kawasan industri, kadar Cd setinggi 10 mg/kg ditemukan di dalam ginjal tikus, sedangkan kadar Cd di dalam ginjal dan hati rusa adalah 5 kali lebih tinggi daripada yang ditemukan di tubuh rusa yang hidup di daerah 180 km kawasan industri. Demikian pula ditemukan, bahwa kadar seng yang tinggi di tanah bekas penambangan logam mengakibatkan reduksi produksi kedelai hingga 40%. Tindakan pemulihan (remediasi) perlu dilakukan agar lahan yang tercemar dapat digunakan kembali untuk berbagai kegiatan secara aman. Di samping metode remediasi yang biasa digunakan yang berbasis pada rekayasa fisik dan kimia, pada satu atau dua dasawarsa terakhir ini perhatian peneliti dan perusahaan komersial serta industri terhadap penggunaan tumbuhan sebagai agensi pembersih lingkungan tercemar telah meningkat, diharapkan pemulihan dengan menggunakan organisme hidup dapat dijadikan alternatif teknologi untuk pemulihan lingkungan.

Untuk prospek dari fitoremediasi, walaupun teknologi fitoremediasi masih dalam tahap perkembangan dan banyak hal belum terjawab, penerapan teknologi fitoremediasi untuk pemulihan lingkungan merupakan alternatif terbaik saat ini karena biaya yang relatif murah dibanding dengan teknologi berbasis fisika dan kimia. Indonesia memiliki keanekaragaman hayati tumbuhan dan mikroorganisme yang besar. Dalam suatu pertemuan yang diadakan di LIPI, Bandung, sebuah tim peneliti dari Inggris mengungkapkan bahwa mereka berhasil mengisolasi >120 jenis mikroorganisme dari segumpal tanah yang mereka peroleh dari lantai hutan di Ujung Kulon. Dan beberapa diantara mikroorganisme tersebut mempunyai kemampuan untuk mendegradasi xenobiotika, seperti senyawa organik aromatik berkhlor. Hal ini menunjukkan potensi alam Indonesia yang perlu dimanfaatkan.

Dalam hubungannya dengan pemanfaatan tumbuhan sebagai agensia pemulihan lingkungan tercemar, yaitu :

- (1) Laju akumulasi harus tinggi,
- (2) Mempunyai kemampuan mengakumulasi beberapa macam logam,
- (3) Mempunyai kemampuan tumbuh cepat dengan produksi biomassa tinggi,
- (4) Tanaman harus tahan hama dan penyakit.

Pemilihan tumbuhan yang mempunyai daya serap dan akumulasi tinggi terhadap logam berat merupakan prioritas yang sangat penting. Karena walaupun telah disebutkan sebelumnya bahwa beberapa tumbuhan bersifat hiperakumulator, namun kebanyakan tumbuhan tersebut berasal dari wilayah beriklim sedang. Sehingga perlu dicari tumbuhan asli yang tentunya sudah beradaptasi baik dengan iklim Indonesia.

Sedangkan Fitotoksikologi merupakan kajian terhadap potensi efek negatif zat terhadap tumbuhan. Peranan penting dari fitotoksikologi menentukan batasan dari kontaminan yang ditentukan oleh jumlah (konsentrasi) dan waktu (durasi) paparan kontaminan, serta kondisi lingkungan lainnya dimana kontaminan tersebut dapat memberikan efek negatif bagi tumbuhan dan menjadi berkualitas sebagai pencemar atau toksikan tumbuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Butler, G.C., ed., 1978. *Principles of Ecotoxicology*. Scope 12. John Wiley & Sons, Chichester, 349 pp: New York.
- Connel, D.W. and G. J. Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. UI Press: Jakarta.
- Darlina, Ina. 2009. *Fitoremediasi Sebagai Teknologi Alternatif Perbaikan Lingkungan*. Universitas Bandung Raya : Bandung.
- Dix, H.M. 1981. *Environmental Pollution*. John Willey & Sons: New York.
- Laws EA. 1981. Aquatic pollution. John Willey and Sons : New York.
- Nickless, G., 1975. Detergents. In *Chemistry and Pollution*. F.R. Benn and C.A. McAuliffe (eds.). The MacMillan Press: London.
- Nugroho, Andika. 2004. *Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Pranoto, 2013. *Fitoteknologi Dan Ekotoksikologi Dalam Pengolahan Sampah Menjadi Kompos*. Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Puspito, Andhikan. 2004. *Ekotoksikologi*. Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.

BAB 2

KELAS UTAMA POLUTAN

Oleh Eneng Rahmi

2.1 Pendahuluan

Agen atau pembawa yang menyebabkan polusi lingkungan disebut polutan. Polutan dapat didefinisikan sebagai zat fisik, kimia atau biologi yang secara tidak sengaja dilepaskan ke lingkungan dan secara langsung ataupun tidak langsung berbahaya bagi manusia dan organisme hidup lainnya (Havugimana, et al., 2017). Suatu zat digolongkan sebagai polutan apabila kadarnya sudah melebihi ambang batas. Beberapa polutan dapat terurai dan jika tidak dapat terurai akan bertahan lama di lingkungan udara, air dan tanah akan tercemar secara berbeda tergantung pada kadar pencemaran yang ditimbulkan oleh polutan.

Definisi lain mengenai polutan adalah sebuah bahan pencemar yang berasal dari alam namun berbeda tempat maupun komposisi dengan kondisi ekosistemnya sehingga menimbulkan gangguan. Adapun jenisnya ada yang benar-benar akibat aktivitas alamiah dan ada juga akibat aktivitas manusia. Contoh dari polutan akibat aktivitas alamiah adalah banjir, longsor, letusan gunung berapi dan fenomena diluar kuasa manusia lainnya (alamiah). Sedangkan contoh polutan akibat aktivitas manusia adalah limbah domestik, limbah cair industri, dan aktivitas pembangunan perkotaan lainnya.

Sebagai bahan pencemar atau bahan yang akan menyebabkan pencemaran, polutan akan berada di lingkungan baik dalam waktu singkat maupun lama serta secara langsung maupun tidak langsung. Polutan ini dapat dibedakan berdasarkan sifatnya, sumbernya maupun lingkungannya.

Seluruh polutan akan memiliki dampak yang berbeda jika dikaitkan dengan waktu atau lamanya mempengaruhi lingkungan.

Polutan yang berasal dari aktivitas manusia dapat digolongkan berdasarkan tingkat racunnya terhadap manusia sehingga dapat digolongkan pada polutan beracun dan polutan tidak beracun. Polutan beracun biasanya dibuat oleh manusia dan dikenal juga dengan xenobiotik, cenderung meracuni manusia hingga menimbulkan kematian. Sedangkan polutan tidak beracun terdiri dari suspense nutrient yang sifatnya mengganggu keseimbangan ekosistem.

Klasifikasi polutan yang berdasarkan sifatnya maka terbagi atas polutan fisik kimiawi, biologi hingga sosial budaya. Khusus untuk polutan sosial budaya, bentuk polutan tidak berupa fisik melainkan kehidupan yang tidak menyenangkan atau gangguan sosial dan hasil budaya yang tidak sesuai dengan norma atau budaya setempat. Sedangkan jenis polutan lainnya berupa zat yang dapat diketahui secara langsung maupun dapat diketahui dengan menggunakan alat tertentu.

Polutan fisik biasanya berukuran relative besar sehingga dapat terlihat secara langsung dalam mengurangi estetika. Sedangkan polutan kimia ini sering kali menjadi sumber berbagai jenis polusi. Ukuran polutan kimia relatif sangat kecil sehingga tidak dapat terlihat secara langsung dengan kasat mata sehingga memerlukan alat khusus untuk mendeteksi keberadaanya. Demikian pula dengan polutan biologi, polutan jenis ini memiliki sifat seperti polutan fisik dan juga polutan kimia. Beberapa polutan yang tergolong polutan biologi ada yang tidak terlihat kasat mata sehingga memerlukan alat khusus. Namun demikian, ada pula beberapa polutan biologi yang dapat terlihat secara langsung dalam rangka mengurangi nilai estetika.

Penentuan polutan berdasarkan sumbernya akan berkaitan erat dengan cemaran polutan terhadap lingkungannya, sehingga menjadi dasar untuk mengklasifikasikan kelas utama polutan. Jenis polutan yang dikategorikan berdasarkan sumbernya dibedakan atas polutan primer dan polutan sekunder. Hal ini didasarkan atas cara pemancarnya ke dalam atmosfer. Jika polutan primer dipancarkan langsung ke atmosfer dari sumbernya, maka polutan sekunder tidak langsung dipancarkan ke atmosfer melainkan terjadi interaksi antar polutan di lingkungannya. Demikian juga penentuan polutan berdasarkan lingkungan yang dicemarinya merupakan kombinasi dari polutan primer atau sekunder dengan ukuran yang beragam. Adapun jenis lingkungan yang dipengaruhi adalah air, udara, dan tanah.

2.2 Polutan berdasarkan sumbernya

2.2.1 Polutan Primer

Polutan primer merupakan zat polutan yang dipancarkan ke atmosfer langsung dari sumbernya. Adapun zat polutan tersebut dapat bersifat alami maupun buatan. Polutan primer alami diantaranya adalah gas dan debu yang dikeluarkan dari reaksi vulkanik. Sedangkan gas karbon dioksida dari pembakaran kendaraan bermotor tergolong pada polutan primer buatan. Contoh polutan primer lainnya adalah sulfur dioksida yang dihasilkan dari gunung berapi sebagai polutan primer alami dan sulfur dioksida dari hasil proses industri sebagai polutan primer buatan. Selain itu, radioaktif baik secara alami maupun dari pembangkit listrik tenaga nuklir merupakan golongan polutan primer.

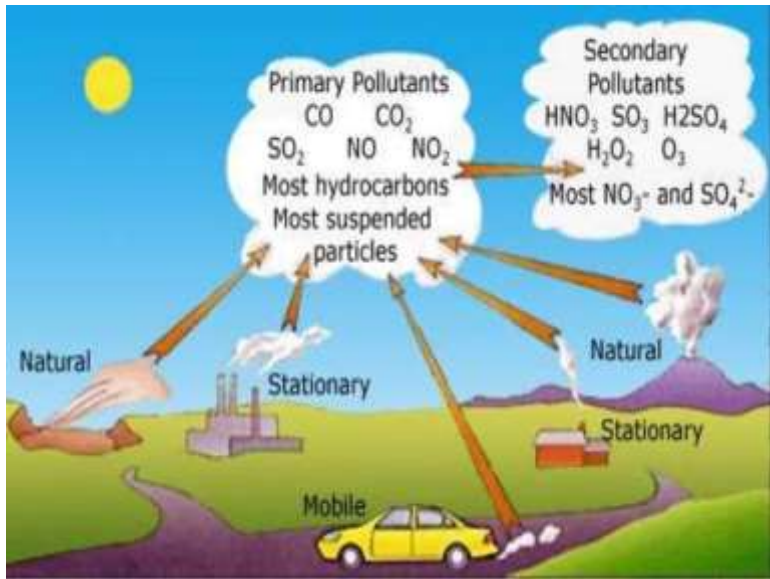
Polutan primer ini akan menimbulkan pencemaran baik di udara, perairan maupun di tanah. Polutan primer yang mencemari udara akan menyebabkan permasalahan lingkungan hingga terjadinya perubahan DNA makhluk hidup, timbulnya berbagai

jenis penyakit hingga rusaknya keseimbangan makhluk hidup di dunia.

2.2.2 Polutan Sekunder

Polutan sekunder merupakan suatu polutan yang hadir melalui berbagai proses terlebih dahulu sebelum dipancarkan ke atmosfer. Hal ini merupakan hasil reaksi dan interaksi antar polutan primer. Dalam hal ini dua atau lebih dari polutan primer. Sebagai contoh, adanya interaksi dari nitrogen oksida dan hidrokarbon hasil pembakaran fosil yang kemudian bereaksi dengan sinar matahari sehingga menghasilkan ozon. Contoh lainnya adalah reaksi antara nitrogen oksida dan sulfur dioksida bereaksi dengan air di atmosfer sehingga menimbulkan hujan asam.

Dalam hal terbentuknya polutan sekunder akan sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, tingkat konsentrasi dari bahan reaktif, kekuatan UV atau derajat fotoaktivasi, kondisi iklim (suhu dan sinar matahari), dan topografi local atau adanya embun. Namun demikian, polutan sekunder tidak memiliki sifat fisik dan kimia yang stabil. Reaksi antar polutan primer hingga menjadi polutan sekunder akan menimbulkan banyak ketidakseimbangan lingkungan mulai dari hujan asam, pemanasan global, terbentuknya kabut fotokimia, gangguan estetika, iritasi pada mata, gangguan sistem pernafasan, hingga alga blooming.



Gambar 2.1. Ilustrasi polusi primer dan sekunder
 Sumber : [Air Pollution by dbod2754 on emaze](#)

2.3 Polutan berdasarkan lingkungan cemarannya

2.3.1 Polutan Udara

Polutan udara adalah polutan yang terdapat dalam udara seperti asap, debu, gas, dan partikel lainnya yang dapat menyebabkan pencemaran udara. Polutan udara dapat dihasilkan dari aktivitas manusia seperti pabrik, kendaraan bermotor, dan kebakaran hutan, serta aktivitas alam seperti erupsi gunung berapi dan kebakaran hutan. Tercampurnya berbagai bahan polutan yang terjadi secara alami atau disebabkan karena tindakan manusia disebut dengan polusi udara. Polusi atau pencemaran udara ini akan menyebabkan ketidak seimbangan pada ekosistem alamiah. Beberapa jenis polutan udara yang memenuhi atmosfer bumi dan perlu diwaspadai, di antaranya adalah sebagai berikut:

a. Materi Partikulat (PM)

Materi Partikulat (*Particulate Matter*) merupakan salah satu penyebab pencemar udara yang dapat berada bersama- sama dengan bahan atau bentuk pencemaran lainnya. Adapun ukuran materi partikulat yang tergolong berbahaya bagi kesehatan pada umumnya berukuran antara 1 mikron sampai dengan 10 mikron.

Berdasarkan kesehatan, partikulat sampai dengan ukuran 5 mikron dapat masuk ke dalam sistem pernafasan bawah. Sedangkan partikulat dengan ukuran lebih dari 5 mikron akan mengganggu sistem pernafasan atas. Sumber alami untuk polutan partikulat adalah benang sari. Polutan tersebut sering kali menimbulkan alergi khususnya di negara 4 musim, Ketika musim semi. Sedangkan polutan partikulat yang berasal dari aktivitas manusia berasal dari kendaraan bermotor dan juga industri. Polutan tersebut menimbulkan gangguan fungsi kerja jantung, paru-paru hingga kematian.



Gambar 2.2. Sumber Polutan Udara Materi Partikulat
Sumber : [particulate pollutants - Eschool \(iaspaper.net\)](http://particulatepollutants-eschool.iaspaper.net)

b. Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida berasal dari proses pembakaran yang tidak sempurna baik dari mesin kendaraan maupun mesin industri. Sifat gas CO tidak memiliki warna, bau dan rasa sehingga apabila terhirup dalam konsentrasi yang banyak maka akan mengalami keracunan yang disebabkan karena afinitas Hb terhadap CO lebih tinggi daripada Hb terhadap Oksigen. Karbon monoksida merupakan salah satu polutan yang berbahaya bagi kesehatan mulai dari kelelahan, sakit kepala, sakit jantung hingga kematian.

c. Karbon dioksida (CO_2)

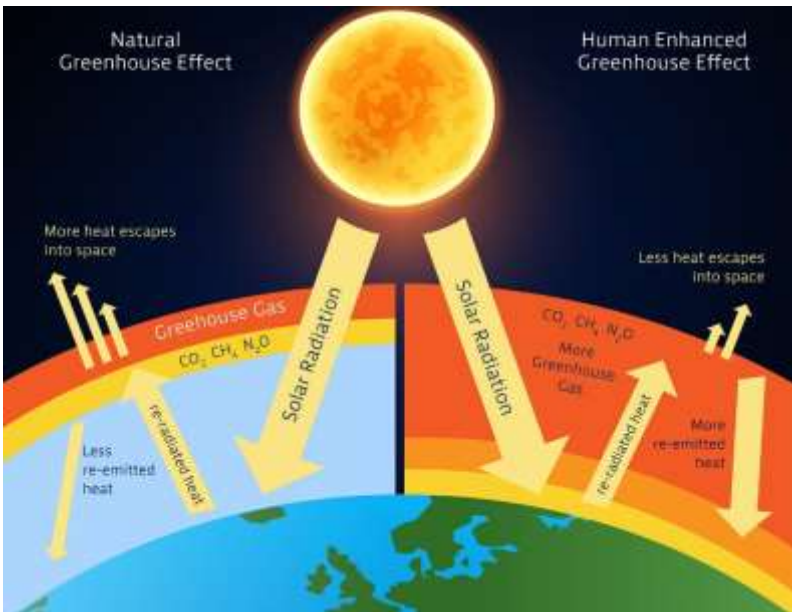
Karbon dioksida (CO_2) merupakan polutan yang berasal dari seluruh pembakaran baik pembakaran hutan, residu mesin industri maupun residu seluruh kendaraan bermotor. Jika keberadaannya sangat banyak dan tidak terkonversi oleh tumbuhan menjadi oksigen maka polutan tersebut akan naik ke atmosfer dan membentuk gas rumah kaca. Efek dari gas rumah kaca ini adalah akan meningkatkan pemanasan global yang dikenal dengan *global warming*.

d. Metana (CH_3)

Metana (CH_3) merupakan jenis polutan yang memiliki kekuatan menghasilkan panas 20 kali lipat dibandingkan karbon dioksida. Hal ini menyebabkan kebakaran dan ledakan jika tercampur di udara. Polutan jenis ini memiliki ciri yang sulit terdeteksi karena berupa gas yang tidak berwarna dan tidak berbau namun sangat mudah terbakar. Disamping itu, gas ini mampu mengurangi kadar oksigen diudara hingga 19.5%. Polutan metana ini dihasilkan dari pembusukan baik dari tumbuhan maupun bahan organik lainnya. Metana juga memiliki pengaruh terhadap peningkatan pemanasan global.

e. Dinitrogen oksida (N_2O)

Dinitrogen oksida (N_2O) merupakan polutan yang secara alami dihasilkan oleh bakteri tanah. Namun saat ini, sintesa dari polutan ini dibuat dan difungsikan untuk menambah kecepatan kendaraan maupun roket, pencampur pupuk, dan digunakan di pabrik dan pembangkit listrik. Polutan jenis ini apabila keberadaannya berlimpah akan merusak lapisan ozon yang akan menyebabkan penyakit baik bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya. Selain itu, polutan ini juga memiliki peran dalam peningkatan pemanasan global.



Gambar 2.3. Interaksi Polutan penyebab efek rumah kaca

Sumber : greenhouse effect diagram - Google Search |
Greenhouse effect, Solar heating, Earth science (pinterest.com)

f. Ozon (O₃)

Ozon yang menjadi polutan adalah ozon buatan yang merupakan hasil reaksi di atmosfer atau dikenal dengan polutan sekunder. Polutan ini merupakan oksidan kuat yang dapat bereaksi dengan komponen selular dan bahan biologis. Polutan ini mampu mengganggu sistem pernafasan hingga penyakit jantung. Hal ini juga menyebabkan kerusakan vegetasi khususnya daun, melalui kegagalan fotosintesis.

g. PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)

PAHs merupakan polutan yang dihasilkan dari pembakaran baik pembakaran bahan bakar fosil kendaraan bermotor maupun industri dan juga pembakaran kayu. Bentuk PAHs yang paling banyak adalah fluoranthene dan pyrene. Dalam skala kecil, PAHs juga ditemukan pada partikulat mesin diesel, sepeda motor dan asap rokok (Wardoyo, 2016)

h. VOCs (Volatile Organic Compounds)

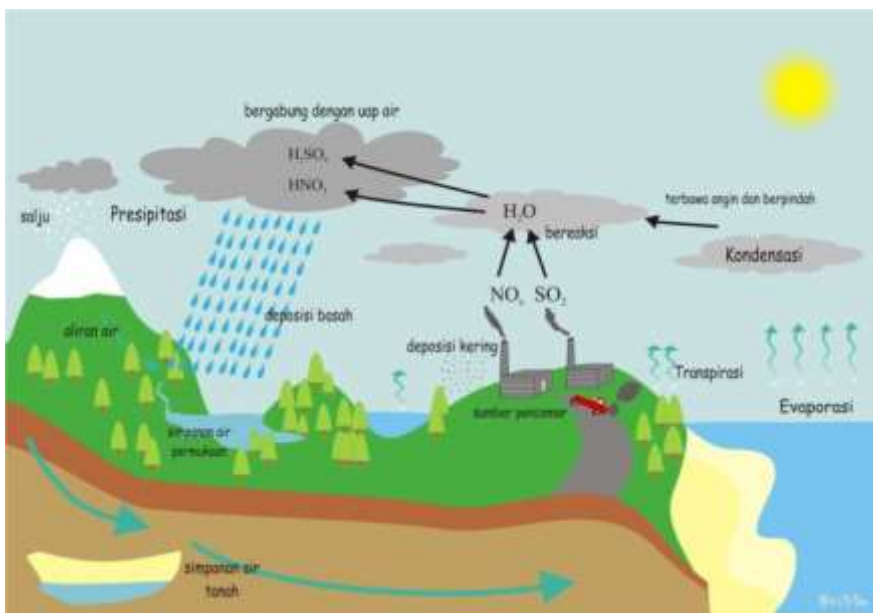
VOCs merupakan polutan yang dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor. Adapun jenis VOCs yang dominan hasil emisi tersebut diantaranya adalah toluene, isopentane/n-pentane, dan 2,2,4 trimethylpentane (Yue, et al., 2017). Hadirnya polutan ini diperkotaan menyebabkan gangguan keseimbangan komposisi udara di atmosfer sehingga terjadi reaksi fotokimia yang menyebabkan pencemaran udara.

i. Polutan Mikroba

Mikroba dapat tergolong ke dalam polutan udara karena mikroba dapat menempel media padat maupun cair yang berterbangan di udara. Dengan kata lain udara dapat menjadi media penyebaran penyakit jika udara tersebut terkontaminasi mikroba (Arty, 2005).

j. **Chloro Flouro Carbon (CFC)**

Polutan CFC ini bersumber dari pendingin dan pelarut dalam industry atau sebagai propelan dalam pesawat terbang. Nama umum dari polutan ini adalah Freon-12 karena berasal dari dikloroflourometana (R-12). Sifat polutan ini tidak beracun dan tidak mudah terbakar sehingga digunakan untuk pendinginan. CFC dikatan sebagai polutan berbahaya karena dihubungkan dengan penipisan lapisan ozon.



Gambar 2.4. Proses terjadinya hujan asam

Sumber : [Mengenai Hujan Asam - ikons.id](http://ikons.id)

k. **Sulfur Oksida (SO_2)**

Sulfur dioksida (SO_2) memiliki bau yang khas dan tajam. Gas ini dapat berupa alami dari gunung berapi maupun dari hasil pembakaran bahan bakar fosil baik minyak maupun

batu bara. Gas ini memiliki dampak buruk bagi kesehatan pada sistem pernafasan.

1. Nitrogen Dioksida (NO_2)

Nitrogen dioksida adalah polutan yang berbahaya karena ikut membentuk kabut fotokimia yang merusak kesehatan. Polutan ini merupakan gas berbau dengan warna coklat kemerahan. Sumber polutan ini berdasarkan dari emisi gas buang mesin diesel dan juga ruangan yang menggunakan elpiji dalam memasak.

2.3.2 Polutan Air

Polutan air merupakan polutan yang terdapat dalam perairan mulai dari air permukaan hingga air laut dan air tanah. Adapun jenis polutan air pada umumnya berasal dari residu aktivitas manusia diantaranya dari domestik, industri, pertanian dan pertambangan. Seluruh aktivitas tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5. Polutan air yang memasuki lingkungan menyebabkan penurunan kualitas air dan kerusakan ekosistem air. Adapun jenis polutan air diantaranya adalah

a. Deterjen

Deterjen merupakan salah satu polutan yang berasal dari air limbah domestik (*grey water*). *Grey water* ini diakibatkan aktivitas rumah tangga yang berupa air cucian baju, air cucian piring, dan air bekas mandi (Kholif, 2020). Apabila polutan ini masuk keperairan maka tidak hanya masalah estetika melainkan juga masalah sanitasi yang pada akhirnya akan menimbulkan penyakit bagi manusia. Bagi lingkungan, polutan jenis deterjen akan mengakibatkan *eutrofikasi* pada perairan sehingga menimbulkan kerusakan hingga kematian pada ekosistem perairan karena kekurangan oksigen.

b. *Minyak dan Lemak*

Polutan jenis minyak dan lemak berasal dari *grey water* pada perumahan atau industri. Polutan jenis ini cukup mengganggu lingkungan perairan dan juga fauna yang memanfaatkan perairan. Masuknya minyak dan lemak keperairan dalam jumlah yang banyak menyebabkan rendahnya penetrasi sinar matahari ke dalam air dan menghambat pertukaran oksigen sehingga mengganggu kehidupan tanaman di dalam perairan dan akhirnya mengganggu rantai makanan.



Gambar 2.5. Aktivitas penyebab polutan air
Sumber : Solving soil and groundwater contamination -
Research Outreach

c. *Pupuk*

Pupuk tanaman akan menjadi sebuah polutan apabila digunakan secara berlebihan sehingga residu pupuk dari tanaman masuk ke lingkungan perairan. Bahan dasar pupuk mengandung nitrogen dan pospor dan berfungsi untuk menyuburkan tanaman, demikian pula dengan residunya yang masuk keperairan juga menyebabkan kesuburan tanaman perairan yang berlebihan yang dikenal dengan *eutrofikasi*. Kondisi demikian telah menyebabkan perubahan kualitas air dan estetika. Selain itu apabila nitrogen berubah menjadi nitrat dan masuk ke air tanah dalam maka akan menyebabkan keracunan bagi manusia yang mengkonsumsinya.

d. *Pestisida*

Pestisida merupakan polutan yang berasal dari bahan kimia buatan yang diberikan kepada tumbuhan namun sering kali terlarutkan ke dalam tanah sehingga menjadi zat asing bagi tanah. Pestisida ini merupakan memiliki senyawa aktif yang berupa senyawa aromatik hidrokarbon halogenase. Berdasarkan data 90% dari residu pestisida terjeap oleh tanah, hal ini menyebabkan pencemaran terhadap tanah dan juga air tanah (Sutanto, 2001). Tentunya polutan pestisida memiliki proses dalam mencemari tanah, diantaranya adalah pelepasan, aliran masa air, dan difusi air. Dalam hal ini, air merupakan media terjadinya jerapan koloid pestisida dan dengan prosesnya air permukaan kemudian tanah lalu air tanah akan menjadi tercemar.

e. *Sedimen*

Sedimen merupakan partikel yang tersuspensi halus baik yang bersumber dari lumpur maupun tanah. Sedimen digolongkan sebagai polutan karena menyebabkan kekeruhan pada perairan. Hal ini menyebabkan terhalangnya sinar

matahari ke dalam perairan sehingga mengganggu kehidupan di perairan.

f. Mikroba

Mikroba biasanya berasal dari air tinja (*black water*) yang berasal dari perumahan, pembuangan sampah, dan limbah ternak. Polutan jenis ini biasanya terdiri dari *Eschechia coli*, *Salmonela sp*, *Shigella sp*. dan *virus penyebab hepatitis A*. Kontaminasi polutan mikroba akan mengganggu kesehatan baik manusia maupun makhluk hidup lainnya (Kholif, 2020).

g. Klorin (Cl_2)

Klorin merupakan polutan yang berbahaya dalam perairan. Klorin dikenal sebagai klor bebas (Cl_2) yang umumnya ditemukan sebagai residu industri, desinfektan air minum atau air baku, sistem pending dari pembangkit listrik, dan pemutih. Interaksi manusia dan organisme lainnya dengan perairan yang tercemar polutan ini akan menimbulkan iritasi hingga gangguan organ tubuhnya.

h. logam berat

Logam berat dalam konsentrasi tinggi dianggap sebagai polutan dalam perairan sebageian besar disebabkan karena aktivitas pertambangan. Adapun jenis unsur yang termasuk ke dalam logam berat adalah besi (Fe), Timbal (Pb), cadmium (Cd), seng (Zn), tembaga (Cu), Raksa (Hg), kromium (Cr), Arsenik (As), Nikel (Ni), dan Mangan (Mn) (Hertika & Putra, 2019). Dampak yang ditimbulkan dari cemaran logam berat adalah keracunan hingga karsinogenik. (Tony, et al., 2021).

2.3.3 Polutan Tanah

Polutan tanah merupakan zat yang membahayakan koloid tanah sebagai dampak dari adanya bahan kimia, limbah industri, dan limbah domestik hingga kegiatan pertanian sehingga merusak struktur tanah. Dampak lanjutan dari polusi tanah ini adalah terganggunya keseimbangan ekosistem melalui berbagai macam penyakit yang menyerang manusia (Amin, 2021). Selain itu polutan tanah juga mampu menghilangkan kesuburan tanah sehingga kelangkaan terhadap tanaman tertentu ataupun berkurangnya pasokan hasil dari tanaman tersebut. Polutan tanah dapat terbagi atas beberapa sumber diantaranya adalah:

a. Erosi

Erosi dan aforestasi dapat digolongkan ke dalam polutan karena telah menyebabkan perubahan lapisan tanah. Erosi dapat terjadi secara alami melalui longsor (*landslide*) maupun dampak dari penebangan pohon di hutan (aforstasi) telah membuka lapisan tanah sehingga hilanglah kesuburan tanah, daya dukung tanah, dan kerusakan ekosistem serta berpotensi menimbulkan pencemaran air karena koloid tanahnya.

b. Bio-polutan

Bio polutan merupakan polutan yang berasal dari makhluk hidup yaitu kotoran hewan dan manusia. Pada kadar tertentu, bio polutan ini dapat bertindak sebagai pupuk organik, namun apabila berlebihan sehingga berubah menjadi kontaminan maka akan menimbulkan pencemaran tanah karena faktor turunannya (kelebihan kadar air atau nutrisi berlebihan) sehingga mengganggu tanaman dan hewan yang hidup didalamnya. Selain itu juga mengganggu esetika dan kesehatan bagi manusia.

c. Pupuk dan pestisida

Pupuk dan pestisida digolongkan sebagai polutan tanah apabila keberadaannya melebihi batas kebutuhannya. Khususnya untuk pupuk pertanian atau bahkan perkebunan pada umumnya menggunakan beberapa jenis bahan kimia guna menunjang hasil panen. Bahan kimia tersebut dapat berupa pupuk kimia, pestisida, zat kapur, herbisida, kompos dan lainnya. Penggunaan bahan kimia secara berlebihan, dapat berpotensi meracuni tanah hingga menimbulkan hilangnya kesuburan tanah atau kerusakan tanah.

d. Pertambangan

Kegiatan pertambangan tentunya dilakukan di ruang bawah tanah. Hal ini terjadi pada kegiatan ekstraksi dan menimbulkan ruang terbuka yang besar di bawah permukaan bumi yang berbentuk seperti gua besar. Selain menyebabkan longsor secara vertikal karena adanya ruang kosong pada bagian bawah tentunya kegiatan pertambangan ini juga menimbulkan polutan tanah yaitu seluruh zat kimia baik unsur organik maupun logam berat yang terserap ke dalam tanah. Hal ini akan memberikan dampak secara laten terhadap kerusakan tanah dan meracuni organisme disekitarnya dalam jangka Panjang melalui bioakumulasi dan biomagnifikasi.

e. Polutan radioaktif

Substansi dari zat radioaktif yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, contohnya seperti Uranium, Nitrogen, Thorium dan lain sebagainya. Zat radioaktif tersebut akan menyumbat tanah serta meracuni seluruh makhluk hidup disekitarnya. Masuknya polutan radioaktif yang cukup fenomenal adalah kejadian Prefektur Fukushima di tahun 2011 yang menyebabkan ledakan reaktor nuklir sehingga terjadi kontaminasi radioaktif atau nuklir. Apabila polutan

memasuki tanah maka untuk remediasi dibutuhkan waktu dan proses yang lebih rumit. Kawasan Fukushima dijadikan Kawasan tertutup karena khawatir cemaran dan dampak kepada manusia akan sama seperti kasus Chernobyl.

f. Sampah domestik

Sampah domestik merupakan polutan tanah yang utama. Hal ini disebabkan karena sistem pengelolaan sampah di Indonesia dan negara berkembang lainnya masih menggunakan sistem open dumping dan tidak ada tempat pengelolaan sampah yang terpilah. Masuknya sampah baik limbah organik, limbah anorganik maupun limbah B3 ke dalam tempat pengolahan akhir sampah (TPA) menyebabkan polusi yang kompleks. TPA dapat menyebabkan tidak hanya polusi tanah melainkan sekaligus polusi tanah, air dan udara. Permasalahan utama dari polutan ini adalah sosial kulutral dalam pengelolaan sampah domestik. Apabila sampah sudah terkumpul di TPA dengan seluruh tipe sampah maka akan menghasilkan bau dari pembusukan limbah domestik organik beserta cairan lindi (leachet) yang akan menimbulkan bau dan meningkatkan keasaman tanah hingga merusak tanah. Selain itu, pencemaran logam dan logam berat dari limbah anorganik dan B3 yang juga akan meracuni dan merusak tanah. Dampak pada tanah dengan konsentrasi besar tentunya akan mengalami kerusakan yang kompleks tidak hanya tanah melainkan seluruh organisme yang ada baik hewan maupun tumbuhan. Adapaun hewan, tumbuhan dan manusia yang bertahan diwilayah tersebut tentunya telah mengalami biomagnification. Dengan demikian, polutan tanah yang ebrupa sampah domestik merupakan bahaya yang masih belum terselesaikan untuk Indonesia dan negara berkembang lainnya.

g. Limbah buangan industri

Industri yang memiliki skala besar, contohnya seperti pertambangan serta pabrik produksi akan menyebabkan kerusakan tanah dalam jangka panjang. Limbah industri dengan skala besar, di antaranya dapat berupa logam seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), nikel (Ni) dan lain sebagainya.

2.3.4 Polutan Cahaya

Polutan cahaya merupakan hadirnya cahaya yang merupakan aktivitas manusia dengan intensitas yang berlebihan. Akibat dari polusi cahaya ini adalah terganggunya aktivitas hewan nokturnal serta pola migrasi burung. Dalam beberapa kasus, polutan cahaya ini mengakibatkan gangguan penglihatan pada mata manusia.

2.3.5 Polutan Suara

Polutan suara berasal dari tingginya tingkat kebisingan dengan kekuatan di atas 85 desibel. Sumber suara yang tergolong pada polutan suara terdiri dari suara music saat konser, pengeboran tanah, mesin alat besar, mesin pesawat jet, maupun sonar dari angkatan laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M., 2021. Polusi Tanah dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, Volume 5, pp. 36 - 45.
- Arty, I. S., 2005. Pendidikan Lingkungan Hidup Tentang Bahaya Polutan Udara. *Cakrawala Pendidikan*, Volume 3, pp. 385 - 404.
- Doran, J. & Zeiss, M., 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*, Volume 15, pp. 3 - 11.
- Havugimana, E. et al., 2017. Soil pollution-major sources and types of soil pollutants.. *Environmental Science and Engineering*, Volume 11, pp. 53-86.
- Hertika, A. & Putra, R., 2019. *Ekotoksikologi untuk lingkungan perairan*. s.l.:Universitas Brawijaya Press.
- Kholif, M. A., 2020. *Pengelolaan Air Limbah Domestik*. s.l.:Scopindo Media Pustaka.
- Sutanto, R., 2001. Pencemaran tanah dan air tanah oleh pestisida dan cara menanggulangnya. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, Volume 7, pp. 9-15.
- Tony, C. P., Ernawati, R., Nursanto, E. & Nursanto, E., 2021. *Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Kualitas Air dan Strategi untuk Mengurangi Kandungan Logam Berat*. Surabaya, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Wardoyo, A. Y. P., 2016. *Emisi Partikulat Kendaraan Bermotor dan Dampak Kesehatan*. Malang: Brawijaya Press.
- Yue, T. et al., 2017. Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from the evaporative emissions of modern passenger cars. *Atmospheric Environment*, Volume 151, pp. 62-69.

BAB 3

NASIB POLUTAN ORGANIK DALAM INDIVIDU DAN EKOSISTEM

Oleh Daawia

3.1 Apa itu Polutan Organik Persisten (POP)?

Polutan organik adalah zat-zat kimia organik beracun yang berdampak buruk pada kesehatan manusia dan lingkungan secara global. Polutan organik tersebut dapat terakumulasi di dalam tubuh mahluk hidup dan lingkungan dalam waktu yang lama sehingga disebut juga dengan istilah Polutan Organik Persisten atau disingkat POPs. Menurut Jones & Voogt (1999) melaporkan rata-rata waktu paruh POP lebih dari satu dekade di tanah, sedimen, udara dan biota. POP yang dilepaskan atau dihasilkan atau dilepaskan dari suatu tempat atau negara dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan hewan-hewan liar di tempat bahkan negara lain. POP tersebut juga dapat berpindah dari satu spesies kepada spesies lainnya melalui rantai makanan.

Walker (2001) mendefinisikan POP sebagai senyawa yang mengandung karbon (C), kecuali CO₂ dan CO. Contoh-contoh senyawa POPs antara lain: *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH), *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs), *Polychlorinated Dibenzodioxins* (PCDDs), *Polychlorinated Dibenzofurans* (PCDFs), *Polybrominated Biphenyls* (PBBs), Insektisida organoklorin (DDT, aldrin, dieldrin, dan lindane), insektisida organofosfat, insektisida karbamat, insektisida piretroid, herbisida, rodentisida, deterjen, dan klorofenol. Sedangkan Direktorat pengelolaan B3 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mengelompokan pestisida, bahan kimia industri, obat-obatan, alpha beta

hexachlorocyclohexane, *bromodiphenyl eter*, *chlordecone* dan lindane sebagai polutan organik.

Semua senyawa POPs ini memiliki empat sifat umum (Gaur et al, 2021) yaitu persisten, biokumulatif, tahan dalam pendistribusian jarak jauh secara global, dan juga sangat beracun. POPs memiliki sifat persisten karena sulit terurai secara fisik, kimia dan biologi. Karena sifatnya yang tidak gampang terurai saat masuk ke lingkungan senyawa POPs akan bertahan sangat lama. POPs juga memiliki sifat yang mudah larut dalam lemak sehingga terakumulasi lebih tinggi di dalam tubuh mahluk hidup dibandingkan dengan lingkungan. POPs adalah senyawa kimia yang dapat menempuh jarak jauh dari tempat dilepaskan melalui air dan udara yang menyebabkan pencemaran ditempat yang jaraknya sangat jauh. Sifat lain dri POPs adalah sangat beracun bagi mahluk hidup termasuk manusia dan ekosistem.

Dengan ditemukannya detektor penangkap eletron beberapa pestisida organoklorin seperti *Dichloro Diphenyl Trichloroethane* (DDT), *Dichloro Diphenyl Dichloroethane* (DDE), Dieldrin dan *Toxaphene* dapat terdeteksi di lingkungan (Muir & Howard, 2006). Senyawa-senyawa kimia ini bahkan terdeteksi di tempat-tempat yang belum pernah digunakan seperti di daerah kutub.

3.2 Sumber-Sumber POPs.

Sumber utama POPs adalah berbagai jenis industry seperti industri farmasi, pupuk, pengolahan makanan, indutri deterjen dan desinfektan, Indutri minyak dan produk minyak, serta pestisida. Limbah rumah tangga dan limbah kota juga merupakan sumber POP yang biasanya mengalir masuk pada badan-badan air. Furan dan dioxin tidak sengaja dibuat tetapi merupakan produk sampingan pada saat proses pembuatan herbisida dan juga dihasilkan saat pembuatan pulp dan kertas oleh industri kertas. Sumber-sumber polutan organik ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 3.1. Sumber-Sumber Polutan Organik

Berhubung polutan organik persisten sangat berbahaya bagi mahluk hidup termasuk manusia dan lingkungan bahkan dapat berdampak global maka pada bulan Mei 2001 Amerika Serikat, Uni Eropa beserta dengan 90 negara lainnya menandatangani Konvensi Stockholm. Negara-negara tersebut sepakat untuk tidak lagi menggunakan atau mengurangi penggunaan POPs. Menurut Konvensi Stockholm tersebut POP terdiri dari 3 kategori yaitu;

1. Kategori Pestisida yang terdiri dari DDT (*Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane*), Aldrin, Eldrin, Dieldrin, Chlordane, Heptachlor, Mirex dan Toxaphene.

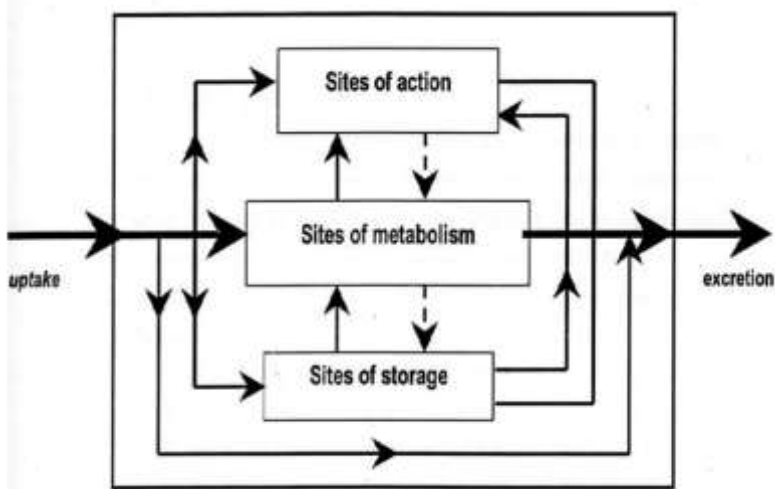
2. Kategori Bahan Kimia Industri yang terdiri dari PCB (*Poly Chlorinated Biphenil*) dan HCB (*Hexa Chlore Benzene*)
3. Kategori Produk yang tidak sengaja dihasilkan seperti PCDD (*Poly Chlorinated Dibenzo-Dioxin*), PCDF (*Poly Chlorinated Dibenzo-Furans*, HCB (*Hexa Chloro Benzene*) dan PCB (*Poly Chlorinated Biphenyl*).

Berdasarkan Konvensi Stockholm ada 12 POP (Dirty Dozen) yang dilarang penggunaannya yang terdiri dari 9 jenis pestisida yaitu aldrin, chlordane, dichlorodiphenyl trichloroethane (DDT), dieldrin, eldrin, heptachlor, hexachlorobenzene, mirex, toxaphene. Dua Zat Kimia yang digunakan dalam industri yang juga digunakan sebagai pestisida yaitu PCB dan HCB. Dioxin dan Furan sebagai hasil sampingan produk yang tidak disengaja.

Zat-zat kimia baru telah ditambahkan dalam Konvensi Stokholm sebagai POPs yang dilarang penggunaannya yaitu: (1) Alfa dan *Betha Hexachlorocyclohexane* yaitu pestisida yang sudah dilarang penggunaannya namun tetap dihasilkan dilingkunga secara tak sengaja sebagai hasil sampingan lindane; (2) hexa, hepta, tetra dan penta bromodiphenyl eter dan heptabromodiphenyl Eter yang digunakan untuk anti api atau mnghalangi pembakaran pada bahan organik; (3) Chlordecone adalah jenis pestisida; (4) Hexabromobiphenyl digunakan dalam industry sebagai flame retardant; (5) Lindane digunakan insektisida juga untuk perawatan kayu, juga untuk membunuh ektoparasit pada hewan dan manusia; (6) *Pentachlorobenzene* (PeCB) digunakan secara luas sebagai pewarna tekstil, fungisida, dan flame retardant. (7) Perfluorooctane sulfonic acid dan perfluorooctane sulfonyl (PFOS) diproduksi dengan sengaja atau hasil sampingan yang tidak disengaja yang terkait bahan kimia yang digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari (bahan kimia anthropogenic). PFOS ditemukan dalam barang elektronik, busa pemadam kebakaran, tekstil, foto digital dan cairan hidrolik.

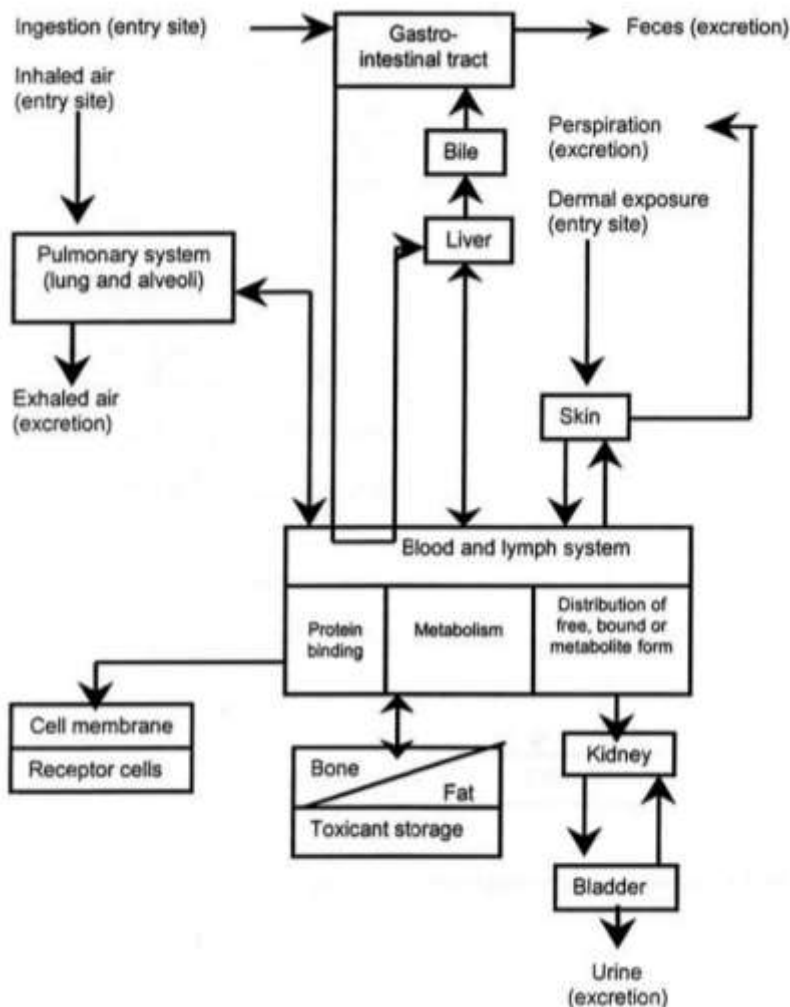
3.3 Nasib Polutan Organik dalam Tubuh Mahluk Hidup (Individu)

Polutan organik yang masuk ke dalam suatu ekosistem, dapat masuk kedalam tubuh organisme (uptake) melalui mekanisme difusi pasif melalui lipid bilayer dari sel-sel tubuh. Polutan organik dapat masuk ke dalam tubuh mahluk hidup melalui kulit, saluran pencernaan, pada vertebrata juga dapat masuk melalui paru-paru sedangkan pada invertebrata terestrial dapat masuk melalui sistem trachea dan pada ikan dapat melalui insang. Setelah memasuki tubuh mahluk hidup polutan organik mengalami proses metabolisme, distribusi, penyimpanan dan ekskresi seperti diilustrasikan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Model Nasib Polutan Lipofilik dalam organisme (Walker et al. 2001)

Polutan organik dapat masuk ke dalam rantai makanan sehingga ditemukan konsentrasi POPs yang sangat tinggi pada berbagai spesies yang berada pada level yang lebih tinggi dalam rantai makanan seperti ikan paus, burung elang dan manusia.



Gambar 3.3. Proses uptake, rute distribusi, metabolisme, dan penyimpanan polutan dalam tubuh serta ekskresi polutan organik dari dalam tubuh Mamalia (Manahan 1994).

Proses masuknya (uptake) polutan organik kedalam tubuh, rute distribusi, metabolisme, penyimpanan dan proses ekskresi

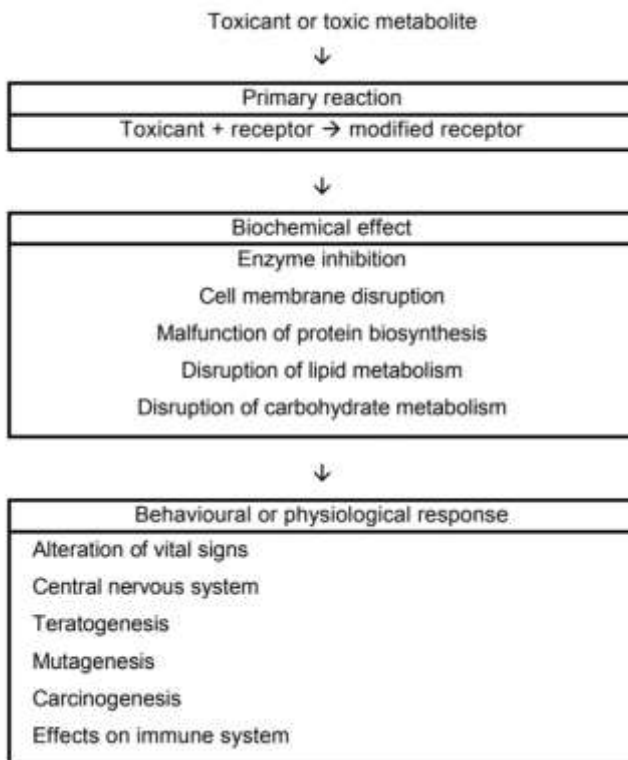
pada mamalia diilustrasikan pada gambar 3. Polutan organik dapat masuk ke dalam tubuh mamalia melalui udara, kulit dan mulut.

Polutan organik yang ada di atmosfer dihirup melalui hidung dan masuk ke dalam saluran pernapasan hingga mencapai gelembung-gelembung udara (alveoli) pada paru-paru. Dari paru-paru selanjutnya masuk ke sistem peredaran darah dan sistem limfe. Polutan organik juga bisa masuk ke dalam tubuh bersama makanan dan minuman melalui saluran pencernaan dan dikeluarkan dari tubuh melalui feses. Disamping itu polutan organik juga dapat masuk ke dalam tubuh melalui kulit. Selanjutnya masuk ke dalam sistem peredaran darah dan sistem limfe. Melalui sistem peredaran darah dan sistem limfe polutan organik juga dapat memasuki hati (kantong empedu) lalu masuk pada saluran pencernaan dan akhirnya dikeluarkan dari tubuh melalui feses.

Proses metabolisme di dalam tubuh terdiri dari proses anabolisme (pembentukan molekul) dan katabolisme (perombakan molekul). Melalui proses anabolisme polutan organik terakumulasi di dalam tubuh karena tubuh memiliki kemampuan untuk mengikat polutan organik yang akan menumpuk pada jaringan lemak. Selanjutnya jika tubuh membutuhkan energi jaringan lemak tersebut akan dirombak menjadi energi melalui proses katabolisme. Organisme mampu melakukan biotransformasi polutan organik menjadi metabolit yang larut dalam air dan dikeluarkan dari dalam tubuh melalui proses ekskresi yang dilakukan oleh ginjal dan dibebaskan dari tubuh dalam bentuk urin.

Di dalam tubuh makhluk hidup polutan organik mengalami fase kinetik (toksikokinetik) dan fase dinamik (toksikodinamik). Gambar 3.4 menunjukkan Toksikodinamik yaitu fase dimana polutan organik berinteraksi dengan sel, jaringan dan organ dalam bentuk respon toksik. Fase Toksikodinamik terdiri dari reaksi polutan dengan organ target, respon biokimiawi dan efek yang

dapat diamati antara lain teratogenesis, mutagenesis, carcinogenesis dan berdampak pada sistem imun.



Gambar 3.4. Fase Toksikodinamik POPs dalam Tubuh Organisme (Manahan, 1994).

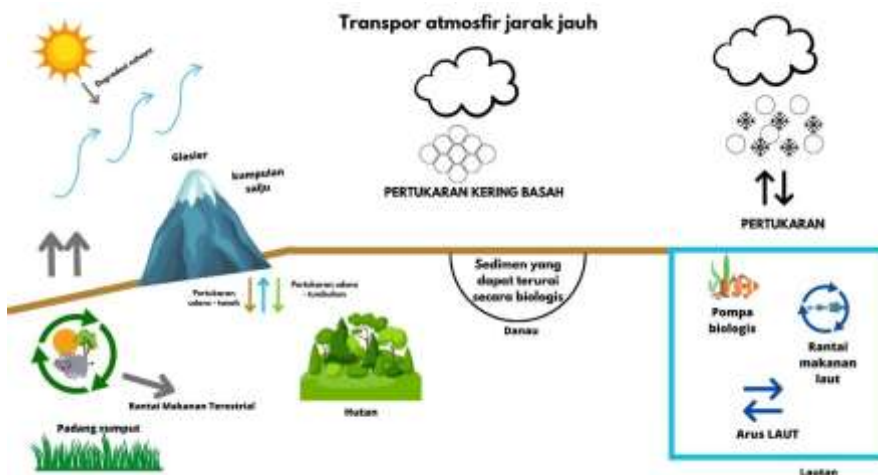
Paparan POPs pada manusia telah menyebabkan kelainan pada reproduksi, perkembangan, tingkah laku, saraf, hormon dan kekebalan tubuh yang merugikan kesehatan. Manusia dapat terpapar POPs umumnya melalui makanan dan lebih sedikit kasus akibat meminum air yang terkontaminasi polutan organik atau kontak langsung dengan polutan organik tersebut. Pada manusia

dan jenis-jenis mamalia lainnya POPs dapat ditransfer dari induk kepada anaknya melalui tali pusat (plasenta) dan air susu.

Polutan Organik Persisten adalah zat kimia organik yang tersebar luas di lingkungan di seluruh dunia. POPs terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup dan ditemukan dalam konsentrasi yang tinggi dalam rantai makanan. Manusia yang terus menerus terpapar POPs akan berpengaruh pada organ-organ dan sistem organ dalam tubuh seperti hati, jantung, organ reproduksi, endokrin, saraf, sistem kekebalan tubuh dan juga berpengaruh pada perkembangan dan perilaku.

3.4 Nasib Polutan Organik dalam Ekosistem Darat

Penyebaran polutan organik secara global melalui dua cara yaitu sirkulasi atmosfer dan melalui arus laut seperti digambarkan pada gambar 3.5. Polutan organik dapat berbentuk gas dan partikel dalam atmosfer. Sebagai akibatnya polutan organik dapat menyebar secara global dalam bentuk gas maupun partikel melalui sirkulasi atmosfer. Polutan organik selanjutnya akan mengendap pada permukaan daratan pada saat temperatur turun dan akan menguap kembali ke atmosfer dan mengalami sirkulasi di udara pada saat suhu meningkat. Hal ini menyebabkan gas dan partikel polutan organik dapat menyebar secara global dengan bantuan sirkulasi atmosfer (Gaur et al, 2018).



Gambar 3.5. Nasib Polutan Organik Persisten pada Lingkungan
(Gaur et al, 2018)

Polutan organik yang digunakan oleh berbagai industri dan kegiatan antropogenik lainnya selanjutnya akan dibuang dan berakhir pada lingkungan yang dapat mencemari tanah, air dan udara yang akan mempengaruhi kehidupan makhluk hidup dan ekosistem dan menurunkan kualitas lingkungan.

Fungsi tanah sangat penting dan berhubungan langsung dengan kesehatan manusia karena merupakan tempat untuk menanam dan menghasilkan makanan. Tanah juga sangat berperan untuk filtrasi air tanah namun peran tersebut dapat berkurang akibat aktifitas manusia dan peristiwa alami (Abrahams, 2002; Oliver 1997). Pengetahuan nasib polutan pada tanah sangat penting sebagai acuan kemungkinan paparan polutan pada manusia. Kompleksitas rute (pathway) polutan organik ditentukan oleh sumber emisi, interaksi dengan permukaan tanah, perubahan secara kimiawi dan biologis seiring waktu pada lingkungan dimana tanah ditemukan (Petruzzelli et al, 2018).

Diantara banyak senyawa polutan yang mencemari tanah, POPs merupakan senyawa yang paling berbahaya yang berasal dari berbagai industri dan kegiatan antropogenik lainnya yang bersifat sangat persisten dan dapat ditranspor menempuh jarak jauh dan menyebar luas secara global (Armitage & Gobas, 2007; Henschel, 1997).

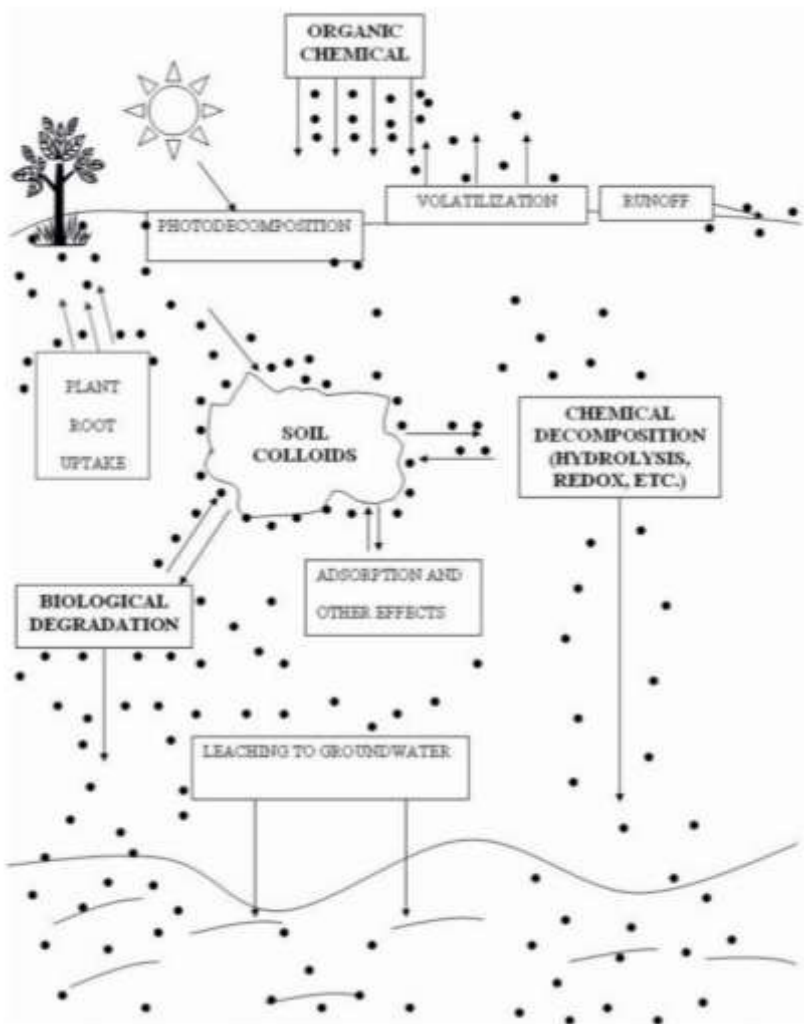
Beberapa POPs seperti Polychlorinated biphenyl (PCB) dan pestisida Organoklorin (OCP) banyak digunakan dalam industri, pertanian dan pengendalian vektor di negara-negara berkembang di Asia pada beberapa decade terakhir. Penggunaan pestisida di India mencapai 85.000 metrik ton per tahun dengan DDT, HCH dan Malathion menyumbang 70 % dari total pestisida yang diproduksi. Karena kurangnya fasilitas di negara-negara berkembang sejumlah besar sampah dan limbah di buang di daerah terbuka dengan minim pengolahan. Masyarakat sangat khawatir dengan kondisi ini karena sangat berpengaruh pada kesehatan masyarakat lokal dan lingkungan sekitarnya. Baru-baru ini diungkap dari hasil penelitian bahaya paparan dioksin dan zat serupa lainnya terhadap kesehatan manusia yang menimbulkan kekhawatiran yang lebih serius (Agusa et al. 2003).

Pada lingkungan yang spesifik POPs dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam tubuh makhluk hidup hingga dalam konsentrasi yang tinggi yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan ekosistem. Ada 3 POPs yang sangat terkenal yaitu *Polychlorinated biphenyls* (PCBs), *Polychlorinated dibenzodioxins* (PCDDs) dan *Polychlorinated dibenzofurans* (PCDFs). PCBs bersifat hidrofobik dan merupakan senyawa yang sangat stabil dan tidak mudah terurai dan memiliki properti dielektrik dan thermostability. PCBs telah dilarang penggunaannya pada tahun 1990 akan tetapi sifatnya yang sangat stabil dan persisten sehingga masih ditemukan pada tanah alami (natural soil) maupun pada tanah yang terkontaminasi spesifik aktifitas industri (13). *Polychlorinated dibenzodioxins* (PCDDs) dan

Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) dikenal sebagai Dioxin (Pollitt, 1999). Selain dihasilkan oleh industri dan kegiatan antropogenik secara tak sengaja, dioxin juga dihasilkan secara alami seperti kebakaran dan erupsi gunung berapi.

Sumber polutan organik persisten lainnya adalah pestisida yang digunakan untuk membunuh hama dalam pertanian namun pestisida tersebut juga sangat berbahaya kepada makhluk hidup secara umum termasuk manusia. Kehadiran pestisida dalam tanah menurunkan kualitas tanah dan pada akhirnya mempengaruhi dengan kualitas air dan udara. Pestisida organochlorine telah digunakan beberapa dekade dengan karakteristik memiliki kestabilan dan persisten yang tinggi yang dapat bertahan dalam tanah selama puluhan tahun. Pestisida organochlorine tersebut dapat masuk ke dalam rantai makanan dan dikenal memiliki efek racun terhadap biota (Hamilton et al, 2004).

Saat berada dipermukaan tanah polutan organik dan produk degradasinya akan mengalami berbagai nasib seperti ditunjukkan pada gambar 6. Polutan organik dapat terkikis oleh air (erosi) hingga masuk ke permukaan air atau mengalami penguapan atau fotodekomposisi. Polutan organik tersebut dapat masuk ke dalam tanah hingga mencapai air dalam tanah (*ground water*). Polutan organik juga dapat mengalami beberapa fenomena termasuk penguraian kimiawi sebagian dan atau keseluruhan juga mengalami penguraian biologis yang dapat diserap akar tanaman. Polutan organik mengalami interaksi fisik dan kimia dengan komponen padat organik dan anorganik tanah (Senesi & Miano, 1995).



Gambar 3.6. Nasib Polutan organik pada Tanah (Senesi & Miano, 1995)

Molekul organik di dalam tanah menjadi sumber karbon untuk mikroorganisme. Mikroorganisme tidak selalu mampu

menguraikan dan mencerna molekul organik tersebut secara sempurna tetapi kadang hanya mampu mencerna sebagian. Kondisi ini menghasilkan senyawa yang bahkan lebih beracun dibandingkan dengan senyawa sebelum diurai. Perilaku kontaminan organik dalam tanah tergantung pada interaksinya terhadap zat padat, cair dan gas di dalam tanah juga berinteraksi dengan makhluk hidup. Hubungan-hubungan ini akan menimbulkan fenomena yang menentukan nasib polutan organik yang berhubungan dengan adsorpsi, pembusukan secara biotik dan abiotik, pencucian dan penguapan. Proses adsorpsi senyawa organik pada permukaan tanah sangat penting karena dapat berdampak menunda penyebaran dan pencucian kontaminan senyawa organik tersebut.

Biodegradasi adalah mekanisme yang sangat penting untuk menghilangkan polutan organik dalam tanah. Degradasi yang dilakukan oleh mikroorganisme tanah dapat meningkatkan kelarutan polutan organik tersebut. Sifat kimia polutan organik juga mempengaruhi waktu yang diperlukan untuk biodegradasi.

Polutan organik juga memiliki potensi untuk memasuki tubuh hewan seperti hewan ternak. Hal ini bergantung pada cara penggembalaan, musim dan diet baik organik maupun anorganik (Petruszelli, 2010). Tanah yang tercemar polutan organik memiliki potensi masuk ke dalam tubuh hewan. Tanah yang terkontaminasi biasanya tertelan langsung saat penggembalaan. Dilaporkan rata-rata jumlah tanah yang tertelan oleh sebagian besar ternak sekitar 60 % dari total pemindahan. Untuk ternak dapat terkontaminasi 0,9 kg tanah per hari. Jika diasumsikan polutan organik yang mencemari tanah 0,1-10 mg/kg, jumlah yang tertelan oleh ternak dapat bervariasi dari 30-300 mg/tahun. Pada saat tertelan polutan senyawa organik melewati membrane gastrointestinal selanjutnya masuk ke dalam darah atau sistem limfatik atau ke dalam beberapa organ dalam kaitannya dengan kandungan lemak (lipid). PCB, dioxin dan

hexachlorobenzene memiliki waktu paruh yang di dalam tubuh mahluk hidup. Senyawa lain seperti polisilik hidrokarbon aromatik tidak terlalu diserap oleh tubuh tetapi dapat terdegradasi sebagian dengan konsekuensi pembentukan produk antara yang sangat berbahaya. Diantara bahan makanan susu adalah bahan yang sangat sensitif terhadap senyawa organik yang dapat merubah konsentrasi senyawa organik sangat signifikan dalam jangka waktu yang pendek.

3.5 Nasib Polutan Organik dalam Ekosistem Perairan

Sumber utama polutan organik pada ekosistem perairan adalah berasal dari limbah industri, limbah kota dan kegiatan pertanian. Pestisida yang digunakan dalam pertanian dapat tersebar dalam konsentrasi rendah tetapi berpotensi sangat berbahaya dan menyebabkan efek kronis pada mahluk hidup (Schwarzenbach et al. 2006).

Proses biodegradasi dapat membantu mengurangi dampak kompleks kimiawi polutan organik terhadap mahluk hidup dan lingkungan. Hal ini menyebabkan konversi karbon, nitrogen, phosphor, sulfur, dan elemen lainnya yang terikat dalam polutan organik menjadi zat anorganik yang disebut dengan mineralisasi (Mattes et al. 2010). Jika senyawa ditransformasi secara biologi menjadi zat yang tidak dapat dimetabolime atau dapat dimetabolisme secara lambat maka transformasi dapat berlangsung. Transformasi senyawa kimia yang berbahaya menjadi senyawa yang kurang berbahaya merupakan proses biodegradasi yang diinginkan. Namun hal sebaliknya bisa terjadi dimana senyawa beracun dapat diubah menjadi senyawa yang lebih beracun yang terakumulasi pada lingkungan. Sebagai contoh deklorinasi anaerob chlorinated ethene dapat menyebabkan akumulasi vinyl chloride yang lebih beracun dari prekursornya (Mattes et al. 2010). Juga pestisida dapat berubah menjadi senyawa

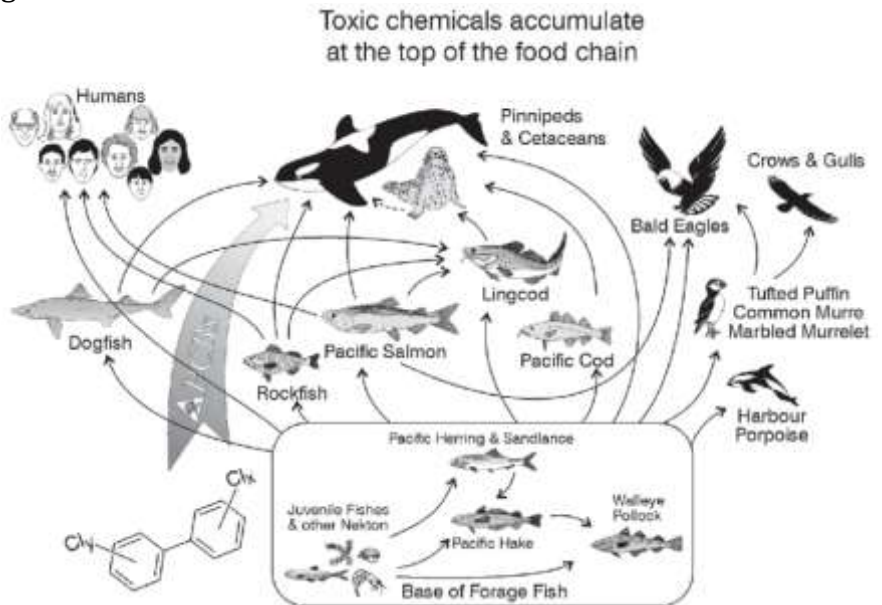
yang lebih toksik dibandingkan dengan molekul induknya seperti transformasi aldrin menjadi dieldrin (Jorgenson 2001).

Nasib polutan organik yang memasuki ekosistem perairan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain sifat fisik, lipofisitas, tekanan uap dan stabilitas kimiawinya. Polutan organik yang memiliki stabilitas kimiawi yang rendah akan mengalami hidrolisis sehingga tidak berdampak negatif pada ekosistem perairan. Namun kemungkinan lain bisa terjadi jika polutan organik tersebut berubah menjadi senyawa yang toksik.

Polutan organik bersifat lipofitik yang sulit larut dalam air yang biasanya bersenyawa dengan materi organik makhluk hidup dan mengendap dalam sedimen pada badan-badan air seperti sungai dan danau. Polutan organik tersebut dapat diserap partikel sedimen sehingga mengurangi penyebaran polutan pada seluruh badan perairan. Kondisi ini juga akan mengurangi kontaminasi polutan organik pada organisme air yang hidup pada bagian pertengahan dan permukaan air. Organisme benthik yang hidup pada bagian dasar (sedimen) lebih rentan terhadap kontaminasi polutan organik seperti makroinvertebrata yang memakan partikel-partikel organik yang terkandung pada sedimen. Kerang (*Bivalvia*) juga rentan terhadap polutan organik karena cara makannya adalah dengan menyaring plancton pada perairan.

Proses makan dan dimakan dalam rantai makanan menyebabkan terjadinya transfer polutan organik di dalam ekosistem perairan. Persistensi polutan organik dalam suatu rantai makanan tergantung pada waktu paruh senyawa tersebut dalam organisme. Sifat lipofilik dan sifat persisten dari polutan organik menyebabkan organisme dalam rantai makanan ekosistem perairan rentan terhadap paparan dan akumulasi polutan organik di dalam tubuhnya. Ross & Birnbaum (2010) menyatakan organisme yang berada pada level teratas (top predator) pada rantai makanan terpapar polutan konsentrasi tinggi sebagai hasil

proses akumulasi dan magnifikasi POPs seperti yang ditunjukkan gambar 3.7.



Gambar 3.7. Akumulasi dan magnifikasi polutan organik persisten pada rantai makanan di ekosistem perairan (Ross & Birnbaum, 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahams, P.W. 2002. Soils: their implications to human health. *The Science of the Total Environment* 291: 1-32.
- Agusa, T., T. Kunito, E. Nakashima, T.B. Minh, Y. Tajima, S. Karuppiyah & P.H. Viet. 2003. Preliminary studies on trace element contamination in dumping sites of municipal wastes in India and Vietnam. *Journal de Physique* IV,107(1):21-24.
- Armitage J. & F. Gobas. 2007. A terrestrial food chain bioaccumulation model for POPs. *Environmental Science and Technology* 41: 4019-4025.
- Gaur, N., K. Narasimhulu, & Pydisetty, Y. 2018. Recent Advanced in the Bio-remediation of Persistent Organic Pollutants and Its Effect on Enviroment. *Journal of Cleaner Production*. 198: (1602-1631)
- Hamilton D, A. Ambrus, R. Dieterle. 2004. Pesticide residues in food: acute dietary exposure. *Pest. Manag. Sci.*4; 60: 311-339.
- Henschel KP, Wenzel A, Diedrich M, Fliedner. 1997. Environmental hazard assessment of pharmaceuticals. *Regul. Toxil. Pharmacol.* 25: 220-225.
- Jonnes, K.C. & de Voogt, P. 1999. Persisten Organic Polutants (POPs). *State of The Science. Environmental Pollution*, 100:209-221.
- Jorgenson, J.L. 2001. Aldrin and dieldrin: a review of research on their production, environmental deposition and fate, bioaccumulation, toxicology, and epidemiology in the United States. *Environmental Health Perspectives* 109 (suppl 1): 113-139.
- Manahan, S.E. 1994. *Environmental Chemistry. Guide Book*. Lewish Publisher Pakistan.

- Mattes, T.E., A.K. Alexander & N.V. Coleman. 2010. Aerobic biodegradation of the chloroethenes: pathways, enzymes, ecology, and evolution. *FEMS Microbiology Reviews* 34 (4): 445–475.
- Muir, D.C.G. & P.H. Howard. 2006. Are there New Persistent Organic Pollutants? A Challenge for Environmental Chemists. *Environ. Sci. Technol.* 40: (7157-7166).
- Oliver MA. 1997. Soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science* 48: 573-592.
- Petruzzelli, G., B. Pezzarossa, F. Gorini, F. Pedron. 2010. The Fate of Pollutants in Soil.
<http://www.researchgate.net/publication/326463752>
- Pollitt F. 1999. Polychlorinated dibenzodioxins and polychlorinated dibenzofurans. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 30: 63-68.
- Schwarzenbach, R.P., B.I. Escher, K. Fenner, T.B. Hofstetter, C.A. Jhonson, U.V. Gunten & B. Wehrli. 2006. The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science* 313 (5790): 1072–1077.
- Senesi, N. & Miano, T. M. 1995. The role of abiotic interactions with humic substances on the environmental impact of organic pollutants, in: *Environmental Impact of Soil Component Interactions. Natural and Anthropogenic Organics*, Vol. I, P.M. Huang, J. Berthelin, J.M. Bollag, W.B. McGill, and A.L. Page, eds., CRC-Lewis, Boca Raton, pp. 311–335.
- Walker, C.H. 2001. *Organic Pollutants: An Ecotoxicology Perspective*. Taylor & Francis, London.

BAB 4

KAJIAN INTERDISIPLINER TENTANG DAMPAK KONTAMINAN LINGKUNGAN TERHADAP KESEHATAN DAN LINGKUNGAN HIDUP

Oleh Erma Suryani Sahabuddin

4.1 Pendahuluan

Lingkungan hidup yang sehat adalah hak asasi manusia yang harus dipenuhi oleh setiap individu. Namun, fenomena kontaminasi lingkungan yang semakin mengkhawatirkan membuat kesehatan dan keseimbangan ekosistem terancam. Kontaminan lingkungan dapat merusak ekosistem dan membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan. Oleh karena itu, penelitian mengenai dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan dan lingkungan hidup menjadi sangat penting.

Dalam hal ini, kajian interdisipliner menjadi pilihan yang tepat untuk memahami secara mendalam mengenai dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan dan lingkungan hidup. Kajian interdisipliner menggabungkan pendekatan dari berbagai disiplin ilmu, seperti ilmu lingkungan, kesehatan, biologi, kimia, dan teknologi, sehingga dapat memberikan pemahaman yang holistik dan komprehensif mengenai dampak kontaminan lingkungan.

Melalui kajian interdisipliner, akan ditemukan berbagai data dan informasi mengenai dampak kontaminan lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Data dan informasi ini akan memberikan gambaran yang jelas mengenai bagaimana kontaminan lingkungan berdampak pada kesehatan dan lingkungan hidup, serta cara untuk mengatasi dampak tersebut.

Dalam chapter book ini, akan dibahas mengenai kajian interdisipliner mengenai dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan dan lingkungan hidup. Pembahasan dimulai dari pengertian kontaminan lingkungan, jenis-jenis kontaminan lingkungan, hingga dampak yang ditimbulkan pada kesehatan dan lingkungan hidup. Selain itu, chapter book ini juga membahas mengenai cara untuk mencegah dan mengatasi dampak kontaminan lingkungan, serta bagaimana pentingnya kajian interdisipliner dalam menangani masalah lingkungan.

Melalui chapter book ini, diharapkan pembaca dapat memahami secara lebih mendalam mengenai dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan dan lingkungan hidup, serta pentingnya kajian interdisipliner dalam menangani masalah tersebut. Selain itu, chapter book ini juga dapat menjadi referensi bagi para peneliti, praktisi, dan masyarakat luas dalam mengatasi masalah lingkungan hidup yang semakin kompleks.

4.2 Kontaminan Lingkungan

4.2.1 Pengertian kontaminan lingkungan

Kontaminan lingkungan adalah bahan kimia, fisik, atau biologis yang secara tidak sengaja atau sengaja dilepaskan ke lingkungan dan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia atau lingkungan hidup (Effendi, Salsabila and Malik, 2018). Kontaminan lingkungan dapat berasal dari berbagai sumber, seperti limbah industri, limbah pertanian, limbah rumah tangga, transportasi, dan kegiatan pertambangan. Beberapa contoh kontaminan lingkungan yang sering ditemukan antara lain logam berat seperti merkuri dan timbal, pestisida, bahan kimia sintetis seperti Polutan Organik Persisten (POP), limbah nuklir, gas buang kendaraan bermotor, serta limbah medis dan farmasi. Dampak dari kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia dapat bervariasi, mulai dari gangguan pernapasan, kerusakan sistem saraf, hingga kanker. Sedangkan dampak terhadap lingkungan

hidup meliputi kerusakan habitat satwa liar, kerusakan tumbuhan, dan degradasi tanah serta air. Oleh karena itu, pengelolaan kontaminan lingkungan harus dilakukan dengan baik untuk mencegah terjadinya dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan hidup.

4.2.2 Sumber kontaminan lingkungan

Sumber kontaminan lingkungan adalah tempat atau proses yang menghasilkan polutan atau zat beracun yang dapat mencemari lingkungan hidup. Sumber kontaminan lingkungan dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain (Hidayati *et al.*, 2022):

1. Industri: Pabrik atau industri yang memproduksi berbagai produk dapat menghasilkan polutan dan zat beracun seperti limbah industri, emisi gas buang, dan limbah padat. Contohnya adalah pabrik pengolahan bahan kimia, pabrik pengolahan logam, dan pabrik pengolahan makanan.
2. Transportasi: Kendaraan bermotor seperti mobil, truk, dan bus menghasilkan emisi gas buang seperti karbon monoksida, nitrogen oksida, dan partikel halus yang dapat mencemari udara.
3. Pertanian: Penggunaan pestisida dan pupuk kimia dalam pertanian dapat menghasilkan polutan dan zat beracun yang dapat mencemari tanah dan air.
4. Rumah tangga: Kegiatan rumah tangga seperti membuang limbah padat dan cair, penggunaan pestisida, dan penggunaan bahan pembersih dapat mencemari lingkungan hidup.
5. Limbah Medis: Limbah medis yang dihasilkan oleh rumah sakit dan laboratorium medis dapat mengandung bahan kimia berbahaya dan bahan infeksius yang dapat mencemari lingkungan.
6. Bencana Alam: Bencana alam seperti kebakaran hutan, banjir, gempa bumi, dan letusan gunung berapi dapat menghasilkan

polutan dan zat beracun yang dapat mencemari lingkungan hidup.

7. Kegiatan Tambang: Kegiatan pertambangan dapat menghasilkan polutan dan zat beracun seperti air asam tambang, limbah padat, dan partikel debu yang dapat mencemari udara, tanah, dan air.

Sumber kontaminan lingkungan dapat mempengaruhi kualitas lingkungan hidup dan kesehatan manusia jika tidak diatasi dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan upaya-upaya untuk mengurangi dan mengontrol sumber kontaminan lingkungan agar lingkungan hidup menjadi lebih sehat dan lestari.

4.2.3 Jenis-jenis kontaminan lingkungan

Kontaminan lingkungan adalah zat atau bahan kimia yang ditemukan di lingkungan dan dapat merusak atau mencemari lingkungan serta mempengaruhi kesehatan manusia dan kehidupan hewan. Berikut adalah beberapa jenis kontaminan lingkungan yang umum (Kurniawan *et al.*, 2022):

1. Polusi udara terdiri dari berbagai zat kimia seperti partikel halus, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, ozon, dan karbon monoksida. Sumber utama polusi udara adalah kendaraan bermotor, pabrik, pembangkit listrik, dan pembakaran sampah.
2. Polusi air terdiri dari berbagai zat kimia seperti logam berat, pestisida, bahan kimia organik, dan limbah domestik dan industri. Sumber utama polusi air adalah pembuangan limbah industri, pertanian, dan limbah domestik.
3. Polusi tanah terjadi ketika zat kimia berbahaya seperti pestisida dan logam berat menumpuk dalam tanah. Sumber utama polusi tanah adalah pembuangan limbah industri dan pertanian, serta kebocoran tangki penyimpanan bahan kimia.
4. Limbah radioaktif adalah bahan yang mengandung zat radioaktif seperti uranium, plutonium, dan radium. Sumber

utama limbah radioaktif adalah pembangkit listrik tenaga nuklir, pengujian nuklir, dan pengolahan bahan tambang.

5. Bising merupakan suara yang berlebihan yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan kehidupan hewan. Sumber utama bising adalah kendaraan bermotor, pesawat terbang, mesin industri, dan konstruksi bangunan.
6. Sampah adalah bahan yang tidak diinginkan seperti plastik, kertas, logam, dan bahan organik. Sampah yang tidak dibuang dengan benar dapat mencemari lingkungan dan menyebabkan masalah kesehatan. Sumber utama sampah adalah aktivitas manusia seperti konsumsi dan produksi.

Kontaminan lingkungan dapat memiliki efek jangka pendek dan jangka panjang pada lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penting untuk melakukan upaya pencegahan dan pengendalian kontaminan lingkungan agar dapat meminimalkan dampak negatifnya.

4.2.4 Dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia

Kontaminan lingkungan dapat memiliki berbagai dampak yang merugikan kesehatan manusia. Dampak tersebut dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung, tergantung dari jenis kontaminan lingkungan yang terdapat dan lamanya paparan. Berikut beberapa dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia:

1. Gangguan saluran pernapasan: Kontaminan lingkungan seperti polutan udara (partikel halus, gas, asap, debu) dapat mempengaruhi fungsi sistem pernapasan manusia dan menyebabkan gangguan pernapasan seperti asma, bronkitis, emfisema, dan bahkan kanker paru-paru.

2. Penyakit kulit: Beberapa kontaminan lingkungan seperti bahan kimia dalam pestisida atau limbah industri dapat menyebabkan iritasi kulit, ruam, gatal-gatal, dan bahkan kanker kulit.
3. Gangguan hormonal: Kontaminan lingkungan seperti BPA (Bisphenol A) yang ditemukan dalam plastik, makanan kaleng, dan botol minuman dapat mengganggu keseimbangan hormon dalam tubuh manusia dan mempengaruhi sistem reproduksi, perkembangan otak, serta meningkatkan risiko obesitas, diabetes, dan kanker.
4. Penyakit infeksi: Air dan tanah yang terkontaminasi dapat menyebabkan penyakit seperti kolera, diare, disentri, dan hepatitis A.
5. Gangguan sistem saraf: Kontaminan lingkungan seperti timbal atau merkuri dapat merusak sistem saraf pusat manusia dan menyebabkan gangguan perkembangan otak, gangguan saraf, bahkan kecacatan.
6. Gangguan sistem kardiovaskular: Paparan jangka panjang terhadap polutan udara juga dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular seperti stroke, penyakit jantung, dan bahkan kematian.

Oleh karena itu, sangat penting untuk mengurangi dan mencegah paparan kontaminan lingkungan agar dapat melindungi kesehatan manusia dan meningkatkan kualitas hidup.

4.2.5 Dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup

Kontaminan lingkungan adalah zat kimia atau bahan fisik yang terdapat di lingkungan dan dapat menyebabkan dampak negatif terhadap organisme hidup, termasuk manusia. Dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup meliputi:

1. Kerusakan Ekosistem: Kontaminan lingkungan seperti limbah industri, limbah pertanian, dan emisi kendaraan dapat merusak

ekosistem dan mengganggu keseimbangan alam. Hal ini dapat menyebabkan kematian atau migrasi organisme hidup, dan berdampak pada kerugian keanekaragaman hayati.

2. Pencemaran Udara: Kontaminan seperti partikel emisi kendaraan bermotor dan asap dari pembakaran bahan bakar fosil dapat mencemari udara. Hal ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti penyakit pernapasan dan kesehatan jangka panjang seperti kanker.
3. Pencemaran Air: Bahan kimia seperti pestisida, bahan berbahaya dan beracun (B3), dan logam berat dapat mencemari air. Hal ini dapat membahayakan organisme hidup yang mengandalkan air sebagai sumber hidup, seperti ikan dan satwa air lainnya.
4. Kerusakan Lapisan Ozon: Bahan kimia seperti CFC dapat merusak lapisan ozon, yang melindungi Bumi dari sinar ultraviolet berbahaya. Hal ini dapat meningkatkan risiko kanker kulit, dan dapat merusak tanaman dan organisme lain yang sensitif terhadap sinar ultraviolet.
5. Perubahan Iklim: Emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida dapat mempercepat perubahan iklim global. Hal ini dapat menyebabkan kenaikan suhu global, pola curah hujan yang tidak stabil, dan kejadian cuaca ekstrem seperti badai dan banjir.

Dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup sangat berbahaya dan dapat mengancam keberlangsungan hidup organisme hidup. Oleh karena itu, penting untuk mengambil tindakan yang tepat untuk mengurangi dampak negatif dari kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup.

4.3 Dampak Kontaminan Lingkungan terhadap Organisme Hidup

4.3.1 Toksisitas dan Efek Terhadap Organisme Hidup

1. Cara Kerja Toksin pada Organisme

Kontaminan lingkungan yang terdapat dalam air, tanah, udara dan makanan dapat memengaruhi kesehatan organisme hidup. Toksisitas dan efek kontaminan lingkungan terhadap organisme hidup tergantung pada banyak faktor, seperti jenis kontaminan, dosis, durasi, dan sensitivitas organisme terhadap kontaminan tersebut. Cara kerja toksin pada organisme dapat mengganggu sistem fisiologi organisme. Pada tingkat seluler, toksin dapat merusak membran sel, mengganggu sintesis protein, merusak DNA, dan mengganggu metabolisme sel. Akibatnya, organisme dapat mengalami kerusakan seluler, kerusakan organ, gangguan sistem fisiologi dan bahkan kematian. Efek kontaminan lingkungan pada organisme hidup bervariasi tergantung pada jenis kontaminan dan organisme yang terpapar. Beberapa efek yang umum terjadi adalah iritasi pada kulit dan saluran pernapasan, keracunan akut atau kronis, kanker, kelainan genetik, gangguan reproduksi, gangguan perkembangan dan kerusakan sistem saraf.

Beberapa contoh kontaminan lingkungan dan efeknya pada organisme hidup adalah sebagai berikut (Widyanti and Fatmawati, 2022):

- a. Logam berat seperti merkuri, timbal, kadmium dan arsenik dapat menyebabkan kerusakan pada organ seperti hati, ginjal dan sistem saraf. Logam berat ini juga dapat memicu kanker dan gangguan perkembangan pada janin.
- b. Pestisida seperti DDT, organofosfat dan karbamat dapat menyebabkan keracunan akut atau kronis, gangguan perkembangan, kerusakan saraf, kanker dan gangguan reproduksi.

- c. Polutan udara seperti sulfur dioksida, ozon dan partikel debu dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, asma, kanker paru-paru dan gangguan kesehatan lainnya.
- d. Bahan kimia buatan manusia seperti bisphenol A (BPA) dan ftalat dapat memengaruhi sistem hormonal dan menyebabkan gangguan reproduksi, kanker dan gangguan perkembangan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk mengurangi paparan kontaminan lingkungan dan mengembangkan metode untuk memantau dan mengukur dampak kontaminan lingkungan pada organisme hidup. Upaya ini meliputi pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya, perlindungan sumber daya alam, dan pengembangan teknologi untuk mendeteksi, mencegah dan mengurangi dampak kontaminan lingkungan pada organisme hidup.

2. Studi Kasus: Efek Pestisida pada Organisme Hidup

Pestisida adalah bahan kimia yang digunakan untuk membunuh hama pada tanaman atau hewan peliharaan. Namun, penggunaan pestisida dapat menimbulkan dampak negatif pada organisme hidup, terutama pada lingkungan dan kesehatan manusia. Contoh studi kasus tentang efek pestisida pada organisme hidup adalah:

a. Kematian Lebah

Pestisida neonicotinoid yang digunakan pada tanaman dapat menyebabkan kematian lebah yang berperan penting dalam penyerbukan tanaman. Paparan pestisida ini pada lebah dapat menyebabkan kerusakan saraf dan mempengaruhi kemampuan lebah untuk menemukan jalan pulang ke sarang.

b. Kesehatan Manusia

Paparan pestisida pada manusia dapat menyebabkan kerusakan pada organ tubuh seperti hati,

ginjal, dan paru-paru. Beberapa pestisida juga dikaitkan dengan peningkatan risiko kanker dan gangguan neurologis.

c. Dampak Lingkungan

Pestisida yang terdapat pada tanah atau air dapat mencemari lingkungan dan mempengaruhi organisme hidup yang hidup di sana. Misalnya, pestisida yang mencemari perairan dapat menyebabkan kematian ikan dan organisme akuatik lainnya.

d. Resistensi Hama

Penggunaan pestisida secara terus-menerus dapat memicu perkembangan resistensi hama terhadap pestisida tersebut. Hal ini dapat mengakibatkan penggunaan pestisida yang lebih besar dan sering, yang pada akhirnya dapat memperburuk dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia.

Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan penggunaan pestisida yang terkontrol dan meminimalkan penggunaannya dalam jumlah besar untuk mengurangi dampak negatif pada organisme hidup dan lingkungan. Selain itu, alternatif pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan seperti penggunaan tanaman yang tahan hama atau penggunaan predator alami juga perlu dipertimbangkan.

4.4 Evaluasi Dampak Kontaminan Lingkungan

4.4.1 Metode Pengujian Toksisitas

Metode pengujian toksisitas adalah serangkaian prosedur atau tes yang dilakukan untuk mengevaluasi potensi toksisitas suatu bahan terhadap organisme hidup. Pengujian toksisitas dilakukan untuk mengevaluasi dampak kontaminan lingkungan terhadap organisme hidup, seperti hewan dan

tanaman, serta untuk menentukan tingkat paparan yang aman bagi organisme hidup dan manusia.

Berikut adalah beberapa metode pengujian toksisitas yang umum digunakan (McLean *et al.*, 2023)

1. Uji toksisitas akut: Uji toksisitas akut dilakukan untuk menentukan efek langsung dari bahan kimia terhadap organisme hidup dalam jangka pendek. Pada uji toksisitas akut, organisme hidup yang diuji diberikan paparan singkat dengan konsentrasi bahan kimia yang meningkat. Efek dari paparan bahan kimia diamati selama periode waktu tertentu. Metode ini biasanya digunakan untuk mengevaluasi dampak bahan kimia pada organisme hidup yang lebih kecil seperti mikroorganisme dan invertebrata.
2. Uji toksisitas kronis: Uji toksisitas kronis dilakukan untuk menentukan efek jangka panjang dari bahan kimia pada organisme hidup. Pada uji toksisitas kronis, organisme hidup diberikan paparan jangka panjang dengan konsentrasi bahan kimia yang lebih rendah. Efek paparan diamati selama periode waktu yang lebih lama, seperti beberapa minggu hingga beberapa bulan. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi dampak bahan kimia pada organisme hidup yang lebih besar seperti ikan, burung, dan mamalia.
3. Uji reproduksi: Uji reproduksi dilakukan untuk menentukan efek bahan kimia pada kemampuan organisme hidup untuk berkembang biak. Organisme hidup yang diuji diberikan paparan bahan kimia dalam jangka waktu tertentu dan kemudian reproduksi dan keturunan mereka diamati untuk menentukan apakah bahan kimia tersebut berdampak negatif pada reproduksi dan kesehatan keturunan.
4. Uji toksisitas pada tanaman: Uji toksisitas pada tanaman dilakukan untuk mengevaluasi efek bahan kimia pada tanaman dan tanah yang mendukung pertumbuhan

tanaman. Dalam uji ini, bibit tanaman ditanam di tanah yang terkontaminasi dengan konsentrasi bahan kimia yang berbeda dan diamati untuk pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan reproduksi tanaman.

Metode pengujian toksisitas dapat memberikan informasi yang sangat berguna tentang efek kontaminan lingkungan pada organisme hidup. Data yang diperoleh dari pengujian dapat digunakan untuk mengembangkan strategi pengendalian dan perlindungan lingkungan yang tepat dan efektif untuk mengurangi dampak kontaminan lingkungan terhadap organisme hidup dan manusia.

4.4.2 Indikator dan Parameter dalam Evaluasi Dampak

Dalam evaluasi dampak kontaminan lingkungan, terdapat berbagai indikator dan parameter yang digunakan untuk mengukur dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Berikut adalah beberapa indikator dan parameter yang umum digunakan dalam evaluasi dampak (Hernandi *et al.*, 2021):

1. Kualitas air: Parameter kualitas air seperti pH, suhu, oksigen terlarut, BOD, COD, total padatan tersuspensi, dan konsentrasi logam berat digunakan untuk menilai kualitas air yang terkontaminasi oleh kontaminan lingkungan. Kualitas air dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem air.
2. Kualitas udara: Parameter kualitas udara seperti kadar gas pencemar (seperti nitrogen dioksida, sulfur dioksida, dan karbon monoksida), partikel debu, dan polutan organik lainnya digunakan untuk menilai kualitas udara yang terkontaminasi oleh kontaminan lingkungan. Kualitas udara yang buruk dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem udara.

3. Kualitas tanah: Parameter kualitas tanah seperti pH, kelembaban, dan konsentrasi logam berat digunakan untuk menilai kualitas tanah yang terkontaminasi oleh kontaminan lingkungan. Kualitas tanah yang buruk dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan keberlanjutan ekosistem tanah.
4. Keanekaragaman hayati: Indikator keanekaragaman hayati seperti jumlah spesies, kepadatan populasi, dan kelimpahan spesies digunakan untuk menilai dampak kontaminan lingkungan pada keanekaragaman hayati di suatu daerah.
5. Kesehatan manusia: Parameter kesehatan manusia seperti angka kematian, angka kesakitan, dan jumlah kasus penyakit tertentu digunakan untuk menilai dampak kontaminan lingkungan pada kesehatan manusia. Parameter ini sangat penting dalam evaluasi dampak kontaminan lingkungan terhadap manusia.

Indikator dan parameter ini dapat digunakan untuk menilai dampak kontaminan lingkungan pada berbagai aspek lingkungan dan manusia. Penting untuk menggunakan indikator dan parameter yang tepat untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang dampak kontaminan lingkungan.

4.4.3 Studi Kasus: Evaluasi Dampak Limbah Industri pada Kualitas Air

Sebagai studi kasus dalam evaluasi dampak kontaminan lingkungan, dapat dipertimbangkan dampak limbah industri pada kualitas air di suatu wilayah. Pada umumnya, industri dapat menjadi sumber kontaminan lingkungan seperti logam berat, pestisida, bahan kimia, dan limbah organik. Limbah industri yang dibuang ke perairan dapat menyebabkan pencemaran air, mengurangi kualitas air dan membahayakan kesehatan manusia serta keberlangsungan lingkungan. Untuk

mengevaluasi dampak limbah industri pada kualitas air, perlu dilakukan pengambilan sampel air secara periodik di sekitar lokasi industri yang menjadi sumber limbah. Parameter kualitas air seperti pH, suhu, oksigen terlarut, BOD, COD, total padatan tersuspensi, dan konsentrasi logam berat akan diukur dan dibandingkan dengan standar baku mutu air yang telah ditetapkan. Jika ditemukan adanya konsentrasi logam berat atau parameter kualitas air lainnya yang melebihi standar baku mutu air, maka dapat disimpulkan bahwa limbah industri berdampak pada kualitas air di wilayah tersebut. Selanjutnya, diperlukan tindakan yang perlu diambil oleh industri untuk mengurangi dampak limbah terhadap kualitas air.

Dalam rangka menanggulangi dampak limbah industri pada kualitas air, industri dapat menerapkan teknologi pengolahan limbah seperti pengolahan air limbah atau pengurangan produksi limbah. Hal ini diharapkan dapat meminimalkan dampak limbah industri pada kualitas air serta menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan manusia. Dengan demikian, evaluasi dampak kontaminan lingkungan dapat membantu untuk memantau dan menilai dampak limbah industri pada kualitas air, dan memberikan rekomendasi untuk tindakan yang perlu diambil untuk meminimalkan dampak tersebut.

4.5 Peran Masyarakat dalam Pengendalian Kontaminan Lingkungan

4.5.1 Kesadaran dan Partisipasi Masyarakat

Kesadaran dan partisipasi masyarakat memiliki peran yang sangat penting dalam pengendalian kontaminan lingkungan. Kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan yang sehat dan bersih dapat menjadi penggerak untuk melakukan tindakan yang berdampak positif bagi lingkungan.

Partisipasi masyarakat dalam pengendalian kontaminan lingkungan dapat dilakukan melalui beberapa cara, antara lain:

1. Pemilihan produk yang ramah lingkungan: Masyarakat dapat memilih produk yang tidak menghasilkan limbah berbahaya dan memiliki penggunaan yang lebih efisien. Hal ini akan membantu mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dan mengurangi dampaknya terhadap lingkungan.
2. Pengelolaan limbah yang baik: Masyarakat dapat memperhatikan cara membuang limbah dengan baik, seperti mengelola sampah secara terpisah dan memilih tempat pembuangan sampah yang sesuai. Cara ini dapat membantu mengurangi jumlah limbah yang terbuang ke lingkungan dan mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.
3. Mendukung pengembangan teknologi hijau: Masyarakat dapat mendukung pengembangan teknologi yang ramah lingkungan, seperti mobil listrik, penggunaan energi terbarukan, atau penggunaan bahan bakar alternatif. Hal ini akan membantu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas buang.
4. Memperhatikan kebersihan lingkungan sekitar: Masyarakat dapat membantu menjaga kebersihan lingkungan sekitar, seperti membersihkan sampah atau limbah yang terdapat di sekitar rumah atau lingkungan sekitar. Hal ini akan membantu mengurangi risiko pencemaran lingkungan.

Kesadaran dan partisipasi masyarakat sangat penting dalam menjaga kelestarian lingkungan. Semakin tinggi kesadaran dan partisipasi masyarakat, semakin besar peluang untuk mengendalikan kontaminan lingkungan dan menjaga kualitas lingkungan yang baik dan sehat. Oleh karena itu, perlu

adanya upaya untuk meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam pengendalian kontaminan lingkungan.

4.5.2 Pendidikan dan Kampanye Lingkungan

Pendidikan dan kampanye lingkungan memainkan peran penting dalam pengendalian kontaminan lingkungan. Melalui pendidikan dan kampanye lingkungan, masyarakat dapat memperoleh pengetahuan dan kesadaran tentang pentingnya menjaga lingkungan yang bersih dan sehat. Beberapa kegiatan yang dapat dilakukan dalam pendidikan dan kampanye lingkungan meliputi (Bakti and Wirakusumah, 2022):

1. Seminar dan lokakarya: Dalam seminar dan lokakarya, masyarakat dapat memperoleh informasi dan pengetahuan tentang kontaminan lingkungan dan cara-cara pengendaliannya. Dengan demikian, masyarakat akan lebih memahami pentingnya menjaga lingkungan yang bersih dan sehat.
2. Kegiatan sosial: Kegiatan sosial seperti kerja bakti membersihkan lingkungan, kampanye penghijauan, atau pembuatan taman lingkungan dapat membangun kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan yang bersih dan sehat.
3. Promosi produk ramah lingkungan: Pendidikan dan kampanye lingkungan juga dapat mempromosikan produk ramah lingkungan dan mendorong masyarakat untuk menggunakan produk tersebut. Hal ini akan membantu mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya dan mengurangi dampak terhadap lingkungan.
4. Media sosial: Penggunaan media sosial dapat membantu dalam penyebaran informasi tentang lingkungan kepada masyarakat. Kampanye lingkungan dapat disebarluaskan melalui media sosial dengan tujuan untuk meningkatkan

kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan.

Melalui pendidikan dan kampanye lingkungan, masyarakat akan lebih memahami pentingnya menjaga lingkungan yang bersih dan sehat, serta memperoleh informasi tentang cara-cara pengendalian kontaminan lingkungan. Hal ini akan membantu masyarakat untuk lebih aktif dalam melakukan tindakan pengendalian kontaminan lingkungan dan mempertahankan kelestarian lingkungan.

4.6 Penanggulangan Dampak Kontaminan Lingkungan

4.6.1 Upaya penanggulangan dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia

Upaya penanggulangan dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia dapat dilakukan melalui beberapa cara, di antaranya:

1. Meningkatkan kesadaran masyarakat: Kesadaran masyarakat perlu ditingkatkan terkait bahaya kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia. Hal ini dapat dilakukan melalui kampanye, sosialisasi, dan edukasi.
2. Mengatur dan memantau kualitas lingkungan: Perlu adanya pengaturan dan pemantauan kualitas lingkungan, termasuk kualitas air, udara, dan tanah. Pemerintah dan lembaga terkait dapat melakukan pengujian dan pengawasan secara rutin untuk memastikan lingkungan yang aman bagi manusia.
3. Pengurangan limbah: Pengurangan limbah dan pembatasan penggunaan bahan berbahaya perlu dilakukan. Pemerintah dan industri harus mengurangi limbah yang dihasilkan dengan cara menggunakan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan mencari alternatif bahan yang lebih aman.

4. Mengurangi polusi udara: Polusi udara adalah salah satu faktor utama penyebab gangguan kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengurangan emisi kendaraan bermotor, pembangkit listrik, dan pabrik industri perlu dilakukan. Selain itu, penggunaan bahan bakar alternatif yang lebih bersih seperti energi surya dan angin juga dapat membantu mengurangi polusi udara.
5. Penggunaan teknologi yang lebih bersih: Penggunaan teknologi yang lebih bersih dapat membantu mengurangi dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia. Contohnya, menggunakan sistem daur ulang, pengolahan limbah, dan penggunaan bahan bakar alternatif.
6. Rehabilitasi lingkungan yang tercemar: Bila suatu daerah telah terkontaminasi, langkah rehabilitasi harus dilakukan. Hal ini dapat dilakukan dengan cara membersihkan sumber pencemaran dan menjaga agar lingkungan tetap terbebas dari pencemaran selanjutnya.

Dalam rangka mengurangi dampak kontaminan lingkungan terhadap kesehatan manusia, perlu adanya kerja sama antara pemerintah, industri, dan masyarakat. Semua pihak harus berperan aktif dalam menjaga lingkungan agar tetap aman bagi kesehatan manusia.

4.6.2 Upaya penanggulangan dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup

Upaya penanggulangan dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup dapat dilakukan dengan berbagai cara, di antaranya:

1. Pengelolaan limbah yang baik: Limbah yang dihasilkan oleh industri dan rumah tangga harus dikelola dengan baik agar tidak mencemari lingkungan. Pengolahan limbah dapat dilakukan dengan cara daur ulang, pengolahan fisika, kimia,

atau biologi, dan penggunaan teknologi hijau untuk mengurangi dampak pencemaran.

2. Peningkatan kualitas air: Air adalah salah satu sumber daya alam yang sangat penting dan harus dijaga kualitasnya. Untuk mengurangi dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan kualitas air, misalnya dengan memperbaiki sistem pengolahan air limbah dan mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya.
3. Pengendalian emisi gas: Emisi gas buang dari kendaraan dan pabrik dapat mencemari lingkungan hidup. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian emisi gas agar kualitas udara tetap terjaga. Upaya pengendalian emisi gas dapat dilakukan dengan penggunaan bahan bakar alternatif, teknologi ramah lingkungan, atau penggunaan kendaraan yang lebih efisien.
4. Penanaman kembali vegetasi: Vegetasi dan hutan memiliki peran penting dalam menjaga kualitas lingkungan hidup. Penanaman kembali vegetasi dan hutan dapat membantu menyerap karbon dioksida, mengurangi polusi udara, dan mengurangi erosi tanah.
5. Peningkatan kesadaran masyarakat: Kesadaran masyarakat mengenai pentingnya menjaga lingkungan hidup sangat penting. Peningkatan kesadaran dapat dilakukan melalui kampanye sosialisasi, pendidikan lingkungan hidup, dan pengenalan teknologi ramah lingkungan.
6. Pembuatan kebijakan lingkungan yang baik: Pemerintah dapat membuat kebijakan lingkungan yang baik untuk mengurangi dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup. Kebijakan ini dapat berupa pengaturan penggunaan lahan, peningkatan pengawasan terhadap industri, atau pemberian insentif untuk penggunaan teknologi hijau.

Dengan melakukan upaya penanggulangan dampak kontaminan lingkungan terhadap lingkungan hidup secara bersama-sama, diharapkan dapat menjaga kualitas lingkungan hidup dan memberikan dampak positif bagi kesehatan manusia dan keberlangsungan hidup bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Putra, A. K. and Handoyo, B. 2022. 'Gerakan peduli dan berbudaya lingkungan hidup SMA Negeri', *Integrasi dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 2(10), pp. 1014–1021. doi: 10.17977/um063v2i102022p1014-1021.
- Ayun, A. Q. *et al.* 2021. 'Pengujian Toksisitas Akut LD50 Infusa Benalu Teh (*Scurrula* sp.) dengan Menggunakan Mencit (*Mus musculus*)', *Acta VETERINARIA Indonesiana*, 9(1), pp. 53–63. doi: 10.29244/avi.9.1.53-63.
- Chaniad, P. *et al.* 2023. 'Antimalarial efficacy and toxicological assessment of medicinal plant ingredients of Prabchompoothaweep remedy as a candidate for antimalarial drug development', *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 23(1), pp. 1–16. doi: 10.1186/s12906-023-03835-x.
- Dewi, S. P. *et al.* 2022. 'Pajak Lingkungan Sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran Udara Dari Gas Buang Kendaraan Bermotor Di Indonesia', *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Pajak*, 2(1), pp. 7–13. Available at: <https://ojs-ejak.id/index.php/Ejak>.
- Dutt, N. and King, A. A. 2014. 'The judgment of garbage: End-of-pipe treatment and waste reduction', *Management Science*, 60(7), pp. 1812–1828. doi: 10.1287/mnsc.2013.1827.
- Effendi, R., Salsabila, H. and Malik, A. 2018. 'Pemahaman Tentang Lingkungan Berkelanjutan', *Modul*, 18(2), pp. 75–82. doi: <https://doi.org/10.14710/mdl.18.2.2018.75-82>.
- Ferdnian, M. 2016. 'Analisis Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Dampaknya Terhadap Lingkungan di Kota Balikpapan (Kal-Tim)', *Transmisi*, XII(1), pp. 15–24.

- Fithri, N. K., Handayani, P. and Vionalita, G. 2016. 'Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Jumlah Mikroorganisme Udara Dalam Ruang Kelas Lantai 8 Universitas Esa Unggul', *Forum Ilmiah*, 13(1), pp. 21–26.
- Harihastuti, N. and Sari, I. R. J. 2011. 'Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri', *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 1(4), pp. 244–251.
- Herlambang, A. 2018. 'Peran Teknologi Dalam Pengendalian Pencemaran Lingkungan Hidup', *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 6(2), pp. 131–137. doi: 10.29122/jrl.v6i2.1923.
- Hernandi, M. F. *et al.* 2021. 'Implementasi Pengelolaan Dan Pemantauan Lingkungan Hidup Sekitar Kegiatan Kehutanan', *Buletin Poltanesa*, 22(2). doi: 10.51967/tanesa.v22i2.884.
- Hidayat, S., Utama, P. B. and Yolanda, Y. 2022. 'Kampanye Lingkungan dalam Rangka Memaksimalkan Potensi Pantai Saliper Ate sebagai Objek Wisata Keluarga', in *Seminar Nasional Paedagogia*, pp. 7–8. Available at: <http://journal.ummat.ac.id/index.php/fkip/article/view/10451%0Ahttps://journal.ummat.ac.id/index.php/fkip/article/download/10451/pdf>.
- Hidayati, N. V. *et al.* 2022. 'Identifikasi Pencemaran pada Lahan Basah (Wetland): Baseline Data dalam Mengatasi Ancaman Lingkungan untuk Ketahanan dan Keamanan Pangan', in *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-10 Tahun 2022, Palembang 27 Oktober 2022*, pp. 27–39.
- Huang, Xiu-Yan *et al.* 2023. 'A clinically feasible circulating tumor cell sorting system for monitoring the progression of advanced hepatocellular carcinoma', *Journal of Nanobiotechnology*, 21(1), pp. 1–16. doi: 10.1186/s12951-023-01783-9.

- Iqbal and Maummar, R. 2022. 'Kajian Polusi Udara Dari Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor', *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(2), pp. 125–132.
- Kurniawan, F. *et al.* 2022. 'Overview Metode Fitoremediasi Terhadap Penyerapan Logam Berat Pada Air Terkontaminasi Menggunakan Jenis Tumbuhan Air', *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, 1(1), pp. 247–254.
- McLean, P. *et al.* 2023. 'Establishing relationships between particle-induced in vitro and in vivo inflammation endpoints to better extrapolate between in vitro markers and in vivo fibrosis', *Particle and fibre toxicology*, 20(1), p. 5. doi: 10.1186/s12989-023-00516-y.
- Nanda, L. D., Tan, F. and Noer, M. 2019. 'Tingkat Partisipasi Masyarakat Dalam Program Penyelamatan Dan Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan Danau Maninjau', *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 8(2), pp. 105–115. doi: 10.15578/jksekp.v8i2.7432.
- Nurdjanah, N. 2014. 'EMISI CO2 AKIBAT KENDARAAN BERMOTOR DI KOTA DENPASAR', *Jurnal Transportasi Darat*, 14(02), pp. 144–150.
- Paramitadevi, Y. V., Resmeiliana, I. and Apriliani, F. 2019. 'Combining Both ends of pipe treatment and cleaner production-A Case study of tofu SME in Bogor', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/399/1/012052.
- Ratnani, R. D. 2017. 'Teknik Pengendalian Pencemaran Udara Yang Diakibatkan oleh Partikel', *Momentum*, 4(2), pp. 27–32. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/114195-ID-none.pdf>.

- Sasmito, W. A. *et al.* 2017. 'Pengujian Toksisitas Akut Obat Herbal Pada Mencit Berdasarkan Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)', *Jurnal Sain Veteriner*, 33(2), pp. 234–239. doi: 10.22146/jsv.17924.
- Siswanto, A. H., Bakti, I. and Wirakusumah, T. K. 2022. 'Pengelolaan Media Kampanye Duta Lingkungan dalam Mengurangi Sampah Plastik pada Program', *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, 4(5), pp. 6870–6875. Available at: <http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jpdk/article/view/7806>.
- Supriyanto. 2017. 'Strategi Pengendalian Kerusakan Dan Pencemaran Kawasan Pesisir Pantai', *jurnal Saintek Maritim*, 16(2), pp. 151–162. Available at: www.journal.uta45jakarta.ac.id.
- Widyanti, T. and Fatmawati, A. 2022. 'Deteksi Kelompok Enterobacteriaceae pada Tanah di Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir Sampah Tamangapa Kecamatan Manggala Makassar', *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 13(1), pp. 23–31. Available at: <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2/article/view/20453>.
- Yuningsih, R. 2019. 'Strategi Promosi Kesehatan dalam Meningkatkan Kualitas Sanitasi Lingkungan', *Aspirasi: Jurnal Masalah-masalah Sosial*, 10(2), pp. 107–118. doi: 10.46807/aspirasi.v10i2.1391.

BAB 5

BIOMARKER DAN BIOINDIKATOR

Oleh Lieza Corsita

5.1 Biomarker

5.1.1 Pengertian Biomarker

Kehadiran xenobiotic di lingkungan terutama logam berat merupakan resiko bagi organisme hidup. Salah satu metode untuk mengukur paparan xenobiotic dan potensi dampaknya pada organisme hidup terutama manusia adalah pemantauan pada penggunaannya yang disebut biomarker (Berniyanti, 2018).

Secara garis besar biomarker adalah suatu teknik untuk mengukur spesimen biologis yang dapat menjelaskan hubungan antara paparan lingkungan dengan terjadinya kerusakan atau efek merugikan pada suatu organisme. Pada biomarker, respon biologis yang diukur berada pada level terendah dalam jaringan biologis, seperti: respon molekuler, biokimia dan fisiologis, sehingga hasil yang diberikan bersifat jangka pendek dan sangat sensitif yaitu respon organisme terhadap stressor di lingkungan. Definisi lain dari biomarker adalah perubahan biokimia, selularitas, fisiologi atau perilaku, jaringan atau cairan tubuh, atau semua bagian organisme yang memberikan bukti adanya paparan polutan kimia dan mungkin juga menunjukkan efek toksik (Hagger et al., 2009).

Pemantauan biologis memiliki kelebihan dibandingkan pemantauan lingkungan karena mengukur dosis internal senyawa. Perbedaan antar individu harus diperhitungkan baik dalam penyerapan, bioavailabilitas, ekskresi maupun perbaikan DNA. Selain itu perbedaan intraindividu sebagai konsekuensi dari perubahan fisiopatologi tertentu yang terjadi dalam periode waktu tertentu juga harus dipertimbangkan. Ini melibatkan sebuah

control biologis individual untuk mengevaluasi paparan xenobiotic tertentu. Biomarker adalah titik akhir yang diamati yang mengindikasikan peristiwa dalam proses yang mengarah ke penyakit. Metode ini sangat berguna dalam evaluasi penyakit progresif yang manifestasi gejalanya lama setelah paparan dimulai (Berniyanti, n.d.; Madelaire et al., 2020; Mariadi et al., 2022).

Biomarker biokimia dan fisiologis yang dikombinasikan dengan analisis kimia sangat penting untuk menentukan gradien polusi, efek subletal pada biota, dan dampak polutan terhadap lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian biomarker telah membantu mengidentifikasi perlunya perbaikan di berbagai ekosistem laut (Madelaire et al., 2020; Tang et al., 2022), Dalam beberapa dekade terakhir, karena banyaknya limbah industri, pertanian, komersial, domestik, dan zat berbahaya lainnya yang dibuang, pencemaran lingkungan semakin meningkat. Sebagian besar pencemaran lingkungan yang mengancam kesehatan manusia, sebagian besar polutan kimia ini masuk ke lautan, sungai, danau dan lahan basah.

5.1.2 Klasifikasi dan kriteria Biomarker

Menurut Ghost et al (2015) serta naray dan kudasz (2016) dalam buku Bioindikator (Teori dan Aplikasi dalam Biomonitoring), biomarker diklasifikasikan kedalam tiga kategori tergantung pada penggunaannya atau konteks spesifikasi dimana uji tersebut digunakan (Husamah & Rahardjanto, 2019) :

1. Biomarker paparan (*biomarker of exposure*)

Biomarker paparan (*biomarker of exposure*) adalah substansi, atau metabolitnya, atau produk dari interaksi yang diukur dalam kompartemen atau cairan tubuh. Secara umum, biomarker paparan digunakan untuk memprediksi dosis yang diterima oleh individu, yang dapat dikaitkan dengan perubahan yang mengashilkan status penyakit.

2. Biomarker efek (*biomarker of effect*)

Biomarker efek (*biomarker of effect*) adalah perubahan terukur (biokimia, struktural, fungsional, perilaku, dan lain-lain) dalam suatu organisme yang dapat dikaitkan dengan gangguan kesehatan atau penyakit yang mapan atau potesial. Penyakit awal menunjukkan perubahan biokimia atau fungsional awal, mulai dari adaptasi alami hingga penyakit. Biomarker efek didefinisikan sebagai biokimia terukur, fisiologis, perilaku, atau perubahan lain dalam suatu organisme yang, menurut besarnya mereka, dapat diakui sebagai gangguan kesehatan atau penyakit yang potensial.

3. Biomarker kerentanan (*biomarker of susceptibility*)

Biomarker kerentanan (*biomarker of susceptibility*) adalah penanda kemampuan untuk mengapai tantangan paparan bahan kimia secara negatif. Gen dapat membuat individu tertentu lebih rentan terhadap racun seperti timbal (kelada et al, 2001 dalam ((Husamah & Rahardjanto, 2019.)). Biomarker kerentanan biasanya tidak digunakan dalam biomonitoring rutin.

5.2 Bioindikator

5.2.1 Pengertian Bioindikator

Bioindikator adalah spesies atau kelompok spesies yang dapat mencerminkan keadaan lingkungan abiotik atau biotik, mewakili perubahan dampak lingkungan pada habitat, komunitas atau ekosistem, dan indikator keragaman taksa atau seluruh keragaman dalam suatu area (Husamah & Rahardjanto, 2019). Secara umum Bioindikator merupakan kelompok atau komunitas organisme yang saling berhubungan, yang keberadaanya atau perilakunya sangat erat berhubungan dengan kondisi lingkungan tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai satu petunjuk kualitas

lingkungan atau uji kuantitatif (Husamah & Rahardjanto, 2019; Setyono & Soetarto, 2008). Bioindikator juga menunjukkan sensitivitas dan/atau toleransi terhadap kondisi lingkungan sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai alat penilai kondisi lingkungan (Ahmad et al., 2015; Anas et al., 2022; Saleh et al., 2021).

Suatu organisme yang dapat memberikan respon, indikasi, peringatan dini, representasi, refleksi, dan informasi kondisi atau perubahan suatu ekosistem disebut bioindikator ((Gerhardt, 2002; Han et al., 2015; Husamah & Rahardjanto, 2019). Bioindikator juga berarti organisme maupun anggota komunitas yang mampu memberikan informasi terkait kondisi lingkungan secara parsial, bagian kecil, atau keseluruhan.

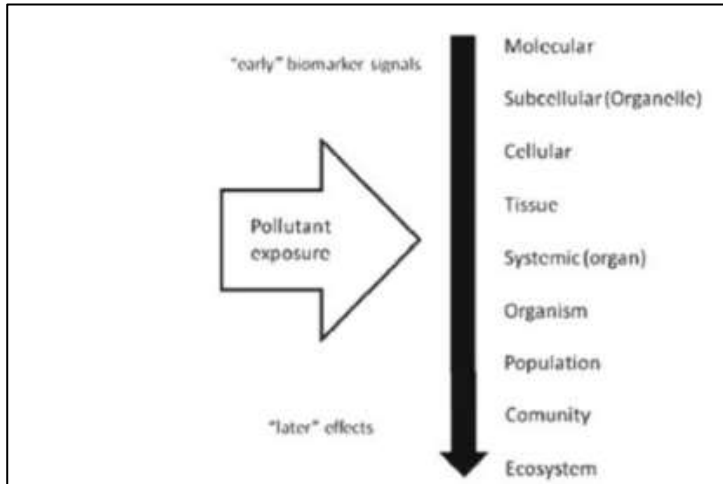
Bioindikator terkadang lebih dapat dipercaya daripada indikator kimi. Pabrik yang membuang limbah ke sungai dapat mengatur pembuangan limbahnya ketika akan dikontrol oleh pihak yang berwenang. Pengukuran secara kimia pada limbah pabrik tersebut selalu menunjukkan tidak adanya pencemaran. Tetapi tidak demikian dengan makhluk hidup yang menghuni ekosistem air secara terus menerus. Di sungai terdapat hewan-hewan, mikroorganisme, bentos, mikroinvertebrata, ganggang, yang dapat dijadikan bioindikator ((Ahmad et al., 2015; Anas et al., 2022; Bai et al., 2018; Ferdous & Muktadir, 2009; Gerhardt, 2002; Nurza et al., 2022; Saleh et al., 2021)

5.2.2 Keutamaan Biondikator

A. Respon Organisme Terhadap Pencemaran

Organisme dalam habitatnya secara konstan mendapat pengaruh oleh berbagai polutan. Polutan mungkin berinteraksi dengan kehidupan organisme mendukung sesuatu yang abnormal dan hal itu mungkin dari tingkat molekuler sampai konsekuensi serius pada ekosistem ((Gerhardt, 2002; Han et

al., 2015; Husamah & Rahardjanto, 2019). Hal ini seperti disajikan pada Gambar 5.1.



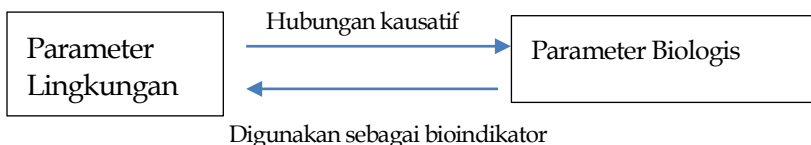
Gambar 5.1. Representasi Skematik Polutan Terhadap Sistem Biologi
(Sumber : Husamah & Rahardjanto, 2019)

Indikator dapat meliputi beberapa variasi skala dari aspek makro molekul, sel, organ, organisme, populasi, biocoenosiosis (ekosistem), sehingga bentuk indikator meliputi : (1) reaksi biokimia dan fisiologi, (2) abnormalitas anatomi, morfologi, bioritme, dan tingkah laku, (3) perubahan populasi hewan atau tumbuhan secara kronologis, (4) perubahan pada eksosistem gabungan ekosistem, (5) perubahan pada struktur ataupun fungsi eksosistem, dan (6) perubahan bentuk lahan atau *landscape* (Gerhardt, 2002; Han et al., 2015).

Timbulnya variasi dalam suatu populasi tergantung pada sensitifitasnya terhadap fluktuasi perubahan lingkungan, yakni interaksi antara spesies yang ada. Setiap spesies yang

ada akan menunjukkan efek yang berbeda dalam menanggapi suatu kompetensi, dan biodiversitas yang meningkat pada suatu komunitas akan sangat mendukung terwujudnya stabilitas komunitas tersebut (Setyono & Soetarto, 2008).

Pengembangan sistem bioindikator dapat dilihat sebagai hubungan timbal balik antara faktor lingkungan dengan parameter biologis. Karakter parameter biologis tersebut diantaranya adalah komposisi jenis, gejala kerusakan suatu organisme, tubuh yang terkontaminasi polutan, induksi dan penghambatan enzim. Efektif tidaknya suatu bioindikator yang digunakan ditentukan oleh keterkaitan antara faktor lingkungan dan parameter biologis. Interaksi antara kedua parameter ini ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Skema Hubungan Antara Faktor Lingkungan Dengan Parameter Biologi
(Sumber : Husamah & Raharjanto,2019)

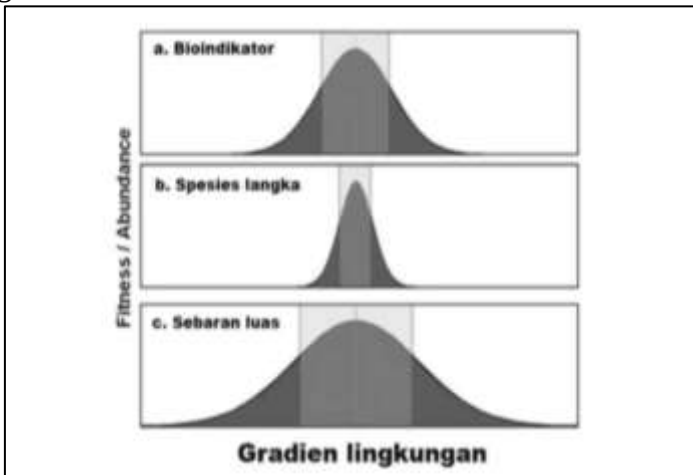
Faktor lingkungan berpengaruh terhadap parameter biologis dalam bentuk hubungan sebab-akibat (Kausatif). Bila parameter biologis menjadi indikator maka harus dipandang kebalikan dari hubungan kausatif. Syarat untuk menetapkan atau memilih organisme sebagai bioindikator, yaitu: (1) takson yang tinggi atau lebih tinggi, harus memiliki takson dengan taksonomi jelas, diketahui secara terperinci, dan mudah untuk diidentifikasi; (2) status biologi diketahui jelas, peka terhadap tekanan maupun perubahan lingkungan; (3) organisme memiliki kelimpahan tinggi dan mudah

disurvei/diamati ; (4) tersebar dalam ruang dan waktu, dan (5) memiliki hubungan yang kuat dengan komunitas yang luas atau tidak memiliki hubungan kuat dengan komponen tekanan (Gerhardt, 2002; Husamah & Rahardjanto, 2019.)

Pada semua proses biologis, spesies atau komunitas dapat berfungsi sebagai bioindikator yang tepat. Faktor fisik, kimia dan biologis (misalnya substrat, cahaya, suhu dan persaingan) umumnya bervariasi di lingkungan. Sering waktu, populasi mengembangkan strategi untuk memaksimalkan pertumbuhan dan reproduksi (*fitness*) dalam rentang faktor lingkungan tertentu. Diluar lingkungan individu yang optimal, atau rentan toleransi, fisiologi dan/atau perilaku dapat terpengaruh secara negatif, mengurangi *fitness* secara keseluruhan. Spesies bioindikator secara efektif menunjukkan kondisi lingkungan karena toleransinya yang moderat terhadap variabilitas lingkungan (Gambar 5.3). daya tahan/toleransi berkurang, kemudian dapat mengganggu dinamika populasi dan mengubah komunitas secara keseluruhan (Gambar 5.3) sebaiknya, spesies-spesies langka dengan toleransi sempit sering terlalu sensitif terhadap perubahan lingkungan, atau terlalur jarang ditemui, untuk mencerminkan respon biotik secara umum. Demikian juga, spesies-spesies dengan toleransi yang sangat luas kurang sensitif terhadap perubahan lingkungan. Penggunaan bioindikator, tidak hanya terbatas. Seluruh komunitas, mencakup berbagai toleransi lingkungan, dapat berfungsi sebagai bioindikator dan mewakili berbagai sumber data untuk menilai kondisi lingkungan dalam "*biotic index*" atau pendekatan "*multimetric*".

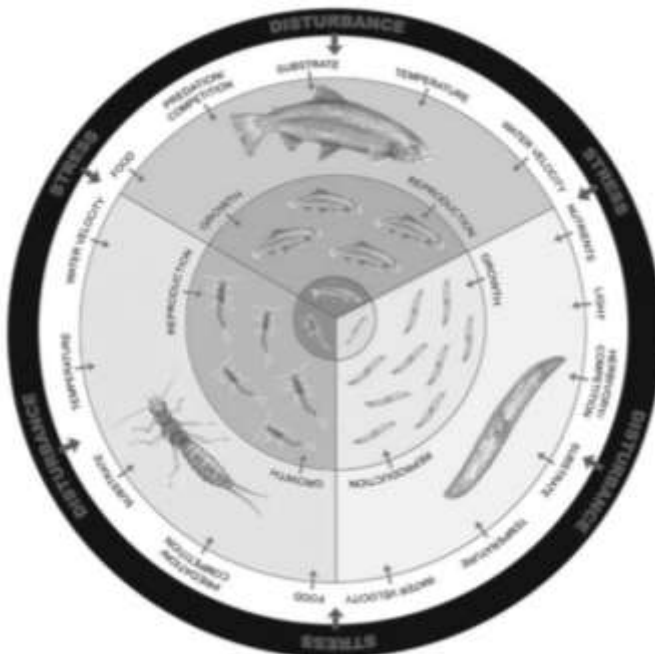
Kemudian pada proses biologis pada suatu organisme dapat digunakan sebagai bioindikator. Sebagian besar individu memiliki toleransi suhu antara 20-25°C ; dengan demikian, sensitifitas suhu mereka dapat digunakan sebagai bioindikator

suhu air. Pengembalaan ternak, pembakaran dan penebangan adalah contoh gangguan yang berhubungan dengan manusia yang dapat meningkatkan suhu air di sungai-sungai dan dideteksi oleh ikan-ikan liar di berbagai skala biologis (Gambar 5.4). Respon langsung adanya perubahan suhu terjadi pada tingkat sel. Kita dapat mengukur tingkat hsp untuk mengukur tekanan suhu pada ikan trout liar dan menilai bagaimana lingkungan telah berubah. Jika tekanan suhu tetap ada, maka perubahan fisiologi seperti itu biasanya dapat dibatasi pada tingkat individu melalui perubahan perilaku, perlambatan pertumbuhan, dan pengurangan laju perkembangan. Pada contoh paling ekstrim, perubahan suhu yang besar dan terus menerus dapat mengurangi jumlah populasi dan bahkan mengarah pada terjadinya kepunahan lokal, sehingga menyebabkan pergeseran komposisi ke perikanan air hangat.



Gambar 5.3. Perbandingan Toleransi Lingkungan Terhadap (a) Bioindikator (b) Spesies Langkah dan (c) Spesies yang Ada Di Mana-Mana/Sebaran Luasan. (Sumber : (Holt & Miller, 2011)

Area merah pada gambar 5.3 mewakili bagian dari gradien lingkungan (misalnya, ketersediaan cahaya dan nitrogen) dimana individu spesies, atau komunitas, memiliki *fitness* atau kelimpahan yang lebih besar dari nol. Garis putus-putus menunjukkan kinerja puncak sepanjang gradien lingkungan tertentu ini, sementara kotak kuning termasuk rentang atau toleransi optimal. Bioindikator memiliki toleransi yang moderat terhadap variabilitas lingkungan, dibandingkan dengan spesies langka dan dimana-mana. Toleransi ini memberikan mereka kepekaan untuk menunjukkan perubahan lingkungan, namun ketahanan untuk menahan beberapa variabilitas dan mencerminkan respon biotik umum.



Gambar 5.4. Diagram Tingkat hierarkis suatu ekosistem yang merespon gangguan antropogenik atau tekanan alami
(Sumber : Holt & Miller, 2011)

Lingkaran putih gambar 6.4 merupakan variabel lingkungan mencakup faktor-faktor yang dapat diubah secara langsung oleh gangguan atau stress. Perubahan ini kemudian dapat mempengaruhi organisme individu, populasi, atau komunitas secara keseluruhan. Cincin berwarna terluar mewakili organisme individu (ikan trout, *pteronarcys salmonfly*, dan *phaeodactylum diatom*), cincin berwarna paling dalam mewakili komunitas dimana ketika spesies hidup berdampingan. Gangguan dan stres dapat secara positif atau negatif mempengaruhi sumber daya energi (misalnya makan dan cahaya), interaksi biotik (misalnya persaingan, predasi, dan herbivora), dan fisik (misalnya kecepatan air dan substrat tempat organisme menempel sel bertelur), atau lingkungan kimia (misalnya nutrisi). Perubahan lingkungan ini dapat meningkatkan atau mengurangi pertumbuhan dan reproduksi organisme, akibatnya berdampak pada ukuran dan produktivitas populasi dan interaksi dengan spesies lain di masyarakat.

B. Tipe Bioindikator

Menurut Husamah dan Rahardjanto (2019), Bioindikator dalam aplikasinya dikelompokkan dalam tiga kategori yaitu ;

1. Indikator Lingkungan

Merupakan organisme atau kelompok populasi yang peka yang akan adanya lingkungan rusak, tercemar atau mengalami perubahan kondisi. Indikator lingkungan dibagi menjadi lima lagi yaitu, sentinels, detektor, eksploiter, akumulator, dan bioassay organisme.

2. Indikator Ekologis

Merupakan takson atau kelompok yang peka akan adanya tekanan terhadap lingkungan, mengindikasikan

dampak tekanan terhadap makhluk hidup dan respon diwakili oleh sampel takson di habitat itu.

3. **Indikator Keanekaragaman Hayati**

Merupakan kelompok takson atau fungsional mengindikasikan beberapa ukuran keanekaragaman atau kekayaan jenis, kekayaan sifat, dan status endemisitas takson di atasnya pada habitat tertentu. Indikator biodiversitas dapat dibedakan menjadi 3 kelompok yaitu kelompok referensi, kelompok kunci dan kelompok *focal*.

Berdasarkan fungsinya bioindikator dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu :

1. **Indikator** (Absensi atau kehadirannya menyimpulkan tentang permasalahan lingkungan)
2. **Spesies uji** (tanggapannya mengindikasikan tentang permasalahan yang luas, spesies uji umumnya memiliki standarisasi yang tinggi)
3. **Monitor** (menyediakan bukti dan adanya perubahan, kesimpulan kuantitatif)

Berdasarkan status makhluk hidupnya, bioindikator dibagi menjadi dua yaitu ;

1. **Fitoindikator**

Pada penerapannya memiliki beberapa manfaat, yaitu (a) menunjukkan adanya paparan polutan, (b) memudahkan identifikasi racun, (c) menjadi indikator *early warning* (peringatan dini) kerusakan lingkungan, dan melengkapi data analisis mengenai dampak lingkungan hidup (AMDAL)

2. **Zooindikator**

- a. *Keystone species* dan *endangered species*
- b. *Bioindication sensu lato* (secara luas)

C. Kriteria Mahkluk Hidup Sebagai Bioindikator

Pedoman mengenai makhluk yang dapat digunakan sebagai bioindikator yaitu :

1. Spesies *steno* (kisaran toleransi sempit) lebih baik dipakai sebagai indikator dibanding dengan spesies yang *euri* (kisaran toleransi luas).
2. Spesies yang dewasa lebih baik dipakai sebagai indikator dibanding dengan yang masih mudah.
3. Sebelum mempercayai penampakan makhluk sebagai indikator ekologis, maka terlebih dahulu ada bukti yang cukup bahwa suatu faktor yang dipermasalahkan memang benar dapat membatasi.
4. Banyak hubungan diantara jenis, populasi, dan komunitas seringkali memberikan indikator yang lebih dapat dipercaya daripada satu jenis yang tunggal karena integrasi keadaan yang lebih baik dicerminkan oleh keseluruhan daripada oleh sebagian.

Selain itu beberapa kriteria umum yang dapat digunakan untuk menggunakan suatu jenis organisme sebagai bioindikator adalah :

1. Secara taksonomi tela stabil dan cukup diketahui
2. Sejarah alamianya diketahui
3. Siap dan mudah disurvey dan dimanipulasi
4. Taksa yang lebih tinggi terdistribusi secara luas pada berbagai tipe habitat
5. Taksa yang lebih rendah spesialis dan sensitif terhadap perubahan habitat
6. Pola keanekaragaman menggambarkan atau terkait dengan taksa lainnya yang berkerabat atau tidak.
7. Memiliki potensi ekonomi yang penting.

Sementara itu, Holt dan Milner (2011) telah menjelaskan ciri-ciri bioindikator yang baik, sebagaimana disajikan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1. Ciri-Ciri Bioindikator Yang Baik

No	Ciri-Ciri	Keterangan
1	Kemampuan indikator yang bagus	a) Berikan respon yang terukur (peka terhadap gangguan atau stres tetapi tidak mengalami mortalitas atau mengakumulasi polutan langsung dari lingkungan mereka) b) Tanggapan mencerminkan keseluruhan tanggapan populasi, komunitas, dan /atau komunitas c) Tanggapan secara proporsional dengan tingkat kontaminasi atau degradasi
2	Berlimpah dan umum	a) Kepadatan penduduk lokal yang memadai (spesies langka tidak optimal) b) Umum, termasuk distribusi dalam area pertanyaan c) Relatif stabil meskipun variabilitas iklim dan lingkungan sedang
3	Dipelajari dengan baik	a) Ekologi dan sejarah kehidupan dipahami dengan baik b) Didokumentasikan secara taksonomi dan stabil c) Mudah dan murah untuk disurvei
4	Secara ekonomi dan komersial penting	a) Spesies yang sudah dipanen untuk tujuan lain b) Kepentingan publik atau kesadaran akan spesifikasi

Sementara itu, kriteria bioindikator untuk mengevaluasi kondisi hutan (disajikan pada tabel 5.2), yang juga dapat menjadi pertimbangan dalam monitoring berbagai ekosistem lainnya.

Tabel 5.2. Kriteria Bioindikator Yang Baik

No	Kriteria	Deskripsi Singkat
1	Merespon gangguan pada skala yang ada	Mampu merespon adanya gangguan sesuai dengan skala yang ditentukan
2	Mobilitas terbatas	Kemampuan untuk menyebar bersifat rendah
3	Sensitif terhadap fragmentasi/ membutuhkan kesinambungan	Mampu merespon adanya fragmentasi
4	Respon adanya gangguan manusia (manusia dan alam) diketahui	Adanya dokumen tentang kajian yang menunjukkan respon terhadap gangguan
5	Variabilitas respon rendah	Fluktuasi populasi rendah memiliki reliabilitas sebagai indikator
6	Pengetahuan tentang sejarah organisme secara alami, afiliasi habitat dan interaksi dengan organisme lain, serta peran dalam ekosistem	Studi yang cukup memberikan informasi yang diperlukan tentang kondisi ekologi dari organisme tersebut
7	Taksonomi yang jelas	Taksonomi dokumentasi dengan baik dan tersedia
8	Spesialis food-habitat	Membutuhkan sumber daya yang spesifik untuk bisa hadir atau hidup di habitat tersebut

No	Kriteria	Deskripsi Singkat
9	Kompatibilitas internasional	Bersifat potensial untuk digunakan secara internasional
10	Persyaratan data rendah	Tidak memerlukan penelitian lapangan pendahuluan
11	Keterampilan yang dibutuhkan rendah	Tidak memerlukan keahlian khusus
12	Biaya rendah	Koleksi data yang membutuhkan biaya rendah

D. Kelebihan Bioindikator Dibandingkan Teknik Lainnya

Sejak dahulu, para ilmuawan secara tradisional melakukan tes kimia dan parameter fisik lingkungan yang diukur secara langsung (misalnya, suhu lingkungan, salinitas, nutrisi, polutan, cahaya yang tersedia dan tingkat gas), sedangkan penggunaan bioindikator menggunakan biota untuk menilai dampak kumulatif dari kedua polutan kimia. Dan perubahan habitat dari waktu ke waktu. Konsekuensinya, penggunaan bioindikator secara fundamental berbeda dari ukuran klasik kualitas lingkungan dan menawarkan banyak keuntungan. Manfaat dari penggunaan bioindikator adalah kemampuan mereka untuk menunjukkan efek biotik polutan secara tidak langsung ketika banyak pengukuran fisik atau kimi tidak bisa.

Kemudian mempertimbangkan 1,7 juta spesies yang saat ini didokumentasikan di bumi, bagaimana kita memilih hanya satu sebagai bioindikator ? jawabanya adalah tidak ada spesies tunggal yang dapat secara memadai menunjukkan setiap jenis gangguan atau stres disemua lingkungan. Tergantung pada lingkungan spesifik, spesies yang ada, dan

gangguan lokal, spesies bioindikator yang tepat atau kelompok spesies perlu dipilih.

Banyak manfaat dari bioindikator telah mendorong mandat legislatif untuk penggunaanya di negara-negara di seluruh dunia dan inklusi mereka dalam beberapa perjanjian internasional. Bioindikator dapat digunakan pada berbagai skala, dari seluler hingga tingkat ekosistem, untuk mengevaluasi kesehatan ekosistem tertentu. Informasi dapat dikumpulkan dari komponen biologis, fisik, dan kimia di dunia kita yang memanifestasikan diri sebagai perubahan dalam kesehatan individu, kepadatan penduduk, komposisi komunitas, dan proses ekosistem. Dari perspektif manajemen, bioindikator menginformasikan tindakan kita mengenai apa yang dan tidak berlanjut secara biologis. Manfaat bioindikator pada pemantauan dan analisis pencemaran lingkungan memainkan peran penting dalam pengembangan dan penerapan strategi pengendalian polusi, dan dalam menentukan keefektifannya dan juga dalam penyediaan informasi 'dasar' terhadap dampak lingkungan dari kegiatan tertentu yang diukur. Dengan mengkaji dan mendalami materi bioindikator dan biomonitoring, mahasiswa diharapkan memahami dan menggunakan konsep dasar bioindikasi: organisme indikator, biomarker, toleransi dan resistensi, sensitivitas organisme, pemantauan biologis. Mahasiswa diharapkan mengetahui dan menggunakan dalam praktek metode bioindikasi yang paling penting dalam menilai tingkat polusi udara, keadaan masyarakat hutan dan kualitas air dan tanah. Mahasiswa juga mampu mempelajari perubahan historis kondisi lingkungan berdasarkan analisis konsentrasi berbagai jenis biomarker dalam sedimen air. Selain itu, diharapkan mahasiswa juga mampu merencanakan dan melaksanakan tugas penelitian, dan menarik kesimpulan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., Azman, S., Mohd Said, M. I., & Lavania-Baloo. 2015. Tropical seagrass as a bioindicator of metal accumulation. *Sains Malaysiana*, 44(2). <https://doi.org/10.17576/jsm-2015-4402-06>
- Anas, M. H., Japa, L., & Khairuddin, K. 2022. Phytoplankton Community as A Bioindicator for Water Quality of Sumi Dam, Bima Regency. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(1). <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i1.3109>
- Bai, Y., Wang, Q., Liao, K., Jian, Z., Zhao, C., & Qu, J. 2018. Fungal Community as a Bioindicator to Reflect Anthropogenic Activities in a River Ecosystem. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03152>
- Berniyanti, T. (n.d.). *Biomarker Toksisitas Paparan Logam Tingkat Molekuler*.
- Ferdous, Z., & Muktadir, A. K. M. 2009. A Review: Potentiality of Zooplankton as Bioindicator. *American Journal of Applied Sciences*, 6(10). <https://doi.org/10.3844/ajassp.2009.1815.1819>
- Gerhardt, A. 2002. Bioindicator species and their use in biomonitoring. In: *UNESCO, Editor. Encyclopedia of Life Support Systems. Oxford(UK): UNESCO, EOLSS. 50 p.*
- Hagger, J. A., Galloway, T. S., Langston, W. J., & Jones, M. B. 2009. Application of biomarkers to assess the condition of European Marine Sites. *Environmental Pollution*, 157(7), 2003–2010. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.02.038>
- Han, Y. G., Kwon, O., & Cho, Y. 2015. A study of bioindicator selection for long-term ecological monitoring. *Journal of Ecology and Environment*, 38(1). <https://doi.org/10.5141/ecoenv.2015.013>

- Holt, E. A., & Miller, S. W. 2011. Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. *Nature Education Knowledge*, 3(10).
- Husamah, & Rahardjanto, A. (n.d.). *Bioindikator (Teori dan Aplikasi dalam Biomonitoring)*.
- Madelaire, C. B., Gomes, F. R., & Sokolova, I. 2020. Biomarker-based assessment of the muscle maintenance and energy status of anurans from an extremely seasonal semi-arid environment, the Brazilian Caatinga. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 240, 110590. <https://doi.org/10.1016/J.CBPA.2019.110590>
- Mariadi, P. D., Kurniawan, I., Anita, T., & Ngole, B. B. R. 2022. Penggunaan Darah sebagai Biomarker Paparan Logam Cadmium Masyarakat Pesisir Sungai Musi (Efek terhadap Eritrosit dan Leukosit). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 18(2), 208. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v18i2.6967>
- Nurza, I. S. A., Vania, J. G., Reynaldi, M. K., Rasyid, Z. G., & Icomala, R. 2022. NEUSTON DIVERSITY AND DENSITY AS BIOINDICATOR FOR WATER QUALITY. *Biotropia*, 29(1). <https://doi.org/10.11598/btb.2022.29.1.1662>
- Saleh, I., Syamsir, S., Pramaningsih, V., & Hansen, H. 2021. The use of green mussel as bioindicator of heavy metal pollution in indonesia: A review. In *Environmental Health and Toxicology* (Vol. 36, Issue 4). <https://doi.org/10.5620/eaht.2021026>
- Setyono, P., & Soetarto, E. S. 2008. Biomonitoring of ecosystem degradation caused by CPO waste of Mentaya River in Central Kalimantan use of esterase isozym electromorf method. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 9(3). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d090317>

Tang, M., Chen, Y., Xian, H., Tan, S., Lian, Z., Peng, X., & Hu, D. 2022. Circulating exosome level of indigenous fish may be a novel biomarker for the integrated ecotoxicity effect of water environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113084>

BAB 6

EFEK POLUTAN PADA INDIVIDU, POPULASI DAN KOMUNITAS

Oleh Bambang Suhartawan

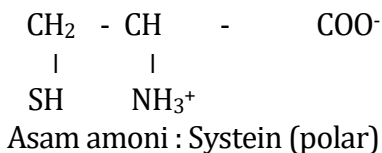
6.1 Efek Polutan pada Individu (Biokimia Polutan)

Masuknya polutan pada tubuh suatu organisme (*uptake*) dapat berakibat terjadinya perubahan dalam tubuh organisme. Perubahan ini merupakan *respon protektif* (perlindungan organisme terhadap efek toksit yang ditimbulkan polutan atau bersifat *respon non protektif* (manifestasi toksit). Salah satu contoh respon protektif adalah *Induksi monooxygenases (mixed function oxidases – MFO)*. Sedangkan contoh yang bersifat respon non protektif adalah pembentukan *dioxyrinucleic acid (DNS) adduct* dan penghambatan *asetilkolinesterase (AChE)*.

Tabel 6.1. Respon yang bersifat *protektif* dan *non protektif* terhadap polutan (Walker et al, 2001)

Tipe Respon	Contoh	Konsekuensi
Protektif	Induksi monooxygenases, (mixed function oxydases – MFO)	Peningkatan laju metabolisme polutan menjadi lebih mudah larut dalam air dan terjadi peningkatan laju ekskresi.
	Induksi metallothionein	Laju pengikatan logam untuk meningkatkan bioavaibilitas meningkat.
Non- Protektif	Penghambatan AChE	Efek toksit timbul apabila proses penghambatan AChE mencapai 50%
	Formasi DNA Adduct	Berakibat terjadinya mutasi.

Metallothionein adalah adalah merupakan protein stres yang terkandung pada hewan dan tumbuhan. Protein ini memiliki sedikit asam amino aromatik dan berat molekul rendah. Metallothionein mengandung banyak sitein yang bersifat polar berupa residu dan tereduksi sebesar 26 % hingga 33 % sehingga berkemampuan yang tinggi bereaksi mengikat logam.



Gambar 6.1. Asama mini Sisteine

Peran utama dari metallothionein adalah membantu proses detoksifikasi logam berat (Hg^{2+} dan Cd^{2+}), metabolisme ion Zn^{2+} dan Cu^{2+} , detoksifikasi oksigen reaktif dan metabolisme metalldrugs dan alkylating agents.

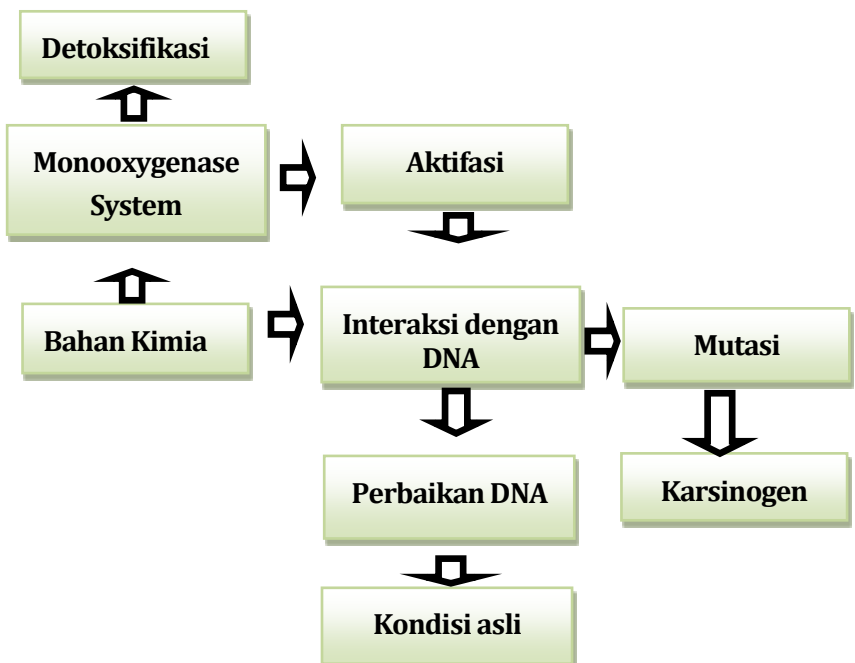
Polutan organofosfat (PO) dapat mengakibatkan adanya Penghambatan zat asetilkolinesterase (AChE). Gugus fungsional AChE berupa hidroksil diikat oleh OP sehingga enzim yang terfosforilasi tidak mampu mengkatalisis hidrolisis asetilkolin menjadi asam asetat dan kolin.

Setelah toksikan kontak dengan individu selanjutnya toksikan akan terjadi proses toksikokinetik yang merupakan tahapan yang terdiri dari absorpsi, distribusi, metabolisme dan ekskresi. Besarnya toksikan yang diabsorpsi merupakan dosis internal yang siap untuk didistribusikan ke seluruh tubuh. Sedangkan dosis target merupakan dosistoksikan hasil metabolisme yang berikatan dengan organ target, dimana respon toksiknya dapat diamati. Ada dua macam dosis toksikan yaitu dosis total (*total dose*) dan dosis fraksi (*fraction dose*).

Efek dari polutan terutama yang bersifat toksik merupakan perubahan struktur ataupun fungsi pada tingkat subseluler sampai pada tingkat organisme hidup akibat terpapar polutan toksikan/bahan kimia yang dapat terjadi secara lokal maupun sistemik.

Efek toksik akibat terpaparnya toksikan menurut gejala yang timbul dapat dibedakan menjadi empat (Laura Robinson, 2014), yaitu:

1. Perubahan menjadi tidak normal;
2. Bersifat lokal/sistemik;
3. Reversible atau irreversible;
4. Spontan atau tertunda.



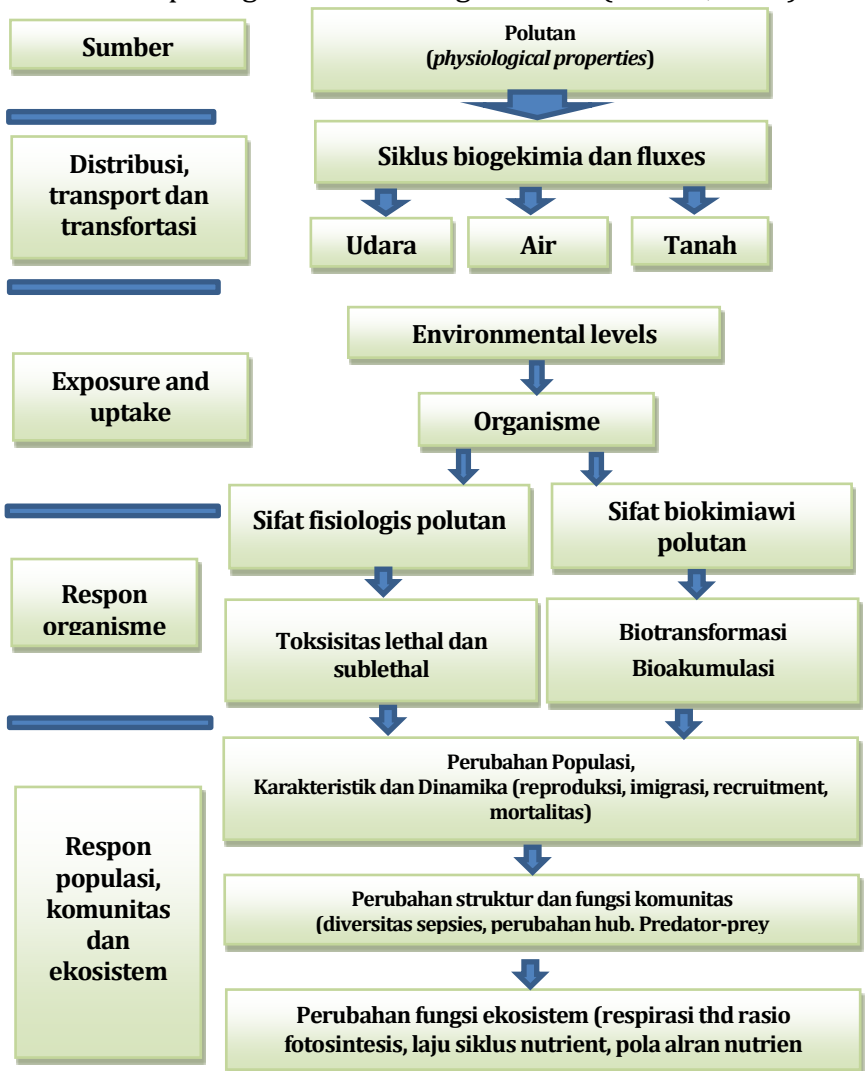
Gambar 6.2. Jalur aktivasi dan detoksifikasi bahan kimia
Sumber : Walker et al 2001

Dari gambar tersebut menjelaskan bahwa bahan kimia dapat mengalami detoksifikasi dan aktivasi dengan katalis *monooxygenase* (MFO) melalui reaksi biotransformasi.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efek polutan yang bersifat toksikan pada individu:

1. Aktivitas Toksikan
Konsentrasi toksikan semakin tinggi akan semakin aktif toksikan tersebut.
2. Sifat Toksikan
Ada dua sifat toksikan yaitu kimia dan fisika seperti titik didih, tekanan uap, polaritas dan ukuran partikel.
3. Durasi Paparan
Durasi paparan adalah berapa lama individu terpapar polutan. Semakin lama individu terpapar semakin tinggi efek yang dirasakan oleh individu tersebut.
4. Frekuensi
Frekuensi paparan merupakan interval waktu atau seberapa sering individu terpapar polutan. Semakin sering individu terpapar polutan semakin tinggi efeknya.
5. Rute Paparan
Rute paparan adalah media atau sarana yang dilalui oleh polutan masuk ke dalam tubuh individu.
6. Sensitivitas dan Keberagaman Individu
Sensitivitas dan keberagaman individu menyebabkan ketidak saannya efek yang terjadi ketika individu terpapar polutan.
7. Lingkungan
Kondisi lingkungan seperti suhu udara, tempat kerja, sarana istirahat sangat berpengaruh terhadap cepat lambatnya terjadinya efek polutan terhadap individu. Semakin tinggi suhu udara semakin mudah polutan terpapar.

Efek polutan terhadap individu, populasi, komunitas dan ekosistem dapat digambarkan sebagai berikut (Francis, 1994) :



Gambar 6.3. Efek polutan terhadap individu, populasi, komunitas dan ekosistem

Berdasarkan lokasi terjadinya efek toksit, ada tiga kategori efek yaitu efek lokal, sistemik, dan efek target organ. Berikut merupakan jenis-jenis efek lokal :

Tabel 6.2. Jenis-jenis efek lokal

No	Efek	Toksikan	Gejala/Tanda
1	Iritasi	Larutan (kulit), klorin, amoniak, nitrogen dioksida, dan fosgen (membrane mucus)	Membran mukus pada hidung, mata, mulut dan saluran pernapasan atas akan terjadi inflamasi.
2	Korosif	Sodium hidroksida, asam hidroklorit, asam nitrat,dan asam sulfat.	Orga tubuh yang terkena kontak akan terjadi kerusakan permanen.
3	Asfiksia	Nitrogen dan Hidrogen	Berkurangnya konsentrasi oksigen di udara yang terhirup oleh perpindahan fisik (<i>simple asfiksia</i>) menuju ke hipoksia
		Karbon monoksida, Hidrogen sulfida, dan Sianida	Transportasi oksigen di dalam tubuh karena reaksi kimia (asfiksia kimia) semakin berkurang.
4	Kerusakan kulit (toksisitas dermal)	Bahan kimia yang mengakibatkan korosif, iritasi atau alergi pada kulit,	Iritasi, korosif atau reaksi alergi
		Pelarut organik	Terjadi pelarutan lemak pada organ tubuh yang banyak mengandung banyak lemak sehingga lemak

No	Efek	Toksikan	Gejala/Tanda
			pada organ tubuh semakin berkurang , dan berakibat kulit menjadi kering dan pecah-pecah (dermatitis).
5	Kerusakan pada system pernapasan (Toksistas pernapasan atau paru)	Sulfur dioksida	Gamgguan pada pernapasan, hidung berdarah, hingga terjadi penyumbatan saluran pernapasan.
		Amonia	Terjadi penyempitan pada saluran udara yang disebabkan karena iritasi dan alergi.
		Isosianat, formaldehid	Memiliki bau yang menyengat dan berdampak kerusakan tenggorokan (bronkitis permanen)
		Sulfur dioksida, asap tembakau	Penyebab iritasi pada system pernapasan, selaput lender, tenggorokan dan paru-paru.
		Hidrogen klorida, fosgen.	Merusak jaringan tubuh, dapat merusak kulit dan saluran pernapasan.
6	Kerusakan pada mata (Toksistas okuler)	Pemutih, detergen, asam dan basa	Gatal-gatal pada mata, kulit sensitive terhadap cahaya sinar matahari dan

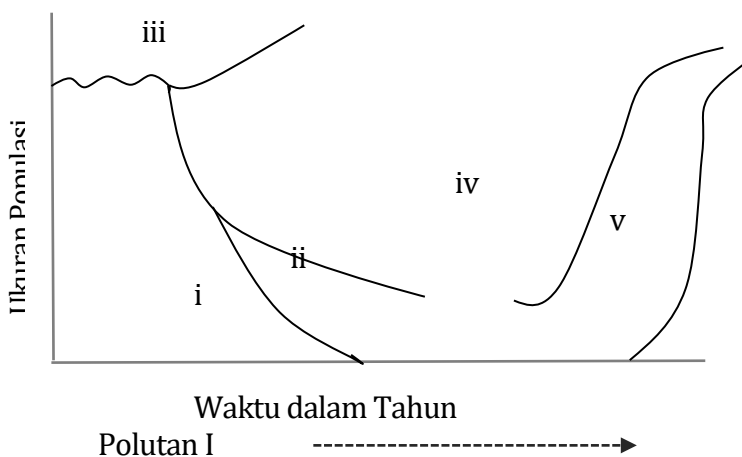
No	Efek	Toksikan	Gejala/Tanda
			menyebabkan penuaan dini.
7	Kerusakan pada system pencernaan (Toksisitas Gastrointestinal)	Tertelan pestisida, hidrokarbon terklorinasi.	Sakit pada perut, penyebab kanker, mutase gen dan cacat lahir, CAIDS (Chemically Acquired Deficiency Syndrom)

Sumber : Winder and Stacey, 2005

6.2 Efek Polutan pada Populasi

Polutan yang masuk kedalam suatu ekosistem dapat berinteraksi dengan individu dalam populasi. Adanya interaksi antar individu dalam populasi dapat menyebabkan efek lethal maupun sub lethal bagi individu suatu organisme sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan dan dinamika populasi.

Respon ukuran populasi terhadap polutan (Wakler, et al. 2001) daiambarkan sebagai berikut :



Gambar 6.4. Efek polutan pada populasi

Pemulihan populasi dapat terjadi jika aktivitas polutan terjadi dalam waktu singkat Gambar 6.4 (ii) menyebabkan besar populasi berubah semakin besar Gambar 6.4 (iv). Pada sisi lain dengan adanya perpindaahan (migrasi) dan pembentukan koloni, populasi yang hilang ekosistem Gambar 6.4 (i) akan muncul kembali dengan koloni yang lebih besar.

Pada beberapa individu terjadi penurunan jumlah spesiesnya, bahkan hilang sama sekali (zero) dari ekosistem Gambar 6.4 (i). Ukuran populasi pada beberapa spesies juga turun namun tidak sampai hilang Gambar 6.4 (ii), dan Gambar 6.4 (iii) laju pertumbuhan populasi semakin naik.

6.3 Efek Polutan pada Komunitas

Selain memiliki efek pada individu dan populasi polutan juga memiliki efek pada komunitas. Efek polutan pada komunitas adalah mempengaruhi struktur dan fungsi komunitas. Hal ini dikarenakan adanya gangguan dalam interaksi antar spesies dalam populasi.

Adanya berbagai polutan dapat mempengaruhi hubungan antara predator (pemangsa) dan prey (dimangsa) dalam suatu komunitas. Pada predasi, predator mengambil energi dari prey untuk tumbuh dan berkembang (bereproduksi). Semakin banyak yang dimangsa oleh pemangsa maka akan terjadi peningkatan ukuran populasi predator, disisi lain terjadi penurunan populasi prey (dimangsa). Kondisi ini secara umum akan terjadi penurunan biodiversity yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Kurniawijaya M. L, Lestari F, Tejamaya M dan Ramdhan H. D, 2021. 'Konsep Dasar Toksikologi Industri' Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Nugroho PA. 2004. Ekotoksikologi, Fakultas Biologi, Universitas Gajahmada.
- Walker, G. P. ; Stockdale, C. R. ; Wales, W. J. ; Doyle, P. T. ; Dellow, D. W., 2001. Effect of level of grain supplementation on milk production responses of dairy cows in mid-late lactation when grazing irrigated pastures high in paspalum (*Paspalum dilatatum* Poir.). Aust. J. Exp. Agric., 41 (1): 1-11
- Winder C., & Stacey N. 2005. Occupational Toxicology, 2nd Edition. London: CRC Press.

BAB 7

PENGUJIAN TOKSISITAS KRONIK

Oleh Rabiatul Adawiyah

7.1 Pendahuluan

Paparan suatu zat pada manusia dapat menimbulkan efek baik yang bermanfaat bagi manusia maupun efek yang tidak diharapkan. Dalam jangka waktu lama, efek kumulatif dapat menimbulkan efek toksik. Toksisitas kronis merupakan hasil dari paparan suatu zat pada manusia dalam jangka waktu lama secara berulang dan pemeriksaannya disebut uji toksisitas. Tiga rute administrasi yang digunakan untuk studi toksisitas, yaitu oral, dermal, dan pernapasan. Pemilihan jalur administrasi ini bergantung pada karakter fisik dan kimiawi dari substansi yang diuji. Bab ini akan membahas lebih dalam mengenai uji toksisitas kronis oral.

7.2 Uji Toksisitas Kronis Oral

Pemerintah Republik Indonesia meregulasi uji toksisitas kronik melalui Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 10 Tahun 2022 tentang Pedoman Uji Toksisitas Praklinik Secara In Vivo. Efek toksik kronis dapat diuji dengan memberikan sediaan uji secara oral dalam jangka waktu lama, yakni Sebagian besar dari umur hewan uji, dan dilakukan secara berulang. Uji toksisitas kronis diberikan dalam beberapa tingkatan dosis setiap hari, selama 9 bulan (sediaan yang relatif aman, seperti obat herbal atau fitofarmaka) atau 12 bulan (sediaan mengandung bahan baru). Uji ini bertujuan menetapkan tingkat dosis yang tidak menimbulkan efek toksik. Selain itu, uji ini juga memberikan informasi mengenai toksisitas dari bahan yang diuji ketika

diberikan dalam waktu lama dan berulang pada subjek penelitian, indikasi organ target, kemungkinan akumulasi, dan menyediakan estimasi tingkat efek merugikan yang tidak teramati yang dapat digunakan sebagai kriteria aman untuk paparan manusia. Pengamatan dari segi makropatologi, hematologi, biokimia klinis, dan histopatologi terhadap organ dan jaringan dilakukan pada akhir pengamatan, setelah dilakukan nekropsi hewan uji (BPOM, 2022).

Hewan Uji dan Jumlah

Karakteristik hewan uji yang digunakan untuk uji toksisitas kronis oral, yakni sebagai berikut:

- a. Disarankan tikus putih dari galur Sprague Dawley atau Wistar;
- b. Sehat;
- c. Berumur 6-8 minggu (termasuk masa adaptasi);
- d. Jika menggunakan hewan betina, belum pernah beranak dan tidak bunting;
- e. Adaptasi hewan dilakukan selama 5-7 hari;
- f. Distribusi berat badan hewan merata, dengan deviasi 20% dari rerata berat badan kelompok hewan uji.

Klasifikasi Hewan Uji

- a. Kelompok kontrol: terdiri atas minimal 40 ekor hewan uji – 20 ekor jantan dan 20 ekor betina;
- b. Kelompok perlakuan: dosis yang diuji minimal tiga tingkatan yang berbeda. Jumlah hewan pada kelompok ini minimal 10 ekor (5 ekor jantan dan 5 ekor betina) untuk tiap dosis;
- c. Kelompok satelit: terdiri atas hewan uji ekstra yang diberikan dosis sesuai dengan protokol, tetapi tidak digunakan untuk uji toksisitas dan observasi patologi, melainkan untuk evaluasi karakter farmakokinetik dari komponen sediaan uji (Nedelman et al., 1993). Kelompok

- ini terdiri atas kelompok satelit kontrol dan satelit dosis tinggi. Tiap kelompok terdiri atas 10 ekor hewan (5 ekor jantan dan 5 ekor betina).
- d. Kelompok interim: hewan pada kelompok ini merupakan hewan yang akan dieutanasia sebelum uji toksisitas selesai, dengan minimal 10 ekor jantan dan 10 ekor betina pada tiap kelompok kontrol dan perlakuan. Pengujian obat tradisional tidak memerlukan kelompok ini.
 - e. Kelompok sentinel: kelompok ini tidak wajib ada pada pengujian toksisitas, hanya jika ada pemantauan status penyakit. Hewan yang diperlukan sebanyak 5 ekor jantan dan 5 ekor betina untuk kelompok kontrol dan kelompok dosis.

Dosis Uji

Dosis uji yang digunakan paling tidak ada tiga tingkat dan harus ada kontrol bersama. Tingkat dosis secara umum berdasarkan pada hasil dari dosis berulang jangka pendek atau studi penemuan jangkaun. Hal lain yang juga perlu diperhatikan, yaitu data toksikologis dan toksikinetik yang ada untuk uji kimia dan bahan terkait lainnya.

Tingkat dosis tertinggi dipilih (kecuali terbatas oleh sifat fisika-kimia atau efek biologis dari bahan uji) untuk mengidentifikasi target utama organ dan efek toksik, serta menghindari penderitaan, keparahan toksisitas, morbiditas, dan kematian. dosis tertinggi tingkat harus dipilih untuk memperoleh bukti toksisitas, seperti yang dibuktikan oleh, misalnya depresi kenaikan berat badan (sekitar 10%).

Beberapa poin yang perlu diperhatikan saat menentukan tingkat dosis yang diteliti, yaitu:

- a. Ketidaklinieran atau titik belok yang diketahui atau dicurigai dalam dosis-respons;

- b. Toksikinetik dan rentang dosis ketika induksi metabolik, saturasi, atau ketidaklinieran antara dosis eksternal atau internal terjadi atau tidak terjadi;
- c. Lesi prekursor, penanda efek, atau indikator pengoperasian kunci proses biologis yang mendasari;
- d. Mode aksi aspek kunci (atau yang dicurigai), seperti dosis saat sitotoksitas mulai meningkat, kadar hormon terganggu, mekanisme homeostatik kewalahan;
- e. Daerah kurva dosis-respons di mana estimasi yang sangat kuat adalah diperlukan, misalnya, dalam kisaran BMD yang diantisipasi atau ambang batas yang dicurigai;
- f. Pertimbangan tingkat paparan manusia yang diantisipasi

Dosis yang digunakan minimal tiga kelompok berbeda, yaitu 1) kelompok kontrol; 2) kelompok satelit (kontrol dan dosis tertinggi); dan 3) kelompok interim (kontrol dan semua dosis untuk dieutanasia) untuk memantau jika terjadi toksisitas pada waktu interim. Kelompok sentinel bisa ditambahkan jika dibutuhkan untuk mengobservasi status suatu penyakit. Dosis terdiri atas tiga tingkat, yaitu dosis tingkat tinggi, menengah, dan rendah. Efek yang diinginkan dari ketiga dosis tersebut berbeda, seperti pada dosis tingkat tinggi dimaksudkan untuk mengamati efek toksik tanpa menimbulkan insiden fatal, sedangkan dosis menengah akan memberikan informasi tingkat pengaruh toksik. Dosis lainnya, yakni dosis rendah tidak akan menunjukkan gejala toksik (BPOM, 2022). Interval dua hingga empat kali lipat optimal untuk mengatur tingkat dosis rendah dan penambahan kelompok uji keempat lebih baik dibandingkan menggunakan interval yang sangat besar (misal, dari faktor sekitar 6-10) antar kelompok dosis yang berbeda (OECD, 2018).

Kelompok kontrol merupakan kelompok hewan uji yang tidak diberi perlakuan atau kelompok bahan pembawa-kontrol sehingga kelompok kontrol tidak menerima substansi yang

diujikan. Selain perbedaan tersebut, tidak ada perbedaan antara hewan pada kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan. Kelompok kontrol harus menerima perlakuan yang sama dengan kelompok perlakuan. Jika kelompok perlakuan diberi sediaan uji melalui oral, maka kelompok kontrol juga diberi perlakuan yang sama, hanya saja larutan yang diadministrasikan pada kelompok kontrol tidak mengandung sediaan uji. Jika digunakan bahan pembawa, kelompok kontrol harus menerima bahan pembawa pada volume tertinggi (OECD, 2018).

Batas Uji

Jika satu tingkat dosis (ekuivalen dengan minimal 1000 mg/kg berat badan/hari) tidak menunjukkan efek merugikan maupun tidak toksik berdasarkan data struktur komponen terkait, maka tidak perlu melakukan penelitian menggunakan tiga tingkat dosisi. Batas uji berlaku, kecuali ketika paparan manusia menunjukkan perlunya meneliti tingkat dosis yang lebih tinggi. Namun, dosis perlu diperhitungkan kembali jika menggunakan sediaan cair karena berat jenis produk jadinya perlu dipertimbangkan.

Penyiapan Sediaan Uji

Sediaan uji dilarutkan dengan bahan pembawa yang sesuai. Bahan pembawa dapat berupa, seperti akuadestilata dan minyak nabati. Proporsi sediaan uji dan bahan pembawa digunakan untuk menentukan dosis yang dikehendaki.

Cara Administrasi Sediaan Uji

Pemberian secara oral pada hewan uji menggunakan volume yang tidak melebihi 1 mL sediaan uji per 100 g berat badan (BB), kecuali pada kondisi larutan air bisa menggunakan volume 2 mL/100 g BB hewan uji. Pelarut yang digunakan biasanya menggunakan air. Zat yang dapat menyebabkan iritasi atau korosif

bisa memperparah kondisi pada konsentrasi tinggi. Oleh karena itu, volume uji harus samaa dan konsisten pada semua dosis. Sediaan yang diadministrasikan melalui diet atau air minum perlu dihitung kuantitas bahan ujinya agar tidak bercampur dengan nutrien normal atau keseimbangan air.

Waktu Pemberian Sediaan Uji

Pemberian sediaan uji dilakukan setiap hari dalam rentang waktu 9-12 bulan. Tindakan ini bertujuan agar efek toksil dari konsentrasi bahan pada keadaan steady dapat diamati karena ada organ yang dapat beregenerasi dengan cepat. Durasi ini bervariasi bergantung pada senyawa atau bahan uji yang digunakan. Jika bahan yang diujikan secara umum aman, maka waktu uji toksisitas kronis oral dilakukan selama 9 bulan, dan jika senyawa yang diujikan berpotensi toksik, maka waktu uji lebih panjang, yakni 12 bulan (OECD, 2018).

Pengamatan

Morbiditas dan mortalitas semua hewan perlu dicek setiap harinya. Pengamatan klinis umum harus dilakukan paling tidak sekali tiap hari dan pada waktu yang sama dengan mempertimbangkan periode puncak efek yang diantisipasi setelah pemberian dosis dalam kasus gavage administrasi (OECD, 2018).

Observasi klinis rinci dilakukan terhadap semua hewan paling tidak sekali sebelum paparan pertama (agar dapat membandingkan di antara subjek), pada akhir minggu pertama studi dan tiap bulan setelahnya. Protokol untuk observasi harus diatur sedemikian rupa sehingga variasi antara masing-masing pengamat diminimalkan dan tidak bergantung pada kelompok uji. Pengamatan ini dilakukan di luar kandang, hasilnya dicatat – sebaiknya menggunakan sistem scoring. Kondisi saat observasi juga perlu dijaga agar sedikit perbedaan kondisi tiap observasi yang dilakukan tiap minggu atau tiap bulan. Tanda yang diamati

harus dicatat, seperti perubahan pada kulit, rambut, mata, membran mukosa, aktivitas otonom sekresi dan ekskresi (misalnya, lakrimasi, piloereksi, ukuran pupil, dan pola pernapasan yang tidak biasa). Perubahan gaya berjalan, postur dan respons terhadap penanganan serta adanya gerakan klonik atau tonik, stereotip (mis., perawatan berlebihan, berputar-putar berulang) atau perilaku aneh (misalnya., mutilasi diri, berjalan mundur) juga harus dicatat. Pengamatan tentunya tidak terbatas pada hal yang telah disebutkan, namun bisa dituliskan tanda dan gejala lainnya yang terjadi pada hewan coba (United Nations Environment Programme. et al., 1986).

Pemeriksaan pada organ mata atau oftalmologi, menggunakan oftalmoskop atau alat yang sesuai. Semua hewan harus diperiksa sebelum pemberian pertama bahan yang akan diujikan. Pemeriksaan selanjutnya dilakukan pada akhir studi dengan mengutamakan semua hewan. Jika pemeriksaan tidak bisa dilakukan pada semua hewan uji, setidaknya pada dosis tinggi dan kelompok kontrol. Jika perubahan terkait pengobatan pada mata terdeteksi, semua hewan harus diperiksa. Jika struktural analisis atau informasi lain menunjukkan toksisitas okular, kemudian frekuensi okular pemeriksaan harus ditingkatkan.

Bahan kimia yang telah diadministrasikan secara berulang selama 28 hari dan/atau 90 hari dan saat diuji toksisitas menunjukkan efek neurotoksik. Beberapa pemeriksaan pilihan lainnya yang bisa dilakukan sebelum dimulainya studi dan tiga bulan setelah studi pendahuluan, yaitu reaktivitas terhadap rangsangan berbeda jenis (United Nations Environment Programme. et al., 1986) (misalnya, rangsangan pendengaran, visual, dan propioseptif) (Gad, 1982; Moser et al., 1991; Tupper and Wallace, 1980). Jika bahan uji setelah diuji toksisitas selama 28 hari dan/atau 90 hari menunjukkan potensi efek imunotoksik, investigasi lebih lanjut perlu dilakukan pada saat terminasi.

Berat badan, konsumsi makanan dan air, dan efisiensi makanan

Semua hewan ditimbang berat badannya pada awal perlakuan, minimal sekali dalam seminggu selama 13 minggu pertama, dan secara bulanan setelahnya ketika bahan uji diadministrasikan dalam minuman hewan uji. Pengukuran konsumsi air perlu diperhatikan ketika aktivitas minum diubah.

Hematologi

Pemeriksaan hematologi yang menggunakan rodensial sebagai hewan uji memerlukan minimal 10 jantan dan 10 betina untuk tiap kelompok pada 3, 6, dan 12 bulan serta penelitian terminasi (jika lebih dari 12 bulan). Penelitian yang menggunakan mencit, kelompok satelit diperlukan agar semua pemeriksaan hematologi dapat dilakukan. Penelitian yang tidak menggunakan rodensial bisa menggunakan hewan uji dalam jumlah kecil, misalnya jika menggunakan anjing cukup 4 anjing untuk tiap jenis kelamin per kelompok.

Parameter hematologi yang wajib diperiksa, yaitu total dan jumlah jenis leukosit, eritrosit, dan platelet, konsentrasi hemoglobin, hematokrit, *mean corpuscular volume* (MCV), *mean corpuscular hemoglobin* (MCH), *mean corpuscular hemoglobin concentration* (MCHC), waktu protrombin, dan waktu tromboplastin parsial.

Parameter Biokimia

Biokimia klinis dapat menginvestigasi efek toksik utama dalam jaringan, dan khususnya pada ginjal dan hati. Parameter biokimia yang diperiksa, meliputi glukosa, urea, kreatinin, protein total, albumin, kalsium, natrium, kalium, kolesterol total (Weingand et al., 1996). Selain itu, pemeriksaan terhadap uji hepatoseluler juga perlu dilakukan, seperti pengukuran kadar alanin aminotransferase, aspartat aminotransferase, glutamat

dehidrogenase, dan asam empedu total. Evaluasi hepatobiliar melalui pemeriksaan terhadap kadar alkalin fosfatase, gamma glutamil transferase, 5'-nukleotidase, bilirubin total, dan asam empedu total. Parameter kimia klinis lainnya, seperti trigliserida puasa, hormon tertentu, dan kolinesterase dapat diukur tergantung pada bahan ujinya. Secara keseluruhan, uji yang dilakukan tergantung dari efek yang diamati dan/atau diharapkan dari bahan uji yang telah diadministrasikan (OECD, 2018).

Analisis urin terhadap hewan coba (10 jantan dan 10 betina) tiap kelompok. Pengukuran pada bulan ke-3 tidak perlu dilakukan jika tidak terlihat efek pada urinalisis 90 hari sebelumnya dimulai dari dosis bahan uji diadministrasikan. Parameter yang dapat digunakan untuk urinalisis, seperti tampak fisik urin, volume, osmolalitas atau berat jenis, pH, protein total, dan glukosa. Parameter lainnya juga dapat diperiksa, yaitu keton, urobilinogen, bilirubin, dan *occult blood* (darah samar). Ada pun parameter lain dapat diperiksa ketika diperlukan sesuai dengan efek yang teramati (Weingand et al., 1996).

Patologi

Nekropsi

Pemeriksaan hewan coba mengenai permukaan luar tubuh, semua lubang, dan rongga tengkorak, rongga dada dan perut, serta isinya harus dinekropsi. Semua hewan ditimbang organnya. Kelenjar adrenal, otak, epididimis, jantung, ginjal, hati, ovarium, limpa, testis, tiroid (ditimbang setelah fiksasi, dengan paratiroid), dan rahim semua hewan (selain yang ditemukan hampir mati dan/atau mati bersamaan) harus dipotong dari setiap jaringan yang melekat, yang sesuai, dan berat basahanya diambil sesegera mungkin setelah pembedahan untuk mencegah pengeringan. Dalam penelitian yang menggunakan tikus, penimbangan kelenjar adrenal bersifat opsional.

Histopatologi

Pemeriksaan histopatologi yang paling minimal dilakukan untuk pemeriksaan toksikologi patalogi sebagai berikut:

- a. Semua jaringan dari dosis tinggi dan kelompok kontrol;
- b. Semua jaringan dari hewan yang mati atau dibunuh selama penelitian;
- c. Semua jaringan menunjukkan abnormalitas makroskopik;
- d. Jaringan target atau jaringan yang menunjukkan perubahan terkait perlakuan pada kelompok dosisi tinggi dari semua hewan coba pada semua kelompok dosis;
- e. Pada organ berpasangan, seperti ginjal dan adrenal, kedua organ (pasangan) harus diperiksa.

Data dan Pelaporan

Data

Data hewan uji (secara individu) dilaporkan untuk semua parameter yang diperiksa dan dalam bentuk tabel yang memuat data jumlah hewan saat awal uji, jumlah hewan yang ditemukan mati saat uji atau dibunuh karena alasan tertentu dan waktu kematian, jumlah tanda toksisitas, deskripsi tanda toksisitas yang diamati. Tanda toksisitas dapat dideskripsi berdasarkan waktu onset, durasi, keparahan efek toksik, jumlah hewan terluka, tipe lesi, dan persentase hewan uji yang menunjukkan setiap jenis lesi. Rerata dan standar deviasi hewan yang menunjukkan efek toksisitas atau lesi dimuat dalam ringkasan data. Data harus dievaluasi oleh metode statistik yang valid dan sesuai.

Laporan Hasil

Informasi yang harus ada dalam laporan sebagai berikut:

Uji kimia:

1. Sifat fisik, kemurnian, dan sifat fisikakimia;
2. Identifikasi data;
3. Sumber substansi;

4. Batch number;
5. Sertifikat analisis kimia.

Pembawa (jika sesuai)

6. Alasan pemilihan bahan pembawa substansi uji (jika pembawa selain air).

Hewan Uji

7. Spesies/strain dan alasan pemilihannya;
8. Jumlah, umur, dan jenis kelamin
9. Sumber, kondisi kandang, diet;
10. Berat hewan individu saat awal uji.

Kondisi Uji

11. Rute administrasi dan pemilihan dosis yang rasional;
12. Metode statistik (jika dapat digunakan) untuk menganalisis data;
13. Formulasi kimia/preparasi pakan yang rinci;
14. Analisis data pada konsentrasi yang dicapai, stabilitas dan homogenitas sediaan;
15. Rute administrasi dan rincian administrasi substansi kimia yang diuji;
16. Untuk studi inhalasi, kondisi hidung atau keseluruhan tubuh;
17. Dosis aktual (mg/kg berat badan/hari), dan faktor konversi dari konsentrasi bahan kimia uji diet/air minum (mg/kg atau ppm) ke dosis aktual, jika berlaku;
18. Rincian kualitas pakan dan air.

Hasil harus dimuat dalam tabel yang berisi data hewan secara individu.

19. Data hewan yang bertahan;
20. Berat badan;
21. Pakan yang dikonsumsi, pengukuran efisiensi pakan;
22. Data respon toksik oleh jenis kelamin dan tingkat dosis, termasuk tanda toksisitas;

23. Sifat, insidensi (dan jika dinilai, keparahan), dan durasi observasi klinis;
24. Pemeriksaan oftamologis;
25. Uji hematologi;
26. Uji biokimia klinis;
27. uji urinalisis;
28. hasil pemeriksaan neurotoksisitas atau imunotoksisitas;
29. berat badan terminal;
30. berat organ;
31. hasil nekropsis;
32. rincian deskripsi semua temuan histopatologi terkait perlakuan;
33. data absorpsi jika berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- BPOM, 2022. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 10 Tahun 2022 Tentang Pedoman Uji Toksisitas Prakinik Secara In Vivo, Badan Pengawas Obat dan Makanan. BPOM, Indonesia.
- Gad, S.C., 1982. A neuromuscular screen for use in industrial toxicology. *J Toxicol Environ Health* 9, 691–704. <https://doi.org/10.1080/15287398209530197>
- Moser, V.C., McDaniel, K.L., Phillips, P.M., 1991. Rat strain and stock comparisons using a functional observational battery: Baseline values and effects of amitraz. *Toxicol Appl Pharmacol* 108, 267–283. [https://doi.org/10.1016/0041-008X\(91\)90117-W](https://doi.org/10.1016/0041-008X(91)90117-W)
- Nedelman, J.R., Gibiansky, E., Tse, F.L.S., Babiuk, C., 1993. Assessing drug exposure in rodent toxicity studies without satellite animals. *J Pharmacokinet Biopharm* 21, 323–334. <https://doi.org/10.1007/BF01059783>
- OECD, 2018. OECD/OCDE 452 OECD Guideline for The Testing of Chemicals Chronic Toxicity Studies. Paris.
- Tupper, D.E., Wallace, R.B., 1980. Utility of the neurological examination. *Acta Neurobiology* 40, 999–1003.
- United Nations Environment Programme., International Labour Organisation., World Health Organization., International Program on Chemical Safety., 1986. Principles and methods for the assessment of neurotoxicity associated with exposure to chemicals. World Health Organization.

Weingand, K., Brown, G., Hall, R., Vies, D. DA, Gossett, K., Neptun, D., Waner, T., Matsuzawa, T., Salemink, P., Froelke, W., Provost, J., Dal Negro, G., Batchelor, J., Nomura, M., Groetsch, H., Boink, A., Kimball, J., Woodman, D., York, M., Fabianson-johnson, E., Lupart, M., Melloni, E., 1996. Harmonization of Animal Clinical Pathology Testing in Toxicity and Safety Studies. *Fundamental and Applied Toxicology* 29, 198–201.

BAB 8

BIOMONITORING

Oleh Nur Laila Rahayu

8.1 Definisi, Tujuan, dan Manfaat

Biomonitoring dapat dijelaskan sebagai teknik yang menggunakan reaksi makhluk hidup untuk mengevaluasi penurunan kualitas lingkungan secara sistematis. Biomonitoring dapat dilakukan pengukuran dengan menggunakan informasi tentang ekosistem dan dinamikanya untuk memantau berbagai inisiatif pengelolaan lingkungan. Teknologi ini diharapkan dapat menggambarkan kondisi lingkungan tertentu untuk suatu organisme. Organisme tersebut dapat menggambarkan kondisi ekosistem serta kualitas lingkungan yang khusus maupun spesifik.

Tujuan dari biomonitoring adalah untuk mencegah paparan dari bahan kimia sehingga menyebabkan masalah kesehatan dapat menjadi akut maupun kronis. Pemantauan paparan biologis merupakan kegiatan pencegahan yang sangat penting dan mengidentifikasi efek bahan kimia. Hal tersebut adalah pemantauan kesehatan. Dalam kasus penanda biologis yang sangat sensitif, tujuan pemantauan biologis adalah untuk mendeteksi tanda-tanda awal keracunan sebagai tindakan pencegahan.

Manfaat biomonitoring adalah untuk mengetahui informasi penting terkait peningkatan kesehatan biologis dan pencegahan pencemaran lingkungan. Selain itu, biomonitoring dapat membantu peneliti dan manajer risiko memprioritaskan bahan kimia untuk pemantauan atau manajemen risiko.

Tidak semua aktivitas manusia pada dasarnya merupakan proses alami. Oleh karena itu, ketika materi masuk ke alam, seringkali alam tidak mampu mereduksinya, dan jika ciri-ciri kegiatannya tidak dipelajari secara detail, hal ini menyebabkan kemerosotan kualitas lingkungan, yang berdampak pada kelangsungan keberadaan, kehidupan, dan kesejahteraan manusia. -makhluk . Agar kehidupan manusia tidak terganggu atau gangguan yang ditimbulkan terhadap manusia tidak menjadi terlalu besar dan manusia dapat mengurangnya, perlu diketahui sifat-sifat material yang terlibat dalam setiap operasi, sehingga manusia dapat mengendalikannya dengan baik untuk mengetahui keberadaannya. Dari untuk meminimalkan atau terjadinya efek negatif.

Efek potensial pada komponen lingkungan dapat dikenali ketika karakteristik proses operasional diidentifikasi. Mengetahui secara spesifik operasi dan kemungkinan implikasinya memungkinkan panduan terbaik sehingga operasi dapat berlanjut tetapi tanpa mempengaruhi kehidupan dan kesejahteraan masyarakat. Dampak dari berbagai komponen lingkungan seperti tanah, air, udara harus diperhatikan dalam semua proses aktivitas manusia, termasuk berbagai pabrik industri dan rumah sakit. Efek positif dan negatif yang sebenarnya dapat merupakan akumulasi dari serangkaian tindakan yang dilakukan. Efek ini diprediksi akan bertambah atau berkurang di masa mendatang, atau bahkan menciptakan efek baru secara bersamaan. Semua aktivitas manusia, termasuk berbagai fungsinya, harus memperhatikan faktor lingkungan, karena semua aktivitas pasti berdampak pada lingkungan. Agar lingkungan dapat diterima dengan baik, proses operasional juga harus menjaga kelestarian kegiatan lingkungan untuk mendukung kelangsungan industri masing-masing dan terutama kehidupan manusia.

8.2 Macam Biomonitoring

Berdasarkan tujuannya, Ada 3 jenis biomonitoring berdasarkan tujuan, termasuk pemantauan lingkungan, biomonitoring paparan, dan biomonitoring efek toksik. (*health surveillance*).

Monitoring Ambien digunakan untuk monitoring paparan eksternal yang berasal dari bahan kimia sehingga dapat diketahui berapa kandungan kimia di dalam air, makanan, maupun di udara. Risiko pada kesehatan dapat diperkirakan berdasarkan batas toleransi paparan, misalnya *Threshold Limit Value* serta *Time Weighted Average* pada suatu paparan.

Monitoring Biologi Paparan yaitu digunakan untuk memantau paparan bahan kimia di luar ruangan untuk menentukan konsentrasi pada bahan kimia dalam air, makanan, maupun udara. Risiko kesehatan dinilai berdasarkan batas suatu polutan.

Monitoring Biologi Dari Efek Toksikan (*Health Surveillance*) tujuan pemantauan dari efek biologis zat beracun adalah untuk memprediksi suatu dosis internal, menilai hubungan dengan risiko kesehatan, menilai status kesehatan manusia yang terpapar, serta mengidentifikasi efek yang dihasilkan dari paparan, seperti disfungsi paru.

Berdasarkan kategori minat komunitas pakar yaitu :

a. *Bioassessments study*

Bioassessments study yaitu pengkajian penilaian kehidupan pada komunitas, fungsi serta struktur komunitas pada suatu ekosistem. Menurut Cobb dan Frydenborg (2018) menyatakan *bioassessments* dapat dikaji berdasarkan data sampling dari komunitas biologis pada suatu ekosistem untuk mengkarakterisasi suatu struktur komunitas organisme (Bioindikator). Hal tersebut

termasuk pengukuran indikator kualitas air yaitu oksigen terlarut, penggambaran suatu habitat, dan menentukan komunitas serangga akuatik. Ekosistem yang seimbang akan menggambarkan kualitas yang baik pada setiap komponen yang ada di dalamnya. Penilaian tersebut dapat berdasarkan karakteristik komunitas suatu organisme, kandungan parameter fisika dan kimia suatu ekosistem, serta hubungan dan pengaruh antar organisme yang terjadi. Pengkajian tersebut dievaluasi untuk menentukan hubungan maupun pengaruh dari aktivitas manusia. Bioassessment berperan dalam restorasi dalam suatu ekosistem, berdasarkan multidisiplin ilmu dalam mengidentifikasi dampak yang disebabkan serta pemulihan, penentuan tujuan, pengukuran respons terhadap perubahan, serta keberhasilan pada restorasi.

Studi biotax mengkaji kehidupan masyarakat, termasuk fungsi dan struktur masyarakat. Menurut Cobb dan Frydenborg (2018), penilaian organisme berdasarkan pengambilan sampel lapangan seperti penilaian komunitas organisme terdampak polutan yang toleran. Hal tersebut dilakukan dengan pengukuran bioindikator, pengukuran kualitas air, dan pengukuran hubungan serta pengaruh antar komponen. Misalnya, dalam pengukuran indikator kualitas air seperti oksigen terlarut, menilai kondisi kehidupan, dan menentukan status komunitas serangga air. Penilaian kualitas ekosistem dapat dilihat dari keanekaragaman organisme, tidak adanya dominansi suatu organisme, kualitas parameter fisika, dan Kimia yang baik, serta jasa ekosistem yang dimanfaatkan dengan baik.

b. Toxicity bioassays

Biotest toksisitas dilakukan dalam laboratorium untuk menganalisis efek polutan pada bentuk

kehidupansuatu organisme. Pengujian toksisitas bertujuan untuk menentukan suatu senyawa atau sampel air dapat mengganggu kehidupan organisme biologi. Penilaian toksisitas dapat dinilai pada seluruh organisme (*in vivo*) atau dengan sel (*in vitro*). Pada keuntungan pengujian toksisitas adalah mengidentifikasi senyawa beracun secara biologis dan oleh karena itu tidak memerlukan pengetahuan mendalam untuk mendeteksi keberadaan kontaminan (tidak seperti analisis kimia). Setelah kontaminan dengan dampak yang dicurigai telah diidentifikasi, pada pemodelan (*in silico*) yang dapat digunakan untuk percobaan toksisitas berdasarkan sifat senyawa fisik serta kimia dan kemungkinan terjadinya serta pergerakannya di lingkungan sekitar (enHealth, 2012).

c. Bioassay Perilaku (*Behavioral bioassays*)

Bioassay perilaku yaitu pengukuran perilaku organisme secara kualitatif atau kuantitatif untuk mendeteksi dan menganalisis stimulus eksternal. Dengan kata lain, sebagai indikator keadaan fisiologis atau psikologis internal suatu organisme. Bioassay perilaku dapat juga menggunakan perilaku pada pengukuran kemampuan hewan maupun tumbuhan dalam mendeteksi ancaman lingkungan secara fisiologis maupun neurologis. Kepekaan perilaku suatu organisme dapat digunakan sebagai alat untuk mendeteksi suatu zat (X) dalam suatu sampel. Beberapa contoh bioassay perilaku berdasarkan Brown and Bolivar (2018) yaitu:

1. Mendeteksi efek obat-obatan, mutasi genetik, dan rangsangan kimia pada perilaku berenang spesies seperti *Tetrahymena* dan *Paramecium*
2. Deteksi polutan menggunakan perilaku berenang ikan

3. Pada deteksi urea dalam darah dapat menggunakan labirin tikus
4. Deteksi feromon seks dengan pengukuran kepakan sayap ngengat

Hasil dari penelitian beberapa para ahli, dapat dibuat ringkasan teknik bioassay perilaku dalam studi feromon serangga. Bioassay tersebut dapat digunakan juga pada pengukuran perilaku yang diinduksi hormon dan dapat memberikan informasi tentang konsentrasi atau kekuatan hormon (Wilkinson dan Brown, 2015). Bioassay perilaku dapat digunakan untuk mendeteksi bahan kimia sebagai pengganggu endokrin. Dalam ilmu saraf, ada beberapa bioassay perilaku yang berbeda untuk efek obat, kerusakan otak, dan gangguan neurologis (Brown dan Bolivar, 2018). Bioassay perilaku masuk akal seperti:

1. Menyelidiki efek subletal pada tanaman dan hewan yang diuji sebagai dasar peringatan dini (*early warning system*)
2. Menggunakan pengukuran perilaku untuk mengidentifikasi zat (X) dalam sampel. Perilaku dapat dikondisikan (khusus spesies; etologis) atau dikondisikan. Bioassay perilaku memiliki respons spesifik dan proses stimulus
3. Penggunaan perilaku organisme secara kuantitatif atau kualitatif untuk menentukan kepekaan mereka terhadap rangsangan eksternal
4. Penggunaan perilaku hewan atau manusia untuk menentukan elemen efektif dari sinyal lingkungan
5. Penggunaan perilaku sebagai ukuran . dari fisiologi internal, kegugupan, kondisi mental dan suasana hati (Brown dan Bolivar, 2013).

d. Bioaccumulation study

Studi bioakumulasi, studi tentang dosis polutan yang diserap oleh organisme serta pengaruhnya terhadap ekosistem. Bioakumulasi dapat dikatakan terkumpulnya bahan kimia ke dalam tubuh organisme yang terkonsentrasi dengan berbagai cara, dapat secara kontak langsung, inhalasi dan ingesti (Alexander, 1999). Dengan kata lain, bioakumulasi mengacu pada pengumpulan polutan dalam organisme relatif terhadap yang ditemukan di lingkungan. Bioakumulasi dapat mempengaruhi respirasi dan konsumsi, serta difusi pasif, metabolisme, transmisi ke keturunan, dan pertumbuhan. Bioakumulasi dapat terdiri dari proses bioakumulasi dan biomagnifikasi yang lebih spesifik. Bioakumulasi adalah distribusi langsung bahan kimia antara air dan organisme, menghasilkan konsentrasi tinggi. Selain itu, biomagnifikasi menyebabkan peningkatan konsentrasi bahan kimia dalam tubuh organisme dengan posisi trofik yang lebih tinggi dalam jaring makanan (Borga, 2013).

8.3 Biomonitoring terdampak pencemaran:

Dampak lingkungan dari memulai usaha yaitu mengubah pola perilaku masyarakat sekitar usaha, tidak jarang perubahan tersebut berdampak negatif terutama bagi mereka yang tidak puas. dengan keberadaan perusahaan (Jumingan, 2008). Karena akumulasi limbah aluminium seperti butiran halus tidak diolah dengan baik, maka berdampak negatif untuk organisme maupun lingkungan sekitar, seperti pencemaran tanah, air, dan tanaman di sekitar perusahaan tidak dapat berkembang dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia. Selain bau busuk dari suara mesin sampah yang sangat mengganggu warga sekitar.

Pencemaran air bawah tanah, tanah, badan air atau sungai, atmosfer (udara), bahkan ketika rantai tatanan lingkungan terputus atau suatu jenis organisme musnah, yang pada akhirnya merusak ekosistem maupun organisme. Pencemaran adalah polutan akan mempengaruhi semakin parah, keadaan yang berubah akibat masuknya bahan pencemar. Polutan biasanya memiliki sifat toksik (toksin) berbahaya bagi kelangsungan kehidupan suatu organisme. Toksisitas atau toksisitas polutan tersebut kemudian memicu terjadinya pencemaran di lingkungan (Sudarwin, 2008).

Dampak polutan yaitu tidak berfungsinya organisme hidup, terutama jika organisme tersebut tidak mampu mengurai pencemaran tersebut sehingga zat tersebut terakumulasi dalam organisme tersebut. Peristiwa ini menyebabkan biomagnifikasi satu organisme ke tingkat trofik yang lebih tinggi (Sudarwin, 2008). Pada tingkat lanjutan, bahkan dapat menghapus satu atau lebih tautan afiliasi. Sedangkan polutan atau polutan adalah setiap benda, zat atau organisme hidup yang berpindah ke tatanan alam dan kemudian membawa perubahan negatif pada tatanan yang datang (Palar, 2012). Undang-Undang Lingkungan Hidup menjelaskan bahwa tatanan lingkungan hidup dianggap tercemar jika ada benda lain yang masuk ke dalam tatanan lingkungan atau termasuk di dalamnya, yang kemudian berdampak buruk pada bagian-bagian tatanan habitat itu sendiri, sehingga tidak dapat hidup lebih lama sesuai dengan lingkungannya. tatanan lingkungan. asli (Kristen, 2004).

Pencemaran Tanah

Kerusakan tanah pada sifat fisik, kimia dan biologi. Proses tersebut dapat dibagi menjadi dua kelompok menjadi proses alamiah dan proses antropogenik. Proses alami meliputi: erosi, pencucian, pelapukan batuan atau mineralisasi,

pelapukan organik dan pemadatan alami atau kondensasi alami. Proses antropogenik meliputi: kondensasi antropogenik dan polusi dari limbah industri. Kedua kelompok proses ini dapat dihubungkan bersama berhubungan dengan degradasi tanah dan dapat menyebabkan dan mempercepatnya. Perubahan salah satu atau lebih fungsi di atas telah terbukti menurunkan kualitas tanah. Misalnya, pemadatan pada tanah menyebabkan penurunan muka tanah porositas, infiltrasi dan rembesan air ke dalam tanah serta air limpasan permukaan. Akibatnya, berbeda serta sifat kimia tanah seperti potensial redoks, pH dan kandungan bahan organik mengalami perubahan. Karena difusi O_2 dan CO_2 terhambat, kelangsungan hidup organisme tanah juga akan terganggu, menyebabkan enzim diproduksi dan material terurai organik melambat. Hasilnya bisa berupa pemadatan tanah serangkaian perubahan yang saling terkait dalam sifat dan respons sistem tanah langsung atau tidak langsung melalui proses kompresi. Hal tersebut akan mempengaruhi penurunan organisme tanah dan kesuburan tanah.

Pencemaran Udara

Bahan pencemar yang masuk ke atmosfer seperti debu, gas, uap maupun bau, dalam jumlah tertentu dan selama jangka waktu tertentu, sehingga akan berdampak yang akan membahayakan kehidupan manusia dan organisme lainnya. Pencemaran udara dapat disebabkan oleh sumber alam dan aktivitas manusia. Asap kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemar antropogenik, sedangkan letusan gunung berapi, kebakaran hutan pada musim kemarau, proses dekomposisi atau penguraian merupakan sumber alami pencemaran udara (Dewata dan Tarmizi, 2015). Pencemaran udara disebabkan oleh aktivitas manusia memiliki dampak yang lebih besar terhadap lingkungan atau secara alami, seperti

aktivitas kendaraan bermotor, aktivitas industri, dan aktivitas yang dapat menghasilkan emisi baik dari proses dekomposisi maupun pembakaran (Ratnani, 2008).

Lalu lintas kendaraan yang padat dapat menimbulkan pencemaran, dapat menimbulkan berbagai gangguan pernafasan baik akut maupun kronis yang disebabkan oleh polutan primer seperti partikulat (PM_{2.5} dan PM₁₀), ozon (O₃), belerang, dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), timbal (Pb) dan lain-lain (WHO, 2011). Gas dari kendaraan bermotor seperti sepeda motor, mobil, truk, dan bus merupakan sumber utama pencemaran udara di perkotaan, karena polutan tersebut dihasilkan saat bahan bakar dibakar di dalam mesin. Salah satu polutan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yaitu NO₂. Polutan tersebut termasuk polutan tertinggi karena tingginya penggunaan kendaraan bermotor. NO₂ juga dikenal sebagai polutan yang konsentrasinya seringkali melebihi baku mutu udara di perkotaan (Driejana et al., 2013). Penelitian yang dilakukan di kota Palembang oleh Zulkifli (2011) menunjukkan bahwa asap kendaraan bermotor merupakan sumber utama pencemaran udara yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, seperti gangguan struktur, morfologi dan biokimia tanaman. Jenis polutan tersebut juga didasarkan pada argumen bahwa NO₂ merupakan polutan dalam gas buang kendaraan bermotor dengan efek yang terakumulasi pada kesehatan manusia dan lingkungan (NEGTA, 2001).

Polutan di udara secara negatif mempengaruhi fungsi pertumbuhan tanaman secara fisik, kimia dan fisiologis. Zat yang mempengaruhi hutan kota adalah SO₂, NO_x, ozon, fluoride, klorin, partikel padat dan herbisida. Jenis dan tingkat pengaruh polusi udara terhadap tanaman tergantung pada jumlah dan jenis polutan yang ada dan toleransi tanaman terhadap lingkungan. Polutan udara merusak pohon melalui dedaunan,

yang ditandai dengan gejala umum yang sering terlihat yaitu perubahan pada warna daun, pengguguran daun hingga kematian pada beberapa pohon. Dampak pencemaran udara terhadap tumbuhan terbagi atas kerusakan (*damage*) dan kehancuran (*damage*). Istilah kerusakan mencakup semua respon tanaman yang disebabkan oleh polusi udara, seperti perubahan yang disebabkan oleh berkurangnya fotosintesis, kematian daun, gugurnya daun atau berkurangnya pertumbuhan tanaman. Kehancuran meliputi segala akibat yang mengurangi nilai manfaat tumbuhan (Rachmawati, 2006).

Pencemaran udara dapat membuat kerusakan dan perubahan fisiologi tumbuhan, yang kemudian bermanifestasi sebagai penyakit pertumbuhan. Pencemaran dapat menyebabkan perubahan pada tingkat biokimia sel, diikuti dengan perubahan fisiologis pada tingkat komunitas tumbuhan. Polusi udara dapat mempengaruhi pertumbuhan daun, luas daun pohon dan pepohonan yang terpapar polusi udara dapat dikurangi dengan laju pembentukan dan gugurnya daun. Polusi udara juga merusak anatomi daun pada jaringan anatomi daun dikotil terdiri dari sekumpulan sel dengan bentuk yang hampir sama. Jaringan terdiri atas jaringan epidermis atas dan bawah, jaringan mesofil terdiri atas jaringan palisade dan jaringan bunga karang. Epidermis menutupi permukaan atas dan bawah daun dan berlanjut ke epidermis batang. Meskipun lapisan mesofil merupakan daerah terpenting untuk proses fotosintesis, lapisan palisade merupakan bagian daun yang paling banyak mengandung kloroplas dan memiliki pengaruh paling besar terhadap fotosintesis secara periodik. Fungsi fotosintesis tanaman paling terpengaruh oleh kerusakan yang disebabkan oleh polusi udara pada mesofil daun, terutama pada jaringan medula. Perubahan histologi kerusakan daun yang paling sering terjadi akibat pencemaran udara adalah plasmolisis, granulasi atau

disintegrasi komponen sel, kerusakan atau disintegrasi sel, dan pigmentasi jaringan (Soekendarsih, 2014).

Total luas daun tanaman yang tercemar polusi udara berkurang karena berkurangnya pertumbuhan dan perluasan daun serta bertambahnya jumlah daun yang gugur, yang secara langsung atau tidak langsung mengurangi produksi fotosintesis. Kerusakan anatomi daun pada semua tumbuhan yang diteliti akibat konsentrasi pencemaran udara secara umum menunjukkan pengaruh yang nyata, terutama gas SO_2 dan Pb, terhadap abnormalitas masing-masing jaringan. Anatomi daun yang rusak (termasuk rusaknya klorofil dan kloroplas) dapat disebabkan oleh pencemaran udara akibat pengaruh gas-gas pencemar. Gas pencemar tersebut mempengaruhi pH lingkungan sel dan jaringan menjadi menurun (meningkatkan jumlah ion H^+). Meskipun Pb merupakan unsur logam yang biasanya menjadi katalisator dalam berbagai reaksi, termasuk enzim, namun kondisi ini mempengaruhi membran biologis (baik sel maupun organel) (Hidayati, 2009). Lumut tidak dapat melepaskan polutan yang tertelan, sehingga tegakan lumut yang berubah warna dapat mengindikasikan akumulasi polutan (Ahmadjian et al., 1973). Kepekaan lichen terhadap polutan tersebut dapat menjadikan lichen berperan sebagai bioindikator (Murningsih dan Mafazah, 2016). Lichen dapat berperan sebagai bioindikator karena lichen dapat merespon perubahan lingkungan dengan mencerminkan perubahan keanekaragaman, kelimpahan, morfologi, fisiologi, akumulasi polutan. Lichen sangat sensitif terhadap polusi udara karena lichen tidak memiliki lapisan kutikula seperti tumbuhan lainnya, sehingga lichen menyerap nutrisi dan polutan langsung dari atmosfer tanpa seleksi.

Pencemaran Perairan

Biomonitoring ekosistem perairan dikenal sebagai biomonitoring akuatik. Biomonitoring akuatik pada dasarnya adalah proses memantau dan mengevaluasi kondisi ekosistem akuatik, dimana organisme akuatik seperti ikan, invertebrata, serangga, tanaman, alga dan juga mikroba dianalisis. Hasil yang diperoleh dari kegiatan biomonitoring dapat memberikan banyak keuntungan dalam pengelolaan ekosistem perairan, terutama dalam memahami perubahan yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Dengan adanya kegiatan biomonitoring akuatik, dapat diketahui kesehatan ekosistem akuatik secara umum, arah perubahan kondisi lingkungan (tren lingkungan), pengaruh berbagai stressor lingkungan terhadap lingkungan dapat diketahui, dan dapat menjadi dasar penilaian dari berbagai pengaruh lingkungan. tindakan, termasuk manusia, pada kesehatan ekosistem perairan. Dalam prakteknya, penerapan biomonitoring lingkungan perairan sering digunakan bersamaan dengan metode monitoring konvensional, seperti analisis kondisi fisik dan kimiawi badan air.

Biomonitoring terutama digunakan untuk mengatasi batas penilaian yang dicapai dengan metode pemantauan fisik dan kimia. Penggunaan organisme bioindikatif berkontribusi pada klasifikasi ekologis habitat terjajah, dalam hal ini badan air, yang membuka kemungkinan evaluasi penyimpangan atau perubahan lingkungan dibandingkan dengan kondisi alami atau ideal. Informasi tentang perubahan komunitas atau perubahan potensial memberikan dasar untuk interpretasi multidisiplin tentang hubungan antara organisme akuatik, kondisi biogeokimia, dan lingkungan fisik ekosistem akuatik. Perilaku komunitas dan/atau organisme bioindikator tidak hanya mencerminkan kualitas sebenarnya dari ekosistem perairan yang dipantau, tetapi juga mengintegrasikan prediksi

terjadinya gangguan lingkungan. Biomonitoring merupakan inovasi penting dalam menilai status ekosistem perairan, yang melibatkan proses pemantauan yang terintegrasi dengan beberapa kegiatan penilaian lingkungan lainnya. Metode perangkat biomonitoring berbasis web dapat diimplementasikan menggunakan sel-sel dari jenis organisme tertentu. salah satu contohnya adalah sel kemoreseptor moluska dan hewan sejenis. Organisme ini dapat dipantau di laboratorium atau langsung di lapangan. Salah satu contoh penerapan metode ini adalah studi tentang aksi pembukaan dan penutupan cangkang kerang. Dengan pengamatan ini, kualitas air dipantau secara langsung di berbagai ekosistem, baik di air tawar maupun di pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Choi, J., Morck, T. A., Joas, A., & Knudsen, E. 2015. Major national human biomonitoring programs in chemical exposure assessment. *Environ Sci*, 2, 782-802.
- Kuno, R., Roquetti, M. H., & Gouveia, N. 2010. Concepts and determination of reference values for human biomonitoring of environmental contaminants. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 27(1), 74-79.
- Dewata, I. & Tarmizi. 2015. Kimia Lingkungan. Padang: UNP Press Padang.
- Driejana & Handika, R. A. 2013. Polusi udara dalam rumah sekitar jalan raya: Intrusi NO₂ dari transportasi dan gangguan pernapasan pada penghuni rumah. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 10(2): 119–132.
- NEGTA (National Expert Group on Transboundary Air Pollution). 2001. Transboundary air pollution: Acidification, eutrophication and ground-level ozone in the UK. CEH, Edinburgh.
- Ratnani, R. D. 2008. Teknik pengendalian pencemaran udara yang diakibatkan oleh partikel. *Momentum*. 4(2): 27–32.
- World Health Organization. 2011. Air quality guidelines - Second edition: Chapter 7.1: Nitrogen Dioxide. 1–33.
- Zulkifli, H. 2011. Kerusakan struktur, morfologi dan biokimia tanaman sebagai bioindikator penurunan kualitas udara perkotaan. *Majalah Ilmiah Sriwijaya*. 18(11): 623–633.
- Murningsih, M., & Mafazaa, H. 2016. Jenis-jenis lichen di kampus Undip Semarang. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*. 18(2): 20–29.
- Ahmadjian, V. & Hale, M. E. 1973. *The Lichens*. New York: Academic Press.

- Rabiah Harahap. Etika Islam Dalam Mengelola Lingkungan Hidup. Jurnal EduTech Vol 1 No 1 Maret. Medan: Dosen Fakultas Hukum UMSU, 2015.
- Eddy Soekendarsih, Jurnal Alam Dan Lingkungan, (Jurusan Biologi, MIPA, Unhas Volume 4, No.7. Agustus 2014), h. 4.
- Rachmawati. "Uji Pencemaran Udara Oleh Partikulat Debu Di Sekitar Terminal Lebak Bulus Berdasarkan Bioindikator Stomata pada Tanaman Glodogan (*Polyalthia longifolia*).” Skripsi Program Sarjana, Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, 2006.
- Roifatul Hidayati. "Analisis Karakteristik Stomata, Kadar Klorofil dan Kandungan Logam Berat pada Daun Pohon Pelindung Jalan Kawasan Lumpur Porong Sidoarjo.” Skripsi Program Sarjana, Malang: Universitas Islam Negeri Malang, 2009.
- Jumingan, Studi Kelayakan Bisnis Teori dan Proposal Pembuatan Proposal Kelayakan, (Jakarta: PT Bumi Aksara, 2009).h.160
- Kristanto, Philip. Ekologi Industri. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset, 2004.
- Palar, Heryando. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta, 2012.
- Sudarwin. "Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang”. Tesis. Semarang: Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, 2008.

BIODATA PENULIS



Dr. Waode Rustiah, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Pangkep pada tanggal 30 Januari 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Kesehatan Muhammadiyah Makassar. Penulis juga aktif di Himpunan Kimia Indonesia (HKI) Cabang Sul-Sel. Tahun 2002 menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Hasanuddin, dan melanjutkan S2 pada tahun 2005 di FMIPA Institut Teknologi Bandung (ITB) pada bidang konsentrasi Kimia Analitik. Pada tahun 2019 telah menyelesaikan pendidikan S3 pada Program Doktor Ilmu Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin.

BIODATA PENULIS



Dr. Eneng Rahmi, S.Si, M.Si
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Universitas Nusa Putra

Penulis lahir di Bandung tanggal 26 Agustus 1981. Penulis merupakan seorang PNS pada Pemerintah Daerah Kota Sukabumi dan juga dosen dengan ikatan kerja pada Program Studi Teknik Sipil pada Universitas Nusa Putra. Pendidikan penulis berlatar belakang Biologi mulai dari S1 hingga S2. Adapun untuk Pendidikan S3 penulis mengambil jurusan ilmu lingkungan dan Behaviour and Social Science Management. Bidang yang ditekuni oleh penulis tidak jauh dari latar belakang pendidikannya yaitu lingkungan hidup.

BIODATA PENULIS



Dra. Daawia M. Sc.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Cenderawasih

Penulis lahir di Bau-Bau Sulawesi Tenggara tanggal 4 Maret 1968 . Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Cenderawasih. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, FKIP, Universitas Cenderawasih dan melanjutkan S2 pada Jurusan Entomology, University of The Philippines Los Banos (UPLB). Bidang interest adalah Konservasi alam Khususnya Serangga dan Permakultur.

BIODATA PENULIS



Dr. Erma Suryani Sahabuddin, M.Si

Dosen Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar
Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Negeri Makassar

Penulis yang lahir di Bantaeng pada tanggal 19 Mei 1968, telah mengabdikan dirinya sebagai seorang dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar di Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Negeri Makassar. Pengalaman belajar dan mengajar yang dimilikinya merupakan salah satu hal yang menunjang kualitas tulisannya.

Penulis berhasil menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Kimia dan kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan Kimia, serta S3 pada Pendidikan Lingkungan Hidup. Bidang ilmu tersebut memberikan pemahaman mendalam terkait dengan ilmu pengetahuan, teknologi, dan lingkungan. Hal ini membuatnya mampu menghasilkan karya-karya tulis yang berkualitas dan mendalam.

Meski memiliki latar belakang pendidikan yang berbeda, namun penulis memiliki ketertarikan pada bidang Menulis. Sejak awal kuliah, penulis sudah mulai menekuni bidang menulis dan menghasilkan karya-karya tulis yang menarik perhatian pembaca. Oleh karena itu, penulis mengajak kita semua untuk terus

mengembangkan potensi diri dan memperdalam pengetahuan, terutama dalam bidang menulis.

BIODATA PENULIS



Dr.Lieza Corsita,S.T,M.T,

Dosen di universitas Sains dan Teknologi Jayapura (USTJ)

Dr.Lieza Corsita,S.T,M.T, Lahir di Jayapura, 30 November 1974 bertempat tinggal di kelurahan Hedam distrik Heram Kota Jayapura. Penulis adalah Dosen dan praktisi lingkungan dengan pengalaman mengajar lebih dari dua dekade di universitas Sains dan Teknologi Jayapura (USTJ) sejak tahun 1998 di Program studi Teknik Lingkungan S-1. Pendidikan formal sarjana ditempuh di Institut Teknologi Bandung, lulus tahun 1998 dan setahun kemudian melanjutkan magister teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan lulus ditahun 2002. Penulis mendapatkan Gelar Doktor ditempuh di Institut Teknologi Bandung tahun dan lulus di tahun 2015. Selama menjadi dosen, penulis banyak menerbitkan artikel dan publikasi yang berkaitan dengan bidang ilmu Teknik Lingkungan yang berkaitan dengan penyediaan air bersih untuk air minum, pencemaran kualitas perairan, kajian limbah B3, teknologi tepat guna dan energi terbarukan. Buku yang sudah diterbitkan antara lain Buku Monograf tentang Pengelolaan Waduk Kaskad Citarum Untuk Pengembangan Air Baku Infrastruktur Air Minum, Buku Chapter Kimia Lingkungan, Buku Chapter Pengelolaan Sumber Daya Air dan Dasar-Dasar Epidemiologi.

BIODATA PENULIS



Drs. Bambang Suhartawan, M.MT

Dosen Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

Penulis lahir di Blitar tanggal 13 Pebruari 1964. Penulis adalah dosen tetap dengan status PNS-DPK pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Sains dan Teknologi Jayapura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Cenderawasih Jayapura pada tahun 1989. Pendidikan Pasca Sarjana diperoleh dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Manajemen Teknik Lingkungan pada tahun 2002. Penulis meniti karir berawal sebagai Guru SMA pada tahun 1990, tahun 2008 pindah ke Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Provinsi Papua sebagai Kepala Seksi Teknologi dan Informasi Pendidikan, tahun 2011 mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Pengajaran Kabupaten Keerom, tahun 2014 sebagai Staf Ahli Bupati Bidang Pembangunan di kabupaten yang sama, tahun 2017 sebagai sekretaris Dinas

Pemuda dan Olahgara Kabupaten Keerom, tahun 2018 kambali mendapat kepercayaan sebagai Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Keerom dan baru tahun 2021 mutasi sebagai Dosen PNS berstatus diperbantukan di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura hingga saat ini.

BIODATA PENULIS



Rabiatul Adawiyah, S.Si, M.Si

Dosen Program Studi Kedokteran
Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako

Penulis lahir di Palu, 26 Agustus 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Tadulako. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biokimia di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Institut Pertanian Bogor (IPB) dan melanjutkan S2 pada jurusan yang sama, yakni Biokimia di FMIPA IPB.

BIODATA PENULIS



Nur Laila Rahayu, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto

Penulis lahir di Cilacap tanggal 26 Mei 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman dan melanjutkan S2 pada Pascasarjana Universitas Jenderal Soedirman. Penulis menekuni bidang Ekologi Perairan Darat.