

**BUKU AJAR  
PENCEMARAN LINGKUNGAN**

deepublish / publisher

## UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# **BUKU AJAR PENCEMARAN LINGKUNGAN**

**AYUDHIA RACHMAWATI**

 **deepublish**

*Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.*

**BUKU AJAR PENCEMARAN LINGKUNGAN**

**Ayudhia Rachmawati**

Desain Cover :

Sumber :

Tata Letak :  
**Ajuk**

Proofreader :  
**A. Timor Eldian**

Ukuran :  
**xii, 136 hlm, Uk: 15.5x23 cm**

ISBN :  
**No ISBN**

Cetakan Pertama :  
**Bulan 2022**

Hak Cipta 2022, Pada Penulis

---

Isi diluar tanggung jawab percetakan

---

**Copyright © 2022 by Deepublish Publisher**  
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT DEEPUBLISH**  
**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman  
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427  
Website: [www.deepublish.co.id](http://www.deepublish.co.id)  
[www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)  
E-mail: [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

## PERSEMBAHAN

Buku ini didedikasikan untuk seluruh mahasiswa Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Mulawarman dalam memahami kesehatan lingkungan global akibat dari pencemaran lingkungan. Harapannya buku ini dapat dipergunakan dan membawa ilmu yang bermanfaat bagi semuanya. Aamiin

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. yang dengan rahmat dan karunia-Nya mempermudah dan melancarkan dalam penyelesaian penulisan Buku Ajar Pencemaran Lingkungan ini. Penulisan Buku Ajar Pencemaran Lingkungan bertujuan memberikan gambaran mengenai sumber bahan pencemar dengan beragam karakteristik yang berdampak pada kualitas lingkungan. Buku ini juga menjelaskan dampak lingkungan dan kesehatan yang dapat terjadi akibat dari pencemaran lingkungan (air, udara, dan tanah). Oleh sebab itu, juga dijelaskan bagaimana upaya maupun strategi yang dilakukan dalam pengendalian dan pengelolaan pencemaran lingkungan yang terjadi.

Dalam buku ini peranan tenaga kesehatan masyarakat ditonjolkan dalam upaya pengendalian pencemaran lingkungan, diantaranya sebagai fasilitator dalam memberdayakan masyarakat agar mau dan mampu terlibat secara pro-aktif dalam pengelolaan lingkungan. Selain itu juga menjadi inisiator dalam pembuatan program pengendalian pencemaran lingkungan melalui kerja sama dengan *stakeholder* terkait. Perlunya membangun kerja sama semua pihak dalam upaya mengoptimalkan keberlanjutan program pengendalian, termasuk diantaranya terkait dengan perumusan kebijakan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan koreksi yang membangun sangat penulis harapkan dalam penulisan yang lebih baik ke depannya. Dengan kerendahan hati, Penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang sudah mendukung dalam penulisan buku ajar ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi kita semua.

Samarinda, 5 November 2022

Ayudhia Rachmawati, S.K.M., M.K.M

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB 1 PROLOG .....	1
1.1 Deskripsi Singkat .....	1
1.2 Prasyarat Mata Kuliah.....	1
1.3 Capaian Pembelajaran .....	1
1.4 Rencana Pembelajaran .....	2
BAB 2 KONSEP DASAR PENCEMARAN LINGKUNGAN.....	3
2.1 Definisi Pencemaran Lingkungan .....	3
2.2 Proses Pencemaran Lingkungan.....	4
2.3 Sumber Pencemaran Lingkungan .....	6
4.2 Macam-Macam Pencemaran .....	14
4.3 Ringkasan.....	21
4.4 Uji Pemahaman .....	22
BAB 3 PENCEMARAN AIR .....	23
3.1 Definisi Pencemaran Air dan Permasalahan PENCE- maran Air.....	23
3.2 Sumber-Sumber Pencemaran Air.....	26
3.3 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Air .....	29
3.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Air..	32
3.5 Baku Mutu Lingkungan.....	34
3.6 Analisis Kualitas Air .....	38
3.7 Dampak Pencemaran Air .....	41
3.8 Upaya Pengendalian Pencemaran Air .....	47
3.9 Ringkasan.....	48
3.10 Uji Kemampuan .....	49
BAB 4 PENCEMARAN UDARA.....	50
4.1 Definisi Pencemaran Udara dan Permasalahan PENCE- maran Udara.....	50
4.2 Sumber-Sumber Pencemaran Udara .....	52

4.3 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Udara .....	58
4.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara .....	66
4.5 Baku Mutu Lingkungan.....	68
4.6 Analisis Kualitas Udara-ISPU .....	69
4.7 Dampak Pencemaran Udara.....	72
4.8 Upaya Pengendalian Pencemaran Udara .....	80
4.9 Ringkasan .....	83
4.10 Uji Kemampuan .....	84
<b>BAB 5 PENCEMARAN TANAH.....</b>	<b>85</b>
5.1 Definisi Pencemaran Tanah dan Permasalahan Pencemaran Tanah .....	85
5.2 Sumber-Sumber Pencemaran Tanah .....	87
5.3 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Tanah .....	95
5.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Tanah .....	97
5.5 Baku Mutu Kualitas Tanah .....	100
5.6 Analisis Kualitas Tanah.....	102
5.7 Dampak Pencemaran Tanah .....	105
5.8 Upaya Pengendalian Pencemaran Tanah .....	111
5.9 Ringkasan .....	119
5.10 Uji Kemampuan .....	120
REFERENSI.....	121
BIOGRAFI.....	136

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kebakaran Hutan (kiri) dan Kabut Asap (kanan) di Kota Pekanbaru Riau Tahun 2019 .....	4
Gambar 2.2 Siklus Hubungan Timbal Balik Antara Kebakaran dan Krisis Iklim .....	6
Gambar 2.3 Pencemaran Sungai Akibat Limbah Pabrik Kimia (Kiri) dan Pencemaran Udara Akibat Kegiatan Industri (Kanan) di China.....	8
Gambar 2.4 Pencemaran Udara Akibat Transportasi di Jakarta (Kiri) dan Pencemaran Udara Akibat di India (Kanan) di China.....	10
Gambar 2.5 <i>Household Air Pollution</i> (Kiri) dan Pencemaran Air di Bantaran Sungai Ciliwung (Kanan)-Indonesia.....	11
Gambar 2.6 Framework untuk Menganalisis Pencemaran Air di Pertanian .....	12
Gambar 2.7 Penggunaan Pestisida Pertanian dan Polusi Badan Air di Sekitarnya .....	13
Gambar 3.1 Kondisi Kualitas Air Sungai di Lokasi Pemantauan Badan Sungai di DKI Jakarta.....	24
Gambar 3.2 Beban Konsentrasi Fecal Coliform di Lokasi Pemantauan Badan Sungai di DKI Jakarta .....	25
Gambar 3.3 Sumber Pencemaran Air .....	26
Gambar 4.1 emantauan Kualitas Udara di DKI Jakarta .....	51
Gambar 4.2 Sumber, Transportasi, Transformasi, dan Kondisi Polutan di Atmosfer .....	52
Gambar 4.3 Siklus Pencemaran $NH_3$ .....	56
Gambar 4.4 Jenis-Jenis Pencemar Udara.....	58
Gambar 4.5 Pembentukan fotokimia ozon dengan adanya VOC dan $NO_x$ .....	66
Gambar 4.6 ISPU Perkotaan (Kiri) dan ISPU melalui <i>Mobile System</i> (Kanan) .....	69
Gambar 4.7 Mekanisme Terjadinya Hujan Asam.....	73
Gambar 4.8 Dampak Pencemaran Udara pada Penyakit Astma	

dan Sosial Ekonomi .....	75
Gambar 4.9 Kerangka Mekanisme Polusi Udara Terhadap Kejadian Asma .....	76
Gambar 4.10 Mekanisme Penyakit Kardiovaskular Akibat Pencemaran Udara .....	77
Gambar 4.11 Siklus Manajemen Kualitas Udara.....	81
Gambar 5.1. 10 Provinsi dengan Desa/Kelurahan yang Mengalami Pencemaran Tanah Terbanyak Tahun2021.....	86
Gambar 5.2 Jalur Potensial Yang Terkait Tentang Kontaminasi Kimia Pada Permukaan Tanah.....	88
Gambar 5.3 Pencemaran Tanah oleh Penggunaan Kompos yang Mengandung Zat Berbahaya.....	93
Gambar 5.4 Pencemaran Tanah oleh Penggunaan Pestisida di Area Pertanian.....	94
Gambar 5.5 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Tanah .....	96
Gambar 5.6 Efek Utama dari Kontaminan Tanah Terhadap Kesehatan Manusia.....	108
Gambar 5.7 Penanganan Sampah atau Limbah Guna Mengurangi Pencemaran Tanah .....	112
Gambar 5.8 Teknik Bioremediasi.....	113
Gambar 5.9 Penggunaan Sel Bakteri dalam Proses Bioremediasi	117
Gambar 5.10 <i>Eisenia fetida</i> .....	119

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Prasyarat Kualitas Air Minum Parameter Wajib.....	34
<b>Tabel 3.2</b> Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi .....	35
<b>Tabel 3.3</b> Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi .....	36
<b>Tabel 3.4</b> Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi .....	36
<b>Tabel 4.1</b> Komponen Udara Bersih .....	50
<b>Tabel 4.2</b> Sumber Pencemaran Udara yang Berasal dari Rumah Tangga.....	57
<b>Tabel 4.3</b> Baku Mutu Udara Ambien Nasional.....	68
<b>Tabel 4.4</b> Kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) ...	69
<b>Tabel 4.5</b> Penjelasan Kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) .....	70
<b>Tabel 5.1</b> Kelompok Logam Berdasarkan Pada Penyerapan Tanaman .....	96
<b>Tabel 5.2</b> Kriteria Baku Kerusakan Tanah Di Lahan Kering Akibat Erosi Air.....	100
<b>Tabel 5.3</b> Kriteria Baku Kerusakan Tanah Di Lahan Basah.....	101
<b>Tabel 5.4</b> Kriteria Baku Kerusakan Tanah Di Lahan Keringw..	101
<b>Tabel 5.5</b> Nilai Ambang Logam Berat pada Tanah.....	102
<b>Tabel 5.6</b> Penilaian Kualitas dan Kesehatan Tanah Berdasarkan Indikator fisik, kimia dan biologi.....	103
<b>Tabel 5.7</b> Indikator Kualitas Tanah yang Dominan pada Skala Pertanian. ....	104
<b>Tabel 5.8</b> Beberapa Tanaman yang Mampu Menyerap Senyawa Logam Berat .....	116

deepublish / publisher

# BAB 1

## PROLOG

### 1.1 Deskripsi Singkat

Mata kuliah ini menyajikan tentang prinsip dan informasi teknis proses terjadinya pencemaran, pencemaran terhadap udara, air dan tanah, serta pengaruhnya. Dikemukakan tentang jenis, jumlah, sumber, dan dampak zat/unsur pencemaran serta upaya dan teknik penanggulangannya.

### 1.2 Prasyarat Mata Kuliah

Mata kuliah pencemaran lingkungan memiliki persyaratan bahwa mahasiswa telah memahami konsep dasar dari kesehatan lingkungan, yang telah dipahami melalui pengambilan mata kuliah dasar kesehatan lingkungan.

### 1.3 Capaian Pembelajaran

Mahasiswa dapat memahami prinsip-prinsip dan proses terjadinya pencemaran lingkungan, jenis dan bahan pencemar, baku mutu lingkungan, hukum pengelolaan pencemaran lingkungan, sumber-sumber pencemaran, dampak pencemaran terhadap kesehatan, upaya penanggulangan terhadap pencemaran.

- a. Mampu menjelaskan konsep dasar pencemaran lingkungan dan mengklasifikasikan sumber, jenis dan bahan pencemar.
- b. Mampu menjelaskan, memahami dan mendiskusikan pencemaran air terkait dengan definisi, sumber dan jenis pencemar air.
- c. Mampu menjelaskan baku mutu lingkungan (air bersih, air minum dan air limbah) hingga mampu menganalisis kualitas air dan dampak pencemaran air bagi lingkungan dan kesehatan.
- d. Mampu menjabarkan pengendalian pencemaran air.
- e. Mampu menjelaskan, memahami dan mendiskusikan pencemaran udara terkait dengan definisi, sumber dan jenis pencemar udara.

- f. Mampu menjelaskan baku mutu lingkungan (udara) hingga mampu menganalisis kualitas udara dan dampak pencemaran udara bagi lingkungan dan kesehatan.
- g. Mampu menjabarkan pengendalian pencemaran udara.
- h. Mampu menjelaskan, memahami dan mendiskusikan pencemaran tanah terkait dengan definisi, sumber dan jenis pencemar tanah.
- i. Mampu menjelaskan baku mutu lingkungan (tanah) hingga mampu menganalisis kualitas tanah dan dampak pencemaran tanah bagi lingkungan dan kesehatan.
- j. Mampu menjabarkan pengendalian pencemaran tanah.
- k. Mampu menjelaskan, memahami dan mendiskusikan teknologi pengendalian pencemaran lingkungan.

#### **1.4 Rencana Pembelajaran**

Pembelajaran dalam Mata Kuliah Pencemaran Lingkungan akan menggunakan Model pembelajaran *Blended Learning*, yakni dengan menggabungkan pembelajaran secara langsung (*offline*) dan tidak langsung (*online*). Selain itu, metode pembelajaran yang digunakan adalah ceramah, *think pair share* (mahasiswa/i diberikan waktu untuk berpikir, merespons, dan berbagi perspektifnya dengan yang lain) dan diskusi dalam forum (*case study*).

## BAB 2

# KONSEP DASAR PENCEMARAN LINGKUNGAN

### 2.1 Definisi Pencemaran Lingkungan

Berbagai isu permasalahan kesehatan saat ini, terjadi akibat dari berbagai aspek penyebab, salah satunya adalah pencemaran lingkungan. Berdasarkan pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997, pencemaran lingkungan dimaknai sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hingga menyebabkan adanya perubahan pada tatanan lingkungan. Hal tersebut diakibatkan oleh berbagai macam kegiatan alam ataupun manusia. Kondisi ini menyebabkan perubahan kualitas lingkungan yang menurun dan berdampak langsung pada fungsi lingkungan yang tidak optimal bagi peruntukannya. Adapun pencemaran lingkungan meliputi pencemaran udara, air hingga makanan yang mana dapat menyebabkan bahaya potensial bagi kesehatan dan kesejahteraan masyarakat, hingga merugikan dan merusak alam sekitar (Peirce *et al.*, 1997).

Permasalahan pencemaran lingkungan bukanlah hal yang baru, namun terus berlanjut hingga saat ini dengan tingkatan kompleksitas permasalahan yang berbeda. Salah satu kasus pencemaran lingkungan yang ada di Indonesia adalah kabut asap akibat dari kebakaran hutan di Kota Pekanbaru, Riau. Kejadian ini menghasilkan berbagai macam bahan-bahan pencemar diantaranya sulfur dioksida, karbon dioksida, formaldehid, nitrogen oksida, benzene, particulate matter, ozon dan timbal, yang mana berbahaya bagi kesehatan masyarakat terutama pada gangguan pernapasan (Brook, *et al.*, 2002 dalam Awaluddin, 2016).



Gambar 2.1 Kebakaran Hutan (kiri) dan Kabut Asap (kanan) di Kota Pekanbaru Riau Tahun 2019

*Sumber: The Jakarta Post, 2019 dan Kompas, 2019*

Upaya tentu terus dilakukan, namun hingga saat ini penanggulangan permasalahan pencemaran lingkungan belum cukup signifikan, guna menekan adanya penurunan kualitas lingkungan yang berkelanjutan akibat dari berbagai macam bahan pencemar yang ada. Oleh karenanya, pada buku ini akan dibahas secara lebih detail terkait dengan sumber, jenis dan bahaya bahan-bahan pencemar hingga dampak dan upaya penanggulangan dan pencegahannya.

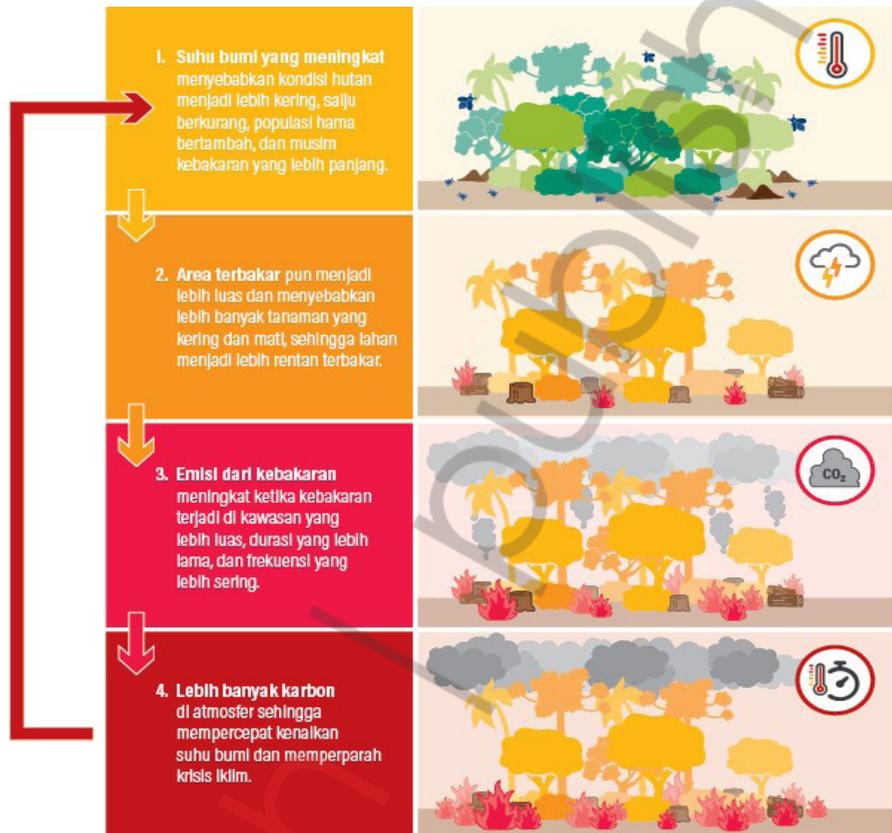
## 2.2 Proses Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan dapat disebabkan oleh adanya kegiatan manusia, seperti kegiatan industri maupun dari hasil kegiatan rumah tangga (domestik). Manusia sebagai salah satu makhluk hidup menghasilkan kotoran dari proses metabolisme tubuhnya dan berpotensi menimbulkan pencemaran jika tidak dikelola dengan baik. Sedangkan sebagai makhluk sosial, manusia akan menyebabkan terjadinya perpindahan benda dari lingkungan serta menambah sisa-sisa makanan, perumahan, pakaian dan lainnya. Sehingga semakin padat penduduk, maka akan semakin banyak sumber-sumber alam dimanfaatkan dan akan menyebabkan sisa buangan dari segala proses pemanfaatan sumber daya alam baik yang dapat diterima kembali oleh alam maupun yang tidak. Eksploitasi lingkungan secara masif dan tidak terkontrol membuat ekosistem menjadi terganggu dan berdampak

langsung bagi keberlanjutan daur hidup makhluk hidup yang ada di dalamnya (Sastrawijaya, 2009).

Adapun salah contoh proses terjadinya pencemaran lingkungan adalah kebakaran hutan yang diakibatkan oleh adanya perubahan iklim ekstrem. Berdasarkan pada Gambar 1.2, ketika suhu bumi terus mengalami peningkatan maka kondisi hutan akan jauh lebih kering dan mudah memicu timbulnya kebakaran. Apabila hal ini terus terjadi, maka potensi akan sebaran luas area hutan yang terbakar semakin meningkat. Kebakaran yang masif terjadi, akan berpengaruh langsung pada jumlah emisi bahan pencemar yang dihasilkan, salah satunya adalah gas karbon. Karbon merupakan salah satu gas yang dapat memicu adanya gas rumah kaca dan berdampak pada pemanasan global. Hal ini akan terus menjadi siklus di mana pemanasan global berdampak pada suhu bumi dan memicu peningkatan frekuensi terjadinya kebakaran hutan.

Peningkatan gas karbon juga dipengaruhi oleh adanya penggunaan bahan bakar yang berasal dari fosil. Adanya penggunaan BBM yang berbahan bakar fosil akan menghasilkan gas karbon yang berasal dari proses pembakarannya. Gas karbon merupakan salah satu komponen gas rumah kaca, pada setiap tahunnya jumlah gas CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke udara bebas (atmosfer) sebanyak 18,35 miliar ton. Sehingga ketika gas-gas yang menjadi sumber pencemaran terjadinya gas rumah kaca semakin banyak, maka hal tersebut menjadi insulator yang dapat menahan panas dari matahari yang dipancarkan ke bumi. Kondisi ini menjadi penyebab utama terjadi pemanasan global (Sulistiyono, 2012). Dampak dari pemanasan global meliputi suhu meningkat, perubahan iklim yang ekstrem yang memicu banjir, longsor, dan kekeringan, dampak pada kesehatan masyarakat hingga berdampak pada sosial politik.



Gambar 2.2 Siklus Hubungan Timbal Balik Antara Kebakaran dan Krisis Iklim

Sumber: Nancy et al., 2020

### 2.3 Sumber Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan dipicu oleh berbagai sumber pencemaran. Sumber pencemaran lingkungan dapat diakibatkan oleh aktivitas alam maupun kegiatan manusia, berikut ini penjelasan lebih rinci terkait dengan sumber pencemaran lingkungan (Nasihah, 2018):

#### a. Aktivitas Alam

Pencemaran lingkungan akibat dari aktivitas alam dapat memberikan dampak perubahan yang besar dalam suatu lingkungan ekosistem yang ada. Beberapa aktivitas alam yang dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan meliputi: letusan gunung berapi yang

berpotensi menimbulkan pencemaran udara akibat dari partikel debu maupun gas yang berdampak langsung pada makhluk hidup di sekitarnya (manusia, hewan dan tumbuhan), gelombang panas menyebabkan lahan gambut maupun hutan menjadi lebih kering akibat dari suhu tinggi dan kelembaban yang rendah, hal tersebut tentu memicu adanya kebakaran lahan ataupun hutan dalam skala besar. Polutan yang disebabkan oleh kebakaran hutan bervariasi baik yang berupa partikel debu hingga gas-gas yang bersifat toksik. Selain itu, adanya bencana alam banjir dan gelombang tsunami juga dapat memicu adanya pencemaran lingkungan khususnya terkait dengan ketersediaan air bersih.

b. Kegiatan Manusia

Pencemaran lingkungan akibat dari kegiatan manusia meliputi banyak faktor, diantaranya faktor perkembangan populasi yang begitu pesat, faktor urbanisasi, faktor industrialisasi, dan faktor perkembangan sosial ekonomi. Perkembangan populasi erat kaitannya dengan kebutuhan akan tempat tinggal hingga kebutuhan bahan pangan hingga kebutuhan tersier (kendaraan) dalam upaya menunjang kehidupannya. Sedangkan faktor urbanisasi berkaitan dengan pembukaan lahan dan penimbunan sampah atau sisa buangan akibat segala kegiatan atau proses yang dilakukan oleh manusia. Faktor industrialisasi, meliputi transportasi hingga pertambangan yang menghasilkan energi sampai pada hasil residu dari proses tersebut. Adapun perkembangan sosial ekonomi akan berdampak pada peningkatan kebutuhan dan pemanfaatan bahan-bahan yang bersumber dari alam dan akan menyebabkan semakin banyaknya sisa-sisa buangan sebagai hasil buangannya. Kegiatan manusia sebagai penghasil pencemaran lingkungan terbagi pada:

1. Kegiatan Industri

Perkembangan ekonomi tidak dapat dilepaskan dari pertumbuhan industrialisasi suatu negara. Proses industri akan memanfaatkan sumber-sumber alam yang kemudian diolah menjadi berbagai jenis produk yang dapat menunjang kehidupan

manusia. Namun, pada proses kerjanya akan menghasilkan sisa residu yang berpotensi menjadi penyebab pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Semakin pesat perkembangan industri suatu negara maka akan semakin tinggi tingkat pencemaran lingkungan yang terjadi. Beberapa industri menghasilkan gas emisi dan limbah padat yang berkontribusi besar pada peningkatan pencemaran lingkungan (Gao & Jiang, 2020). Oleh sebab itu, perlunya restrukturisasi industri dalam memahami identifikasi pencemar utama bagi lingkungan dan dilakukan pembangunan yang tidak hanya berbasis pada ekonomi namun juga pada aspek lingkungan (Geng & Wang, 2018).

Pertumbuhan industri perlu ditunjang oleh penggunaan teknologi yang canggih dan terkini. Hal ini perlu dilakukan karena berkorelasi pada pengurangan tingkat konsentrasi maupun padatan polusi. Terjadinya pertumbuhan industri khususnya padat karya, tidak dapat terelakkan akan menyebabkan semakin tingginya kepadatan polusi yang lebih besar. Akan tetapi, jika suatu negara mampu menunjang pertumbuhan industrialisasi dengan tepat dan bijak, maka kepadatan atau pencemaran lingkungan dapat ditekan (Tang & Yang, 2011).



Gambar 2.3 Pencemaran Sungai Akibat Limbah Pabrik Kimia (Kiri) dan Pencemaran Udara Akibat Kegiatan Industri (Kanan) di China

Sumber: (Alec, 2014)

Pencemaran lingkungan akibat dari pertumbuhan industri sangat terlihat dampaknya di China, di mana berbagai sektor industri

menghasilkan bahan pencemar baik berupa emisi gas maupun air limbah industri. Beberapa sektor industri penghasil bahan pencemar seperti industri pakaian hingga industri pengolahan tembakau dan makanan (Moujun *et al.*, 2011). Hal ini merupakan gambaran percepatan ekonomi di China yang berdampak besar pada kondisi kualitas lingkungan, Namun Pemerintah setempat terus berbenah dengan mengembangkan teknologi terbarukan serta belajar dari pengalaman sebelumnya. Penerapan teknologi dan metode pemulihan lingkungan yang baru secara signifikan dapat mempercepat pemulihan lingkungan, dengan diikuti oleh pemantauan kualitas lingkungan yang ketat (Yadong *et al.*, 2022).

## 2. Kegiatan Transportasi

Masifnya penggunaan mode transportasi saat ini menjadi salah satu faktor terhadap tingkat pencemaran lingkungan khususnya pada kualitas udara. Penggunaan transportasi masih didominasi oleh kendaraan dengan bahan bakar fosil. Kondisi ini memicu timbulnya bahan pencemar udara akibat dari proses pembakaran dari bahan bakar fosil tersebut. Semakin tingginya kepemilikan kendaraan pribadi, berpotensi pada kemacetan yang dapat menghasilkan semakin tingginya konsentrasi emisi senyawa berbahaya dari gas buang (Jacyna *et al.*, 2017). Transportasi seperti dua belah mata pisau, di sisi lain membawa manfaat bagi penggunanya namun di sisi lainnya membawadegradasi lingkungan. Berbagai macam jenis polutan yang dihasilkan dari kendaraan bermotor antara lain: Karbon Monoksida (CO), Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), partikulat, Benzena serta Hidrocarbon (HC). Berbagai macam gas berbahaya yang dihasilkan dapat berdampak langsung bagi kesehatan, bahkan ketika gas tersebut bersifat toksik dan terhirup oleh saluran pernapasan akan berpotensi meningkatkan risiko penyakit kanker dan penyakit lainnya (Chaturvedi *et al.*, 2018).



Gambar 2.4 Pencemaran Udara Akibat Transportasi di Jakarta (Kiri) dan Pencemaran Udara Akibat di India (Kanan) di China

Sumber: BBC, 2017 dan Hindustan Times, 2016

Emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran pada kendaraan bermotor berdampak signifikan terhadap atmosfer dan juga perubahan iklim. Pada negara berkembang, emisi gas pencemar meningkat drastis dan mempengaruhi kesehatan masyarakat. Pemanasan global dipicu oleh ketidakseimbangan radiasi yang diakibatkan oleh berbagai macam polutan pencemar yang terdapat pada lapisan atmosfer. Pemantauan dan pengontrolan emisi gas buang kendaraan dinilai dapat mengurangi konsentrasi emisi polutan dan senyawa organik berbahaya (Uherek *et al.*, 2010). Transportasi menyebabkan terjadinya deposisi asam, penipisan stratosfer dan perubahan iklim. Emisi gas buang dari mode transportasi berdampak kualitas udara di perkotaan yang mana mempengaruhi kesehatan masyarakat dan produksi ozon troposfer (Colvile *et al.*, 2001). Oleh sebab itu, banyak negara yang sudah mulai membangun transportasi yang berbasis listrik, demi mengurangi jumlah emisi karbon dan juga membatasi adanya kepemilikan kendaraan pribadi dengan menganjurkan mode transportasi umum. Sistem transportasi harus terus dikembangkan dan distandardisasi dengan baik.

Adapun peningkatan efektivitas pelayanan transportasi terus dilakukan demi mencegah dan mengurangi tingkat pencemaran lingkungan (Tánczos & Török, 2008).

## 2. Kegiatan Rumah Tangga (Domestik)

Pencemaran lingkungan yang bersumber dari kegiatan rumah tangga atau domestik, di dominasi oleh pencemaran udara maupun pencemaran air. Berdasarkan pada data WHO didapatkan 2,4 miliar orang di seluruh dunia atau sepertiga dari total populasi global masih memasak menggunakan kompor yang berbahan bakar minyak tanah, biomassa (kayu, kotoran hewan, dan limbah tanaman), serta batu bara. Hal tersebut menyebabkan polusi udara yang berbahaya di dalam rumah. Polusi udara rumah tanggamenyebabkan 3,2 juta kematian per tahun pada Tahun 2020, termasuk lebih dari 237.000 kematian anak balita. Selain itu, pajaran dari bahan pencemar yang berasal daripolusi rumah tangga dapat menyebabkan berbagai macam penyakit tidak menular, diantaranya stroke, penyakit jantung iskemik, penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) hingga kanker paru-paru (WHO, 2022).



Gambar 2.5 Household Air Pollution (Kiri) dan Pencemaran Air di Bantaran Sungai Ciliwung (Kanan)-Indonesia

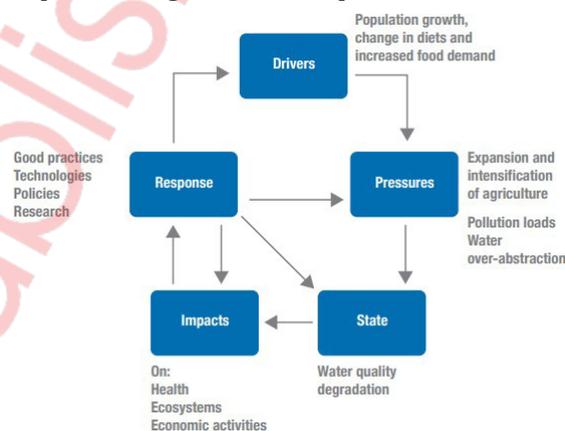
Sumber: WHO, 2022 dan The Jakarta Post, 2019a

Perlunya memperluas penggunaan bahan bakar bersih dan teknologi tepat guna yang dapat mengurangi polusi

udara rumah tangga, seperti listrik, biogas, LPG, gas alam, bahan bakar alkohol (WHO, 2022). Selain pencemaran udara, kegiatan rumah tangga dapat berpotensi menghasilkan air limbah domestik terutama yang berada di pemukiman padat penduduk. Kepadatan penduduk yang tidak diimbangi dengan penyediaan saluran pembuangan air limbah yang baik, akan menimbulkan pencemaran bantaran sungai dan mempengaruhi kualitas aliran sungai. Adanya bahan organik yang berpengaruh pada jumlah oksigen dan ekosistem perairan yang merupakan proses biologis dan degradasi bahan kimia (Prilly Ismi Arum & Harisuseno, 2019). Oleh karena itu, perlunya pemantauan dan pengelolaan sistem pembuangan air limbah pemukiman yang sesuai dengan standar yang berlaku dalam upaya mencegah terjadinya pencemaran air

### 3. Kegiatan Pertanian

Pertanian merupakan aspek penting dalam menunjang kebutuhan pangan masyarakat. Adanya peningkatan kebutuhan populasi terhadap produk-produk pertanian menyebabkan adanya perkembangan dan perubahan mekanisme produksi dengan memodifikasi bahkan menggunakan beberapa teknik yang dapat meningkatkan hasil panen.



Gambar 2.6 Framework untuk Menganalisis Pencemaran Air di Pertanian

Sumber: FAO & IWMI, 2017

Namun beberapa teknik yang digunakan dapat berdampak pada kesehatan bahkan lingkungan. Hasil sampingan dari praktik pertanian dapat mengganggu komponen lingkungan yang mempengaruhi kesehatan populasi. Produk sampingan tersebut merupakan polutan yang tidak terkontrol jika tidak segera dilakukan upaya pengendalian, penanggulangan, hingga pengawasan yang ketat. Sebab besaran dampak yang berpotensi terjadi adalah kerusakan ekosistem, lahan pertanian dan lingkungan yang ada di sekitar kita (G. Kumar et al., 2020). Penggunaan pupuk menjadi salah satu sumber hara tanaman yang ditambahkan dalam upaya peningkatan produksi. Salah satu pupuk yang mengandung nitrogen banyak digunakan adalah urea. Adapun dampak pemberian pupuk urea yang berlebihan dan berpengaruh pada lingkungan, yaitu eutrofikasi, kerusakan ekosistem, keracunan tanaman, pertumbuhan tanaman yang berlebihan hingga pengurasan ozon pada lapisan stratosfer (Owens, 1994 dalam (Mulyadi & Sutrisno, 2007).



Gambar 2.7 Penggunaan Pestisida Pertanian dan Polusi Badan Air di Sekitarnya

*Sumber: Mondal et al., 2017*

Selain pupuk, penggunaan bahan pestisida semakin meningkat seiring dengan peningkatan produksi pertanian yang dapat berdampak pada pencemaran lingkungan dan dapat berdampak buruk terhadap kualitas sumber daya lahan yang

ada. Adapun indikasi bahwa bahan-bahan agrokimia dalam hal ini pestisida memiliki kandungan logam berat dan residu pestisida pada bahan pangan dengan kategori melampaui ambang yang dianjurkan. Sedangkan penggunaan insektisida berpotensi untuk dapat meninggalkan residu organoklorin di air (air sawah, sungai dan laut) dengan konsentrasi yang dapat diatas batas toleransi dan residunya berpotensi mencemari perairan (Ardiwinata dan Djazuli, 1992 dalam Mulyadi & Sutrisno, 2007).

## **4.2 Macam-Macam Pencemaran**

### **a. Pencemaran Air**

Pencemaran air menurut Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 adalah masuk dan dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air akibat dari kegiatan manusia, yang mana menyebabkan penurunan kualitas air sampai pada tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak lagi dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Sedangkan makna lainnya yaitu terdapat bahaya atau polutan dalam jumlah yang berlebihan dalam air sehingga sudah tidak layak lagi dipergunakan untuk mandi, minum, memasak ataupun keperluan lainnya (Olaniran, 1995 dalam Owa, 2014). Beberapa sumber pencemaran air diantaranya kebocoran air limbah, kepadatan penduduk yang tinggi, tumpahan minyak, ancaman pohon nipah dan eceng gondok, limbah industri dibuang ke perairan, terjadinya pencemaran air tanah melalui kegiatan pengeboran, banjir pada musim hujan yang akan membawa timbunan sampah ke perairan, membangun toilet diatas air yang mengalir (sungai), radioisotop, logam berat, pembuangan limbah beracun di laut, limbah hasil pabrik pengolahan mineral, sedimen yang tererosi, deforestasi, pertambangan, pestisida, herbisida, pupuk hingga kotoran hewan (Gbamanija, 1998 dalam Owa, 2014). Pencemaran air sebagian besar disebabkan oleh limbah organik. Adapun

pencemaran air memiliki efek negatif bagi makhluk hidup dan juga lingkungan. Pencemaran air menyebabkan sekitar 14.000 kematian per hari yang sebagian besar disebabkan oleh kontaminasi air minum oleh limbah yang tidak diolah di negara-negara berkembang. Sebagai contoh sekitar 700 juta orang India tidak memiliki akses toilet yang layak dan 1.000 anak-anak di India meninggal karena mengalami diare setiap hari. Bahkan sebanyak 500 juta orang China tidak memiliki akses air minum yang aman. Kerusakan pada nutrisi tanaman dan hewan juga dapat mempengaruhi langsung kesehatan manusia. Apabila nutrisi tanaman seperti nitrogen, fosfor dan zat lain yang berfungsi dalam mendukung pertumbuhan tanaman dalam konsentrasi yang tinggi, maka akan menyebabkan pertumbuhan alga dan gulma yang berlebihan. Hal ini menyebabkan air menjadi bau, berasa dan berwarna. Sehingga keseimbangan ekologi suatu badan air akan berubah (Owa, 2014).

#### **b. Pencemaran Udara**

Pencemaran udara dimaknai sebagai masuknya zat ke dalam atmosfer yang dapat berbahaya bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Selain berdampak pada makhluk hidup, akan berpotensi menyebabkan kerusakan pada perubahan iklim maupun material-material lainnya. Terdapat berbagai macam polutan udara seperti gas (ammonia, karbon monoksida, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, dan metana, partikulat (organik dan anorganik), dan molekul biologis. Pencemaran udara berpotensi menyebabkan berbagai macam penyakit diantaranya alergi hingga kematian. Adapun polutan yang ada mengancam kerusakan pada organisme hidup lainnya (hewan dan tanaman). Telah dijelaskan sebelumnya bahwa pencemaran udara dapat berasal dari kegiatan atau aktivitas manusia hingga menghasilkan bahan-bahan pencemar udara yang berada pada batas ambang yang diberlakukan. Hal inilah yang memicu timbulnya berbagai macam penyakit akibat paparan bahan pencemaran udara seperti ISPA, PPOK, penyakit

jantung dan kanker paru-paru (WHO, 2014 dalam Shaltami *et al.*, 2020).

Berikut ini adalah polutan primer utama yang dihasilkan oleh aktivitas manusia meliputi (Choudhary & Garg, 2013):

1. Sulfur Oksida ( $SO_x$ )

Sulfur dioksida merupakan gas tidak berwarna dengan bau yang menyengat. Sulfur dioksida berada di udara akibat dari aktivitas pembakaran batu bara dan minyak pada pembangkit listrik maupun saat peleburan tembaga. Secara alami, sulfur dioksida dapat dilepaskan ke udara akibat dari letusan gunung berapi. Paparan Sulfur dioksida pada konsentrasi yang tinggi dapat berbahaya bagi kehidupan dan kesehatan manusia. Timbulnya rasa terbakar pada hidung dan tenggorokan, kesulitan bernapas, serta obstruksi atau penyumbatan jalan napas yang parah banyak terjadi bagi para penambang yang menghirup Sulfur dioksida yang dilepaskan akibat dari ledakan tambang tembaga. Adapun dampak lainnya adalah peradangan saluran napas hingga terjadinya gangguan fungsi paru (ATSDR, 1999).

2. Nitrogen Oksida ( $NO_x$ )

Nitrogen oksida adalah percampuran gas yang terdiri dari Nitrogen dan Oksigen. Karakteristik dari Nitrogen oksida adalah berwarna cokelat kemerahan, mudah terbakar dan berbau tajam. Nitrogen oksida dilepaskan ke udara dari sisa pembakaran pada kendaraan bermotor yakni knalpot, pembakaran batu bara, minyak bumi maupun gas alam, peledakan dinamis. Nitrogen oksida juga dimanfaatkan dalam bahan bakar roket, nitrasi bahan kimia organik dan pembuatan bahan peledak. Jalur transmisi paparan Nitrogen oksida melalui saluran pernapasan, masyarakat yang bermukim di dekat sumber energi seperti pembangkit listrik tenaga batu bara maupun daerah dengan penggunaan kendaraan bermotor dengan kuantitas yang padat dapat terdampak paparan Nitrogen oksida yang lebih tinggi

dibandingkan pada populasi yang jauh dari sumber pajanan. Selain itu, rumah tangga yang masih menggunakan kayu atau minyak tanah memiliki pajanan Nitrogen oksida yang lebih tinggi dibandingkan rumah tangga yang sudah menggunakan energi ramah lingkungan (ATSDR, 2002).

3. Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida memiliki karakteristik gas tidak berwarna, tidak mengiritasi, tidak berbau dan tidak berasa yang ditemukan di udara baik dalam atau luar ruangan. Karbon monoksida terbentuk akibat dari pembakaran senyawa karbon yang tidak sempurna, sebagian besar dihasilkan dari kendaraan bermotor. Jalur pajanan karbon monoksida melalui saluran pernapasan atau inhalasi. Pajanan dapat meningkat salah satunya ketika terjadinya lonjakan kepadatan lalu lintas dan berpotensi bahaya bagi pengemudi ataupun penjaga pintu tol. Pajanan dalam ruangan dapat terjadi akibat dari pemasangan peralatan yang tidak tepat (tungku, kompor, pemanas, generator) di mana menggunakan bahan bakar bensin, minyak tanah maupun bahan bakar lainnya. Asap rokok juga salah satu penghasil senyawa karbon monoksida yang berbahaya kesehatan. Adapun populasi berisiko lainnya adalah yang bekerja di kilang minyak, pembangkit tenaga gas dan batu bara, maupun pabrik petrokimia. Keracunan karbon monoksida pada konsentrasi yang tinggi dapat mengancam jiwa, termasuk penyakit jantung, aritmia, iskemia, miokard, henti napas, hipotensi, edema paru nonkardiogenik, kejang, koma hingga kematian (ATSDR, 2012).

3. Volatile Organik Compounds (VOCs)

VOC's merupakan polutan udara yang terdapat di alam bebas, dikategorikan sebagai metana ( $\text{CH}_4$ ) dan non-metana (NMVOCs). Metana merupakan gas rumah kaca yang sangat berkontribusi terhadap peningkatan pemanasan global. Sedangkan hidrokarbon VOC's lainnya juga secara signifikan

dalam menyebabkan gas rumah kaca dan memperpanjang waktu tinggal metana di atmosfer. NMVOC's yang bersifat aromatik, seperti benzene, toluene dan xylene dapat menyebabkan karsinogen seperti penyakit leukemia akibat dari pajanan jangka panjang (Vallero, 2007 dalam Choudhary & Garg, 2013).

#### 4. Partikulat

*Particulate Matter* (PM) merupakan campuran partikel padat dan *droplets* cairan yang ditemukan di udara. Beberapa partikel seperti debu, jelaga, maupun asap yang berukuran cukup besar dapat terlihat secara langsung oleh mata telanjang. Namun, beberapa lainnya memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga hanya dapat dideteksi dengan menggunakan mikroskop elektron, seperti PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2.5</sub>. PM dapat berasal dari pancaran sumber secara langsung seperti lokasi konstruksi, jalanyang tidak beraspal, lading, cerobong asap hingga kebakaran. Sebagian besar partikel terbentuk di atmosfer sebagai akibat dari reaksi kompleks bahan kimia seperti sulfur dioksida dan nitrogen oksida, yang merupakan polutan yang dipancarkan dari pembangkit listrik, industri, dan mobil. Apabila partikulat yang mengandung padatan mikroskopis yang sangat kecil dan terhirup, maka akan menyebabkan permasalahan kesehatan yang serius. Beberapa partikel yang memiliki diameter kurang dari 10 mikrometer dapat masuk jauh ke dalam paru-paru bahkan dapat masuk kedalam aliran darah (EPA, 2022b).

#### 5. Amonia (NH<sub>3</sub>)

Amonia ditemukan secara alami di lingkungan, dengan karakteristik berbentuk gas tidak berwarna dengan bau yang sangat tajam. Amonia secara alami ditemukan di air, tanah, dan udara serta merupakan sumber nitrogen bagi tanaman dan hewan. Proses pajanan amonia pada populasi sebagian besar melalui saluran pernapasan atau inhalasi, akibat dari

adanya kontaminasi pada udara. Selain itu, amonia juga dapat masuk melalui ingesti atau pencernaan akibat dari kontaminasi makanan dan air. Pencemaran udara *indoor* yang disebabkan oleh amonia akibat dari penggunaan produk rumah tangga seperti pembersih jendela maupun pelapis lantai. Sedangkan pencemaran pada udara *outdoor* disebabkan akibat kebocoran tumpahan gas di pabrik produksi dan fasilitas penyimpanan dari jaringan pipa, truk tangki, gerbong, kapal, dan tongkang yang mengangkut amonia. Kelompok rentan akan paparan amonia adalah petani, peternak maupun individu yang memelihara ternak atau unggas yang berasal dari pembusukan pupuk. Dampak dari pajanan ammonia bagi kesehatan meliputi terjadi iritasi saluran pernapasan atas, jika sampai terjadi paparan akut yang tidak disengaja maka dapat menyebabkan kematian akibat dari obstruksi atau penyumbatan jalan napas atau terjadinya infeksi dan komplikasi sekunder lainnya (ATSDR, 2004).

#### 6. Polutan Radioaktif

Pencemaran radioaktif dimaknai sebagai pencemaran fisik organisme hidup dan juga lingkungannya. Akibat dari pelepasan zat radioaktif ke lingkungan selama terjadi ledakan nuklir dan pengujian senjata nuklir, produksi dan penonaktifan senjata nuklir, penambangan bijih radioaktif, penanganan dan pembuangan limbah radioaktif, dan kecelakaan yang terjadi di pembangkit tenaga nuklir. Adapun ketika melakukan uji coba nuklir akan dilihat kemampuan daya ledakannya dan akan menghasilkan polusi radioaktif sebanyak 15% dari total energi ledakannya. Radionuklida merupakan sumber utama polusi dengan memancarkan partikel beta, sinar gamma dan zat radioaktif (Posudin, 2014). Paparan kronis radiasi dalam dosis yang relatif tinggi berpotensi memberikan efek bagi kesehatan seperti efek stokastik, seperti peningkatan risiko

terkena kanker, katarak, dan efek genetik. Efek genetik mengacu pada kerusakan materi genetik dalam kromosom sel. Efek genetik dapat bersifat somatik di mana individu telah mengalami kerusakan pada beberapa materi genetik di dalam sel yang pada akhirnya dapat menyebabkan sel menjadi kanker atau herediter di mana efek genetiknya diwariskan atau diturunkan kepada keturunannya (Rahman *et al.*, 2013).

**c. Pencemaran Tanah**

Pencemaran tanah atau *soil pollution* merupakan suatu kondisi di mana produktivitas tanah berkurang akibat adanya polutan tanah. Bahan pencemar tanah memiliki dampak buruk bagi sifat biologi, kimia, dan fisik tanah, yang mana dapat mengakibatkan berkurangnya tingkat produktivitas. Penggunaan pupuk organik, pestisida, bahan kimia, limbah radioaktif, sampah (sisa makanan, pakaian, plastik, botol, kaleng-kaleng), hingga bangkai merupakan semua hal yang berkontribusi menyebabkan pencemaran tanah. Pencemaran tanah yang berasal dari limbah industri seperti besi, timbal, merkuri, tembaga, seng, cadmium, aluminium, sianida, dan lain sebagainya dapat mencapai tanah secara langsung melalui air maupun tidak langsung melalui udara (hujan asam). Selain dari industri, pencemaran tanah juga dapat berasal dari aktivitas pertanian melalui penggunaan herbisida, pestisida, dan fungisida yang tidak tepat dan secara terus-menerus. Kondisi tersebut dapat mengubah komposisi dasar tanah dan membuat tanah menjadi racun untuk pertumbuhan tanaman. Hal ini disebabkan karena terjadinya penumpukan bahan-bahan kimia di tanah dan akan dibutuhkan waktu yang lama untuk mengalami proses degradasi. Berdampak pada terhambatnya pertumbuhan tanaman hingga mengurangi hasil dan ukuran buah. Pencemaran tanah dapat menyebabkan risiko kesehatan akibat dari kontak langsung atau tidak langsung dengan tanah yang telah terkontaminasi. Polusi tanah dapat berdampak

pada keseimbangan ekologi dan organisme (makhluk hidup). Sebagai contoh, biasanya tanaman tidak dapat tumbuh dan berkembang di tanah yang telah tercemar. Namun jika ada beberapa tanaman berhasil tumbuh, maka tanaman tersebut dimungkinkan menyerap bahan kimia beracun yang terdapat di dalam tanah, dan jika dikonsumsi oleh manusia maka akan membawa masalah kesehatan yang serius. Populasi yang tinggal di dekat dengan tanah yang tercemar, maka memiliki kecenderungan lebih tinggi untuk mengalami kejadian migrain, mual, kelelahan, gangguan kulit dan bahkan keguguran (tentunya tergantung pada konsentrasi pajanan polutan). Gangguan kesehatan jangka panjang akibat polutan tanah diantaranya kanker, leukemia, gangguan reproduksi, kerusakan hati dan ginjal, serta permasalahan sistem saraf pusat (Mishra, Mohammad, & Roychoudhury, 2016).

#### **4.3 Ringkasan**

Pencemaran lingkungan merupakan suatu kondisi di mana lingkungan mengalami penurunan kualitas akibat dari masuk atau dimasukkannya bahan-bahan pencemar atau polutan (fisik, kimia dan biologi) yang mempengaruhi fungsi lingkungan bagi peruntukannya. Pencemaran lingkungan dapat terjadi akibat dari aktivitas alam dan aktivitas manusia (industri, limbah domestik, transportasi, dan pertanian). Sedangkan pencemaran lingkungan terdiri dari pencemaran air, udara, dan tanah. Berbagai macam permasalahan terkait pencemaran lingkungan dapat berdampak pada keseimbangan ekologi dan ekosistem, sehingga kelangsungan hidup seluruh organisme (makhluk hidup) yang ada di dalamnya akan terancam. Adapun ketidakseimbangan tersebut menyebabkan masalah kesehatan bagi masyarakat atau populasi yang terpajan, tergantung pada jenis polutan, lama pajanan hingga jumlah atau konsentrasi polutan. Berbagai upaya perlu dilakukan dalam penanggulangan dan pengendalian pencemaran lingkungan yang jauh lebih luas. Pengendalian dapat dilakukan dengan mengintervensi segala kegiatan manusia yang berpotensi menimbulkan pencemaran, melalui

peraturan, kebijakan, penyuluhan hingga pemberdayaan masyarakat. Perlunya melibatkan semua pihak terkait guna membentuk masyarakat yang mandiri, berdaya dan peduli terhadap kelestarian lingkungan.

#### **4.4 Uji Pemahaman**

- a. Bagaimana keterkaitan antara pembakaran sampah dengan pencemaran lingkungan?
- b. Apa upaya yang dapat dilakukan dalam menekan laju pencemaran lingkungan?
- c. Bagaimana keterlibatan masyarakat dalam mengendalikan pencemaran lingkungan?

## BAB 3

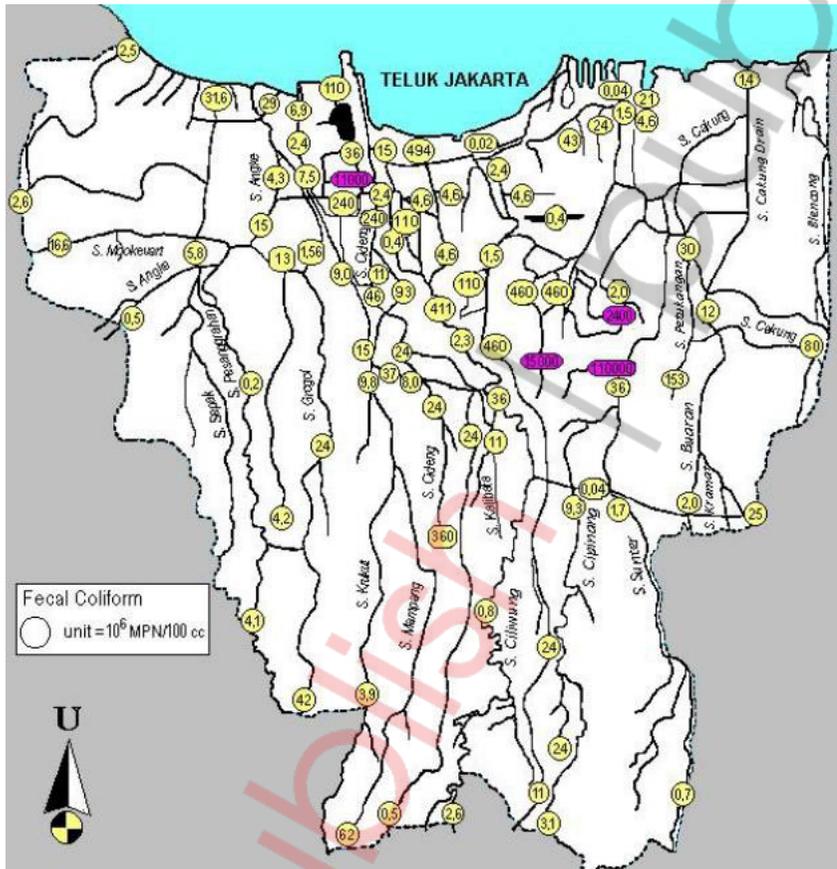
### PENCEMARAN AIR

#### 3.1 Definisi Pencemaran Air dan Permasalahan Pencemaran Air

Pencemaran air dimaknai sebagai masuknya atau dimasukkannya suatu zat, energi, makhluk hidup, atau komponen lainnya akibat dari aktivitas manusia yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air hingga pada tingkatan yang berbahaya. Sehingga air tidak lagi dapat dimanfaatkan atau difungsikan sebagai mana mestinya dan dapat memberikan dampak bagi kesehatan masyarakat (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990). Sehingga dapat disimpulkan bahwa pencemaran air adalah kondisi telah terjadinya penyimpangan sifat dan karakteristik air dari kondisi normalnya (Sholihah *et al.*, 2020). Studi terkait dengan pencemaran air yang ada di Indonesia adalah pencemaran air yang terjadi di kota-kota besar, salah satunya adalah DKI Jakarta. Jakarta mengalami permasalahan kompleks terkait dengan pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran air. Berbagai faktor mendasari pencemaran ini terjadi, yakni limbah yang berasal dari industri yang dibuang ke sungai atau laut tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Selain itu, juga adanya peranan penting masyarakat dalam menyebabkan pencemaran air di Jakarta (Yudo & Said, 2001).



tanah seperti penurunan kualitas air sumur gali atau sumur tanah dangkal yang tercemar zat-zat kimia (zat organik, ammonia, hingga bakteri coli yang berasal dari tinja manusia). Hasil pemantauan kualitas air sumur gali oleh KPPL DKI Jakarta, didapatkan bahwa sebanyak 87% air tanah dangkal DKI Jakarta telah mengalami pencemaran bakteri coli (Yudo & Said, 2001).



Gambar 3.2 Beban Konsentrasi Fecal Coliform di Lokasi Pemantauan Badan Sungai di DKI Jakarta

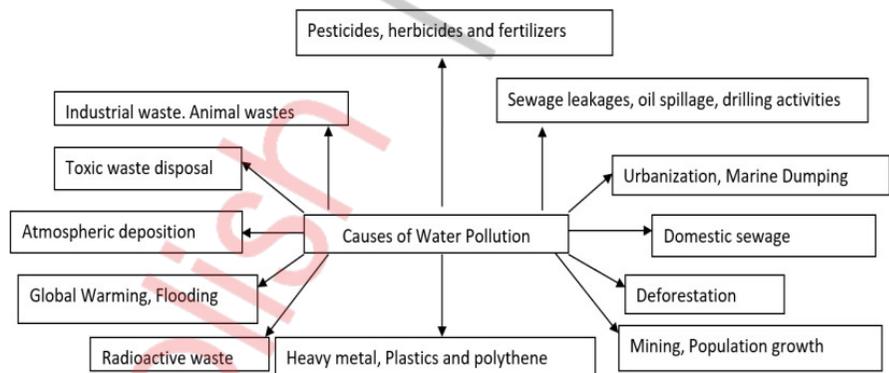
Sumber: Yudo & Said, 2001

Permasalahan pencemaran air di DKI Jakarta menjadi gambaran untuk kota-kota besar lainnya di Indonesia. Bahkan saat ini hampir

70% dari 20.000 sumber air minum rumah tangga di Indonesia yang di uji menunjukkan bahwa sumber air minum telah tercemar limbah tinja. Kondisi ini tentunya membawa bermacam permasalahan lainnya terkait dengan kesehatan masyarakat, yakni penyakit diare yang menjadi salah satu penyebab utama kematian pada anak balita (UNICEF, 2022). Kelayakan dan kemudahan dalam penjangkauan akses masyarakat terkait dengan sanitasi yang aman, menjadi akar penyebab permasalahan terjadi. Oleh sebab itu, perlu adanya upaya yang konkret dengan melibatkan semua pihak terkait untuk dapat secara bersama-sama memperbaiki dan menanggulangi permasalahan yang ada.

### 3.2 Sumber-Sumber Pencemaran Air

Pencemaran air dapat berasal atau bersumber dari berbagai macam kejadian maupun kegiatan baik secara alami maupun akibat dari kegiatan manusia (pertambangan, pertanian, industri, limbah domestik dan lain sebagainya).



Gambar 3.3

#### Sumber Pencemaran Air

Sumber: Raouf A et al, 2019 dalam Mitiku, 2020

Berikut ini adalah penjelasan mengenai kondisi yang menyebabkan sumber air menjadi tercemar dan tidak dapat lagi difungsikan sesuai dengan peruntukannya meliputi:

## a. Aktivitas Alam

Pencemaran air dapat disebabkan oleh kondisi alami, seperti terjadinya letusan gunung berapi, *global warming* dan banjir. Abu vulkanik yang dihasilkan dari letusan gunung berapi yang eksplosif mampu menyebar secara luas dan mengganggu infrastruktur vital dalam skala besar. Adapun studi terkait dengan efek hujan abu pada perairan alami dan persediaan air telah berdampak terutama pada konsekuensi peningkatan tingkat kekeruhan (abu tersuspensi dalam air), keasaman dan fluorida, dengan beberapa kontaminan lain (Stewart *et al.*, 2006). Perubahan iklim akan mempengaruhi kualitas air hingga ekosistem yang ada, adapun efek spesifik akan bervariasi di antara wilayah dan berbagai jenis badan air yang berbeda. Peristiwa cuaca yang ekstrem seperti topan, badai, dan kenaikan suhu akan mengakibatkan kejadian banjir maupun kekeringan. Hal ini selanjutnya dapat mempengaruhi kuantitas dan kualitas air. Perubahan iklim global memiliki banyak dampak potensi pada proses biogeokimia yang terjadi di berbagai jenis dari badan air. Dampak yang paling penting akibat perubahan iklim pada kualitas air meliputi eutrofikasi, salinisasi, dan pelepasan unsur hara (Xia *et al.*, 2014). Adapun lainnya menggolongkan kegiatan alami yang dapat menjadi penyebab pencemaran air yakni air hujan, atmosfer (debu dan badai), batuan bawah tanah dengungan berapi, aliran alami dan vegetasi yang ada di sekitar badan air. Air hujan merupakan sumber pencemaran air alami, yang melarutkan polutan dari udara dan membawa ke badan air. Sebagai contoh terjadinya hujan asam yang terbentuk karena pelarutan gas asam seperti sulfur oksida dan nitrogen oksida dalam air hujan (J. Singh *et al.*, 2020).

## b. Aktivitas Manusia

### 1. Kegiatan Pertanian

Penggunaan air yang berlebihan pada sektor pertanian, akibat dari kurang optimalnya atau belum diterapkannya sistem irigasi yang tepat. Hal tersebut akan menyebabkan timbulnya genangan dan penggaraman yang mampu menurunkan

produktivitas air dan juga tanah. Adapun beberapa polutan air pada kegiatan pertanian atau perkebunan yakni zat kimia (berasal dari penggunaan pestisida maupun pupuk yang banyak mengandung nitrogen, fosfor, sulfur, mineral (K, Ca)), zat radioaktif (saat proses percepatan pertumbuhan tanaman dan pematangan buah yang memanfaatkan zat radioaktif), dan mikrobiologi (bakteri, virus, parasite yang berada pada lokasi pertanian atau perkebunan) (Mukono, 2008 dalam Pinontoan & Sumampouw, 2019) (Sastrawijaya, 2009).

## **2. Kegiatan Industri**

Pencemaran air akibat dari kegiatan industri, lebih banyak disebabkan oleh sistem pembuangan air limbah produksi yang belum diolah secara tepat dan kemudian dibuang ke dalam badan air atau perairan yang nantinya berdampak pada kehidupan mikroorganisme yang hidup di dalamnya. Kondisi dan kualitas air akan semakin menurun dan pada tingkatan yang berbahaya, tidak lagi mampu dan layak untuk dimanfaatkan oleh masyarakat yang hidup di sekitarnya. Jenis polutan air dari kegiatan industri, tergantung pada masing-masing industri karena terkait dengan bahan baku dan proses kerja yang bervariasi. Namun, secara umum dapat dikelompokkan pada jenis fisik (pasir dan lumpur), kimia (Cadmium, Merkuri, Timah Hitam, dan logam berat lainnya), mikrobiologi (parasite, bakteri, dan virus), dan radioaktif (penggunaan zat radioaktif yang berdampak pada pencemaran air akibat dari hasil pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN)) (Mukono, 2008 dalam Pinontoan & Sumampouw, 2019).

## **3. Kegiatan Rumah Tangga (Domestik)**

Berasal dari cemaran limbah rumah tangga, seperti air limbah kamar mandi maupun dapur (Mukono, 2008 dalam Pinontoan & Sumampouw, 2019). Selain sumber pencemar domestik juga dapat berasal dari buangan kakus, tempat pencucian peralatan makan dan pakaian, apotek, rumah makan, rumah sakit dan sebagainya. Adapun limbah yang dihasilkan berupa zat organik

(padat atau cair), limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun), garam terlarut, lemak, dan bakteri (jasad patogen dan golongan fecal coli) (Sastrawijaya, 2009).

### 3.3 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Air

Beberapa jenis polutan yang dapat menyebabkan pencemaran air, diantaranya polutan organik, polutan inorganik, polutan radioaktif, padatan tersuspensi, pathogen, thermal dan polutan pertanian:

#### a. Polutan Organik

Bahan pencemar organik antara lain pestisida, pupuk, hidrokarbon, fenol, plasticizer, bifenil, detergen, minyak, lemak, obat-obatan, protein dan karbohidrat, dan lainnya. Polutan organik adalah sejumlah besar senyawa organik yang berasal dari limbah, limpasan perkotaan, limbah industri dan limbah pertanian yang dibuang ke saluran pembuangan. Senyawa organik adalah senyawa yang mengandung karbon, dengan kombinasi berbagai unsur-unsur seperti hidrogen, oksigen, nitrogen, dan belerang. Selama proses dekomposisi, polutan organik akan larut di dalam air dan menyerap oksigen dalam jumlah yang besar. Sehingga menyebabkan kadar oksigen di dalam air menurun dan berdampak pada kehidupan biota di sungai. Sedangkan air limbah yang mengandung polutan organik dengan konsentrasi padatan tersuspensi yang cukup tinggi akan mengurangi cahaya yang tersedia di dalam badan air hingga berpengaruh pada proses fotosintesis organisme dan juga dapat mengubah karakteristik air sungai (Ekevwe *et al.*, 2018).

#### b. Polutan Inorganik

Kontaminasi zat-zat kimia seperti nitrit, amonium nitrat dan logam berat dalam air minum, menjadi perhatian di negara-negara berkembang. Tingginya tingkat polutan nitrogen anorganik (nitrat, nitrit, amonium) dan fosfat anorganik di air sungai, berasal dari aliran air ladang pertanian, buangan limbah kota/industri, dan lain sebagainya dapat berdampak pada masalah kesehatan. Nitrit bersifat karsinogenik, yang meningkatkan risiko kanker perut, hati, dan

kerongkongan dan dapat menyebabkan tingginya kadar amonium dalam tubuh (Rekha *et al*, 2016 dalam J. Singh *et al.*, 2020).

**c. Polutan Radioaktif**

Radioaktif yang terkandung dalam permukaan perairan, disebabkan oleh adanya unsur-unsur radioaktif yang berasal dari kerak bumi. Radionuklida buatan yang terbentuk akibat aktivitas manusia meliputi pembangkit listrik tenaga nuklir, pengujian senjata nuklir dan pembuatan serta penggunaan sumber radioaktif. Ada dua sumber kontaminasi radioaktif dalam air minum. Pertama adalah radionuklida alami yang terkandung di dalam tanah yang dilalui air. Beberapa daerah rentan terhadap kontaminasi dari tanah dan batuan yang kaya fosfat. Sumber kedua kontaminasi radioaktif berasal dari sumber buatan manusia. Radionuklida yang ditemukan dalam air minum adalah uranium, torium, dan aktinium dan termasuk unsur-unsur alami radium, uranium, dan gas radioaktif radon. Kontaminan ini dapat menyebabkan berbagai jenis kerusakan biologis. Radium terkonsentrasi di tulang dan dapat menyebabkan kanker. Uranium dapat menyebabkan kanker pada tulang dan dapat memiliki efek toksik pada ginjal (Bonavigo *et al.*, 2009).

**d. Padatan Tersuspensi**

Kekeruhan air dipengaruhi oleh SPM (*Suspended Particulate Matters*) yang ada di air. Kekeruhan tidak hanya mempengaruhi air secara kimiawi tetapi juga mengurangi aktivitas fotosintesis badan air memperlambat DO yang menyebabkan organisme air akan perlahan mati lemas secara perlahan akibat kekurangan oksigen dalam air (Dwivedi, 2017).

**e. Patogen**

Patogen adalah mikroba kecil yang menyebabkan penyakit, antara lain bakteri, virus, bantol, dan parasit tertentu. Virus yang umumnya terdapat dalam air limbah adalah Hepatitis dan virus Norwalk dan jamur yang umum adalah *Candida*. Bakteri *Salmonella* menyebabkan keracunan makanan sedangkan *Vibrio cholera* adalah patogen yang menyebabkan kolera. Parasit seperti *Cryptosporidium* dan *Schistosoma* dapat menyebabkan diare dan patogen air limbah

lainnya dapat menyebabkan penyakit gastrointestinal yang serius (J. Singh *et al.*, 2020).

**f. Thermal**

Pencemaran air disebabkan akibat dari perubahan suhu di badan air. Pembuangan pembangkit listrik termal menyebabkan kenaikan suhu sistem perairan sebesar 10°C. Oleh karena itu, efek termal dapat membawa pengaruh yang sangat serius pada kehidupan akuatik karena pemanasan global. Pencemaran termal dapat berkurang dengan perkebunan dan mengurangi emisi karbon dioksida di lingkungan (Rao, 2015 dalam J. Singh *et al.*, 2020).

**g. Polutan Pertanian**

Dalam upaya memenuhi pertumbuhan kebutuhan pangan, maka diperlukan lahan pertanian per satuan luas yang memiliki efisiensi maksimum. Sehingga akan menghasilkan produk dengan kualitas terbaik. Diketahui bahwa nutrisi tanaman adalah salah satu yang faktor paling penting untuk mengendalikan produktivitas dan kualitas pertanian. Kadar unsur hara dalam tanah mempengaruhi kualitas hasil. Pada lahan pertanian yang permanen (jenis tanaman selalu sama), maka akan adanya kecenderungan nutrisi tanah akan sangat miskin yang mana berdampak pada hasil yang tidak efisien. Oleh karena itu, petani atau produsen pertanian melakukan upaya kegiatan seperti tahapan kegiatan menyuburkan tanah, memerangi hama, tahap irigasi. Pemupukan di antara kegiatan-kegiatan ini tetap menjadi prioritas dari segi efisiensi waktu. Namun penggunaan pupuk yang berlebihan dapat memberikan dampak yang merugikan terhadap lingkungan dan masyarakat, seperti salinitas tanah, terjadinya akumulasi logam berat, eutrofikasi air dan akumulasi nitrat. Adapun mempertimbangkan terkait dengan polusi udara akibat gas yang dihasilkan dari senyawa nitrogen dan belerang, yang berpotensi besar menyebabkan masalah seperti efek rumah kaca (Savci, 2012).

### **3.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Air**

Pencemaran air dipengaruhi oleh faktor internal dan juga faktor eksternal. Faktor internal dimaknai sebagai faktor pencemaran air yang disebabkan oleh kondisi alamiah seperti terjadinya peralihan fungsi lahan yang berdampak pada proses erosi di hulu sungai, serta proses pembusukan akibat dari sampah-sampah organik. Sedangkan faktor eksternal dipengaruhi oleh kegiatan di luar faktor alam, seperti kegiatan industri atau rumah tangga yang secara sengaja membuang limbahnya ke badan air. Sehingga kualitas air menurun dan tidak lagi layak untuk dipergunakan sebagaimana mestinya. Adapun salah satu studi kasus pencemaran air yang terjadi di Sungai Bindu, Denpasar. Di mana masyarakat masih tidak peduli terhadap peraturan yang ada di Desa mereka yakni masih membuang sampah dan limbah rumah tangga secara sembarangan, serta penggunaan bahan peledak atau racun saat menangkap ikan (Artajaya & Putri, 2021). Berdasarkan pada penjelasan diatas, maka faktor yang mempengaruhi pencemaran air secara spesifik akibat dari aktivitas atau kegiatan manusia, diantaranya (Al Idrus, 2015):

#### **a. Semakin berkembangnya pertumbuhan industri**

Pertumbuhan industri semakin masif terjadi di Indonesia, termasuk diantaranya teknologi, tingkat produksi, kuantitas industri hingga limbah yang dihasilkan. Sebagai contoh adanya sentra industri tempe dan tahu yang berada di daerah Kekalek, serta industri penyulingan emas yang ada di daerah Sekarbela. Industri tersebut untuk membuang limbahnya secara langsung ke badan sungai, karena didukung oleh lokasi industri yang berdekatan atau berada di sekitar aliran sungai. Kondisi ini berpotensi untuk dapat mencemari ekosistem perairan dan mengubah susunan air baik fisik, kimia, dan biologi (bakteriologi). Beberapa jenis polutan air yang dihasilkan dari kedua jenis industri ini yaitu logam berat seperti merkuri pada industri penyulingan emas atau pans dari pemrosesan air di industri tempe dan tahu, yang memiliki temperatur tinggi sehingga berpengaruh pada penyerapan oksigen yang rendah dan berdampak pada kelangsungan hidup biota air.

**b. Pengendalian terkait dengan limbah rumah tangga belum tertangani secara optimal**

Pencemaran air yang berasal dari limbah rumah tangga dipengaruhi oleh sistem pembuangan limbah yang belum sesuai aturan yang ada. Masih banyak masyarakat kita yang membuang limbah rumah tangga langsung ke selokan maupun parit yang mudah dijangkau dari rumah mereka. Hal ini akan menyebabkan tercemarnya saluran air oleh bahan organik dan anorganik dari limbah domestik, yang berpotensi untuk menjadi penyebab penyakit dan dapat menular pada hewan maupun manusia. Hingga menimbulkan epidemik yang luas.

**c. Limbah pertanian yang dibuang tanpa melalui proses pengolahan**

Selain limbah domestik, limbah pertanian juga cenderung langsung dialirkan ke badan air tanpa melalui proses pengolahan. Zat pencemar yang ada di dalam limbah pertanian yakni pestisida dan berbagai macam senyawa kimia yang terkandung dalam pupuk. Penggunaan pupuk pada dosis yang tinggi, akan berdampak pada tercemarnya kandungan air dari pertanian di mana mengandung senyawa yang dapat mempercepat pertumbuhan tanaman, ganggang, dan sebagainya. Apabila pertumbuhan melebihi batas normal, maka tanaman akan menutupi badan air sehingga berdampak pada kelangsungan biota air yang ada, karena kekurangan oksigen dalam air. Adapun pemanfaatan pestisida juga akan berdampak pada kondisi ekosistem air yang nantinya bersifat beracun dan dapat berbahaya bagi makhluk hidup.

**d. Proses pencemaran air secara alami.**

Pencemaran air juga dapat terjadi karena kondisi alami, yakni ketika letusan gunung berapi dan erosi maka akan membawa bahan-bahan pencemar berupa endapan atau sedimen (tanah dan lumpur) yang membuat kualitas air menjadi keruh.

### 3.5 Baku Mutu Lingkungan

#### 3.5.1 Air Minum

Baku mutu lingkungan terkait dengan air minum telah di atur di dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, 2010. Adapun Parameter yang dipersyaratkan sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Prasyarat Kualitas Air Minum Parameter Wajib

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b.Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit, (Sebagai $\text{NO}_2^-$ )	mg/l	3
	6) Nitrat, (Sebagai $\text{NO}_3^-$ )	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a.Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	$^{\circ}\text{C}$	suhu udara $\pm$ 3
	b.Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kesadahan	mg/l	500
	4) Khlorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5

Lanjutan Tabel 3.1..

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
7)	Seng	mg/l	3
8)	Sulfat	mg/l	250
9)	Tembaga	mg/l	2
10)	Amonia	mg/l	1,5

Sedangkan pada parameter tambahan dirinci terkait jenis parameter kimiawi dan parameter radioaktivitas. Parameter kimia meliputi bahan anorganik (air raksa, antimony, barium, boron, nikel, dan lainnya), bahan organik (zat organik, detergen, aromatic hydrocarbons, chlorinated ethenes, dan lainnya), pestisida (atrazine, DDT, MCPA, Aldicarb, dan lainnya), Desinfektan dan hasil sampingnya (Chlorine, bromate, chlorate, chloropenols, dan lainnya). Sedangkan parameter radioaktivitas meliputi Gross alpha dan beta activity. Pada setiap jenis parameter terdapat kadar maksimum yang diperbolehkan, sebagai acuan dasar yang harus diikuti dan ditaati.

### 3.5.2 Air Bersih

Baku mutu lingkungan terkait dengan air bersih telah di atur di dalam (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum. Adapun Parameter yang dipersyaratkan terkait keperluan higiene sanitasi sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Kekeruhan	NTU	25
2.	Warna	TCU	50
3.	Zat padat terlarut (Total Dissolved Solid)	mg/l	1000
4.	Suhu	°C	suhu udara ± 3
5.	Rasa		tidak berasa
6.	Bau		tidak berbau

Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi tersebut digunakan untuk pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Selain itu Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi dapat digunakan sebagai air baku air minum.

**Tabel 3.3** Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Total coliform	CFU/100ml	50
2.	E. coli	CFU/100ml	0

Parameter wajib untuk parameter biologi yang harus diperiksa untuk keperluan higiene sanitasi yang meliputi total coliform dan escherichia coli dengan satuan/unit colony forming unit dalam 100 ml sampel air.

**Tabel 3.4** Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No.	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
<b>Wajib</b>			
1.	pH	mg/l	6,5 - 8,5
2.	Besi	mg/l	1
3.	Fluorida	mg/l	1,5
4.	Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	500
5.	Mangan	mg/l	0,5
6.	Nitrat, sebagai N	mg/l	10
7.	Nitrit, sebagai N	mg/l	1
8.	Sianida	mg/l	0,1
9.	Deterjen	mg/l	0,05
10.	Pestisida total	mg/l	0,1

Tambahan			
1.	Air raksa	mg/l	0,001
2.	Arsen	mg/l	0,05
3.	Kadmium	mg/l	0,005
4.	Kromium (valensi 6)	mg/l	0,05
5.	Selenium	mg/l	0,01
6.	Seng	mg/l	15
7.	Sulfat	mg/l	400
8.	Timbal	mg/l	0,05
9.	Benzene	mg/l	0,01
10.	Zat organik (KMNO <sub>4</sub> )	mg/l	10

Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media air Kolam Renang meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia. Parameter fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media air kolam renang meliputi bau, kekeruhan, suhu, kejernihan dan kepadatan. Untuk kepadatan, semakin dalam kolam renang maka semakin luas ruang yang diperlukan untuk setiap perenang. Parameter biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media air Kolam Renang terdiri dari 5 (lima) parameter. Empat parameter tersebut terdiri dari indikator pencemaran oleh tinja (*E. coli*), bakteri yang tidak berasal dari tinja (*Pseudomonasaeruginosa*, *Staphylococcus aureus* dan *Legionella spp*). Sedangkan parameter *Heterotrophic Plate Count* (HPC) bukan merupakan indikator keberadaan jenis bakteri tertentu tetapi hanya mengindikasikan perubahan kualitas air baku atau terjadinya pertumbuhan kembali koloni bakteri *heterotrophic*.

Parameter kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media air kolam renang meliputi 6 parameter yaitu pH, alkalinitas, sisa khlor bebas, sisa khlor terikat, total bromine/sisa bromine, dan potensial reduksi oksidasi (*oxidation reduction potential*). Konsentrasi minimum untuk setiap parameter bergantung pada jenis Kolam Renang. Jika Kolam Renang menggunakan disinfektan bromide, maka konsentrasi minimum juga berbeda dibandingkan dengan konsentrasi khlorin.

### 3.5.3 Air Limbah

Baku mutu lingkungan terkait dengan air limbah telah di atur di dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Limbah. Adapun industri yang diatur di dalam peraturan ini meliputi: industri pelapisan logam dan galvanis; industri penyamakan kulit; industri minyak sawit; industri karet; industri tapioka; industri monosodium glutamat dan inosin monofosfat; industri kayu lapis; industri pengolahan susu; industri minuman ringan; industri sabun, detergen dan produk-produk minyak nabati; industri bir; industri baterai timbal asam; dan lainnya yang dapat dilihat pada peraturan tersebut. Sedangkan dalam melakukan kajian untuk menentukan parameter kunci terkandung air limbah pada tiap industri akan berbeda-beda tergantung pada:

- a. bahan baku yang digunakan.
- b. proses yang terjadi.
- c. produk yang dihasilkan.

### 3.6 Analisis Kualitas Air

Tingkat pencemaran air dikaitkan dengan parameter kualitas air, yang gunanya mengetahui indikasi pencemaran yang terjadi meliputi terjadinya perubahan warna, bau, hingga kehidupan ekosistem biota perairan, yang meliputi (Nasihah, 2018):

#### a. *Dissolved Oxygen* (DO atau Oksigen Terlarut)

Oksigen merupakan senyawa yang dibutuhkan oleh mikroorganisme atau biota perairan untuk hidup dan berkembang biak. Adapun keberadaan oksigen terlarut dalam air berasal dari hasil fotosintesis tanaman air serta udara yang masuk ke dalam badan air itu sendiri. Mikroorganisme dapat bertahan hidup di dalam air, jika kandungan oksigen terlarut minimal 5ppm atau 5 mg/l. Ketika pembuangan air limbah yang banyak mengandung bahan organik di badan air (sungai), maka akan terjadinya proses oksidasi senyawa C & N oleh bakteri aerob menjadi CO<sub>2</sub> dan air. Hal tersebut menyebabkan kadar DO semakin berkurang dan

akan berdampak pada keberlangsungan mikroorganisme seperti ikan, kerang, dan udang. Semua limbah organik yang masuk ke badan air akan diuraikan oleh mikroba. Pada proses oksidasinya, mikroba membutuhkan oksigen terlarut dalam penguraian bahan-bahan organik tersebut. Semakin banyak limbah yang dibuang, maka semakin banyak pula jumlah mikroba yang hidup. Dampak yang terjadi adalah oksigen terlarut akan semakin rendah kadarnya (Nasihah, 2018).

**b. *Chemical Oxygen Demand (COD)***

Pencemaran organik dalam air dapat dipantau dengan mengukur indeks penting yang disebut *Chemical Oxygen Demand (COD)*. Di beberapa negara parameter ini merupakan standar nasional untuk menyelidiki pencemaran organik dalam air. Metode konvensional untuk mengukur COD adalah penentuan zat pengoksidasi berlebih seperti dikromat atau permanganat yang tertinggal dalam sampel. Dengan demikian, COD didefinisikan sebagai jumlah ekuivalen oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air (Latif & Dickert, 2015). Adapun COD dimaknai sebagai jumlah oksigen yang digunakan bakteri dalam reaksi kimia. Pengujian COD memiliki keunggulan dibandingkan dengan pengujian BOD, diantaranya adalah mampu menguji air limbah industri yang bersifat toksik atau beracun yang tidak mampu di uji melalui BOD. Hal ini disebabkan karena pengujian BOD berpotensi bakteri mati akibat dari limbah beracun. Selain itu keunggulan COD adalah memiliki waktu pengujian yang lebih cepat yakni kurang lebih selama 3 jam.

**c. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)***

*Biochemical Oxygen Demand (BOD)* adalah ukuran oksigen terlarut yang dikonsumsi oleh mikroorganisme selama oksidasi zat tereduksi dalam air dan limbah. Sumber BOD adalah karbon organik yang mudah terurai (karbon, CBOD) dan amonia (nitrogen, NBOD). Senyawa ini adalah konstituen umum atau metabolik produk sampingan dari kotoran tumbuhan dan hewan serta aktivitas

manusia (domestik dan industri) air limbah). Pembuangan limbah dengan kadar BOD yang tinggi dapat menyebabkan kualitas air masalah seperti penipisan oksigen terlarut dan kematian ikan atau mikroorganisme yang ada di dalam menerima badan air (Penn *et al.*, 2012). Semakin banyak bahan organik dalam badan air, maka semakin tinggi konsentrasi BOD yang berdampak menurunnya konsentrasi DO. Air dikategorikan air bersih ketika BOD < 1 mg/l atau 1 ppm. Sedangkan air dikatakan tercemar jika konsentrasi BOD > 4 ppm (Nasihah, 2018).

**d. Total Suspended Solid (TSS)**

Oksigen terlarut yang ada di dalam air sangat banyak dipengaruhi oleh adanya partikel tersuspensi. Sinar matahari yang diserap oleh partikel tersuspensi, sehingga meningkatkan suhu air dan mengurangi kadar oksigen. Pada dasarnya keberadaan TSS semakin mengurangi produksi oksigen karena mengganggu penetrasi cahaya yang diperlukan untuk fotosintesis oleh tumbuhan (Swietlik *et al.*, 2003 dalam Shah *et al.*, 2014).

**e. Kadar Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)**

Konsentrasi Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) akan mempengaruhi tingkat kepekatan oksigen yang terkandung di dalam air. Karbondioksida dan udara silih berganti, seiring dengan adanya interaksi antara udara dan air yang bersentuhan. Proses difusi terjadi jika pertukaran sangat minim yang terjadi pada air yang tenang. Sedangkan ketika air bergelombang, maka pertukaran akan jauh lebih cepat. Karbondioksida juga terdapat pada air hujan, di mana setiap tetes, mengandung CO<sub>2</sub> sebanyak 0,6 bpj dan menyebabkan air hujan bersifat asam. Air dengan kadar CO<sub>2</sub> 25 bpj sudah mampu membahayakan kelangsungan organisme atau makhluk hidup ((Sastrawijaya, 2009).

**f. Kekeruhan dan pH air.**

Efek cahaya dapat digunakan dalam mengukur tingkat kekeruhan air. Tingkat kekeruhan air dipengaruhi oleh bahan-bahan organik yang terlarut dengan air. Sedangkan pH air sebagai salah satu indikator air mengalami pencemaran atau tidak. pH yang aman dalam mendukung kehidupan organisme dan berfungsi secara optimal untuk peruntukannya adalah 6,5 hingga 8,5. Ketika terjadinya pencemaran air akan berdampak pada pH, jika air tercemar bahan yang sifatnya asam maka pH akan lebih kecil dari 6,5 dan jika tercemar bahan organik yang bersifat basa maka pH akan lebih dari 8,5. Adapun setiap kenaikan dan penurunan 1 angka pada skala Ph menunjukkan kenaikan kebasaaan atau penurunan keasaman sebanyak 10 kali (Nasihah, 2018).

**g. Pengukuran secara biologis**

Proses degradasi bahan buangan yang berasal dari kegiatan industri yang nantinya dibuang ke badan air seperti laut, sungai dan danau, akan memanfaatkan mikroorganisme dalam prosesnya. Di mana semakin tinggi tingkat limbah yang dihasilkan akan mempengaruhi jumlah mikroorganisme yang berkembang biak. Proses perkembangbiakan mikroorganisme ini berpotensi untuk berkembangnya mikroba patogen. Mikroba patogen dimaknai sebagai salah satu penyebab timbulnya bibit penyakit (Wardhana, 2004). Oleh sebab itu, perlunya dilakukan analisis kualitas air dengan mempertimbangkan dari aspek biologi.

### **3.7 Dampak Pencemaran Air**

#### **3.7.1 Dampak Pencemaran Air Terhadap Lingkungan**

Akibat dari beban bahan-bahan pencemar yang masuk ke dalam badan air, akan membawa perubahan berupa penurunan kualitas dan kuantitas air, sehingga berdampak langsung pada lingkungan sekitar. Berikut ini adalah dampak pencemaran air terhadap lingkungan sebagai berikut (R. M. Singh & Gupta, 2016):

**a. Pengaruh pengendapan asam**

Banyak gas yang bersifat asam, aerosol, dan zat asam lainnya yang dilepaskan ke atmosfer dari sumber pembakaran industri atau domestik yang berasal dari bahan bakar fosil akhirnya jatuh ke tanah dan mencapai badan air bersama dengan limpasan air hujan. Hal ini menyebabkan pengasaman badan air dengan menurunkan pH. Adapun zat kimia seperti sulfat, nitrat dan klorida telah dilaporkan membuat badan air seperti danau, sungai dan kolam bersifat asam.

**b. Kekurangan nutrisi dalam ekosistem perairan**

Populasi mikroorganisme pengurai seperti bakteri dan jamur akan menurun dalam air yang bersifat asam, akibat dari masuknya bahan pencemar sehingga dapat mengurangi laju dekomposisi bahan organik yang mempengaruhi siklus nutrisi. Sebagian besar spesies air memiliki pH kritis yaitu 6. Keanekaragaman spesies menurun di bawah pH ini, sedangkan jumlah dan kelimpahan spesies toleran asam meningkat. Proliferasi alga berfilamen dengan cepat membentuk lapisan tebal pada fase awal pengasaman air.

**c. Pengaruh pengendapan bahan organik**

Bahan organik dari pembusukan tanaman dan hewan akan diendapkan langsung dari pembuangan limbah dan terbawa bersama air hujan ke badan air menyebabkan peningkatan pengurai/mikroba seperti bakteri aerob dan anaerob. Dekomposisi bahan organik yang cepat, dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam air yang mendukung pertumbuhan subur alga hijau planktonik dan alga biru-hijau. Banyaknya makrofita seperti *Salvinia*, *Azolla*, *Eicchornia* dan lainnya dapat tumbuh dengan cepat, yang menyebabkan berkurangnya penetrasi cahaya ke lapisan yang lebih dalam dari badan air. Kondisi ini mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dan meningkatnya BOD, yang berdampak langsung pada kelangsungan hidup biota perairan.

**d. Pengaruh deposisi detergen**

Penggunaan detergen domestik dan industri akan terbawa ke badan air yang menyebabkan efek serius pada tanaman. Detergen yang mengandung fosfat tinggi akan menghasilkan pengayaan fosfat air. Fosfat masuk ke tanaman melalui akar atau penyerapan permukaan menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat, pemanjangan akar, fiksasi karbon dioksida, fotosintesis, penyerapan kation, perkecambahan serbuk sari dan pertumbuhan tabung serbuk sari, penghancuran klorofil dan membran sel dan denaturasi protein menyebabkan penghambatan enzim dalam berbagai proses metabolisme.

**e. Pengaruh bahan kimia pertanian**

Bahan kimia dari pupuk, pestisida, insektisida, herbisida, dan lainnya yang mana diaplikasikan pada tanaman secara berlebihan akan terbawa oleh air hujan sebagai limpasan, kemudian masuk ke dalam tanah dan akhirnya sampai di badan air. Bahan kimia dari pupuk mengakibatkan eutrofikasi dengan pengayaan nutrisi. Amonium dari pupuk bersifat asam yang menyebabkan pengasaman air. Demikian pula pestisida, herbisida dan insektisida juga menyebabkan perubahan pH badan air. Efek paling umum dari zat ini adalah penurunan laju fotosintesis.

**f. Pengaruh limbah industri**

Limbah industri mengandung berbagai produk limbah organik dan anorganik. *Fly ash* membentuk lapisan tebal yang mengapung di atas air sehingga mengurangi penetrasi cahaya ke lapisan badan air yang lebih dalam. *Fly ash* meningkatkan alkalinitas air dan menyebabkan berkurangnya penyerapan basa esensial yang menyebabkan kematian tanaman air. Limbah cair organik mengubah pH air dan efek toksisitas spesifik pada tanaman air bervariasi tergantung pada komposisi kimianya.

**g. Pengaruh tumpahan minyak**

Pencemaran minyak akibat tumpahan tangki minyak dan wadah penyimpanan mencegah oksigenasi air dan menurunkan

kandungan oksigen badan air dengan mengurangi transmisi cahaya yang menghambat pertumbuhan plankton dan fotosintesis pada makrofita.

**h. Pengaruh polusi termal**

Pelepasan air panas ke badan air dari pembangkit listrik termal memiliki efek buruk pada kehidupan air. Kondisi tersebut mengurangi aktivitas pengurai aerobik karena penipisan oksigen karena suhu tinggi. Terjadinya penurunan dekomposisi bahan organik, maka menyebabkan ketersediaan nutrisi di badan air terancam. Tumbuhan air menunjukkan penurunan laju fotosintesis karena penghambatan aktivitas enzim dengan adanya peningkatan suhu. Produktivitas primer dan keanekaragaman spesies tanaman air menurun karena peningkatan suhu badan air sebagai akibat dari polusi termal.

**i. Pengaruh pengayaan nutrisi**

Pengayaan nutrisi di badan air perairan menyebabkan eutrofikasi yang merupakan proses di mana badan air menerima nutrisi anorganik berlebih, terutama N dan P. Sehingga merangsang pertumbuhan berlebihan tanaman dan alga. Eutrofikasi dapat terjadi secara alami dalam rangkaian suksesi normal beberapa ekosistem air tawar. Ketika limpasan pertanian mencemari saluran air dengan pupuk yang kaya nitrogen dan fosfor, perairan yang kaya nutrisi akan meningkatkan pertumbuhan alga yang mengarah ke eutrofikasi. Berdampak pada penipisan oksigen dan kematian ikan.

**j. Pengaruh fitotoksisitas pada tanaman**

Ketika polutan kimia menumpuk di lingkungan perairan, maka tanaman dapat menyerap bahan kimia tersebut melalui akarnya. Fitotoksisitas terjadi ketika bahan kimia beracun meracuni tanaman. Gejala fitotoksisitas pada tanaman antara lain pertumbuhan yang buruk, bibit mati dan bercak pada daun.

### 3.7.2 Dampak Pencemaran Air Terhadap Kesehatan Masyarakat

Kualitas air minum merupakan faktor penting yang mempengaruhi kesehatan manusia. Kualitas air minum yang buruk telah menyebabkan terjadinya penyakit yang ditularkan melalui air. Menurut WHO, 80% dari penyakit di dunia dan 50% kematian anak di dunia terkait dengan kualitas air minum yang buruk, dan ada lebih dari 50 penyakit yang disebabkan oleh kualitas air minum yang buruk. Berikut ini adalah beberapa permasalahan kesehatan yang diakibatkan oleh pencemaran air (Lin *et al.*, 2022):

#### a. Penyakit Diare

Diare merupakan gejala umum dari penyakit gastrointestinal dan penyakit yang paling umum disebabkan oleh pencemaran air. Diare adalah penyebab utama penyakit dan kematian pada anak-anak di setiap negara dengan penghasilan rendah. Penyakit diare menyumbang 21% dari kematian tahunan di antara anak-anak di bawah usia 5 tahun di negara-negara berkembang. Banyak agen infeksi yang terkait dengan diare berhubungan langsung dengan air yang terkontaminasi. Cacing parasit dapat masuk ke dalam minuman yang tidak dimurnikan dan ketika dikonsumsi maka akan menimbulkan penyakit. Ditemukan bahwa air yang diolah dari air fasilitas perawatan dikaitkan dengan risiko diare yang lebih rendah daripada air yang tidak diolah. Adapun penelitian di wilayah selatan Brasil, menemukan bahwa faktor yang secara signifikan dikaitkan dengan peningkatan risiko kematian akibat diare adalah kurangnya air ledeng, kurangnya toilet *flush*, sanitasi perumahan yang kurang layak, dan rumah tangga yang terlalu padat. Rumah tangga tanpa akses ke air perpipaan memiliki risiko 4,8 kali lebih tinggi kematian bayi akibat diare dibandingkan rumah tangga dengan akses pipa air.

#### b. Penyakit Kulit

Pencemaran air oleh bahan-bahan kimia, salah satunya logam berat akan membawa dampak kesehatan. Salah satunya contohnya ada hubungan antara arsenik yang berlebihan dalam air minum yang disebabkan oleh pencemaran air dan

penyakit kulit (terutama melanosis dan keratosis). Ditemukan bahwa dibandingkan dengan orang yang mengonsumsi konsentrasi arsenik dalam jumlah yang rendah dengan orang yang mengonsumsi arsenik dengan konsentrasi tinggi, maka akan terdeteksi kandungan arsenik di rambut populasi dengan pajanan polutan yang lebih tinggi. Kadar arsenik dalam air minum secara langsung mempengaruhi kesehatan penduduk setempat terhadap kejadian penyakit kulit. Penyakit kulit adalah gejala klinis yang paling umum terjadi akibat komplikasi keracunan arsenik. Ada korelasi antara konsentrasi arsenik dalam sampel biologis (rambut dan darah) dari penderita penyakit kulit akibat asupan air minum yang terkontaminasi arsenik. Penelitian lainnya di Bangladesh menunjukkan bahwa banyak orang menderita skabies akibat pencemaran sungai. Studi menggunakan meta-analisis telah menunjukkan bahwa paparan perairan laut yang tercemar dapat berdampak buruk pada kondisi kulit dengan munculnya ruam dan gatal.

**c. Penyakit Kanker**

Menurut statistik WHO, jumlah pasien yang terdiagnosis kanker pada tahun 2020 mencapai 19,3 juta, sedangkan jumlah kematian akibat kanker meningkat menjadi 10 juta. Jenis dan jumlah kontaminasi sumber agen karsinogen yang ada dalam air minum akan bervariasi tergantung di mana mereka masuk, yang meliputi: kontaminasi sumber air, proses pengolahan air, atau saat air dikirim kepada pengguna. Sumber air yang mengandung arsenik, nitrat, kromium, dan lainnya sangat terkait dengan kejadian kanker. Menelan arsenik yang terkandung dalam air minum dapat menyebabkan kanker kulit dan ginjal dan kanker kandung kemih. Adapun air minum yang terdapat kandungan kromium dalam jumlah yang tinggi akan berpotensi menimbulkan karsinogenisitas yang disebabkan oleh kromium heksavalen. Asupan air minum dari eksperimen kromium heksavalen menunjukkan bahwa kromium heksavalen berpotensi menyebabkan kanker pernapasan.

#### **d. Kesehatan Anak**

Penyakit yang berhubungan langsung dengan kualitas air dan sanitasi, dikaitkan dengan malnutrisi, dapat menyebabkan penyebab kematian, seperti penyakit campak dan radang paru-paru. Anak kurang gizi dan stunting karena air dan sanitasi yang tidak memadai akan terus mempengaruhi lebih banyak lagi kejadian tersebut sebanyak sepertiga anak di dunia. Sebagai contoh pedesaan India menunjukkan bahwa anak-anak yang tinggal di rumah tangga dengan air keran memiliki prevalensi dan durasi penyakit yang jauh lebih rendah. Adapun intensitas pencemaran air oleh bahan-bahan organik akibat kegiatan industri menunjukkan korelasi positif dengan kematian bayi serta kematian anak di negara berkembang.

### **3.8 Upaya Pengendalian Pencemaran Air**

Upaya terkait dengan pengendalian dan pengelolaan pencemaran air dapat dilakukan dengan berbagai macam strategi. Strategi pengendalian disesuaikan dengan faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya pencemaran air. Ada faktor internal yang meliputi sumber daya manusia, pencemaran air sungai, pembuatan IPAL, modal, kebijakan pengendalian pencemaran, pengawasan dan pembinaan, dan penyedia informasi. Sedangkan faktor eksternal terkait dengan dukungan pemerintah, pembuangan limbah domestik, pembuangan limbah peternakan, pengetahuan pembuangan limbah dan analisis air limbah. Adapun beberapa alternatif strategi yang dapat diberikan adalah meningkatkan peran sumber daya manusia yang pro aktif dan pembinaan serta pengawasan yang tepat dari penegak hukum, sehingga pengendalian pencemaran dapat berkurang. Selain itu, merumuskan kebijakan pengendalian pencemaran air yang didukung dengan peran masyarakat dalam mengetahui unsur dan cara pengolahan air limbah serta memberi tindakan tegas bagi warga beserta pengetahuan tentang air limbah. Alternatif selanjutnya terkait dengan upaya meningkatkan koordinasi dalam pembuatan kebijakan serta mengelola IPAL yang

sudah ada, serta menetapkan daya tampung limbah untuk pengendalian limbah yang masuk ke sungai (Rosiana *et al.*, 2016).

Perlunya strategi mengenai pengaturan tata ruang, di mana mengatur pemanfaatan ruang dengan mempertimbangkan beban lingkungan yang akan muncul jika ruangnya sudah terpakai. Tata Ruang yang berwawasan lingkungan akan menghasilkan model-model kota atau desa yang akrab dengan lingkungan atau yang sekarang dikenal dengan "*eco city*". Selain itu perlunya perlindungan sumber air meliputi perlindungan daerah resapan air dengan cara pembatasan bangunan, pelarangan penebangan hutan dan pembukaan hutan, penguasaan sumber-sumber air oleh individu atau pengambilan yang berlebihan, perlindungan dari pencemaran baik oleh domestik maupun oleh industri. Adapun dalam perumusan strategi pengendalian pencemaran air, perlu penggunaan teknologi tepat guna terkait pengolahan limbah yang disesuaikan dengan karakteristik limbah yang akan di olah (Herlambang, 2006).

### **3.9 Ringkasan**

Pencemaran air merupakan kondisi di mana kualitas air mengalami penurunan akibat bahan-bahan pencemar yang masuk kedalam badan air dan berdampak bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitar. Berbagai macam jenis polutan air seperti total coliform, bakteri *e.coli* hingga kimia anorganik yang nantinya diukur konsentrasi dan dibandingkan dengan baku mutu lingkungan yang dipersyaratkan sesuai dengan peruntukannya. Dampak lingkungan akibat pencemaran air meliputi eutrofikasi dengan pengayaan nutrisi, menurunkan kandungan oksigen badan air hingga menyebabkan kematian biota perairan. Sedangkan dampak kesehatan akibat dari pencemaran air adalah penyakit diare, penyakit kulit, penyakit kanker bahkan dapat menyebabkan kematian akibat dari terkontaminasi langsung oleh bahan pencemar dalam dosis yang tinggi. Oleh sebab itu, dilakukan beragam upaya dalam pengendalian pencemaran air yakni tata kelola ruang yang berbasis lingkungan, pemanfaatan teknologi tepat guna dalam pengelolaan air limbah, merumuskan kebijakan hingga

memberdayakan masyarakat untuk berperan aktif dalam menjaga dan melestarikan lingkungan khususnya badan air.

### **3.10 Uji Kemampuan**

- a. Sebutkan dan deskripsikan permasalahan pencemaran air yang ada di Indonesia!
- b. Sebutkan dan jelaskan parameter apa saja yang dipersyaratkan untuk air minum!
- c. Bagaimana analisis anda terkait dengan kegiatan industri yang menjadi salah satu sumber pencemaran air (siklus pencemarannya)?

# BAB 4

## PENCEMARAN UDARA

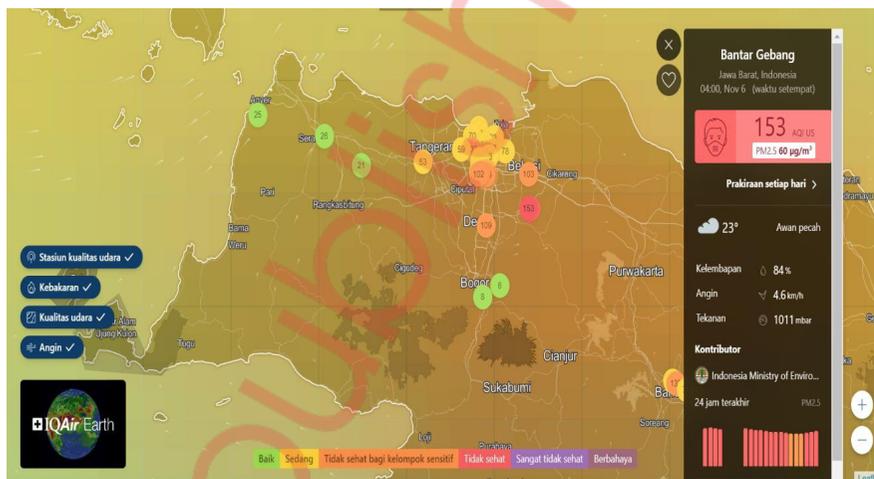
### 4.1 Definisi Pencemaran Udara dan Permasalahan Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan suatu kondisi di mana terjadinya perubahan susunan atau komposisi udara dari keadaan normalnya, yang diakibatkan oleh masuknya zat-zat pencemar ke dalam udara. Pada kadar atau konsentrasi tertentu serta masa tinggal yang lama di udara dapat berdampak pada kesehatan makhluk hidup (Wardhana, 2004). Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi atau komponen lainnya ke dalam udara ambien yang disebabkan oleh kegiatan manusia, sehingga menyebabkan penurunan mutu udara ambien yang pada tingkatan tertentu udara ambien tidak lagi dapat memenuhi fungsinya. Pada dasarnya udara terdiri pada beberapa kumpulan gas yang kadarnya tidak tetap tergantung pada beberapa faktor seperti faktor meteorologi (suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan lainnya). Adapun udara dikatakan dalam kondisi bersih, jika tersusun komponen dengan volume sebagai berikut (Sastrawijaya, 2009) (Wardhana, 2004):

**Tabel 4.1** Komponen Udara Bersih

Macam Gas	Volume (%)
Nirogen (N <sub>2</sub> )	78,09
Oksigen (O <sub>2</sub> )	21,94
Argon (Ar)	0,94
Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	0,03
Helion (He)	0,01
Neon (Ne)	0,01
Xenon (Xe)	0,01
Kripton (Kr)	0,01
Metanan (CH <sub>4</sub> ), Karbon monoksida (CO)	Sedikit sekali
Amonia (NH <sub>3</sub> ); Nitrat oksida (N <sub>2</sub> O)	Sedikit sekali
Hidrogen sulfide (H <sub>2</sub> S)	Sedikit sekali

Isu permasalahan terkait dengan pencemaran udara di Indonesia, yakni salah satunya adalah polusi udara di wilayah perkotaan. Kualitas udara di DKI Jakarta sebagai Ibukota mengalami penurunan, di mana pada Juni 2022 indeks kualitas udara Jakarta adalah sebesar 145 yang termasuk pada kategori tidak sehat bagi kelompok sensitif. Laporan IQAir menyebutkan bahwa Jakarta menjadi kota terpadat di Indonesia yang paling berpolusi serta diikuti oleh kota-kota besar lainnya, seperti Surabaya, Bandung, Semarang, Palembang hingga Makassar. Semakin tinggi tingkat pencemaran udara, maka semakin berpotensi besar dalam menyebabkan gangguan kesehatan seperti asma, penyakit jantung hingga gangguan fungsi paru. WHO menyebutkan polusi udara sebagai penyebab 7 juta kematian dini setiap tahunnya. Adapun tingginya bahan pencemar udara di wilayah perkotaan, dipengaruhi oleh beberapa faktor penyebab. Namun, pencemaran udara paling dominan di wilayah perkotaan disebabkan oleh tingginya emisi gas buang yang dihasilkan dari transportasi. Berdasarkan padainventarisasi emisi KLHK, menyebutkan bahwa kontribusi transportasi dalam menyebabkan pencemaran udara di wilayah perkotaan sebesar 70% hingga 80% (Suryani, 2022).



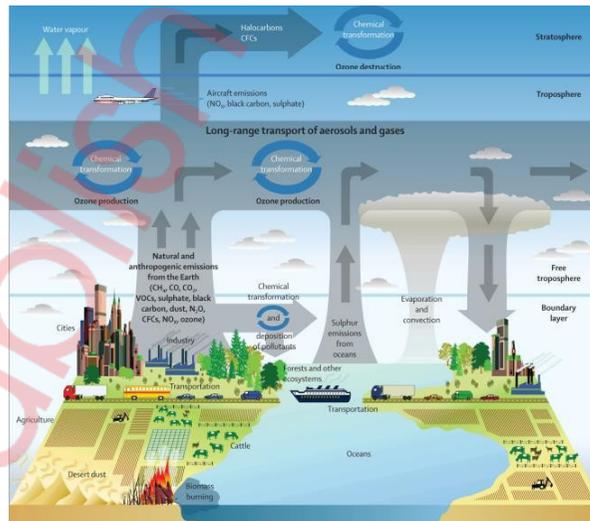
Gambar 4.1 Pemantauan Kualitas Udara di DKI Jakarta

Sumber: IQAir, 2022

Berdasar pada uraian diatas, maka adanya faktor pendorong dalam tingginya dominasi sektor transportasi yang berkontribusi dalam pencemaran udara, meliputi: jenis bahan bakar yang digunakan masih berbahan bakar fosil; perkembangan jumlah kendaraan yang cepat, ketidakseimbangan antara jumlah kendaraan yang ada dengan prasarananya; terpusatnya kegiatan perkantoran dan perekonomian yang menyebabkan pola lalu lintas perkotaan yang berorientasi memusat; adanya pelaksanaan kebijakan pengembangan kota yang mana daerah pemukiman penduduk yang semakin jauh dari pusat kota; kesamaan waktu aliran lalu lintas; faktor kendaraan bermotor (jenis, umur, karakteristik hingga perawatannya); jenis permukaan jalan; siklus hingga pola mengemudi (Ismiyati *et al.*, 2014).

#### 4.2 Sumber-Sumber Pencemaran Udara

Pencemaran udara terbagi berdasarkan sumbernya, yakni pencemaran udara yang bersumber dari aktivitas alami dan bersumber dari aktivitas atau kegiatan manusia (Chandra, 2006 dalam Pinontoan & Sumampouw, 2019):



Gambar 4.2 Sumber, Transportasi, Transformasi, dan Kondisi Polutan di Atmosfer  
Sumber: Guarnieri & Balmes, 2014

a. Aktivitas Alam

Sumber pencemaran udara yang terjadi atau berasal akibat dari aktivitas alam, seperti: sumber biotik dan abiotik (tumbuhan, radiologi, dekomposisi, kebakaran hutan, gunung berapi, sumber panas bumi lainnya dan emisi yang berasal dari air dan daratan) (WHO,2000a). Salah satu contohnya, ketika terjadi letusan dahsyat gunung berapi Tambora di Indonesia Tahun 1815. Saat meletus Gunung Tambora melepaskan 100 miliar ton abu vulkanik ke atmosfer, di mana 300 juta tonnya mencapai lapisan stratosfer. Hal ini menyebabkan penurunan rata-rata suhu bumi sebanyak  $0,7^{\circ}\text{C}$  di seluruh dunia. Selain gunung berapi, pencemaran udara juga bersumber dari kebakaran hutan yang akan menghasilkan partikel debu (*particulate matter*) dalam jumlah yang besar. Petir juga menjadi sumber pencemaran udara alami, yang akan menghasilkan Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dalam jumlah besar. Sumber pencemaran udara akibat aktivitas alam juga dapat berasal dari alga yang berada di permukaan lautan, akan menghasilkan Hidrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ); Deflasi atauerosi angin yang menyebarkan partikel ke atmosfer; zona lembap (rawa, rawa gambut, danau) yang menghasilkan metana ( $\text{CH}_4$ ). Adapun kandungan  $\text{O}_3$  yang rendah secara alamiterjadi pada permukaan tanah, terbentuk dengan bantuan sinar matahari yang bereaksi antara  $\text{NO}_x$  dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC) (Morand & Maesano, 2004).

b. Aktivitas Manusia

Pencemaran udara yang terbentuk akibat dari buatan atau kegiatan manusia, yang meliputi emisi gas buang dari kendaraan bermotor, emisi yang berasal dari industri, sisa pembakaran gas alam, serta pembakaran sisa pertanian, dan lain sebagainya. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

1. Transportasi

Transportasi menjadi sumber utama dan dominan dalam menyebabkan pencemaran udara. Emisi yang dihasilkan berasal dari transportasi darat (kendaraan bermotor, mobil, kereta

api), transportasi udara, dan transportasi air telah menjadi penyumbang pencemar udara yang berdampak pada deposisi asam, penipisan lapisan ozon (stratosfer), dan perubahan iklim. Permasalahan emisi gas buang yang dihasilkan dari transportasi paling banyak terjadi di perkotaan, di mana populasi padat dan tingginya kepemilikan kendaraan pribadi, menyebabkan kualitas udara perkotaan menjadi menurun dan berdampak pada kesehatan masyarakat serta produksi ozon stratosfer (Colville et al., 2001). Polutan yang terkait dengan transportasi perkotaan yang secara signifikan berpengaruh pada masalah kesehatan diantaranya: Timbal (Pb), Debu, Partikel (PM), Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC). Ozon merupakan polutan yang terbentuk dari reaksi  $\text{NO}_x$  dan VOC dengan bantuan sinar matahari. Dampak paling spesifik dari polutan pencemar udara yang berasal dari transportasi perkotaan, yaitu emisi karbon dioksida. Sebelum penghapusan bensin yang mengandung timbal, maka timbal adalah masalah utama bagi kesehatan akibat paparan emisi kendaraan (IGES, 2007).

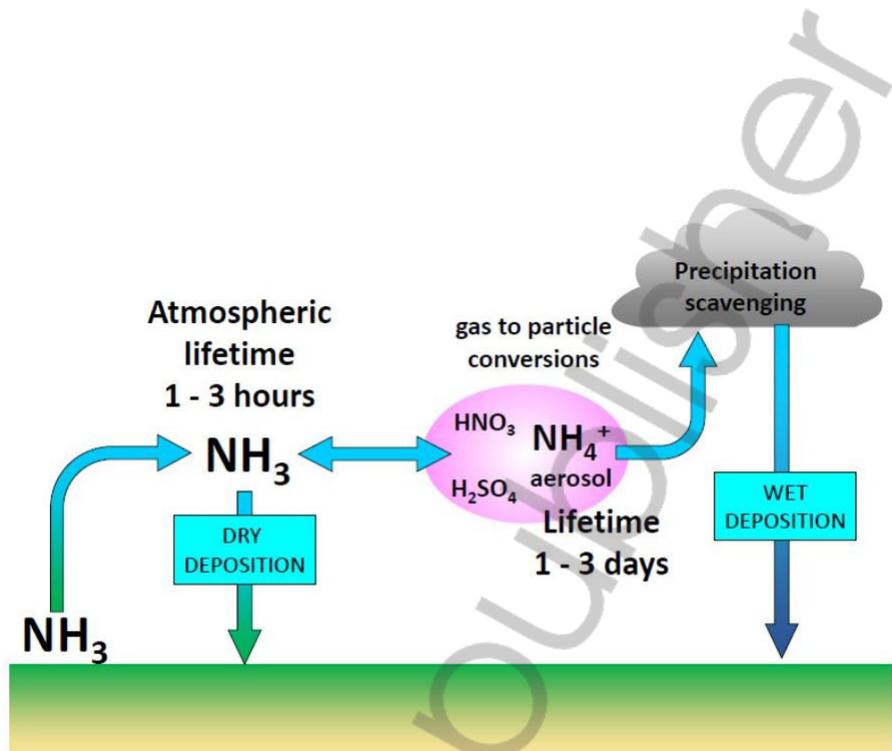
## 2. Industri

Berkembangnya masa industrialisasi, maka tidak terlepas dari segala macam permasalahan, utamanya emisi gas buang yang berdampak pada kualitas udara dan kesehatan masyarakat sekitar. Pelepasan berbagai macam bahan pencemar yang beracun dari industri, menyebabkan lingkungan alam menjadi berbahaya, tidak stabil, dan tidak nyaman bagi lingkungan fisik dan juga untuk lingkungan biologis yang pada kadar tertentu didefinisikan bahwa lingkungan telah tercemar. Lingkungan fisik dan biologis rusak akibat dari paparan panas dan polutan yang ada di udara. Polutan ini termasuk uap, aerosol, partikel padat, gas beracun dan asap yang berasal dari proses industri. Terdapat polutan utama yang diemisikan oleh kegiatan industri yaitu: Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), Karbon monoksida (CO), dan partikel tersuspensi. Sejumlah

sumber industri bertanggung jawab terhadap emisi karbon monoksida seperti penggunaan bahan bakar untuk boiler. Sedangkan Nitrogen oksida sebagai nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Nitrat oksida ( $\text{NO}$ ) dihasilkan dari pembangkit listrik termal, kendaraan, proses industri dan, proses pembakaran batu bara. Adapun bahan bakar yang kaya akan kandungan belerang menghasilkan gas belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ) bila digunakan untuk energi (Munsif *et al.*, 2021).

### 3. Pertanian

Senyawa yang mengandung nitrogen ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) dipancarkan ke atmosfer dari kegiatan pertanian. Pada kasus amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), pertanian merupakan sumber utama pencemar, masing-masing 88% dan 68% menurut data emisi tahunan di UK pada tahun 2016. Selain itu, tanah pertanian menjadi sumber nitric oksida ( $\text{NO}$ ) yang signifikan. Senyawa metana dan non-metana organik yang mudah menguap (VOC) juga dapat dipancarkan oleh proses pertanian dan peternakan. Berbagai gas polutan, dan terutama senyawa nitrogen ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) adalah dipancarkan ke atmosfer dari kegiatan pertanian, termasuk penggunaan pupuk, mesin pertanian dan limbah ternak. Selain itu, partikel primer dipancarkan dari peternakan dan kegiatan pengolahan. Namun, kontribusi utama polusi udara dari pertanian adalah emisi amonia ( $\text{NH}_3$ ). Mayoritas emisi  $\text{NH}_3$  pada pertanian berasal dari peternakan (Defra UK, 2018).



Gambar 4.3 Siklus Pencemaran NH<sub>3</sub>

Sumber: Defra UK, 2018

Beberapa nitrogen yang digunakan dalam pertanian secara kimiawi diubah di tanah menjadi Nitrat oksida (NO) yang dipancarkan ke atmosfer dan selanjutnya dioksidasi menjadi NO<sub>2</sub> dan HNO<sub>3</sub>. Sedangkan NH<sub>3</sub> adalah polutan udara pertanian yang menunjukkan relevansi Nitrat oksida (NO) emisi dari tanah pertanian (Defra UK, 2018).

#### 4. Kegiatan Rumah Tangga (Domestik)

Terdapat enam puluh sumber pencemar udara yang berasal dari rumah tangga. Merokok tembakau dalam ruangan, bahan konstruksi yang digunakan untuk membangun rumah, bahan bakar yang digunakan untuk memasak, pemanasan dan penerangan, penggunaan dupa dan berbagai bentuk pengusir nyamuk, penggunaan pestisida dan bahan kimia yang digunakan untuk membersihkan di rumah, dan penggunaan wewangian buatan adalah beberapa dari berbagai sumber yang berkontribusi terhadap polusi udara rumah tangga (Apte & Salvi, 2016).

- a. Salah satu sumber utama polusi udara rumah tangga, terutama di negara berkembang, adalah bahan bakar yang digunakan untuk memasak dan juga pemanas. Rumah-rumah dari negara maju dan banyak rumah di negara berkembang telah menggunakan listrik, gas alam, atau LPG bersih untuk memasak. Rumah-rumah masyarakat di pedesaan dan beberapa rumah di negara berkembang masih menggunakan bahan bakar biomassa untuk memasak.
- b. Cat dan pernis yang digunakan di rumah memancarkan sejumlah besar senyawa organik yang mudah menguap, meningkatkan beban polutan udara rumah tangga.
- c. Daerah endemis malaria atau penyakit yang dibawa nyamuk, lazim melakukan penyemprotan rumah tangga dengan *dichlorodiphenyltrichloroethane* (DDT). Penyemprotan berulang dengan bahan kimia ini, akan menyebabkan akumulasi racun ini di rumah.
- d. Konsumen yang umum menggunakan produk seperti penyegar ruangan, produk *laundry*, produk perawatan pribadi, dan alat pembersih yang mana diidentifikasi mengandung VOC yang beracun dan berbahaya.

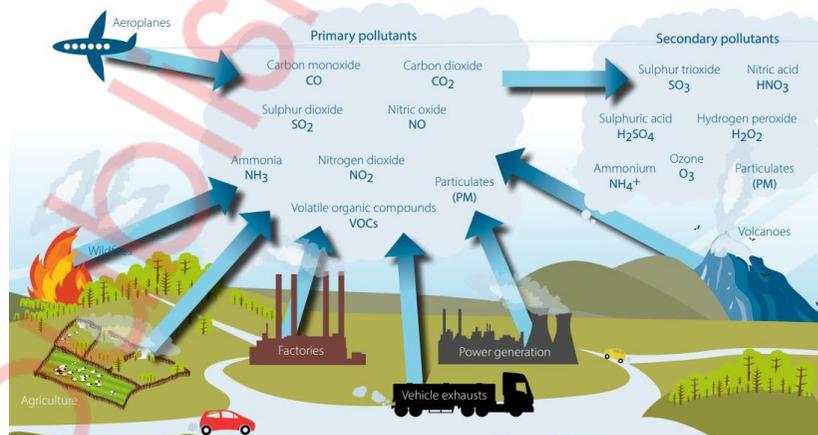
**Tabel 4.2** Sumber Pencemaran Udara yang Berasal dari Rumah Tangga

<b>Sources of household air pollution</b>	<b>Examples</b>
<i>Cooking methods (using liquefied petroleum gas or electricity)</i>	<i>Stir frying, frying, roasting, grilling, baking, basting, and broiling methods which lead to an increase in particulate matter (PM<sub>2.5</sub>)</i>
<i>Biomass fuels</i>	<i>Wood, crop residue, animal dung, and charcoal</i>
<i>Tobacco smoke</i>	<i>Active smokers and second-hand and third-hand smoke</i>

<b>Sources of household air pollution</b>	<b>Examples</b>
<i>Incense sticks Mosquito repellents</i>	<i>Agarbatti and dhoop (incense sticks), Bakhoor, and Oudh Mosquito coils, flammable paper mats, and aerosols</i>
<i>Cleaning agents, products of personal care, air fresheners, wood varnishes, paint, and carpet solvents Fire-retardant foam-containing furniture, electronic gadgets, and building material</i>	<i>Volatile organic compounds Polybrominated diphenyl ethers</i>
<i>Fungi such as Aspergillus, Cladosporium, and Penicillium Bacteria such as Legionella</i>	<i>Damp walls and ill-maintained air conditioning</i>
<i>Domestic pets</i>	<i>Pet dander</i>

### 4.3 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Udara

Klasifikasi bahan pencemar udara dibagi menjadi dua bagian yaitu polutan primer dan polutan sekunder.



Gambar 4.4 Jenis-Jenis Pencemar Udara

Sumber: <https://www.sepa.org.uk>

### a. Polutan Primer

Polutan yang dihasilkan atau dikeluarkan langsung dari sumber pencemar tertentu. Polutan pencemar dapat berupa partikel maupun gas (Mukono, 2006). Adapun polutan udara primer merupakan polutan yang dapat langsung dilepaskan ke atmosfer dari sumber pencemar (proses maupun sisa pemanfaatan energi). Polutan primer adalah partikel, Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), Karbon monoksida (CO), Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), Hidrokarbon (HC), dan lainnya (Nurudeen et al., 2013).

#### 1. Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak menyebabkan iritasi, tidak berbau, tidak berasa yang ditemukan di udara (indoor dan outdoor). Karbon monoksida terbentuk akibat dari proses pembakaran senyawa karbon yang tidak sempurna. CO dapat terbentuk akibat dari aktivitas alam dan aktivitas manusia, di mana sumber paling dominan dari mesin knalpot kendaraan bermotor. Paparan paling tinggi adalah ketika terjadi saat lalu lintas pada. Namun tingkat CO paling berbahaya jika terpapar saat didalam ruangan. Selain akibat transportasi, CO juga dapat terbentuk dari aktivitas rumah tangga yakni dari pemasangan alat yang tidak tepat yang mana peralatan (kompor, tungku, pemanas, dan generator) tersebut berbahan bakar bensin alami, minyak tanah, dan bahan bakar lainnya. Paparan juga dapat terjadi akibat menghirup asap rokok, baik sebagai perokok aktif maupun perokok pasif. Rute paparan utama melalui inhalasi atau saluran pernapasan. Toksikotetik dari Karbon monoksida (CO) adalah sebagai berikut (ATSDR, 2012):

- a. Setelah menghirup udara yang terkontaminasi, CO akan dengan mudah memasuki semua bagian tubuh termasuk darah, otak, jantung, dan otot.
- b. Dalam darah, CO dengan cepat didistribusikan dalam eritrosit di mana terdapat Hemoglobin (Hb) untuk membentuk Karboksihemoglobin (COHb).

- c. Dalam otot, CO terdapat mioglobin yang membentuk Karboksimioglobin(COMB).
- d. Dalam masa kehamilan, CO didistribusikan ke jaringan pada janin dan berikatandengan Hb janin da protein heme lainnya.
- e. *Exercise* dapat mengurangi waktu paruh dalam eliminasi CO.
- f. CO dieliminasi dari dalam tubuh melalui pernapasan dan < 10% oleh metabolisme oksidatif.

Karboksihemoglobin dalam darah adalah biomarker utama untuk mengidentifikasi paparan karbon monoksida. Hubungan antara kadar COHb dan paparan diperumit oleh faktor fisiologis yang mempengaruhi penyerapan dan eliminasi karbon monoksida. Karbon monoksida akan terpartisi di atmosfer dan didistribusikan secara global oleh angin. Karbon monoksida tetap berada di atmosfer selama sekitar 2 bulan sampai bereaksi dengan bahan kimia lain dan diubah menjadi karbon dioksida. Mikroorganisme di tanah dan air juga dapat mengubah karbon monoksida menjadi karbon dioksida.

## 2. Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>)

Sulfur dioksida adalah gas tidak berwarna dengan bau yang menyengat, serta sangat mudah larut di dalam air. Sulfur dioksida di udara terutama berasal dari kegiatan seperti pembakaran batu bara dan minyak di pembangkit listrik atau dari peleburan tembaga. Di alam, belerang dioksida dapat dilepaskan ke udara dari letusan gunung berapi (ATSDR, 1999). Rute paparan utama melalui inhalasi atau saluran pernapasan. Toksikotetik dari Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) adalah sebagai berikut (ATSDR, 1998):

- a. Sulfur dioksida, gas yang sangat larut dalam air, akan dengan cepat diserap oleh mukosa hidung dan bagian atas saluran pernapasan.
- b. Penyerapan di saluran pernapasan bagian bawah akan meningkat sejalan dengan peningkatan ventilasi terkait dengan transisi dari pernapasan hidung ke oronasal.

- c. Setelah kontak dengan selaput lendir yang lembap, belerang dioksida dihidrolisis menjadi sulfit yang diserap oleh darah dan mudah didistribusikan ke seluruh tubuh.
  - d. Sulfit dapat dioksidasi menjadi sulfat oleh sulfit oksidase, terutama di hati, atau dapat bereaksi dengan protein untuk membentuk S-sulfonat. Selanjutnya Sulfat diekskresikan dalam urine.
3. Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ )

Nitrogen oksida adalah campuran gas yang terdiri dari nitrogen dan oksigen. Jenis nitrogen oksida yang paling signifikan secara toksikologi adalah nitrat oksida dan nitrogen dioksida; keduanya tidak mudah terbakar dan tidak berwarna hingga coklat pada suhu kamar. Nitrit oksida adalah gas berbau manis dan tajam pada suhu kamar, sedangkan nitrogen dioksida memiliki bau yang kuat dan keras pada suhu kamar, menjadi gas coklat kemerahan di atas  $70^\circ\text{F}$ . Nitrogen oksida dilepaskan ke udara dari knalpot kendaraan bermotor, pembakaran batu bara, minyak, atau gas alam, dan selama proses seperti pengelasan busur, pelapisan listrik, ukiran, dan peledakan dinamit.  $\text{NO}_x$  juga diproduksi secara komersial dengan mereaksikan asam nitrat dengan logam atau selulosa. Nitrogen oksida digunakan dalam produksi asam nitrat, lak, pewarna, dan bahan kimia lainnya. Nitrogen oksida juga digunakan dalam bahan bakar roket, nitrasi bahan kimia organik, dan pembuatan bahan peledak (ATSDR, 2002). Toksikokinetik dari Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) adalah sebagai berikut (WHO, 2000b):

- a.  $\text{NO}_2$  diserap melalui saluran inhalasi (pernapasan) sebanyak 70-90%, dan *exercise* dapat meningkatkan jumlah pajanan yang diserap.
- b. Sebagian besar  $\text{NO}_2$  akan dihirup dan masuk ke dalam nasofaring (sekitar 40-50% penelitian pada anjing dan kelinci).
- c.  $\text{NO}_2$  akan mengendap dalam jaringan saluran pernapasan bagian bawah dan akan berada dalam kondisi maksimal

saat berada antara jalur saluran pernapasan dengan daerah pertukaran gas di paru-paru.

- d. NO<sub>2</sub> akan berada di paru-paru dalam waktu yang lama. Selanjutnya NO<sub>2</sub> dapat diamati konsentrasi pajanannya dalam tubuh melalui darah dan urine.

#### 4. Partikel

Partikel udara merupakan campuran kompleks zat organik dan anorganik. Massa dan komposisi terbagi menjadi dua kelompok utama, yaitu partikel kasar yang sebagian besar ukurannya lebih besar dari 2.5 µm dan partikel halus sebagian besar ukurannya lebih kecil dari 2.5 µm (PM 2.5). Partikel dipancarkan dari sejumlah sumber, beberapa diantaranya berasal dari alam (letusan gunung berapi dan badai debu). Partikel juga dapat berasal dari aktivitas manusia seperti emisi dari pembangkit listrik, proses industri, lalu lintas kendaraan, pembakaran domestik batu bara, insenerator limbah industri dan lainnya. Sebagian besar partikel yang berasal dari aktivitas manusia terkonsentrasi pada daerah tertentu yakni daerah perkotaan (populasi penduduk padat). Partikel yang lebih kecil mengandung aerosol yang terbentuk secara sekunder (konversi gas-ke-partikel), partikel pembakaran dan uap organik dan logam yang terkondensasi. Pencemaran udara partikulat adalah campuran partikel padat, cair atau padat dan cair yang tersuspensi dalam udara. Inhalasi adalah satu-satunya rute paparan yang menjadi perhatian dalam kaitannya dengan efek langsung dari partikel tersuspensi pada kesehatan manusia. Adapun toksikokinetik dari Partikel adalah sebagai berikut (WHO, 2000d):

- a. Pengendapan partikel melalui saluran pernapasan tergantung pada pola pernapasan dan ukuran partikel.
- b. Ukuran partikel yang lebih besar dari 10 µm akan masuk dan tersimpan pada saluran pernapasan bagian atas (diatas laring).
- c. Ukuran partikel 5-10 µm disimpan pada saluran pernapasan yang lebih dalam. d). Ukuran partikel antara 2,5-5 µm akan

- disimpan ke saluran pernapasan yang lebih
- d. dalam lagi yakni (bronkiolus).
  - e. e). Total deposisi partikel di paru-paru adalah sekitar 60% untuk partikel dengan diameter  $< 0,1 \mu\text{m}$ , menurun menjadi sekitar 20% untuk partikel  $0,1-1 \mu\text{m}$  dan meningkat menjadi sekitar 80% untuk partikel  $5 \mu\text{m}$ .

Partikel dapat meliputi berbagai macam bentuk sebagai berikut (Wardhana, 2004):

- a). *Aerosol*: istilah partikel yang melayang di udara.

- a. *Smoke*: aerosol akibat pencampuran antara butiran padatan dan cairan yang terdapat di udara bebas.
- b. *Dust*: aerosol yang berupa butiran padat yang tersebar bebas di udar akibat hembusan angin.
- c. *Fog*: aerosol yang berupa butiran-butiran air yang berada di udara.e). *Mist*: butiran zat cair yang tersebar di udara.
- d. f). *Fume*: aerosol yang berasal dari kondensasi uap panas.
- g). *Plume*: asap yang dikeluarkan dari cerobong industri h).
- Haze*: aerosol yang mengganggu pandangan di udara
- e. *Smog*: campuran antara *smoke* dan *fog*.
- f. *Smaze*: campuran antara *smoke* dan *haze*.

#### 5. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon merupakan golongan senyawa organik yang tersusun aras undur hidrogen (H) dan karbon (C), senyawa HC mudah mengalami oksidasi hingga menghasilkan energi dan kalori. Sumber energi yang do hasilkan oleh proses oksidasi dari senyawa HC, banyak dimanfaatkan oleh manusia seperti dalam bidang industri, aktivitas domestik hingga transportasi. Pembakaran sempurna senyawa HC akan menghasilkan karbon dioksida dan air. Namun, ketika pembakaran tidak sempurna dari senyawa HC akan menghasilkan produk samping berupa karbon monoksida dan hidrokarbon (Dewulf, 2009 dalam Sari & Fatkhurrahman, 2015). Kandungan atau konsentrasi senyawa HC dalam kondisi normal atau udara bersih adalah  $< 1 \text{ ppm}$ , tetapi ketika dalam

kondisi udara tercemar maka kandungan dari senyawa HC dapat mencapai 1-20 ppm (Holzworth & Cormick, 1976 dalam Sari & Fatkhurrahman, 2015). Nilai pencemaran udara senyawa HC, disebut NMHC (Non Methane Hidrocarbon) sebagai senyawa precursor ozon. Adapun senyawa NHMC yang banyak diemisikan oleh kendaraan bermotor adalah benzene, PAHs (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*), dan 1,3 Butadiene. Senyawa HC yang ada di atmosfer dapat memberikan dampak pada kesehatan masyarakat karena sifatnya yang karsinogenik (Sari & Fatkhurrahman, 2015).

#### **b. Polutan Sekunder**

Polutan Sekunder adalah polutan yang terbentuk akibat adanya reaksi dua atau lebih bahan kimia yang ada di udara, Adapun karakteristik fisik dan kimia dari polutan ini sangat tidak stabil, seperti Formaldehid, Ozon, dan *Peroxy Acyl Nitrat* (PAN). Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan dan arah reaksi meliputi: derajat fotoaktivasi, konsentrasi relatif dari bahan reaktan, kondisi iklim, hingga topografi local dan keberadaan embun (Mukono, 2006).

##### **1. Formaldehid**

Formaldehid merupakan gas yang tidak berwarna dan mudah terbakar pada suhu kamar. Memiliki bau yang menyengat, berbeda dan menyebabkan sensasi terbakar pada mata, hidung, dan paru-paru pada konsentrasi tinggi. Nama lain dari Formaldehid adalah metanal, metilen oksida, oxymethylene, methylaldehyde, dan oxomethane. Formaldehid dapat bereaksi dengan banyak bahan kimia lain, dan akan terurai menjadi metanol dan karbon monoksida pada suhu yang sangat tinggi. Panan Formaldehid dapat terjadi akibat aktivitas alam maupun aktivitas manusia, meskipun sumber terbesarnya akibat dari pembakaran. Tingkat paparannya adalah sebagai berikut (ATSDR, 1999b):a).

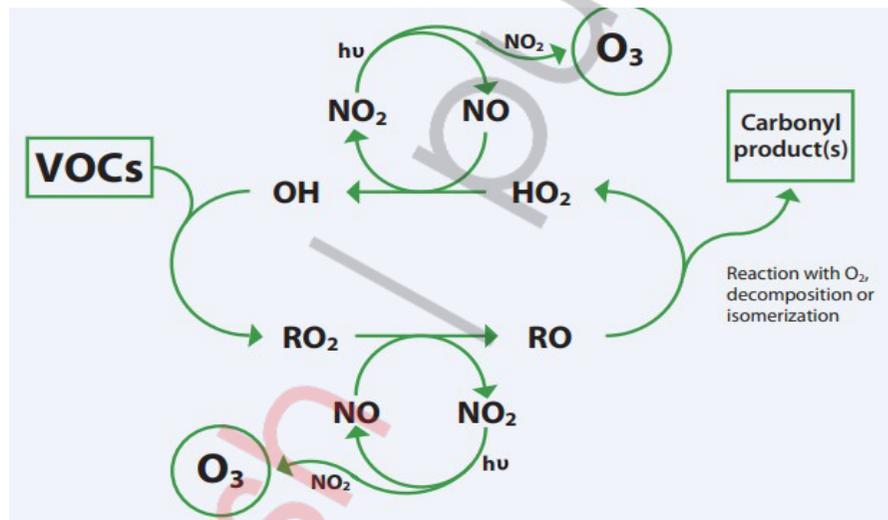
- a) Tinggal di daerah yang tidak berpenduduk, terpapar sekitar 0,2 bagian per miliar (ppb) formaldehida di udara luar ruangan.
- b) Tinggal di pinggiran kota, sekitar 2-6 ppb formaldehida.
- c) Tinggal di daerah berpenduduk padat atau dekat dengan beberapa industri, maka akan terpapar sekitar 10–20 ppb. Konsentrasi formaldehida sangat tinggi adalah ketika lalu lintas kendaraan padat yang terbentuk akibat dari knalpot kendaraan. Formaldehida dapat masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi, ingesti dan dermal. Formaldehida dengan cepat diserap oleh hidung dan dibawa hingga paru-paru bagian atas. Berikut ini adalah proses toksikokinetik Formaldehid melalui saluran pernapasan (inhalasi) (ATSDR, 1999b):

- a) Formaldehid diserap oleh jaringan saluran pernapasan selama paparan inhalasi.
- b) Formaldehida dimetabolisme menjadi formate oleh enzim formaldehida dehidrogenase.
- c) Formate diekskresikan dalam urin (terutama sebagai asam formate), lainnya masuk ke dalam molekul seluler lain, atau dioksidasi menjadi karbon dioksida dan selanjutnya dihembuskan.

## 2. Ozon

Ozon ( $O_3$ ) merupakan oksidator kuat, pada lapisan troposfer  $O_3$  terbentuk melalui serangkaian reaksi kompleks yang melibatkan sinar matahari terhadap senyawa Nitrogen dioksida ( $NO_2$ ) dan Hidrokarbon (HC) (WHO, 2000c). Pembentukan  $O_3$  erat kaitannya dengan reaksi fotokimia dengan adanya sinar matahari dan polutan prekursor seperti:  $NO_x$ , VOC, metana dan karbon monoksida (WHO, 2008). Penyerapan paparan ozon tidak akan terjadi melalui saluran pencernaan maupun dermal. Hal ini disebabkan karena Ozon berbentuk gas, dan hanya dimungkinkan diserap melalui saluran pernapasan. Berikut ini adalah proses toksikokinetik Ozon ( $O_3$ ) (WHO, 2000c):

- a) Penyerapan  $O_3$  pada saluran pernapasan sebesar 30-40% dari total penyerapan, melalui saluran hidung dan mulut.
- b) Dosis  $O_3$  pada cairan lapisan saluran napas dan jaringan saluran napas bertahap meningkat dari trakea ke ujung regio trakeobronkial paru.
- c) Peningkatan ventilasi yang terkait dengan olahraga menyebabkan pergeseran dosis ozon bersih menuju perifer paru.



Gambar 4.5 Pembentukan fotokimia ozon dengan adanya VOC dan  $NO_x$   
 Sumber: Jenkin & Hayman, 1999 dalam WHO, 2008

#### 4.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Udara

Berikut ini adalah faktor-faktor yang mampu mempengaruhi tingkat pencemaran udara, yang terbagi atas faktor topografi dan faktor meteorologi (Chandra, 2007):

##### a. Faktor Topografi

1. Dataran Tinggi atau Pegunungan, di mana pada daerah ini akan adanya faktor temperatur inversi (suatu kondisi di mana udara dingin tertindih oleh udara yang lebih hangat di atmosfer),

- di mana udara yang dingin akan menyebabkan polutan terperangkap dan tetap bertahan di permukaan bumi. Kondisi menyebabkan polutan pencemar akan memiliki waktu tinggal yang lebih lama di udara bebas.
2. Dataran Rendah, pada daerah ini polutan akan lebih mudah terdispersi atau tercemar ke seluruh wilayah bahkan hingga dapat melintasi batas wilayah. Tidak adanya penghalang, menyebabkan polutan memiliki waktu tinggal yang singkat di lokasi yang sama. Bisa jadi pencemaran udara akan lebih luas dan merata, bila tingkat konsentrasi polutan cukup tinggi.
  3. Lembah, pada daerah ini tingkat kecepatan angin yang rendah akan menyebabkan polutan akan semakin lama tinggal di permukaan bumi.
- b. Faktor Meteorologi
1. Temperatur  
Peningkatan kadar atau konsentrasi polutan pada suatu lokasi dipengaruhi oleh suhu atau temperatur udara. Ketika terjadinya pergerakan pada lapisan udara dingin menuju kawasan industri secara tiba-tiba yang menyebabkan temperatur inversi. Sehingga polutan akan lebih lama tertahan di permukaan bumi.
  2. Arah dan Kecepatan Angin  
Arah dan kecepatan angin akan mempengaruhi ke mana dan seberapa jauh luasan cakupan wilayah yang terpapar polutan udara. Apabila kecepatan angin rendah, maka akan menyebabkan polutan lebih lama tertahan di wilayah tersebut dan dampak jangka panjangnya pada gangguan kesehatan masyarakat (jika polutan terus-menerus menumpuk). Sedangkan ketika kecepatan angin sangat tinggi, maka akan menyebabkan polutan tersebar ke seluruh wilayah, bahkan konsentrasi polutan dimungkinkan lebih tinggi pada daerah yang bukan merupakan lokasi di mana sumber polutan berasal.
  3. Hujan  
Air hujan akan menjadi pelarut bagi bahan-bahan pencemar udara. Sebagai salah satu contohnya adalah ketika adanya

senyawa gas SO<sub>2</sub> di udara ambien dan ketika terjadinya hujan, maka SO<sub>2</sub> akan bercampur dengan air hujan dan berdampak terjadinya hujan asam (*acid rain*) yang membawa dampak buruk bagi lingkungan serta makhluk hidup yang ada di dalamnya.

#### 4.5 Baku Mutu Lingkungan

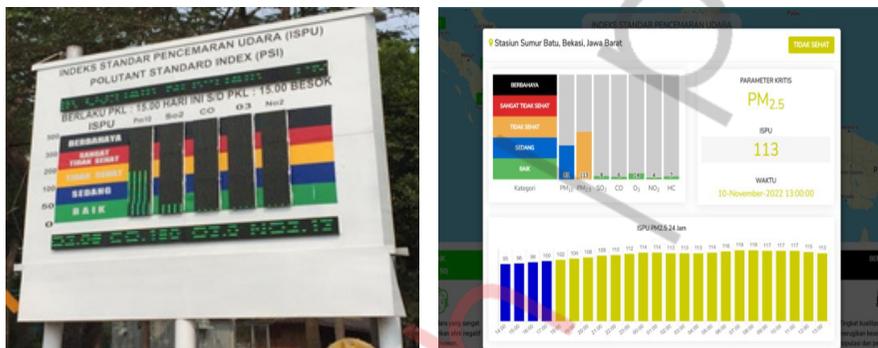
Upaya pengendalian tingkat pencemaran udara diperlukannya regulasi atau kebijakan yang disusun dalam memantau kondisi kualitas udara suatu wilayah agar tidak melebihi baku mutu yang dipersyaratkan. Adapun regulasi yang mengatur baku mutu udara ambien di Indonesia, tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Baku Mutu Udara Ambien Nasional

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
1	SO <sub>2</sub>	1 jam	900 ug/Nm <sup>3</sup>	Pararosanilin	Spektrofotometer
		24 jam	365 ug/Nm <sup>3</sup>		
		1 tahun	60 ug/Nm <sup>3</sup>		
2	CO	1 jam	30.000 ug/Nm <sup>3</sup>	NDIR	NDIR Analyzer
		24 jam	10.000 ug/Nm <sup>3</sup>		
		1 tahun	-		
3	NO <sub>2</sub>	1 jam	400 ug/Nm <sup>3</sup>	Saltzman	Spektrofotometer
		24 jam	150 ug/Nm <sup>3</sup>		
		1 tahun	100 ug/Nm <sup>3</sup>		
4	O <sub>3</sub>	1 Jam	235 ug/Nm <sup>3</sup>	Chemiluminescent	Spektrofotometer
		1 Tahun	50 ug/Nm <sup>3</sup>		
5	HC	3 Jam	160 ug/Nm <sup>3</sup>	Flame Ionization	Gas Chromatogarfi
6	PM <sub>10</sub>	24 Jam	150 ug/Nm <sup>3</sup>	Gravimetric	Hi-Vol
	PM <sub>2,5</sub>	24 Jam	65 ug/Nm <sup>3</sup>		
		1 Thn	15 ug/Nm <sup>3</sup>		
dst.					

#### 4.6 Analisis Kualitas Udara-ISPU

Salah satu cara dalam menilai kualitas udara ambien adalah melalui ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara). Berdasarkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020, ISPU atau Indeks Standar Pencemar Udara, merupakan angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Parameter ISPU meliputi 6 parameter yakni: Partikulat (PM<sub>10</sub>); Partikulat (PM<sub>2.5</sub>); Karbon monoksida (CO); Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>); Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>); Ozon (O<sub>3</sub>); dan Hidrokarbon (HC).



Gambar 4.6 ISPU Perkotaan (Kiri) dan ISPU melalui *Mobile System* (Kanan)

Sumber: Kumparan, 2017 dan <https://ispu.menlhk.go.id/map.html>

Berikut ini adalah kategori dalam ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara), meliputi: baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat dan berbahaya:

Tabel 4.4 Kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara)

Rentang	Kategori	Penjelasan
1-50	Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan dan tumbuhan.

Rentang	Kategori	Penjelasan
51-100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan.
101-200	Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan
201-300	Sangat Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan risiko kesehatan pada sejumlah segemen populasi yang terpapar
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.

Sumber: Ditjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, 2020

Berdasarkan pada tabel diatas, maka akan adanya konsekuensi yang dirasakan bagi seluruh makhluk hidup dari tiap kategori ISPU yang dijabarkan pada tabel berikut ini:

**Tabel 4.5** Penjelasan Kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara)

Kategori	Keterangan	Apa yang Harus Dilakukan
Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan dan tumbuhan.	Sangat baik melakukan kegiatan diluar
Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan.	<b>Kelompok Sensitif:</b> kurangi aktivitas fisik yang terlalu lama dan berat <b>Setiap orang:</b> Masih dapat beraktivitas di luar

Kategori	Keterangan	Apa yang Harus Dilakukan
Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan	<p><b>Kelompok sensitif:</b> Boleh melakukan aktivitas di luar, tetapi mengambil rehat lebih sering dan melakukan aktivitas ringan. Amati gejala berupa batuk atau nafas sesak.</p> <p><b>Penderita Asma:</b> harus mengikuti petunjuk kesehatan untuk asma dan menyimpan obat asma.</p> <p><b>Penderita Penyakit Jantung:</b> gejala seperti palpitasi/jantung berdetak lebih cepat, sesak nafas, atau kelelahan yang tidak biasa mungkin mengindikasikan masalah serius.</p> <p><b>Setiap orang:</b> Mengurangi aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan.</p>
Sangat Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan risiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar	<p><b>Kelompok sensitif:</b> Hindari semua aktivitas di luar. Perbanyak aktivitas di dalam ruangan atau lakukan penjadwalan ulang pada waktu dengan kualitas udara yang baik.</p> <p><b>Setiap orang:</b> Hindari aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan, pertimbangkan untuk melakukan aktivitas di dalam ruangan.</p>

Kategori	Keterangan	Apa yang Harus Dilakukan
Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.	<b>Kelompok sensitif:</b> Tetap di dalam ruangan dan hanya melakukan sedikit aktivitas <b>Setiap orang:</b> Hindari semua aktivitas di luar

Sumber: <https://ispu.menlhk.go.id/>

## 4.7 Dampak Pencemaran Udara

### 4.7.1 Dampak Pencemaran Udara Terhadap Lingkungan

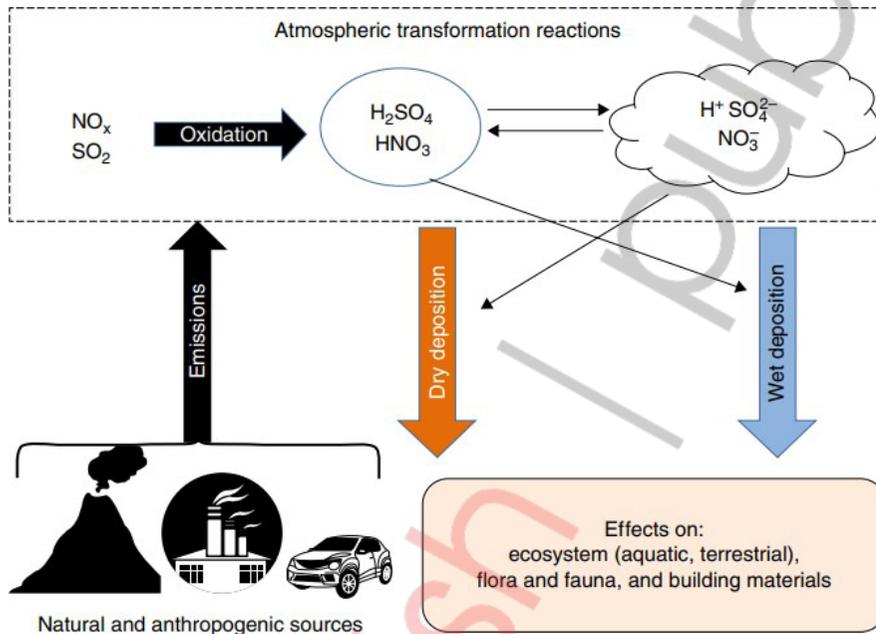
Pencemaran udara bertanggung jawab terjadinya degradasi lingkungan, diantaranya: penurunan jarak pandang/kabut, eutrofikasi, hujan asam, penipisan ozon dan perubahan iklim global (Sonwani & Maurya, 2018):

#### a. Hujan Asam

Hujan asam atau disposisi asam adalah salah satu pencemaran, yang merupakan transformasi gas belerang dan nitrogen yang dipancarkan oleh berbagai sumber yang ada di atmosfer. Hujan asam dapat terbentuk akibat dari emisi SO<sub>2</sub> (pembakaran bahan bakar fosil dan peleburan logam) dan NO<sub>x</sub> (dilepaskan dari kendaraan, sumber industri dan pembangkit listrik), di mana akan membentuk asam sulfat dan nitrat dalam presipitasi. Adapun sifat asam dari hujan asam pH 4,2 hingga 4,7. Di mana ketika terjadi hujan, kabut, gerimis atau salju bercampur dengan gas dan partikulat maka akan mempengaruhi distribusi dan transportasi asam dari atmosfer ke bumi. Adapun dampak yang dirasakan ketika terjadinyahujan asam, yaitu:

1. Merusak dedaunan dan tanaman, sehingga rentan terhadap beberapa bakteri dan infeksi virus. Tanaman dan pohon akan rentan terhadap radiasi UV yang berbahaya dan berdampak pada sistem metabolismenya. Selain itu, hujan asam juga dapat menghilangkan esensial unsur hara dan mineral dari dalam tanah.

2. Mengubah secara signifikan pH lingkungan perairan seperti kolam, sungai, danau, dan rawa yang berdampak langsung pada kehidupan organisme akuatik.
3. Menyebabkan kerusakan material seperti patung, marmer, cat, dan lain sebagainya akibat pengendapan asam yang tinggi yang berpotensi menimbulkan korosi.



Gambar 4.7 Mekanisme Terjadinya Hujan Asam

Sumber: Sonwani & Maurya, 2018

### b. Eutrofikasi

Eutrofikasi adalah suatu kondisi di mana badan air yang memiliki kadar nutrisi yang tinggi, seperti Nitrogen dan Fosfor. Jumlah nutrisi yang berlebihan dapat berdampak pada kejadian *Alga bloom* yang mempengaruhi hilangnya keanekaragaman hewan dan tumbuhan. Emisi yang dipancarkan oleh pembangkit listrik tenaga panas dan transportasi juga memungkinkan adanya sejumlah Nitrogen oksida yang memasuki ekosistem perairan.

Adapun dampak yang terjadi ketika terjadi eutrofikasi adalah:

- a) *Alga bloom*, menyebabkan penetrasi cahaya ke dalam air menjadi berkurang. Sehingga menurunkan produktivitas tumbuhan di perairan yang lebih dalam.
- b) Kadar Oksigen dalam air akan berkurang, sehingga dapat mengakibatkan alga mati dan mempengaruhi penurunan produksi primer di perairan dalam.
- c) Kematian ikan-ikan besar seperti trout dan salmon, akibat dari rendahnya kadaroksigen terlarut (DO).

**c. Kabut/Haze**

Permasalahan kabut asap banyak terjadi di negara-negara maju, yang diakibatkan oleh industrialisasi dan urbanisasi. Visibilitas akan berkurang karena sinar matahari akan bertemu dengan partikel tarserupensi kecil di atmosfer. Kabut asap dapat menyebabkan jumlah energi matahari sampai mencapai permukaan bumi berkurang 30%.

**d. Penipisan Ozon**

Lapisan ozon stratosfer dikenal dengan ozon yang berfungsi sebagai perisai bumi dari sinar radiasi (UV) matahari secara langsung. Namun, akibat dari banyaknya bahan-bahan kimiayang ada di atmosfer (klorofluorokarbon, hidroklorofluorokarbon, dan halon), menyebabkan semakin lama mengalami penipisan. Penipisan ozon memungkinkan adanya radiasi UV yang berbahaya jika mencapai permukaan bumi. Tidak hanya menimbulkan penyakit, tetapi juga akan mempengaruhi bibit tanaman, kerentanan tanaman terhadap penyakit, hama dan cuaca buruk sehingga berpengaruh pada hasil panen.

**e. Perubahan Iklim**

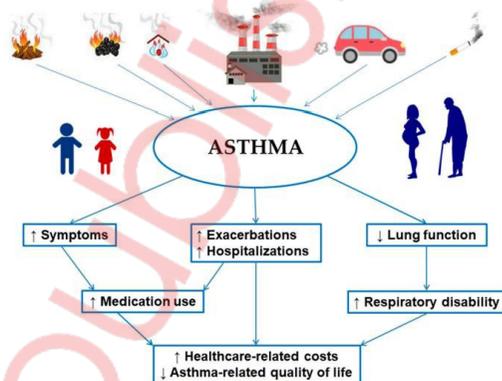
Gas Rumah Kaca (GRK) dipancarkan dari berbagai sumber yang dapat mengganggu keseimbangan gas yang ada secara alami di atmosfer. GRK juga akan mengganggu proses transformasi fisikokimia yang terkait dengan radiasi. Pemanasan global secara signifikan berdampak pada kesehatan manusia, ekologi, pertanian, sumber daya air, hutan, satwa liar hingga daerah pesisir.

#### 4.7.2 Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat

Setelah membahas terkait dengan dampak pencemaran udara pada lingkungan, saat ini akan dibahas terkait dampak pencemaran udara bagi kesehatan manusia. Pencemaran yang ada dapat membawa beragam gangguan kesehatan, tergantung pada jenis, karakteristik hingga konsentrasi zat pencemar yang terpajan ke dalam tubuh. Berikut ini adalah beberapa penyakit yang disebabkan oleh pencemaran udara:

##### a. Gangguan Pernapasan

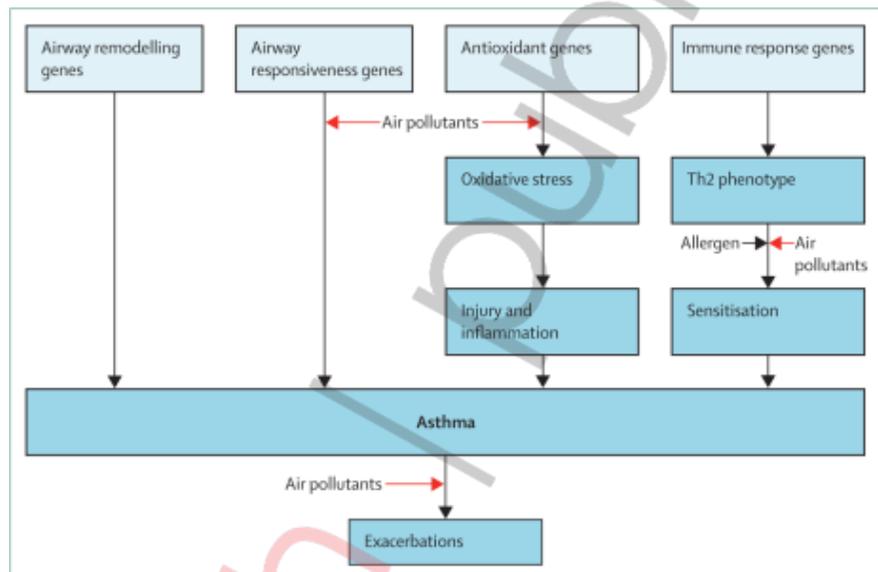
Pencemaran udara ambien diperkirakan bertanggung jawab atas 27,5% kematian yang diakibatkan oleh infeksi pada saluran pernapasan bagian bawah (Li & Mallat, 2018). Adanya penelitian yang menyebutkan bahwa pencemaran atau polusi dalam dan luar ruangan dapat mengakibatkan gangguan pernapasan yakni asma. Faktor risiko terjadinya asma pada anak-anak disebabkan oleh polusi udara akibat dari transportasi atau lalu lintas yang padat, paparan  $\text{NO}_2$  dan asap rokok (perokok pasif). Paparan polutan dalam ruangan ( $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PM}$ ) dapat menyebabkan gejala asma dan eksaserbasi. Efek yang dirasakan tergantung pada dosis dan durasi pajanan. Penurunan fungsi paru lebih banyak sering dilaporkan akibat dari pajanan polutan  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{PM}$  (Tiotiu et al., 2020).



Gambar 4.8 Dampak Pencemaran Udara pada Penyakit Astma dan Sosial Ekonomi.

Sumber: Tiotiu et al., 2020

Adapun mekanisme dari terjadinya penyakit asma akibat dari pencemaran udara yakni melalui stress oksidatif, remodeling saluran pernapasan, inflamasi jalur dan respons imunologi dan peningkatan sensititasi saluran pernapasan terhadap aeroallergen Guarnieri & Balmes, 2015.

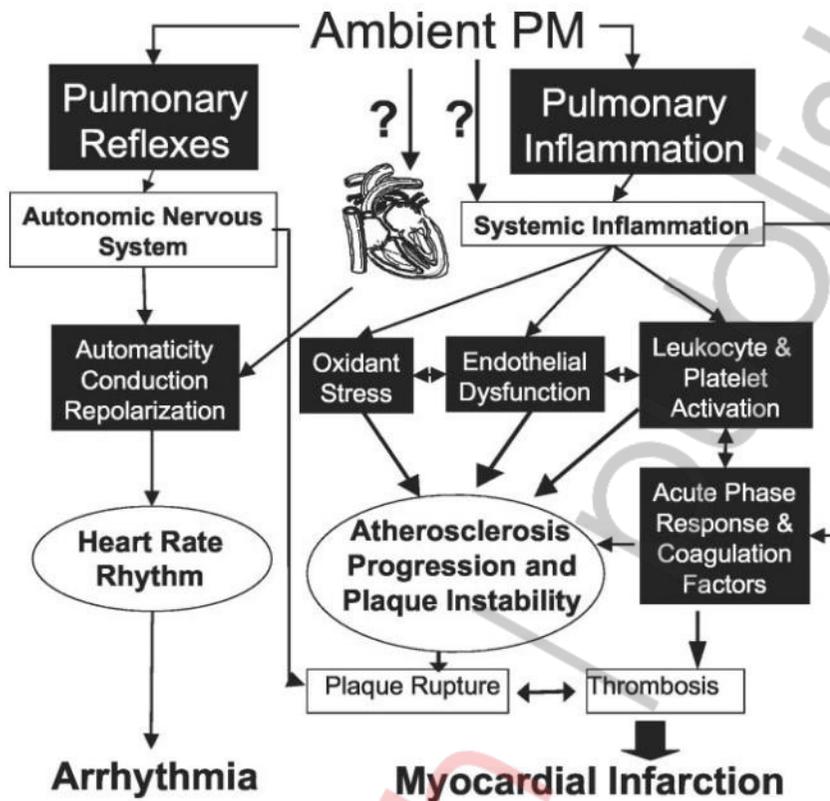


Gambar 4.9 Kerangka Mekanisme Polusi Udara Terhadap Kejadian Asma

Sumber: Guarnieri & Balmes, 2014

### b. Penyakit Kardiovaskular

Selain gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular juga telah banyak ditemukan dan dikaitkan dengan adanya pencemaran udara. Paparan polusi udara jangka pendek dan jangka panjang dikaitkan dengan peningkatan yang signifikan baik dalam pengembangan dan kematian dari beberapa penyakit kardiovaskular (Li & Mallat, 2018).



Gambar 4.10 Mekanisme Penyakit Kardiovaskular Akibat Pencemaran Udara  
 Sumber: Brook et al., 200)

Mekanisme biologis yang diduga mengaitkan penyakit kardiovaskular dengan pencemaran udara di mana melibatkan efek langsung dan efek tidak langsung. Efek langsung polutan terjadi pada sistem kardiovaskular, darah, dan reseptor paru-paru. Sedangkan efek tidak langsung melalui stres oksidatif paru dan respons inflamasi. Efek langsung dapat terjadi melalui *agent* yang melintasi epitel paru ke dalam sirkulasi, seperti gas (Nemmar et al 2001 & 2002 dalam Brook et al., 2004) atau bersama dengan konstituen larut PM<sub>2.5</sub> (misalnya, logam transisi). Selain itu, aktivasi refleks saraf paru sekunder akibat interaksi PM dengan reseptor paru dimungkinkan berperan.

Perubahan berikutnya dalam tonus otonom yakni pada keadaan tertentu, dapat berkontribusi pada ketidakstabilan plak vaskular atau terjadinya aritmia jantung. Efek langsung (cepat) dari polusi udara terkait dengan respons kardiovaskular, seperti peningkatan infark miokard (Petters *et al.*, 2001 dalam Brook *et al.*, 2004). Efek tidak langsung yang kurang akut (beberapa jam hingga hari) dan kronis dapat terjadi melalui stres oksidatif paru atau peradangan yang disebabkan oleh polutan yang dihirup. Hal ini dapat berkontribusi pada keadaan inflamasi sistemik, yang pada saatnya dapat mengaktifkan jalur hemostatik, merusak fungsi vaskular, dan mempercepat aterosklerosis.

**c. Stroke**

Studi epidemiologi menunjukkan bahwa paparan jangka pendek dan jangka panjang polusi udara meningkatkan risiko stroke. Mekanisme patobiologis yang mengarah ke induksi disfungsi endotel, aterosklerosis, aktivasi trombosit, dan kecenderungan koagulasi. Polusi udara menjadi salah satu risiko terpenting terhadap kejadian stroke (Lee *et al.*, 2018). Stroke menjadi penyebab utama kecacatan dan penyebab kematian paling umum kedua didunia. Selama beberapa dekade terakhir, tingkat polusi udara telah terus meningkat dan sekarang diperkirakan bertanggung jawab atas 14% dari semua kematian terkait stroke. Hal tersebut sebagai penguatan bukti bahwasanya polusi udara merupakan faktor risiko terjadinya kejadian stroke. Adanya *review* dari berbagai penelitian yang menyebutkan hubungan antara polusi udara dan berbagai penyebab iskemik stroke dan stroke hemoragik, untuk memperjelas populasi mana yang paling berisiko. Risiko stroke iskemik meningkat setelah paparan polusi udara jangka pendek atau jangka panjang. Efek ini paling menonjol pada orang dengan beban kardiovaskular dan stroke karena penyakit arteri besar atau penyakit pembuluh darah kecil. Paparan jangka pendek terhadap polusi udara meningkatkan risiko perdarahan intraserebral, subtype stroke hemoragik (Verhoeven *et al.*, 2021).

#### d. Kanker

PAHs adalah komponen kimia penting dari emisi pembakaran. PAHs yang lebih kecil dengan mudah menguap dan ditemukan dalam gas. Sedangkan PAHs pada tingkat yang lebih besar terjadi seluruhnya sebagai partikel. PAHs telah diklasifikasikan sebagai karsinogenik oleh IARC. Salah satu jenis PAHs adalah Benzo[a]pyrene yang mana telah diklasifikasikan sebagai karsinogenik pada manusia (IARC Grup 1). Senyawa utama dalam biomassa (asap bahan bakar) yang terkait dengan karsinogenisitas adalah PM dan PAH. Partikel halus disimpan di saluran udara sentral dan perifer, di mana dimungkinkan dapat memberikan efek toksik. Ketika konsentrasi PM yang dihirup tinggi, maka mekanisme dalam paru-paru akan kelebihan beban. Respons terhadap paru-paru kronis yang berlebihan terlihat dengan adanya peningkatan neutrofilik yang berkelanjutan, peradangan dan pelepasan *Reactive Oxygen Species* (ROS) atau radikal bebas yang berperan penting pada beberapa proses fisiologis organ tubuh. ROS dalam sel dapat merusak DNA secara langsung dan menginduksi mutasi dan juga mempromosikan pergantian sel dan proliferasi.

Akumulasi mutasi tambahan pada gen yang penting dalam sel induk, bersama-sama dengan perubahan epigenetik dan/atau non-genetik, akan dapat mengakibatkan pembentukan tumor (IARC, 2013).

#### e. Kesehatan Bayi

Pada suatu penelitian didapatkan bahwa dalam model "*single pollutant*" yang menyertakan efek tetap, ditemukan bahwa CO, PM<sub>10</sub>, dan NO<sub>2</sub> dapat meningkatkan kematian bayi. Hal ini juga berlaku pada "*multi pollutant*", seperti pajanan PM<sub>10</sub> dan NO<sub>2</sub> pada satu waktu bersamaan. Adapun ketika dilakukan pengurangan emisi gas CO dan kadar PM<sub>10</sub> selama beberapa waktu tertentu, dengan penerapan kebijakan emisi kendaraan "*Clear Skies Initiative*" didapatkan bahwa dapat menyelamatkan 1.000 nyawa bayi di California (Currie & Neidell, 2004).

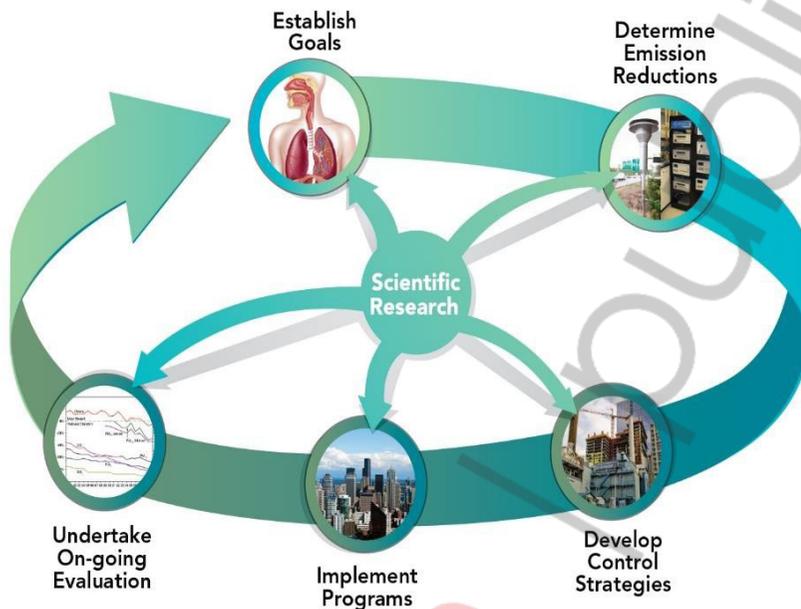
f. Neurodegeneratif dan Perkembangan Saraf

Selain menyebabkan penyakit pernapasan dan kardiovaskular, polusi udara juga dapat berdampak negatif pada otak dan berkontribusi terhadap penyakit sistem saraf pusat. Kontributor penting PM berasal dari kepadatan lalu lintas yang sebagian besar berasal dari knalpot diesel. Studi epidemiologis telah menunjukkan bahwa paparan polusi udara dapat dikaitkan dengan berbagai efek negatif pada sistem saraf pusat. Selain berbagai kelainan perilaku, efek paling menonjol adalah stres oksidatif dan peradangan saraf. Penelitian menunjukkan bahwa polusi udara dapat menyebabkan perkembangan neurotoksisitas, dan dapat berkontribusi pada etiologi gangguan perkembangan saraf, termasuk gangguan spektrum autisme. Selain itu, paparan polusi udara telah dikaitkan dengan peningkatan penanda patologi penyakit neurodegeneratif, seperti alpha-synuclein atau beta-amyloid. Sehingga kondisi ini dapat berkontribusi pada etiopatogenesis penyakit neurodegeneratif, terutama penyakit Alzheimer dan penyakit Parkinson (Costa *et al.*, 2020). Di mana PM<sub>2.5</sub> masuk ke sistem saraf pusat melalui 2 jalur utama, yaitu *blood-brain barrier* dan *neuron olfactory*. Respons inflamasi dan stres oksidatif adalah 2 mekanisme utama yang menyebabkan toksisitas di otak. PM<sub>2.5</sub> secara tidak normal mengaktifkan mikroglia, menginduksi proses peradangan saraf. Penanda peradangan seperti IL-1 $\beta$  berperan penting dalam penyakit neurodegeneratif seperti penyakit Alzheimer dan penyakit Parkinson (Wang *et al.*, 2021).

#### 4.8 Upaya Pengendalian Pencemaran Udara

Beberapa upaya perlu dilakukan dalam mengendalikan pencemaran udara guna menjaga kelestarian lingkungan serta menjaga ekosistem yang ada termasuk di dalamnya kelangsungan hidup organisme dan seluruh makhluk hidup. Adapun upaya yang dapat dilakukan adalah melalui manajemen kualitas udara yang mengacu pada setiap kegiatan yang menjadi sumber potensial pencemar udara, di mana perlunya

otoritas pengatur yang dilakukan dalam melindungi kesehatan manusia dan lingkungan. Proses pengelolaan kualitas udara dapat digambarkan melalui siklus elemen yang saling terkait berikut ini:



Gambar 4.11 Siklus Manajemen Kualitas Udara

Sumber: EPA, 2022a

Pemerintah perlu menetapkan peraturan atau regulasi terkait dengan pemantauan kualitas udara, dengan menentukan kadar atau konsentrasi polutan yang dapat di terima oleh udara dan tidak berdampak pada kesehatan populasi, termasuk diantaranya adalah kelompok rentan. Adapun manajemen kualitas udara dilakukan dengan menentukan seberapa banyak jumlah emisi yang harus dikurangi jumlahnya sampai pada kondisi normal atau kondisi yang diinginkan. Manajemen kualitas udara terkait di dalamnya adalah inventarisasi emisi, pemantauan udara, pemodelan kualitas udara dan lain sebagainya yang dapat menilai masalah kualitas udara yang ada. Dalam strategi pengendalian pencemaran udara maka perlu mempertimbangkan teknik pencegahan polusi dan pengendalian emisi yang akan digunakan.

Perlunya memberlakukan program dalam strategi pengendalian polusi, yakni melalui regulasi atau program insentif yang mana mengatur para industri dalam membuang emisi hasil produksinya. Selain itu, harus dilakukan evaluasi yang berkelanjutan untuk mengetahui apakah kualitas udara yang ada telah sesuai dengan peraturan atau belum. Karena siklus merupakan proses yang dinamis, maka perlu adanya tinjauan dan penilaian yang dilakukan secara berkelanjutan terhadap tujuan dan strategi pengendalian berdasarkan pada efektivitasnya (EPA, 2022a). Berikut ini adalah beberapa upaya pengendalian yang telah diterapkan (S. Kumar & Katoria, 2013):

- a. Salah satu upaya pengendalian udara yang cukup populer adalah dengan menggunakan karbon aktif. Kontrol aktif memanfaatkan filter polusi udara jenis kontrol melibatkan penggunaan filter polusi, karbon, untuk mengurangi jumlah bahan pencemar yang diperbolehkan untuk lepas ke udara. Filter akan menyerap polutan dari zat-zat beracun yang ada di udara.
- b. Biofiltrasi adalah jenis pengendalian polusi udara yang efektif. Teknik yang digunakan dengan memanfaatkan mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, untuk melarutkan polutan. Adapun pengembangan teknik biofiltrasi, memerlukan jenis media serta mikroba yang baik, salah satunya dengan memanfaatkan serabut sawit dan limbah padat karet (Suwardin *et al.*, 2007).
- c. Mengubah bahan bakar yang digunakan, dengan memilih bahan bakar dengan tingkat emisi gas buang yang rendah dan ramah lingkungan. Adapun dapat memanfaatkan gas alam untuk pembangkit listrik, sehingga tidak lagi menggunakan batu bara sebagai bahan baku utama.
- d. Pengembangan pembangkit listrik tenaga nuklir yang dinilai relatif bebas pencemar udara, meskipun masih dinilai keamanannya hingga saat ini.
- e. Peningkatan dispersi bahan pencemar, dengan pendekatan pengenceran udara kontaminan sebelum mencapai tanah, maka akan menurunkan konsentrasi populasi terpapar.

- f. Pengendalian melalui pengelolaan RTH (Ruang Terbuka Hijau), harapannya dengan adanya RTH maka tanaman akan menjadi penetralisir atau penyerap gas-gas pencemar yang dapat berasal dari emisi gas buang kendaraan maupun emisi industri. Adanya ketentuan luasan wilayah RTH adalah 30 % dari luas wilayah kota, yang mana telah diatur dalam UU No.26 Tahun 2007 terkait penataan ruang (Tokan, 2015).
- g. Upaya pengendalian pencemaran udara yang telah diterapkan di DKI Jakarta yakni melalui rekayasa lalu lintas. Pemberlakuan ganjil-genap di beberapa ruas jalan protokol di Jakarta dan pemberlakuan *Car Free Day*. Adapun pengembangan Kawasan Rendah Emisi (*Low Emission Zone*) dan penerapan *Electric Road Pricing* (ERP) (DLH DKI Jakarta *et al.*, 2019).

#### 4.9 Ringkasan

Pencemaran udara merupakan suatu kondisi di mana terjadinya perubahan komposisi udara dari keadaan normalnya, yang diakibatkan oleh masuknya zat-zat pencemar ke dalam udara. Pencemaran udara dapat terjadi karena aktivitas alam dan aktivitas manusia (transportasi, industri, kegiatan domestik atau rumah tangga, dan pertanian). Polutan udara terbagi atas polutan primer (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Partikel, dan HC) dan polutan sekunder (formaldehid dan ozon). Faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran udara adalah faktor topografi dan faktor meteorologi (temperatur, arah dan kecepatan angin, hujan). Dampak pencemaran udara meliputi dampak terhadap lingkungan (hujan asam, eutrofikasi, kabut, penipisan ozon dan perubahan iklim) dan dampak terhadap kesehatan (gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, stroke, kanker, kesehatan bayi, neurodegeneratif dan perkembangan saraf). Adapun upaya pengendalian terhadap pencemaran udara telah dilakukan dengan beberapa teknik diantaranya karbon aktif, biofiltrasi, menggunakan bahan bakar yang rendah emisi dan ramah lingkungan, pengelolaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan juga melalui rekayasa lalu lintas.

#### 4.10 Uji Kemampuan

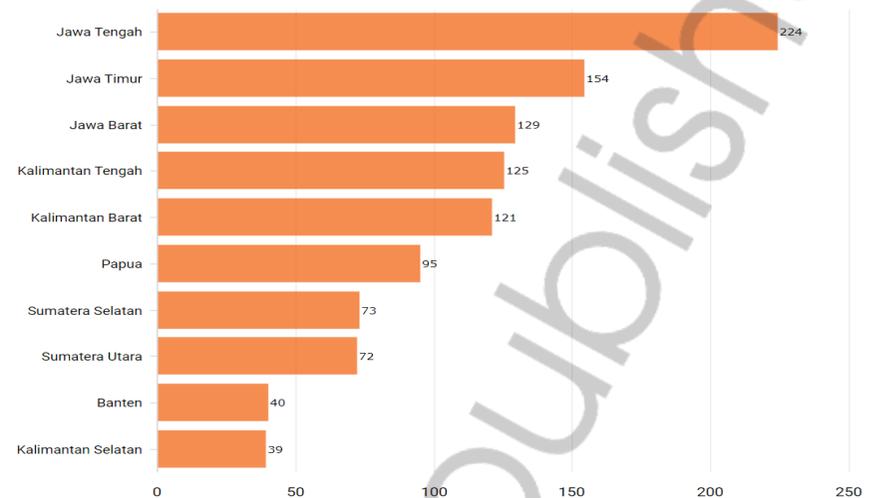
- a. Apa perbedaan antara sumber pencemar udara primer dan sumber pencemar udara sekunder? Berikanlah contoh polutan pencemar pada masing-masing sumber pencemar!
- b. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran udara dan dampak pencemaran udara bagi kesehatan!
- c. Bagaimana pendapat anda mengenai program penanggulangan atau pengendalian pencemaran udara di Indonesia? Kemudian bandingkan dengan penerapan program pengendalian pencemaran udara di negara lainnya?

## BAB 5

### PENCEMARAN TANAH

#### 5.1 Definisi Pencemaran Tanah dan Permasalahan Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah dimaknai sebagai acuan atas keberadaan bahan kimia atau zat-zat yang berada dalam tanah atau kehadiran zat-zat pada konsentrasi yang tinggi melebihi kondisi normal yang dapat memberikan dampak negatif pada setiap organisme yang hidup di sekitarnya. Adapun pencemaran tanah menjadi bahaya yang tersembunyi, akibat seringkali pencemarannya tidak dapat secara langsung dinilai dan dirasakan secara visual (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2018). Degradasi lahan yang disebabkan oleh bahan-bahan kimia xenobiotik atau terjadinya perubahan lingkungan alami tanah lainnya juga merupakan bagian dari pencemaran tanah. Pencemaran yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor seperti penggunaan bahan kimia pertanian, aktivitas industri, hingga pembuangan limbah yang tidak sesuai aturan yang ada. Beberapa bahan kimia yang terkait dengan pencemaran tanah adalah pelarut, pestisida, timbal dan logam berat lainnya. Derajat industrialisasi dan intensitas bahan kimia erat berkorelasi dengan terjadinya pencemaran tanah. Adanya dampak kesehatan akibat dari pencemaran yang terjadi, selain itu adanya potensi kontaminasi sekunder terhadap pasokan air yang berada di dalam dan di bawah tanah (O. R. Shaltami *et al.*, 2020).



Gambar 5.1. 10 Provinsi dengan Desa/Kelurahan yang Mengalami Pencemaran Tanah Terbanyak Tahun 2021

Sumber: <https://www.bps.go.id/>, 2021

Berdasarkan pada Gambar 5.1 diketahui bahwa Jawa Tengah merupakan Provinsi dengan tingkat pencemaran tanah paling banyak di Indonesia yakni 224 Desa/Kelurahan. Sedangkan secara keseluruhan jumlah Desa/Kelurahan yang mengalami pencemaran tanah sebanyak 1499 yang tersebar di seluruh Provinsi di Indonesia pada Tahun 2021. Sedangkan Kalimantan Timur sebanyak 35 Desa/Kelurahan yang telah mengalami pencemaran tanah. Adapun permasalahan pencemaran tanah yang terjadi di Indonesia, diakibatkan oleh banyak hal yang melatarbelakangi. Namun didominasi oleh aktivitas manusia yang meliputi limbah industri, domestik dan pertanian. Penelitian terkait dengan limbah industri tekstil yang mengakibatkan lahan pertanian di Rancaekek, Kabupaten Bandung tercemar oleh logam Natrium (Na). Hal ini menyebabkan lahan pertanian tidak dapat lagi dipergunakan, karena setiap tanaman padi yang tanam akan selalu mati atau gagal panen. Adanya kandungan Na dalam tanah yang tinggi akan berkaitan dengan sodisitas dan salinitas yang mana berdampak pada pertumbuhan tanaman (Djuwansyah, 2013).

Penelitian lainnya terkait dengan dampak penggunaan pestisida yang terus-menerus menyebabkan 50% lahan bawang yang ada di Brebes, Jawa Tengah telah mengalami penurunan kualitas tanah. Hal ini terlihat dari pengujian yang didapatkan bahwa pH tanah atau kadar asam tanah cukup rendah yakni  $< 7$ . Bahkan adanya tingkat keparahan lahan dengan pH tanah hanya berkisar dibawah 4. Selain itu, adanya daya serap air atau derajat pelurusan yang masih rendah (Ramadhan, 2018). Sedangkan kasus pencemaran tanah yang terjadi di Kalimantan Timur, khususnya di daerah atau kawasan sekitar pertambangan batubara PT. Berau Coal, didapatkan bahwa Ph tanah di sekitar bersifat asam yakni kurang dari 6. Adapun tekstur tanah yang sebagian besar adalah debu dan disertai dengan curah hujan yang tinggi, berpotensi besar untuk terjadinya erosi. Ketika terjadi erosi, maka tanah akan membawa material yang mengandung mineral sulfida (dapat berasal dari aktivitas pertambangan batubara) dan berampak pada keasaman air sungai (dibawah normal) (Marganingrum & Noviardi, 2010)

## 5.2 Sumber-Sumber Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah bersumber dari aktivitas alam dan juga aktivitas manusia yang mana meliputi: kegiatan industri, pertambangan, perkotaan dan infrastruktur transportasi, kegiatan pertanian dan peternakan, kegiatan militer dan perang, serta proses pembuangan limbah (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2018).

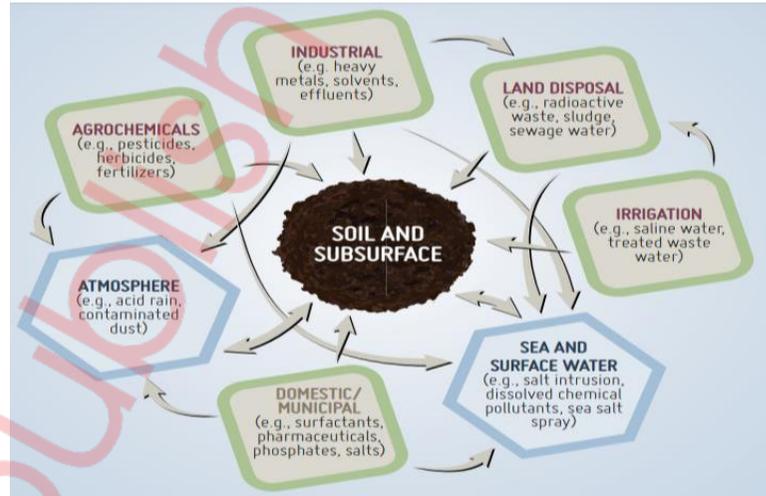
### a. Aktivitas Alam

Letusan gunung berapi menjadi salah satu sumber pencemaran lingkungan, tidak terkecuali pencemaran tanah. Abu vulkanik yang dihasilkan dari letusan gunung berapi, berupa semburan bahan material vulkanik yang mana akan mengalami proses pelapukan menjadi bahan induk tanah. Kondisi tersebut nantinya akan mempengaruhi terbentuknya ciri dan sifat tanah. Sifat tanah dipengaruhi oleh sifat kimia, fisik, dan biologi. Apabila tanah terkontaminasi oleh abu vulkanik dalam jumlah yang tinggi, maka tanah akan menjadi lebih padat akibat dari tertutup oleh abu yang cukup tebal sehingga mempengaruhi aerasi tanah. Ketika

ketersediaan oksigen dalam tanah menipis akibat dari terhambatnya sirkulasi udara (bercampurnya tanah dengan abu vulkanik), maka keberadaan dan aktivitas mikroorganisme akan terganggu (Sinaga *et al.*, 2015). Adapun abu vulkanik bersifat asam berkisar pH 4,30-4,98, bahkan lumpur yang berasal dari abu vulkanik memiliki pH yang lebih rendah yakni sekitar 3,80. Sedangkan tanah yang terkontaminasi oleh abu vulkanik memiliki pH sekitar 4,83 (Rauf, 2014 dalam Sinaga *et al.*, 2015). Kadar pH tanah yang terlalu asam akan mempengaruhi terhambatnya kehidupan mikroorganisme dan berdampak langsung pada proses respirasi pada tanah (Sinaga *et al.*, 2015).

#### b. Aktivitas Manusia

Pencemaran tanah yang bersumber dari aktivitas manusia (antropogenik) berasal oleh bahan kimia yang digunakan serta dihasilkan dari suatu produk sampingan kegiatan industri, limbah perkotaan dan domestik, hingga bahan kimia pertanian (penggunaan pupuk dan pestisida) (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2018).



Gambar 5.2 Jalur Potensial Yang Terkait Tentang Kontaminasi Kimia Pada Permukaan Tanah

Sumber: Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2018

## 1. Kegiatan Industri

Pencemaran tanah terbesar disebabkan oleh adanya aktivitas industri yakni sebanyak 90%, yang berasal dari produk limbah industri. Hal ini dipicu oleh tata kelola pengolahan limbah yang tidak tepat, sehingga berpotensi mencemari tanah. Adanya kandungan bahan-bahankimia berbahaya yang dapat mempengaruhi kehidupan organisme. Selain itu, ketika industri membuang emisi polutan yang bersifat toksik dan jatuh kembali ke permukaan bumi melalui hujan asam salah satunya, maka akan berdampak pada perubahan karakteristik tanah (Mishra, Mohammad, & Roychoudhry, 2016). Adanya proses industri termasuk di dalamnya industri pertambangan dan manufaktur secara historis telah menjadi penyebab utama terjadinya pencemaran tanah. Pada area industri cenderung memiliki tingkat elemen dan kontaminan organik yang jauh lebih tinggi. Adanya kegiatan industri yang menjadi sumber pencemaran tanah meliputi kegiatan pertambangan dan penggalian, manufaktur, produksi energi, proses konstruksi dan transportasi (FAO & UNEP, 2021):

**a). Industri Pertambangan dan Penggalian** Kegiatan penambangan menjadi sumber yang potensial terjadi pencemaran tanah, tidak hanya berasal dari proses penambangannya saja tetapi juga oleh limbah dan emisi yang diperoleh selama pemrosesan bahan yang diekstraksi, seperti tailing, sisa endapan batuan hingga adanya proses peleburan. Tailing merupakan partikel ineral halus dan air yang diperoleh saat akibat dari proses penambangan bijih-dihancurkan-digiling – diproses, yang hasil limbahnya disebut tailing (bubur cair). Tailing akan diendapkan dalam kolam yang dibuat bendungan, di mana airnya akan diolah dan di daur ulang atau dibuang. Sedangkan padatnya akan dibiarkan mengering. Jalur utama terjadinya pencemaran tanah adalah bendungan tailing runtuh atau terjadinya erosi angin yang dapat menyebarkan partikel mineral

halus ke permukaan tanah. Adapun tailing merupakan limbah beracun yang kaya akan kandungan arsenic, tembaga, timbal, cadmium, dan seng yang akan berpotensi mencemari tanah dan berdampak pada organisme yang ada di sekitarnya. Bahkan merkuri digunakan dalam proses ekstraksi emas, yang mana akan dilepaskan bersama dengan limbah pertambangan (tailing) dan akan masuk ke dalam tanah dan air di sekitar area pertambangan. Berdasarkan UNEP, 2019a menyebutkan bahwa penambangan emas skala besar bertanggung jawab atas 2.700 ton merkuri yang masuk dan mencemari tanah setiap tahunnya (FAO & UNEP, 2021). Penelitian terkait dengan pencemaran tanah pernah diteliti di lahan bekas tambang daerah Rudňany (Slovakia), di mana didapatkan kandungan logam berat seperti seng, timbal, dan tembaga yang berdampak pada penurunan aktivitas enzim tanah ketika adanya peningkatan kandungan logam berat dalam konsentrasi yang tinggi (Angelovičová & Fazekašová, 2014).

**b) Industri manufaktur**

Kontaminasi tanah yang diakibatkan oleh industri manufaktur bervariasi tergantung pada produk yang dihasilkan dan bagaimana proses kerja tiap-tiap industri dijalankan. Manufaktur dan daur ulang baterai asam timbal pada banyak negara berkembang belum dikelola dengan tepat dan berbasis pada lingkungan. Terjadinya pencemaran dari daur ulang baterai asam timbal, ketika fasilitas yang ada tidak memiliki kontrol polusi yang tepat, APD (Alat Pelindung Diri), dan pengawasan peraturan yang sesuai, maka akan adanya beban emisi timbal yang dibuang langsung ke lingkungan. Proses daur ulang baterai asam timbal berpotensi besar dalam melepaskan debu timbal melalui dispersi ke atmosfer yang mengakibatkan pengendapan pada tanah dan dedaunan. Sedangkan industri tekstil akan melepaskan zat-zat berbahaya melalui limbah

yang dibuang. Proses yang paling berpotensi menghasilkan cemaran adalah proses pencelupan dan *finishing*. Berbagai macam bahan kimia yang dihasilkan dalam air limbah industri tekstil diantaranya arsenik, cadmium, kobalt, tembaga, timbal, merkuri, nikel, zat pewarna, sulfaktan dan sebagainya. Adanya pencemaran tanah yang berasal dari industri tekstil adalah dengan penggunaan air limbah yang tercemar untuk irigasi atau terjadinya tumpahan limbah yang tidak diolah secara tepat.

**c) Produksi Energi**

Kebutuhan energi global sebagian besar berasal dari pembakaran bahan baku fosil (batubara, gas alam, dan minyak bumi) yang mana mencakup 65% kebutuhan energi total. *Fly ash* batubara, juga disebut residu pembakaran batubara yang mana sebagian besar mengandung silikon dan aluminium, berbagai elemen termasuk arsenik, tembaga, merkuri dan selenium serta kontaminan organik, seperti PAHs. Kontaminan dalam tumpukan *fly ash* batubara dapat terjadi ketika dalam proses pencucian dan erosi yang berpotensi dalam mencemari tanah dan air tanah.

**d) Industri Konstruksi**

Konstruksi erat kaitannya dengan pabrik semen, di mana kegiatan dalam industri ini akan berpotensi dalam menyumbangkan kontaminan yang dihasilkan dari emisi yang dihembuskan ke atmosfer, seperti Nitrogen Oksida, Sulfur Dioksida, Karbon Dioksida, senyawa organik, PAHs dan lain sebagainya yang akan menempel pada partikel debu di udara. Kontaminasi tanah diakibatkan oleh industri semen yang berasal dari emisi debu hingga menyebabkan konsentrasi polutan yang tinggi pada lapisan tanah bagian atas.

**e) Transportasi**

Lalu lintas kendaraan bertanggung jawab atas pelepasan partikulat ke lingkungan, dengan berbagai kandungan

diantaranya arsenik, cadmium, kromium, tembaga, timah, nikel, seng, dan PAHs. Sebagai salah satu contohnya adalah ketika tanah dan tumbuhan yang berada di sekitar jalur kereta api akan berpotensi tercemar oleh berbagai polutan diantaranya PAHs, kobalt, cadmium, seng dan merkuri. Ada berbagai sumber yang menghasilkan polutan PAHs yang terjadi di sepanjang jalur kereta api, yakni adanya pelumas mesin, bahan bakar yang digunakan, perawatan kayu pada tiapbantalan rel kereta.

## 2. Kegiatan Rumah Tangga atau Domestik

Setiap kegiatan rumah tangga atau domestik akan menghasilkan limbah yang berpotensi dalam pencemaran tanah. Sumber dari limbah domestik berasal dari pasar atau lokasi perdagangan, pemukiman penduduk, tempat-tempat wisata, perkantoran, penginapan atau hotel dan sejenisnya, restoran, serta tempat usaha lainnya. Adapun limbah domestik dapat berupa limbah cair maupun limbah padat (Muslimah, 2015).

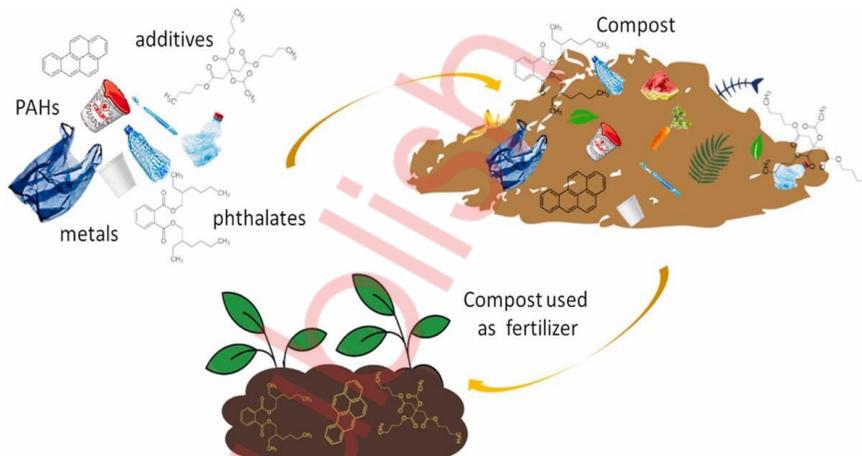
### a) Limbah cair

Meliputi detergen, cat, oli dan tinja yang berpotensi besar menyebabkan pencemaran, jika meresap kedalam tanah sehingga dapat mengubah sifat dan karakteristik air tanah. Kondisi tersebut berpengaruh langsung pada kehidupan mikroorganisme dalam tanah (Muslimah, 2015). Penelitian tentang dampak detergen yang berasal air buangan *laundry* terhadap pencemaran tanah, di mana detergen merupakan golongan polutan mikro organik yang mampu mengubah karakteristik tanah. Adanya efek perubahan derajat keasaman (pH), konduktivitas hidrolik tanah jenuh (kemampuan tanah untuk dapat mengalirkan air), kapasitas tukar kation, *Electrical Conductivity* (EC) hingga rasio adsorpsi natrium (Mohamed *et al.*, 2018). Selain itu, penelitian terkait dengan adanya parasit usus *A. lumbricoides* dan *S. mansoni* pada anak-anak di perdesaan Ethiopia

bagian barat laut, diduga akibat tercemarnya lingkungan di sekitar mereka. Adanya kandungan *E. Coli* pada sampel tanah (83,1%), sampel air (69,1%), dan sampel makanan siap saji (67,5%). Sampel tanah yang telah terkontaminasi oleh bakteri patogen, yang diduga karena masih adanya kebiasaan atau praktik buang air besar secara sembarangan (Gizaw *et al.*, 2022).

b) Limbah padat

Meliputi sampah anorganik (kaleng, botol, plastik, dan lainnya), di mana sampah ini memiliki karakteristik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme (Muslimah, 2015). Salah satu penelitian mencoba melihat adanya pencemaran tanah akibat penggunaan pupuk kompos yang mengandung plastik (*macro-, meso-, dan microplastic*). Adanya estimasi beban plastik ke dalam tanah akibat dari aplikasi kompos yang merupakan sumber pencemaran plastik ke lahan pertanian, di mana plastik dapat mentransfer kontaminan berbahaya ke tanah (Scopetani *et al.*, 2022).

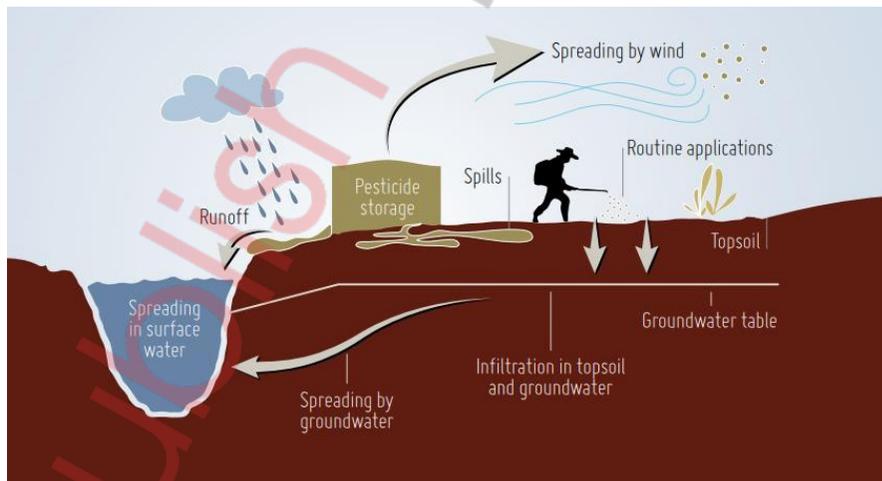


Gambar 5.3 Pencemaran Tanah oleh Penggunaan Kompos yang Mengandung Zat Berbahaya

Sumber: Scopetani *et al.*, 2022

### 3. Kegiatan Pertanian

Pencemaran tanah pada area pertanian, terkontaminasi oleh berbagai senyawa yang berasal dari penggunaan pestisida, pupuk, maupun pencemaran yang berasal dari limpasan banjir dan pengendapan atmosfer ketika udara tercemar bahan-bahan kimia berbahaya. Sumber utama pencemaran tanah yang ada di area pertanian akibat dari pestisida, pupuk mineral, pupuk organik, air limbah yang digunakan sebagai sumber irigasi pertanian (FAO & UNEP, 2021). Pestisida dalam bidang pertanian dipergunakan dalam memberantas hama tanaman, salah satunya adalah *Dichloro Diphenyl Trichlorethane* (DDT). Salah satu sifat DDT yang stabil dan sulit terurai, menyebabkan akan bertahan lama di dalam lingkungan hidup (tanah). Pada partikel tanah, DDT akan berikatan dengan bahan-bahan organik (bioakumulatif). Bahkan EPA memasukkan DDT ke dalam bahan beracun PBT (*persistent, bioaccumulative, and toxic material*) (Muslimah, 2015).



Gambar 5.4 Pencemaran Tanah oleh Penggunaan Pestisida di Area Pertanian  
Sumber: FAO, 2000 dalam Rodríguez-Eugenio et al., 2018

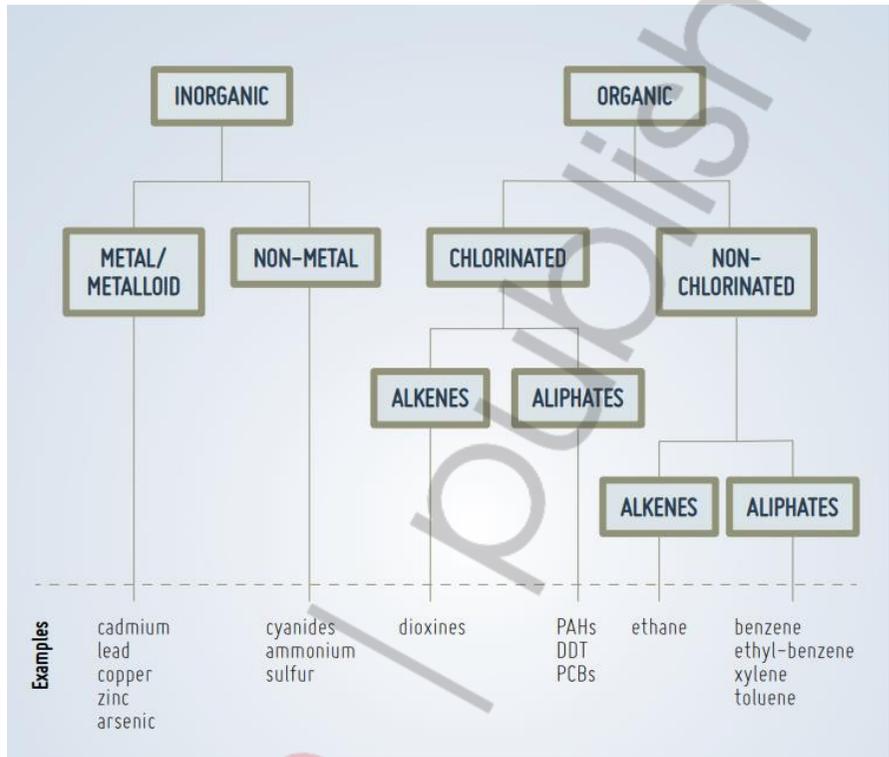
### 4. Kegiatan Militer dan Perang

Perang dan kegiatan militer menjadi salah satu kegiatan yang

dapat mempengaruhi sifat dan karakteristik tanah. Adapun dampak dari kegiatan militer dan perang yang menyebabkan kerusakan termasuk kerusakan fisik, kimia dan biologi. Kerusakan fisik terhadap tanah termasuk di dalamnya penyegelan lahan seperti pembangunan infrastruktur pertahanan, penggalian parit atau terowongan, pemadatan lalu lintas, dan kawah yang terbentuk ketika terjadinya bom. Kerusakan kimia terdiri atas masuknya polutan yakni minyak, logam berat, bahan peledak nitroaromatik, penggunaan organofosfor, dioksin yang berasal dari herbisida, hingga radioaktif. Sedangkan kerusakan biologis yang mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah adalah penggunaan mikroorganisme (botulin dan antraks) yang sengaja dirancang untuk memusnahkan manusia (lawan perang) dan hewan. Mikroorganisme patogen (bakteri dan virus) dapat mempertahankan virulensinya hingga beberapa dekade di dalam tanah (Certini *et al.*, 2013).

### 5.3 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Tanah

Pencemaran tanah disebabkan oleh beberapa bahan pencemar yang bersifat toksik yang diperoleh dari aktivitas alam maupun aktivitas manusia, dengan karakteristik dan sifat yang dimiliki. Pada bahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa kegiatan penambangan merupakan sumber pencemaran terbesar pada tanah. Hal ini disebabkan banyaknya logam-logam berat yang dihasilkan dan dipergunakan selama proses penambangan. Salah satu penelitian di lahan bekas tambang timah yang ada di Kepulauan Bangka Belitung diperoleh beragam kandungan logam berat seperti tembaga, cadmium, mercury, dan timbal. Logam-logam ini hampir dipastikan akan terakumulasi di dalam tanah penambangan baik di tanah pucuk (bagian atas) maupun pada galian bagian bawah (Sukarman *et al.*, 2000 dalam Amin, 2021). Adapun keberadaan logam-logam berat tersebut dianggap sebagai kontaminan atau polutan tanah karena dapat merusak metabolisme dan menurunkan produktivitas tanaman (FAO dan ITPS, 2015 dalam Amin, 2021).



Gambar 5.5 Jenis-Jenis Bahan Pencemar Tanah

Sumber: Swartjes, 2011 dalam Rodríguez-Eugenio et al., 2018

Berikut ini adalah pengelompokan logam berat berdasarkan pada potensi rantai makanan melalui penyerapan tanaman (Chaney, 1980 dalam Amin, 2021):

**Tabel 5.1** Kelompok Logam Berdasarkan Pada Penyerapan Tanaman

Kelompok I	Kelompok II	Kelompok III	Kelompok IV
Perak (Ag) Chromium (Cr) Tin (Sn) Titanium (Ti) Yttrium (Y) Zirconium (Zr)	Air Raksa (Hg) Timbal (Pb)	Boron (B) Tembaga (Cu) Mangan (Mn) Molibdenum (Mo) Nikel (Ni) Seng (Zn)	Arsenic (As) Cadmium (Cd) Cobalt (Co) Molibdenum (Mo) Selenium (Se) Thallium (Tl)

a. Kelompok I

Memiliki karakteristik yang sulit larut di dalam tanah dan termasuk pada unsur yang berisiko rendah untuk dapat masuk ke dalam rantai makanan. Sehingga tingkat serapan diabaikan dan translokasi oleh tanaman. Adapun adanya kandungan kelompok ini pada rantai makanan, lebih pada akumulasi melalui kontaminasi langsung oleh tanah atau debu.

b. Kelompok II

Kelompok ini terdapat pada permukaan tanah dan dapat diserap melalui akar tanaman. Namun, masih sulitnya dalam translokasi jaringan yang mana membuat kelompok ini termasuk dalam kategori risiko ringan terhadap kesehatan manusia. Meskipun begitu, risiko ini dapat berdampak jika tanaman yang menyerap unsur-unsur tersebut dikonsumsi oleh hewan herbivora dan juga manusia.

c. Kelompok III

Unsur-unsur pada kelompok ini memiliki sifat toksik atau beracun pada konsentrasi rendah, sehingga dampaknya terhadap kesehatan manusia kecil. Namun, begitu unsur ini jika terdapat di dalam tanah akan sangat mudah terserap ke dalam tanaman.

d. Kelompok IV

Kelompok ini memiliki tingkat racun yang paling tinggi jika dibandingkan dengan kelompok yang lain. Jika masuk ke dalam rantai makanan akan memberikan dampak kesehatan pada manusia dan hewan dengan konsentrasi karingan tanaman yang cenderung tidak bersifat fitotoksik.

#### 5.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah dipicu oleh beberapa faktor yang mempengaruhi, sehingga pada suatu kondisi di mana kualitas tanah berubah dan terjadinya penurunan produktivitas hingga berdampak pada setiap makhluk hidup yang bergantung dan mengambil manfaat dari tanah. Faktor-faktor tersebut meliputi (Shayler *et al.*, 2009):

**a. Penggunaan Logam Berat dalam Cat Bangunan**

Sebelum Tahun 1978, beberapa cat yang diproduksi diketahui mengandung logam berat yakni Timbal (Pb). Saat cat yang mengandung timbal terkelupas secara alami akibat penuaan tembok hingga sengaja dikelupas atau dihilangkan, yang mana akan adanya proses pengikisan dan pengupasan yang membuat timbal dapat masuk ke dalam tanah yang beradadi sekitar rumah atau bangunan. Konsentrasi timbal akan lebih tinggi pada tanah yang berada dekat dengan tembok atau bangunan, namun konsentrasinya akan semakin rendah jika jauh dari sumber pencemarnya.

**b. Penggunaan Pestisida**

Pemanfaatan pestisida, tidak hanya pada area pertanian saja, adanya potensi pencemaran akibat dari penggunaan berbagai macam jenis pestisida, insektisida, fungisida, racun tikus dan lain sebagainya di dalam rumah atau peternakan. Adanya residu dari pestisida yang masuk ke dalam tanah yang sifatnya persisten, dapat memicu konsentrasi kontaminasi yang lebih tinggi.

**c. Lalu Lintas Padat**

Keterkaitan pencemaran tanah dengan tingkat lalu lintas yang padat, dikarenakan semakin padat lalu lintas maka akan semakin banyak emisi gas yang dibuang dan masuk ke dalam lingkungan (udara, air dan tanah) dengan berbagai macam prosesnya. Salah satunya adanya logam Timbal (Pb), pada area yang dekat dengan tingginya penggunaan transportasi semakin tinggi pula konsentrasi polutan pencemar yang berdampak langsung pada jumlah bahan kimia yang masuk ke dalam tanah. Bahan kimia lainnya adalah PAHs yang juga terkait dengan pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna. Di mana semakin padat lalu lintas maka akan semakin tinggi konsentrasi PAHs dan begitu pula sebaliknya.

**d. Penggunaan Logam pada Pengawetan Kayu**

Beberapa struktur bangunan diproduksi menggunakan bahan baku kayu seperti dek, ayunan, dan sebagainya, yang akan diawetkan dengan menggunakan unsur arsenik dalam bentuk *chromated copper arsenate* (CCA) agar kayu tahan lama. Meskipun CCA tidak

lagi digunakan untuk pengawet kayu di perumahan, namun masih dipergunakan untuk keperluan industri. Kayu yang diawetkan oleh CCA akan berpindah kontaminannya dari kayu ke tanah yang ada di sekitarnya.

**e. Tumpahan Minyak Bumi**

Adanya tumpahan atau kebocoran bahan bakar minyak, bensin atau produk minyak bumi lainnya di dekat area tanah, akan membuat tanah terkontaminasi oleh beberapa logam berat seperti benzene, toluene dan xylene. Beberapa bahan kimia tersebut akan terserap ke dalam tumbuhan yang hidup di sekitarnya dan bersinggungan langsung dengan manusia.

**f. Tumpahan Bahan Kimia yang Berasal dari Industri Bengkel Kendaraan**

Adanya potensi terjadinya tumpahan bahan kimia dari aktivitas bengkel baik yang disengaja maupun tidak ke area lahan yang menyebabkan berbagai kontaminan mencemari tanah. Beberapa bahan kimia yang berasal dari kegiatan bengkel adalah minyak bumi, PAHs (oli motor), pelarut seperti *trichloroethylene* (TCE), oli mesin bekas mengandung Cr, Pb, molybdenum, nikel), baterai bekas mengandung timbal dan mercury.

**g. Perbaikan Furniture**

Beberapa bahan kimia yang berfungsi sebagai pengelupasan dalam perbaikan *furniture* dapat mengandung metilen klorida dan pelarut lainnya, termasuk toluena dan metanol. Zat-zat ini dapat mencemari tanah dan air tanah jika ditangani dengan tidak benar selama proses kegiatan tersebut berlangsung.

**h. Tempat Pembuangan Sampah**

Banyak kontaminan atau polutan yang dapat menyerap dalam tanah yang ada di tempat pembuangan akhir atau tempat pembuangan sampah, termasuk produk minyak bumi, pelarut, pestisida, timbal dan logam berat lainnya.

**i. Pembakaran Sampah**

Pembakaran yang disengaja atau tidak disengaja dapat memproduksi dan melepaskan PAHs, dioksin atau bahan kimia lainnya ke dalam

tanah, tergantung pada apa yang dibakar dan berapa lama waktu pembakaran.

**j. Penggunaan Pupuk**

Penggunaan beberapa pupuk yang berbahan dasar limbah, khususnya limbah biosolids atau *fly ash*, dapat mengakibatkan peningkatan logam berat (seperti tembaga, seng, cadmium dan timbal) dan PBTs (*persistent, bioaccumulative, toxic chemicals*) ke dalam tanah. Pupuk fosfat diketahui mengandung beberapa cadmium. Adapun beberapa pupuk terkadang cenderung memiliki kandungan tembaga atau seng yang relatif tinggi.

**5.5 Baku Mutu Kualitas Tanah**

Kriteria baku kerusakan tanah untuk produksi biomassa diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 150 Tahun 2000 adalah sebagai berikut:

**Tabel 5.2** Kriteria Baku Kerusakan Tanah Di Lahan Kering Akibat Erosi Air

TEBAL TANAH	AMBANG KRITIS EROSI		METODE PENGUKURAN	PERALATAN
	(1) Ton/ha/tahun	(2) mm/10 tahun		
< 20 cm	> 0,1 - < 1	> 0,2 - < 1,3	1. gravimetrik 2. pengukuran langsung	1. timbangan, tabung ukur, penera debit (discharge) sungai dan peta daerah tangkapan air (catchment area) 2. patok erosi
20 - < 50 cm	1 - < 3	1,3 - < 4		
50 - < 100 cm	3 - < 7	4,0 - < 9,0		
100 - 150 cm	7 - 9	9,0 - 12		
> 150 cm	> 9	> 12		

**Tabel 5.3** Kriteria Baku Kerusakan Tanah Di Lahan Basah

PARAMETER	AMBANG KRITIS	METODE PENGUKURAN	PERALATAN
- Subsistensi gambut di atas pasir kuarsa	> 35 cm/5 tahun untuk ketebalan gambut > 3 m atau 10%/5 tahun untuk ketebalan gambut < 3 m	pengukuran langsung	patok subsistensi
- Kedalaman lapisan berpirit dari permukaan tanah	< 25 cm dengan pH < 2,5	reaksi oksidasi dan pengukuran langsung	cepuk plastik; H2O2; pH stick skala 0,5 satuan; meteran
- Kedalaman air tanah dangkal	> 25 cm	pengukuran langsung	meteran
- Redoks untuk tanah berpirit	> -100 mV	tegangan listrik	pH meter; elektroda platina
- Redoks untuk gambut	> 200 mV	tegangan listrik	pH meter; elektroda platina
- pH ( H2O ) 1: 2,5	< 4,0 ; > 7,0	potensiometrik	pH meter; pH stick skala 0,5 satuan
- Daya Hantar Listrik /DHL	> 4,0 mS/cm	tahanan listrik	EC meter
- Jumlah mikroba	< 102 cfu/g tanah	plating technique	cawan petri; colony counter

**Tabel 5.4** Kriteria Baku Kerusakan Tanah Di Lahan Keringw

PARAMETER	AMBANG KRITIS	METODE PENGUKURAN	PERALATAN
- Ketebalan solum	< 20 cm	pengukuran langsung	meteran
- Kebatuan permukaan	> 40 %	pengukuran langsung imbangan batu dan tanah dalam unit luasan	meteran; counter (line atau total)
- Komposisi fraksi	< 18% koloid; > 80% pasir kuarsitik	warna pasir, gravimetrik	tabung ukur; timbangan
- Berat isi	> 1,4 g/cm <sup>3</sup>	gravimetri pada satuan volume	lilin; tabung ukur; ring sampler; timbangan analitik
- Porositas Total	< 30%; > 70%	perhitungan berat isi (BI) dan berat jenis (BJ)	piknometer; timbangan analitik
- Derajat pelulusan air	< 0,7 cm/jam; > 8,0 cm/jam	permeabilitas	ring sampler; double ring permeameter
- pH ( H2O ) 1: 2,5	< 4,5 ; > 8,5	potensiometrik	pH meter; pH stick

Dst.

Sedangkan terkait baku mutu kualitas tanah berdasarkan pada kandungan logam berat dibacakan pada tabel dibawah ini (Pickering, 1980 dalam Lestari, 2017):

**Tabel 5.5** Nilai Ambang Logam Berat pada Tanah

Logam berat	Nilai ambang dalam tanah (ppm)
As	0,1-4,0
B	2-100
F	30-300
Cd	0,1-7,0
Mn	100-4000
Ni	10-1000
Zn	10-300
Cu	2-100
Pb	2-200

### 5.6 Analisis Kualitas Tanah

Indikator kualitas tanah atau *Soil Quality Indicator* (SQI) merupakan suatu upaya dalam memantau dan menilai ekosistem yang ada (Muñoz-Rojas, 2018). Indikator kualitas tanah meliputi penilaian terukur pada aspek fisik, kimia dan biologi (Allen *et al*, 2011 dalam Prabha *et al*, 2014). Beberapa indikator kesehatan tanah meliputi agregasi, kapasitas menahan air, pH, EC (*Electrical Conductivity*) yakni kemampuan dalam menghantarkan listrik dari ion-ion, cadangan NPK (*Nitrogen, phosphorus and potassium*), karbon organik dan biomassa mikroba (Rajendra Prasad *et al*, 2009 dalam Prabha *et al*, 2014).

**Tabel 5.6** Penilaian Kualitas dan Kesehatan Tanah Berdasarkan Indikator fisik, kimia dan biologi

Indikator	Hubungan dengan Kondisi dan Fungsi Tanah
<b>Fisik</b>	
Tekstur	Retensi & distribusi air dan bahan kimia
Kedalaman Tanah, Perakaran Tanah Pucuk (Permukaan)	Estimasi potensi produktivitas dan erosi
Infiltrasi dan Berat Massa Tanah	Potensi Pelindian (Ekstraksi padat cair), produktivitas dan erosivitas
Kapasitas Menahan Air	Terkait dengan retensi air, distribusi dan erosivitas
<b>Kimia</b>	
<i>Soil organic matter (SOM)</i>	Mendefinisikan kesuburan tanah, stabilitas dan tingkat erosi
pH	Mendefinisikan ambang aktivitas biologis dan kimia
Electrical conductivity	Mendefinisikan ambang tanaman dan aktivitas mikroba
N, P, dan K yang dapat diekstrak	Unsur hara yang tersedia bagi tanaman dan potensi kehilangan N
<b>Biologi</b>	
Biomassa mikroba C dan N	Potensi katalitik mikroba dan tempat penyimpanan C dan N
N yang berpotensi termineralisasi	Produktivitas tanah dan potensi penyediaan N
Respirasi tanah	Pengukuran aktivitas mikroba

Penentuan indikator kualitas tanah tergantung pada fungsi yang akan dinilai, di mana meliputi dukungan terhadap perkembangan makhluk hidup, aliran air dan nutrisi, keragaman dan produktivitas tanaman dan hewan, eliminasi atau detoksifikasi kontaminana organik dan anorganik (Loganathan & Narendiran, 2014).

**Tabel 5.7** Indikator Kualitas Tanah yang Dominan pada Skala Pertanian.

<b>Physical Indicator</b>	<b>Chemical Indicator</b>	<b>Biological Indicator</b>
<i>Passage of air</i>	<i>BSP</i>	<i>Organic carbon</i>
<i>Structural stability</i>	<i>Cation exchange capacity</i>	<i>Microbial biomass carbon</i>
<i>Bulk density</i>	<i>Contaminant availability</i>	<i>C and N/Oxidizable carbon</i>
<i>Clay mineralogy</i>	<i>Contaminant concentration</i>	<i>Total biomass</i>
<i>Colour</i>	<i>Contaminant mobility</i>	<i>Bacterial</i>
<i>Consistence (dry, moist, wet)</i>	<i>Contaminant presence</i>	<i>Fungal</i>
<i>Depth of root limiting layer</i>	<i>Electrical conductivity</i>	<i>Potentially mineralizable N</i>
<i>Hydraulic conductivity</i>	<i>Exchangeable sodium</i>	<i>Soil respiration</i>
<i>Oxygen diffusion rate</i>	<i>percentage</i>	<i>Enzymes</i>
<i>Particle size distribution</i>	<i>Nutrient cycling rates</i>	<i>Dehydrogenase</i>
<i>Penetration resistance</i>	<i>pH</i>	<i>Phosphatase</i>
<i>Pore conductivity</i>	<i>Plant nutrient availability</i>	<i>Arlylsulfatase</i>
<i>Pore size distribution</i>	<i>Plant nutrient content</i>	<i>Biomass C/total organic</i>
<i>Soil strength</i>	<i>Sodium adsorption ratio</i>	<i>Respiration/biomass</i>
<i>Soil tilth</i>		<i>Microbial community</i>
<i>Structure type</i>		<i>fingerprinting</i>
<i>Temperature</i>		<i>Substrate utilization</i>
<i>Total porosity</i>		<i>Fatty acid analysis</i>
<i>Water holding capacity</i>		<i>Nucleic acid analysis</i>

*Sumber: (Singer & Ewing, 2000 dalam Loganathan & Narendiran, 2014)*

## 5.7 Dampak Pencemaran Tanah

### 5.7.1 Dampak Pencemaran Tanah Terhadap Lingkungan

Pencemaran tanah berpotensi membawa dampak negatif, terutama yang langsung dapat dirasakan oleh lingkungan. Dampak lingkungan yang terjadi terkait dengan aktivitas mikroorganisme dan enzimatis dalam tanah. Salah satu indikator yang mengategorikan tanah telah tercemar melalui biomassa mikroba. Kontaminasi logam berat dalam tanah akan menghambat aktivitas mikroba, seperti adanya logam Cu, Zn, Pb dan lainnya. Pada daerah pertambangan memiliki biomassa mikroba yang rendah dibandingkan dengan daerah lain yang jauh dari area pertambangan. Adapun ketika konsentrasi logam berat yang rendah dalam tanah akan merangsang pertumbuhan mikroba serta meningkatkan biomassa mikroba. Namun, jika konsentrasi logam berat dalam tanah tinggi, maka akan berdampak pada penurunan biomassa mikroba secara signifikan. Selain itu, ketika terjadi peningkatan konsentrasi logam berat juga akan berpengaruh pada berkurangnya aktivitas enzim dalam tanah secara signifikan (10-50 kali lipat). Sehingga kontaminasi logam berat akan berdampak langsung pada enzim tanah yang berfungsi dalam proses dekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi (Lee *et al*, 1996; Chandret *al*, 1995; Fliepbach *et al*, 1994 dalam Havugimana *et al.*, 2017).

Selain itu, dampak lingkungan yang dapat terjadi akibat dari pencemaran tanah khususnya oleh logam berat adalah terhambatnya pertumbuhan tanaman. Pada konsentrasi kontaminasi rendah pertumbuhan tanaman tidak akan terpengaruh secara signifikan tergantung pada jenis dan kadar yang dapat ditoleransi. Namun jika dalam kontaminasi konsentrasi yang tinggi dan melebihi batas toleransi, maka tanaman akan mengalami keracunan dan dapat menimbulkan kematian. Salah satu penelitian yang dilakukan di Florida menyebutkan bahwa kontaminasi kandungan tembaga dalam tanah > 50 mg/kg akan mempengaruhi pertumbuhan bibit jeruk. Sedangkan kandungan tembaga yang mencapai 200 mg/kg akan membuat tanaman gandum menjadi layu. Pada penelitian

terkait dengan kandungan logam Cd (Cadmium) dengan konsentrasi  $< 30 \mu\text{mol/L}$  pada tanah, dapat mempengaruhi pertumbuhan bibit kubis dan buncis di mana panjang akar dan luas daun mengalami penurunan. Logam Cadmium dapat menyebabkan kerusakan membran tanaman, mengganggu proses fotosintesis, dan menghambat sintesis protein pada tanaman (Kale, 1993; Zhang et al, 1989; Qin et al, 1994 dalam Havugimana *et al.*, 2017).

Pada kesimpulannya pencemaran tanah memiliki dampak besar pada keseimbangan ekologis. Beberapa dampaknya meliputi kurangnya kesuburan dan hasil panen akibat dari kontaminasi dalam tanah, tingkat kesuburan yang menurun akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang berakibat juga bagi kebutuhan pakan hewan, unsur hara alami di dalam tanah akan hilang, adanya peningkatan salinitas tanah yang menyebabkan kondisi tanah yang tidak cocok untuk lahan pertanian, tanah yang tercemar oleh bahan-bahan kimia akan mengeluarkan bau busuk yang berdampak juga bagi kenyamanan dan kesehatan masyarakat sekitar, serta berbagai tanaman yang dibudidayakan di area lahan yang terkontaminasi akan berpotensi besar terserap di dalam tanaman dan berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup (manusia & hewan) yang mengonsumsinya (Sweety, 2021).

### **5.7.2 Dampak Pencemaran Tanah Terhadap Kesehatan Masyarakat**

Pencemaran tanah menjadi penyebab berbagai permasalahan kesehatan, dikarenakan tanah merupakan unsur penting dalam kehidupan manusia dalam berbagai aspek. Sekitar 78% dari rata-rata konsumsi kalori per kapita yang ada di seluruh dunia berasal dari tanaman yang ditanam langsung pada tanah, sedangkan 20% lainnya berasal dari sumber makanan terestrial yang secara tidak langsung bergantung pada tanah. Pada dasarnya tanah merupakan sumber nutrisi dan merupakan tempat di mana kandungan karbon aktif terbesar berada setelah lautan. Namun akibat dari berbagai aktivitas yang ada dapat mengakibatkan sifat dan karakteristik alami

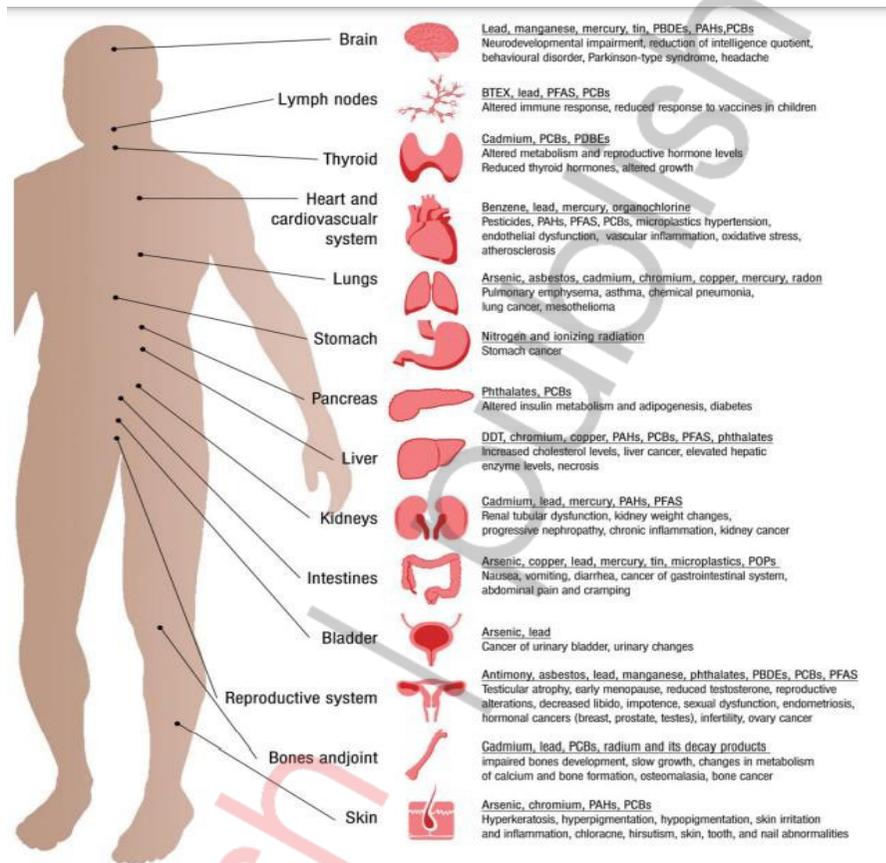
tanah menjadi berubah dan menyebabkan berbagai permasalahan kesehatan diantaranya sebagai berikut (Münzel *et al.*, 2022):

**a. Arsenic (As)**

Paparan akut melalui oral dengan kontaminan arsenik anorganik dosis tinggi dapat menyebabkan mual, muntah, diare, efek kardiovaskular, dan *Encephalopathy*. Sedangkan paparan jangka panjang dapat menyebabkan efek dermal (hiperpigmentasi, hiperkeratosis, dan kutil), neuropati perifer yang ditandai dengan mati rasa di bagian tangan dan kaki hingga menimbulkan “kesemutan” yang memiliki sensasi menyakitkan. Selain itu, adanya peningkatan risiko kanker kulit, kanker kandung kemih dan juga kanker paru-paru. Secara spesifik *Monomethylarsonic acid* (MMA) dapat menyebabkan kerusakan saluran pencernaan, efek pada ginjal (paparan kronis). *Dimethylarsinic acid* (DMA) paparan oral kronis dapat mengakibatkan infeksi kandung kemih dan ginjal (ATSDR, 2007).

**b. Tembaga (Cooper-Cu)**

Dampak kesehatan yang terjadi jika seseorang terpapar tembaga sulfat secara oral dalam dosis yang sangat tinggi dapat menyebabkan penyakit kuning. Gangguan hati, dan gagal ginjal. Penelitian yang dilakukan pada hewan atas paparan oral durasi menengah adanya perubahan parameter hematologi, gangguan neurologis, dan kerusakan organ reproduksi pada jantan dan betina. Bahkan keturunan hewan yang terpapar oleh tembaga secara oral saat masa kehamilan maka dapat menyebabkan penundaan atau perubahan pada perkembangan janin. Pada studi *in vivo* menyatakan bahwa tembaga sulfat bersifat genotoksik bagi garis sel mamalia (ATSDR, 2022).



Gambar 5.6 Efek Utama dari Kontaminan Tanah Terhadap Kesehatan Manusia

Sumber: Münzel et al., 2022

### c. Timbal (*Lead-Pb*)

Berikut ini adalah beberapa dampak atau efek paparan timbal, pada kondisi kadar timbal dalam darah pada kadar  $\leq 10 \mu\text{g/dL}$  (ATSDR, 2020):

1. Gangguan neurologis pada anak-anak: penurunan fungsi kognitif, di dalamnya termasuk IQ yang rendah, perubahan suasana hati dan perilaku, mudah hilang fokus atau perhatian, hiperaktif, timbulnya perilaku autis, gangguan perilaku yang memicu tindak kejahatan, perubahan fungsi pada neuromotorik dan neurosensorik.

2. Gangguan neurologi pada orang dewasa: terjadi penurunan fungsi kognitif yang meliputi hilang fokus atau perhatian, ingatan dan sulit menerima pembelajaran, adanya perubahan suasana hati dan perilaku, perubahan fungsi neuromotorik dan neurosensorik.

Efek kesehatan yang ada tergantung pada dosis (berapa banyak), durasi pajanan (berapa lama), dan rute pajanan. Pada beberapa penelitian adanya kerusakan ginjal yang ditandai dengan penurunan kecepatan proses filtrasi glomerulus dan proteinuria. Pada jantung (kardiovaskular) akan terjadi peningkatan tekanan darah yang memicu risiko hipertensi. Sedangkan pada sistem hematologi akan adanya penurunan aktivitas beberapa enzim biosintesis heme dan penurunan kadar hemoglobin (Hb). Adapun pada sistem reproduksi laki-laki akan menyebabkan penurunan jumlah sperma, konsentrasi, motilitas dan lama hidup sperma. Pada reproduksi perempuan akan adanya abortus spontan dan kelahiran prematur. Selain itu paparan timbal dapat menyebabkan berat badan bayi lahir rendah (BBLR) hingga tertundanya pubertas pada laki-laki dan perempuan (tertundanya pematangan seksual) (ATSDR, 2020).

**d. Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)**

Target organ utama pada paparan akut meliputi sistem hematopoietik, sistem saraf, dan sistem kekebalan tubuh. Pada paparan kronis, benzene mempengaruhi sistem hematologi. Benzene dikenal memiliki sifat karsinogenik pada manusia dan berkaitan erat dengan kejadian kanker darah atau leukemia khususnya leukemia mielogenik akut. Sedangkan pada studi penelitian yang dilakukan pada hewan, didapatkan adanya dampak terhadap sistem reproduksi akibat dari kontaminasi benzene (ATSDR, 2007b).

**e. Manganese (Mn)**

Pajanan mangan melalui saluran inhalasi akan dapat langsung di bawa ke otak dan menyebabkan gangguan neurologis permanen, degan gejala seperti tremor, kesulitan berjalan dan kejang pada otot wajah. Sedangkan paparan mangan yang terkandung dalam debu pada dosis tinggi dapat menyebabkan radang dan gangguan fungsi paru. Sedangkan paparan oral akan memiliki efek yang sama yakni terkait dengan efek neurologis (pada dosis tinggi akan menyebabkan perubahan perilaku, daya ingat atau memori, kesulitan dalam belajar) (ATSDR, 2012b).

**f. Chromium (Cr)**

Target organ yang paling sensitif terhadap paparan kromium (VI) meliputi alat pernapasan (nasal dan iritasi paru-paru, dan gangguan fungsi paru), pada paparan oral dapat menyebabkan penyakit gastrointestinal (iritasi, ulserasi, dan luka pada lambung dan usus halus), gangguan sistem hematologi (mikrositik, anemia, hipokromik), gangguan sistem reproduksi (penurunan jumlah sperma dan kerusakan epididymis). EPA, DHHS dan IARC telah mengklasifikasikan kromium (VI) sebagai kelompok karsinogen pada manusia. Penelitian pada hewan, kromium (IV) dapat menyebabkan keguguran, berat lahir rendah, perubahan perkembangan kerangka dan sistem reproduksi (ATSDR, 2012b).

**g. Mercury (Hg)**

Adanya efek neurologis pada paparan merkuri seperti tremor, gangguan sensoris dan motorik, rendahnya kognitif, perubahan suasana hati (emosional). Pada penelitian yang dilakukan pada hewan, paparan merkuri dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan gangguan kesuburan. Selain itu, paparan merkuri pada manusia menyebabkan tekanan darah tinggi dan juga mempengaruhi sistem kekebalan tubuh. MeHg (Merkuri Klorida) diklasifikasikan dalam kelompok karsinogen pada manusia. Saat

masa kehamilan, paparan MeHg dapat menyebabkan gangguan kognitif, neuromotor, neurosensorik, hingga perkembangan saraf (khusus pada hewan yang terpapar senyawa merkuri organik dan anorganik secara oral), menyebabkan kecacatan pada bayi yang lahir jika seseorang terpapar MeHg dalam dosis yang tinggi (ATSDR, 2022a).

#### **h. Cadmium (Cd)**

Target organ pada paparan oral Cadmium adalah ginjal dan tulang, sedangkan target organ dari paparan melalui inhalasi adalah ginjal dan paru-paru. Seseorang yang terpapar Cd dalam durasi jangka panjang akan mengalami kerusakan tubulus ginjal, kerusakan glomerulus, terjadinya penurunan mineralisasi tulang, peningkatan risiko patah tulang, penurunan fungsi paru, dan emfisema. EPA mengategorikan Cd pada kelompok karsinogen jalur inhalasi (kanker paru-paru) (ATSDR, 2012a).

### **5.8 Upaya Pengendalian Pencemaran Tanah**

Beberapa langkah dalam upaya pengendalian pencemaran tanah, salah satunya adalah pengurangan penggunaan pestisida dan pupuk anorganik di area pertanian. Adapun dalam pengurangan limbah padat sampah terutama sampah plastik dengan 3R (*Reduce, Reuse* dan *Recycle*) (Ashraf *et al.*, 2014). Berikut ini adalah langkah pencegahan dan penanganan pencemaran tanah (Muslimah, 2015):

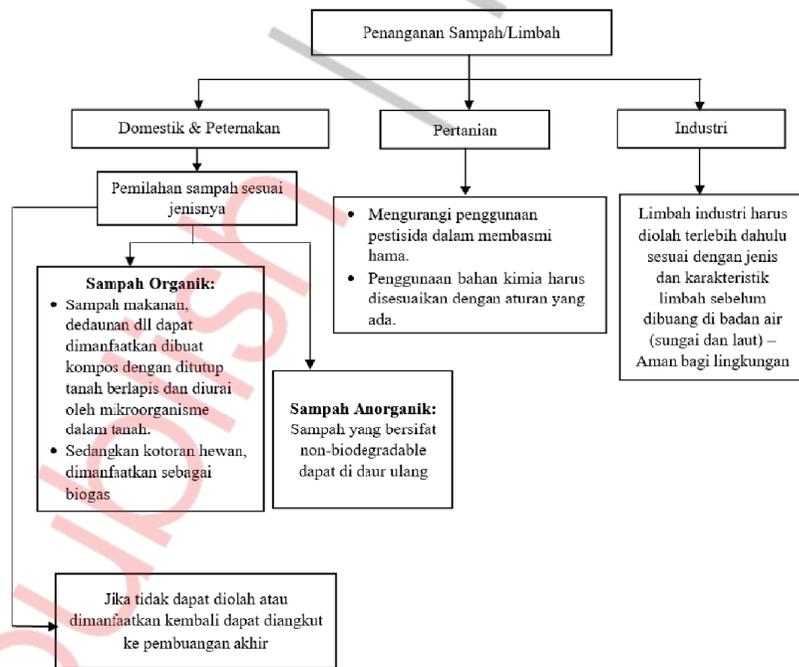
#### **a. Langkah Pencegahan**

Upaya pencegahan khususnya pada pengurangan bahan pencemar yang meliputi pengukuran dan pengumpulan sampah organik dalam tanah, lalu diolah menjadi pupuk kompos. Adapun dalam mengurangi bau busuk yang dihasilkan oleh sampah organik, maka dapat ditimbun oleh tanah secara berlapis-lapis. Sedangkan sampah anorganik dapat didaur ulang hingga memiliki nilai ekonomi. Selain itu, perlunya pengawasan yang ketat bagi industri-industri yang menghasilkan limbah yang mengandung logam berat, untuk dapat diolah dengan tetap sesuai dengan prosedur yang berlaku.

Hal ini perlu dilakukan dengan tepat, sebelum limbah di buang ke lingkungan atau dapat melalui proses pemurnian. Sampah yang termasuk pada zat radioaktif, perlu disimpan terlebih dahulu dalam tangki-tangki khusus hingga tidak lagi berbahaya lalu dapat dibuang pada lokasi yang jauh dari area pemukiman penduduk. Upaya pencegahan terkait penggunaan pestisida harus disesuaikan dengan dosis yang dianjurkan.

**b. Langkah Penanganan**

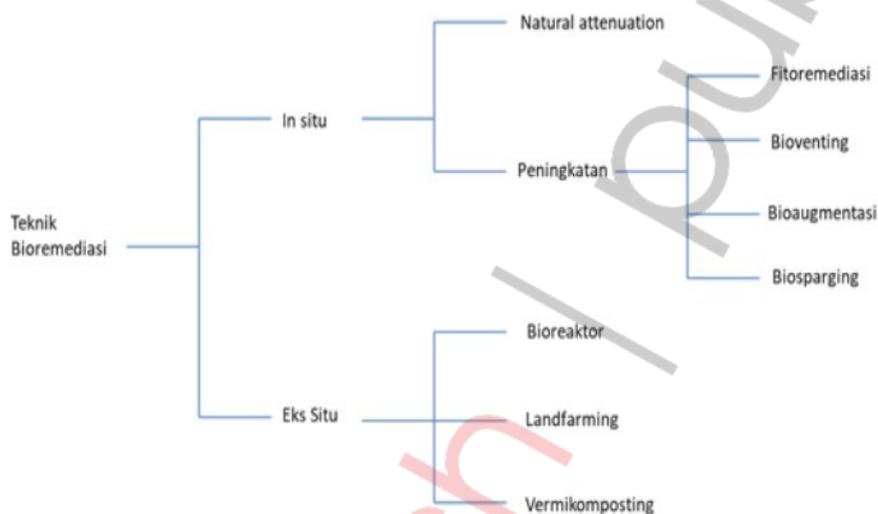
Jumlah sampah atau limbah yang berasal dari domestik atau tingkat rumah tangga semakin banyak seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Begitupun dengan sampah atau limbah yang dihasilkan oleh industri dan kegiatan lainnya. Oleh sebab itu perlunya penanganan yang tepat akan tidak menimbulkan dampak lingkungan dan kesehatan.



Gambar 5.7 Penanganan Sampah atau Limbah Guna Mengurangi Pencemaran Tanah

Sumber: Muslimah, 2015

Adapun beberapa upaya yang dapat dilakukan dalam meminimalisir adanya dampak yang disebabkan oleh pencemaran tanah, yakni melalui bioremediasi. Bioremediasi adalah teknik detoksifikasi akibat dari polutan organik dan anorganik dengan memanfaatkan mikroorganisme (bakteri, ganggang, dst) serta tanaman. Teknik ini dinilai lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Terdapat 2 kategori dalam teknik bioremediasi yaitu bioremediasi in-situ dan bioremediasi eks-situ (Melati, 2020):



Gambar 5.8 Teknik Bioremediasi

Sumber: Melati, 2020

### c. Bioremediasi in-situ

Teknik ini menggunakan pengolahan polutan secara langsung di lokasi yang terjadi pencemaran. Teknik ini memiliki keunggulan yakni biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan teknik bioremediasi eks situ. Teknik ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan (kelembaban, akseptor electron, temperatur, dan pH). Adapun beberapa teknik bioremediasi in-situ adalah *natural attenuation* dan teknik peningkatan.

## 1. *Natural Attenuation*

Teknik pemulihan yang terjadi secara alami, berkaitan adanya degradasi mikroorganisme indigenous (asli). Beberapa keunggulan dari teknik ini adalah habitat yang tercemar dapat dimungkinkan kembali ke kondisi semula tanpa merusak habitat yang ada. Adanya beberapa mekanisme yang dapat dilakukan salah satunya adalah studi kasus dari tumpahan minyak (Zhu et al, 2001 dalam Melati, 2020):

### a) **Evaporasi**

Proses penguapan yang dapat dilakukan dalam pembersihan alami akibat pencemaran minyak. Proses ini dapat menghilangkan 50% komponen beracun yang terkandung dalam tumpahan minyak, yang mana dapat menguap dalam 12 jam setelah terjadi cemar.

### b) **Fotooksidasi**

Proses ini dikenal dengan memecah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, dengan memanfaatkan sinar matahari dan reaksi dengan oksigen ketika bertemu dengan minyak. Penyederhanaan senyawa, akan membuat senyawa jauh lebih ringan dan dapat larut dalam air. Sehingga penghilangan cemar dapat dimaksimalkan dengan proses lanjutan.

### c) **Biodegradasi**

Pemanfaatan mikroorganisme yang ada di alam dalam mengoksidasi adanya kandungan hidrokarbon dalam minyak bumi. Proses ini digunakan dalam menghilangkan komponen-komponen dalam minyak yang sulit untuk menguap secara alami. Namun, pada proses degradasi ini dibutuhkan waktu yang cukup lama karena tergantung pada mikroorganisme yang tersimpan dalam sedimen lingkungan.

## 2. **Peningkatan**

Teknik perbaikan ini diperkuat dengan upaya yang dilakukan manusia dalam memaksimalkan proses degradasi

polutan dengan bioremediasi. Berikut ini adalah beberapa upaya perbaikan yang dapat dilakukan diantaranya:

**a) Fitoremediasi**

Proses perbaikan dengan memanfaatkan tanaman guna menghilangkan kontaminan dalam tanah. Teknik ini dinilai cukup efektif terutama dalam mendegradasi logam

– logam berat yang ada di alam dengan menggunakan berbagai macam tanaman. Tanaman dimanfaatkan karena fungsinya yang berpengaruh dalam percepatan laju degradasi kontaminan serta sebagai filter dan melakukan proses metabolisme zat. Adapun dalam prosesnya ada beberapa mekanisme dalam teknik ini yaitu:

**1) Fitroekstraksi**

Proses penyerapan bahan-bahan kimia khususnya logam berat (Cd, Pb, Zn, Ardan lainnya) melalui akar tanaman yang kemudian di transfer ke berbagai tubuh tanaman seperti akar, batang, dan daun tanaman.

**2) Fitostabilisasi**

Proses di mana tanaman mengeluarkan suatu senyawa kimia untuk menurunkan bioavailabilitas dan mobilitas logam berat di daerah rizosfer.

**3) Rhizofiltrasi**

Proses degradasi polutan (logam berat) yang biasanya dilakukan di area perairan melalui akar tanaman, yang mana akan menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi berbagai polutan di lokasi yang mengalami pencemaran.

**5) Fitidegradasi**

Pemanfaatan protein dan enzim yang dihasilkan oleh tanaman serta berbagai mikroorganisme yang berada di rhizosphere guna menguraikan berbagai jenis polutan, misalnya polutan organik dalam pestisida (DDT)

## 6) Fitovolatilisasi

Merupakan kemampuan tanaman dalam menyerap berbagai polutan organik (CCl<sub>4</sub>, EDB, TCE dan sebagainya) yang ada di dalam air yang nantinya akan dihembuskan ke udara.

**Tabel 5.8** Beberapa Tanaman yang Mampu Menyerap Senyawa Logam Berat

Jenis Tanaman	Senyawa yang di Serap
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Zink (Zn) dan Kadmium (Cd)
<i>Alyssum sp.</i> , <i>Berkheya sp.</i> , <i>Sebertia acuminata</i>	Nikel (Ni)
<i>Brassicaceae sp.</i>	Sulfate
<i>Pteris vittata</i> , <i>Pityrogramma calomelanos</i>	Arsenik (As)
<i>Pteris vittata</i> , <i>Nicotiana tabacum</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i> .	Mercuri (Hg)
<i>Thlaspi caerulescens</i> , <i>Alyssum murale</i> , <i>Oryza sativa</i>	Senyawa organik (petroleum hydrocarbons, PCBs, PAHs, TCE juga TNT)
<i>Brassica sp.</i>	Emas (Au)
<i>Brassica juncea</i> .	Selenium (Se)

Sumber: Muslimah, 2015

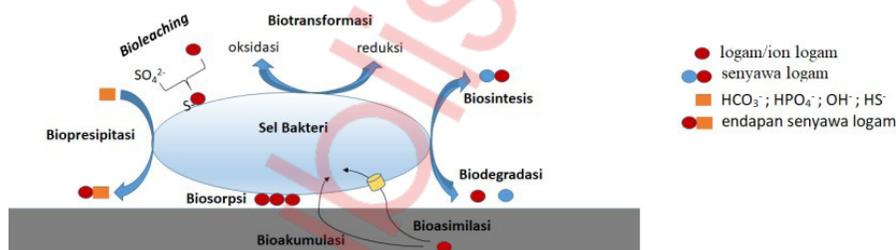
## b) Bioventing

Teknik bioremediasi in-situ dengan memanfaatkan mikroba asli yang berasal dari habitat yang tercemar (indigenous) serta penambahan nutrisi dan udara (oksigen) dalam peningkatan proses biodegradasi kontaminan organik. Pada dasarnya bioventing adalah proses induksi udara ke dalam tanah tak jenuh, agar kandungan oksigen dalam tanah bertambah. Keberhasilan metode ini tergantung pada titik injeksi udara hingga distribusi udara yang harus seragam. Adapun kontaminasi yang dapat didegradasi

melalui metode ini seperti Petroleum Hidrokarbon (PH) dan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAHs), dan BTEX (*Benzene, Toluene, EtilBenzene, dan Xylene*).

### c) Bioaugmentasi

Proses mempercepat degradasi dan penghilangan logam berat dalam sedimen yang terkontaminasi dengan cara penambahan mikroorganisme guna meningkatkan aktivitas biologisnya (Song *et al*, 2017 dalam Harmesa, 2020). Bioaugmentasi meliputi biosorpsi, bioakumulasi, dan biotransformasi pada interaksi mikroorganisme yang mempengaruhi toksisitas dan transportasi logam berat. Biosorpsi merupakan pengurangan toksisitas logam berat melalui pelarutan logam berat dengan permukaan sel (proses kompleksitas-pengkeletan-reduksi-pengendapan/pertukaran kation/anion). Sedangkan bioakumulasi adalah Masuknya zat terlarut yang berasal dari luar sel ke dalam sitoplasma melalui membran sel, di mana adanya akumulasi konsentrasi zat dalam mikroorganisme. Biotransformasi merupakan proses mengubah bentuk kimia logam berat (mobilitas, toksisitas dan bioavailibilitasnya) (Peng *et al*, 2018; Tabak *et al*, 2005 dalam Harmesa, 2020).



Gambar 5.9 Penggunaan Sel Bakteri dalam Proses Bioremediasi

Sumber: Peng *et al*, 2018 dalam Harmesa, 2020

### d) Biosparging

Metode biosparging sama halnya dengan metode bioventing yakni dengan menyuntikkan udara ke bawah permukaan

tanah guna mempercepat proses degradasi kontaminan dengan meningkatkan aktivitas mikroba. Namun metode ini sangat bergantung pada biodegradabilitas polutan dan permeabilitas tanah yang mana digunakan dalam menentukan bioavailabilitas polutan untuk mikroorganisme (Philp dan Atlas, 2005 dalam Melati, 2020).

**d. Bioremediasi ex-situ**

Merupakan teknik yang menggunakan cara penggalian kontaminan atau polutan dari lokasi yang telah tercemar, di mana nantinya akan di dibawa ke lokasi yang lain dalam upaya remediasi. Pada teknik ini dilakukannya beberapa modifikasi kondisi kimia, biologis dan fisikokimia, dan beberapa parameter yang dibutuhkan dalam mempercepat proses remediasi. Adapun beberapa metode yang termasuk dalam bioremediasi ex-situ yaitu (Melati, 2020):

**1. Teknik Bioreaktor**

Upaya yang dilakukan dengan menciptakan suatu lingkungan yang optimal dan terkendali sehingga sel dapat secara efektif berinteraksi dengan lingkungan dan nutrisi, yang disesuaikan dengan kondisi alamnya. Teknik ini diperlukan control pada semua parameter yang diperlukan seperti pH, suhu, laju aerasi, agitasi, inokulum dan konsentrasi substrat demi proses bioremediasi dapat berjalan efektif dan efisien.

**2. Landfarming**

Pemanfaatan berbagai mikroba guna mendegradasi kontaminan atau polutan organik yang dirubah menjadi karbondioksida dan air, melalui mekanisme volatilisasi Volatil Organic Compounds (VOCs), biodegradasi dan absorpsi. Teknik ini banyak digunakan dalam menghilangkan berbagai kontaminan seperti PAHs dan tumpahan minyak pada tanah dan juga sedimen. *Landfarming* juga tergantung pada beberapa aspek seperti kondisi drainase tanah yang baik, mikroorganisme yang cukup banyak, kondisinya harus tertutup dalam mengantisipasi terjadinya erosi dan emisi udara, ketersediaan nutrisi, kadar air dan juga nilai pH (Maila & Cloeta, 2004 dalam Melati, 2020).

### 3. *Vermicomposting*

Teknik dengan metode mengombinasikan tanah yang telah terkontaminasi dengan tanah yang mengandung kompos atau senyawa organik, sehingga merangsang perkembangbiakan mikroorganisme. Teknik ini bergantung pada degradasi biokimia dan adanya cacing tanah. Cacing tanah dapat memakan bahan-bahan organik dengan cepat sehingga kualitas kompos menjadi tinggi dan akan menghasilkan unsur-unsur hara yang penting dalam pengomposan seperti fosfor, magnesium, nitrogen, kalium dan belerang. Ada beberapa jenis cacing tanah yang dapat digunakan dalam metode ini yaitu *Eisenia fetida*, *Eisenia andreei*, *Eudrilus eugeniae*, *Amyntas gracilus* dan *Perionyx excavates*; *Lumbricus rubellus*.



Gambar 5.10 *Eisenia fetida*

Sumber: Ganti, 2018

### 5.9 Ringkasan

Pencemaran tanah merupakan indikator kualitas tanah atas keberadaan bahan kimia atau zat-zat yang melebihi kondisi normal dan dapat memberikan dampak negatif pada setiap organisme yang hidup di sekitarnya. Pencemaran tanah berasal dari berbagai aktivitas alam dan aktivitas manusia (kegiatan industri yang mencakup pertambangan, konstruksi, transportasi, dan sebagainya; kegiatan rumah tangga atau

domestik; kegiatan pertanian; kegiatan militer dan perang). Bahan pencemar tanah terbagi atas polutan organik dan anorganik, di dalamnya terkandung logam berat yang merupakan polutan dominan dalam pencemaran tanah seperti Pb, Cu, Cr, Cd, As, dan Hg. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pencemaran tanah adalah penggunaan bahan kimia (logam berat) dalam cat tembok bangunan, pengawetan kayu, hingga perbaikan *furniture*; penggunaan pupuk dan pestisida; pembakaran sampah, tumpahan minyak dan lainnya. Berbagai bahan pencemar tersebut membawa dampak lingkungan berupa terhambatnya aktivitas mikroba di dalam tanah sehingga berpengaruh pada pertumbuhan bibit tanaman. Sedangkan dampak kesehatan tergantung pada bahan polutan, dosis pajanan, dan lama pajanan, secara umum dapat berdampak pada efek neurologis, kerusakan ginjal, hingga efek kardiovaskular dan seterusnya. Adapun teknik bioremediasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan sebagai upaya perbaikan kualitas tanah yang telah tercemar dengan teknik ramah lingkungan, seperti bioaugmentasi, fitoremediasi, *landfarming*, *vermicomposting* dan lainnya.

#### **5.10 Uji Kemampuan**

- a. Jelaskan terkait dengan penggunaan pestisida pada pertanian dengan pencemaran tanah!
- b. Jelaskan dampak lingkungan dan dampak kesehatan akibat dari tingginya bahan pencemar yang terkandung di dalam tanah!
- c. Sebutkan apa saja upaya yang sudah dan perlu dilakukan oleh pemerintah terkait dengan pengendalian pencemaran tanah!

## REFERENSI

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1998). *Toxicological Profile For Sulfur Dioxide* (Issue December). U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp116.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1999a). *ToxFAQs : Sulfur Dioxide. U.S Department of Health and Human Services*. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts116.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1999b). *Toxicological Profilefor Formaldehyde. In U.S Department of Health and Human Services* (Issue July). ATSDR Division of Toxicology.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2002). *ToxFAQs : Nitrogen Dioxide*. <http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=69>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2004). *ToxGuide for Ammonia*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-126.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2007a). *ToxGuide for Arsenic(As)*. [www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html](http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2007b). *ToxGuide for Benzene(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-3.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2012a). *Tox Guide Cadmium (Cd)*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-5.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2012b). *ToxGuide for Carbon Monoxide*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-201.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2012c). *ToxGuide for Chromium (Cr)*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-7.pdf>

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2012d). *ToxGuide for Manganese (Mn)*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-151.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2020). *ToxGuide for Lead*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-13.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2022a). *Tox Guide for Mercury*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2022b). *ToxGuide for Copper (Cu)*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-132.pdf>
- Al Idrus, S. W. (2015). Analisis Pencemaran Air Menggunakan Metode Sederhana Pada Sungai Jangkuk, Kekalik dan Sekarbela Kota Mataram. *Pijar MIPA*, 10(3), 37–42.
- Alec. (2014). *You Won't Believe How Bad Pollution In China Has Become*. <https://allthatsinteresting.com/pollution-in-china-photographs>
- Amin, M. (2021). Polusi Tanah dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia. *Jurnal Sumber daya Lahan*, 15(1), 36–45. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v15n1.2021.36-45>
- Angelovičová, L., & Fazekašová, D. (2014). Contamination of the soil and water environment by heavy metals in the former mining area of Rudňany (Slovakia). In *Soil and Water Research* (Vol. 9, Issue 1, pp. 18–24). <https://doi.org/10.17221/24/2013-swr>
- Apte, K., & Salvi, S. (2016). Household air pollution and its effects on health. *F1000Research*, 5, 1–13. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7552.1>
- Artajaya, I. W. E., & Putri, N. K. F. P. P. (2021). Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Pencemaran Air di Sungai Bindu. *Jurnal Hukum Saraswati (JHS)*, 03(02), 122–135. <https://doi.org/10.36733/jhshs.v2i2>
- Ashraf, A. M., Maah, J. M., & Yusoff, I. (2014). Soil Contamination, Risk Assessment and Remediation. *INTECH*, 3–56. <https://doi.org/10.5772/57287>

- Awaluddin. (2016). Keluhan Kesehatan Masyarakat akibat Kabut Asap Kebakaran Hutan dan Lahan Di Kota Pekanbaru. *Jurnal Endurance*, 1(1), 37–46. <https://doi.org/10.22216/jen.v1i1.936>
- BBC. (2017). Jakarta "Krisis Alat Pemantau Kualitas Udara?" <https://www.bbc.com/indonesia/majalah-39137710>
- Bonavigo, L., Zucchetti, M., & Mankolli, H. (2009). Water Radioactive Pollution and Related Environmental Aspects. *Journal of International Environmental Application & Science*, 4, 357–363.
- Brook, R. D., Franklin, B., Cascio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M., Luepker, R., Mittleman, M., Samet, J., Smith, S. C., & Tager, I. (2004). Air pollution and cardiovascular disease: A statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. *Circulation*, 109(21), 2655–2671. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000128587.30041.C8>
- Certini, G., Scalenghe, R., & Woods, W. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.009>
- Chandra, B. (2007). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Penerbit Buku Kedokteran.
- Chaturvedi, V., Agrawal, P., Singh, G., Mayank, & Gupta, V. (2018). Impact of transportation on environment. *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 5(14), 891–894.
- Choudhary, D. M., & Garg, V. (2013). *Causes, Consequences and Control of Air Pollution*. [https://www.researchgate.net/publication/279202084\\_Causes\\_Consequences\\_and\\_Control\\_of\\_Air\\_Pollution](https://www.researchgate.net/publication/279202084_Causes_Consequences_and_Control_of_Air_Pollution)
- Colville, R. N., Hutchinson, E. J., Mindell, J. S., & Warren, R. F. (2001). The Transport Sector As A Source Of Air Pollution. *Atmospheric Environment*, 35(9), 1537–1565. [https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/894/1/Millennium\\_rvw\\_final\\_october.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/894/1/Millennium_rvw_final_october.pdf)

- Costa, L. G., Cole, T. B., Dao, K., Chang, Y.-C., Coburn, J., & Garrick, J. M. (2020). Effects of air pollution on the nervous system and its possible role in neurodevelopmental and neurodegenerative disorders. *Pharmacology & Therapeutics*, 210, 107523. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2020.107523>
- Currie, J., & Neidell, M. (2004). *Air pollution and infant health: What can we learn from California's recent experience?* (IZA DP No. 1056). <https://doi.org/10.3386/w10251>
- Defra UK. (2018). *Air Pollution from Agriculture*. [https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/aeqg/2800829\\_Agricultural\\_emissions\\_vfinal 2.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/aeqg/2800829_Agricultural_emissions_vfinal 2.pdf)
- Ditjen Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan. (2020). *Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sebagai Informasi Mutu Udara Ambien Di Indonesia*. <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>
- Djuwansyah, M. (2013). Status Natrium pada Tanah Tercemar Limbah Industri Tekstil di Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 37(1), 25–34.
- DLH DKI Jakarta, Bloomberg Philanthropies, & Vital Strategies. (2019). Menuju Udara Bersih Jakarta. *DLH DKI Jakarta*. <https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/Menuju-Udara-Bersih-Jakarta.pdf>
- Dwivedi, A. K. (2017). Researches In Water Pollution: A Review. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(January), 118–142. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12094.08002>
- Ekevwe, A. E., Isaac, A., Bartholomew, G., & Aroh, A. O. (2018). Review of Organic Pollutants in Wastewater along the Course of River Gwagwarwa and River Rafin Malamin Kano State-Nigeria. *Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 2(2), 36–39.
- EPA. (2022a). *Air Quality Management Process Cycle*. <https://www.epa.gov/air-quality-management-process/air-quality-management-process-cycle>

- EPA. (2022b). *Particulate Matter (PM) Pollution*. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- FAO & IWMI. (2017). *Water Pollution from Agriculture: A Global Review*.
- FAO & UNEP. (2021). *Global Assessment of Soil Pollution: Report*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cb4894en>
- Ganti, S. (2018). Vermicomposting. *International Journal of Waste Resources*, 08(02), 1–4. <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000342>
- Gao, L., & Jiang, W. (2020). The Linkage relationship between the development of secondary industry and environmental pollution: A case in Fujian. *E3S Web of Conferences*, 198. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019804035>
- Geng, D., & Wang, L. (2018). Relationship between environmental pollution and industrial restructuring: Hubei Province in China. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(4), 1227–1234. [http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-66-23-\(21\)G-154.pdf](http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-66-23-(21)G-154.pdf)
- Gizaw, Z., Yalew, A. W., Bitew, B. D., Lee, J., & Bisesi, M. (2022). Fecal indicator bacteria along multiple environmental exposure pathways (water, food, and soil) and intestinal parasites among children in the rural northwest Ethiopia. *BMC Gastroenterology*, 22(84), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12876-022-02174-4>
- Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383(9928), 1581–1592. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)
- Harmesa. (2020). Teknik-Teknik Remediasi Sedimen Terkontaminasi Logam Berat. *Oseana*, 45(1), 1–16. <https://doi.org/10.14203/oseana.2020.vol.45no.1.50>
- Havugimana, E., Bhople, B., Kumar, A., Byiringiro, E., Mugabo, J. P., & Kumar, A. (2017). Soil Pollution-Major Sources and Types of Soil Pollutants. *Environmental Sci. & Eng.*, 11(December), 53–86.
- Herlambang, A. (2006). Pencemaran Air dan Strategi Penggulungannya. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 16–29. <https://doi.org/10.29122/jai.v2i1.2280>

- Hindustan Times. (2016). *Delhi air pollution: Unlike Beijing, India unable to remove old cars from roads*. <https://www.hindustantimes.com/india-news/delhi-air-pollution-unlike-beijing-india-unable-to-remove-old-cars-from-roads/story-f0tSR9nUwvAqjJDth2v9lJ.html>
- <https://ispu.menlhk.go.id/map.html>. (n.d.). *Indeks Standar Pencemaran Udara*. Retrieved November 10, 2022, from <https://ispu.menlhk.go.id/map.html>
- <https://www.bps.go.id/>. (2021). *Banyaknya Desa/Kelurahan Menurut Jenis Pencemaran Lingkungan Hidup (Desa), 2014-2021*. <https://www.bps.go.id/indicator/168/959/1/banyaknya-desa-kelurahan-menurut-jenis-pencemaran-lingkungan-hidup.html>
- <https://www.sepa.org.uk/>. (n.d.). *The chemistry of air pollution*. [https://www.sepa.org.uk/media/120465/mtc\\_chem\\_of\\_air\\_pollution.pdf](https://www.sepa.org.uk/media/120465/mtc_chem_of_air_pollution.pdf)
- Institute for Global Environment Strategies (IGES). (2007). *Air Pollution Control in the Transportation Sector: Third Phase Research Report of the Urban Environmental Management Project*. IGES Urban Environmental Management Project.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2013). *Air Pollution and Cancer*. In *IARC scientific publications* (Issue 161). IARC.
- IQAir. (2022). *Pemantauan Kualitas Udara di DKI Jakarta*. <https://www.iqair.com/id/air-quality-map>
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). *Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 01(03), 241–248. <https://media.neliti.com/media/publications/112707-ID-pencemaran-udara-akibat-emisi-gas-buang.pdf>
- Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., & Karoń, G. (2017). *Noise and environmental pollution from transport: Decisive problems in developing ecologically efficient transport systems*. *Journal of Vibroengineering*, 19(7), 5639–5655. <https://doi.org/10.21595/jve.2017.19371>

- Kompas. (2019). *Pekanbaru Dikepung Kabut Asap Pekat, Ibu Hamil hingga Balita Dilarang Keluar Rumah*.
- Kumar, G., Afaq, U., & Gupta Kumar, B. (2020). Agricultural Pollution : Causes, Hazards and Solutions. In D.K.A. Ode & J.D. Chauhan (Ed.), *Global Environmental Problems*(First Edit, Issue November, pp. 80–84). Red'Shine Publication. <https://doi.org/18.20.89840773.42>
- Kumar, S., & Katoria, D. (2013). Air Pollution and Its Control Measures. *International Journal of Environmental Engineering and Management.*, 4(5), 445–450. [https://www.ripublication.com/ijeem\\_spl/ijeemv4n5\\_06.pdf](https://www.ripublication.com/ijeem_spl/ijeemv4n5_06.pdf)
- Kumparan. (2017). *Kabut Asap Kian Pekat, DLHP Sumsel: ISPU 147, Belum Berbahaya*. <https://kumparan.com/urbanid/kabut-asap-kian-pekak-dlhp-sumsel-ispu-147-belum-berbahaya-1rtWdp6kFmZ/full>
- Latif, U., & Dickert, F. (2015). Chemical Oxygen Demand. In *Environmental Analysis by Electrochemical Sensors and Biosensors* (pp. 719–728). [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1301-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1301-5_1)
- Lee, K. K., Miller, M. R., & Shah, A. S. V. (2018). Air pollution and stroke. *Journal of Stroke*, 20(1), 2–11. <https://doi.org/10.5853/jos.2017.02894>
- Lestari, D. (2017). Baku mutu tanah. In *Analisis Kimia Lingkungan*. [https://blog.unnes.ac.id/nikidevy/wp-content/uploads/sites/3135/2017/12/0404517016\\_Devy-Lestari\\_Baku-Mutu-Tanah.Pdf](https://blog.unnes.ac.id/nikidevy/wp-content/uploads/sites/3135/2017/12/0404517016_Devy-Lestari_Baku-Mutu-Tanah.Pdf)
- Li, M., & Mallat, L. (2018). Health Impacts of Air Pollution. *SCOR Paper*, July, 1–29.
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10(June). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Loganathan, M., & Narendiran, J. N. (2014). Characterization of Soil Quality Indicators : aStudy. *Journal of Global Biosciences*, 3(2), 586–592.

- Marganingrum, D., & Noviardi, R. (2010). Pencemaran Air dan Tanah Di Kawasan Pertambangan Batubara Di Pt. Berau Coal, Kalimantan Timur. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*, 20(1), 11–20. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2010.v20.30>
- Melati, I. (2020). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan dan Prospek Riset. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 272–286.
- Mishra, R. K., Mohammad, N., & Roychoudhry, N. (2016). Soil Pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan (Tropical Forest Research Institute)*, 3(1), 1–14. [https://www.researchgate.net/publication/289281444\\_Soil\\_pollution\\_Causes\\_effects\\_and\\_control](https://www.researchgate.net/publication/289281444_Soil_pollution_Causes_effects_and_control)
- Mishra, R. K., Mohammad, N., & Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution : Causes, effects and control. *Tropical Forest Research Institute*, 3(January), 1–14. [https://www.researchgate.net/publication/289281444\\_Soil\\_pollution\\_Causes\\_effects\\_and\\_control](https://www.researchgate.net/publication/289281444_Soil_pollution_Causes_effects_and_control)
- Mitiku, A. A. (2020). A Review on Water Pollution: Causes, Effects and Treatment methods. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res*, 60(2), 94–101.
- Mohamed, R. M., Al-Gheethi, A. A., Noramira, J., Chan, C. M., Hashim, M. K. A., & Sabariah, M. (2018). Effect of detergents from laundry greywater on soil properties: a preliminary study. *Applied Water Science*, 8(16), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0664-3>
- Mondal, P., Liu, Y., Kateryna, S., Zeng, L., & A, H. (2017). Water Pollution Situation and Applied Wastewater Treatment Strategies in bangladesh. *International Journal of Advanced Research*, 5(2), 2072–2083. <https://doi.org/10.21474/ijar01/3380>
- Morand, C. P., & Maesano, I. A. (2004). Air Pollution : From Sources of Emissions to Health Effects. *Breathe*, 1(2), 109–119. <https://breathe.ersjournals.com/content/1/2/108>

- Moujun, W., Jie, X., Xuechen, Y., & Jin, W. (2011). The Research on the Relationship between Industrial Development and Environmental Pollutant Emission. *Energy Procedia*, 5, 555–561. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.097>
- Mukono, H.. (2006). *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan (Kedua)*. Pusat Penerbitan dan Percetakan UNAIR (AUP).
- Mulyadi, & Sutrisno, N. (2007). Pencemaran Lingkungan pada Lahan Pertanian dan Teknologi Penanggulangannya. *Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa*, 265–280.
- Muñoz-Rojas, M. (2018). Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 47–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>
- Munsif, R., Zubair, M., Aziz, A., & Nadeem Zafar, M. (2021). Industrial Air Emission Pollution: Potential Sources and Sustainable Mitigation. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93104>
- Münzel, T., Hahad, O., Daiber, A., & Landrigan, P. J. (2022). Soil and water pollution and human health: what should cardiologists worry about? *Cardiovascular Research*, 00, 1–10. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvac082>
- Muslimah. (2015). Dampak Pencemaran Tanah dan Langkah Pencegahan. *Jurnal Penelitian Agrisamudra*, 2(1), 11–20. <https://doi.org/10.33059/jpas.v2i1.224>
- Nancy, H., Munroe, T., & Levin, K. (2020). 6 Grafik Berikut Menjelaskan Hubungan TimbalBalik Iklim yang Menyulut Kebakaran di AS. WRI Indonesia. <https://wri-indonesia.org/id/blog/6-grafik-berikut-menjelaskan-hubungan-timbal-balik-iklim-yang-menyulut-kebakaran-di>
- Nasihah, M. (2018). *Pencemaran Lingkungan (Pertama)*. Deepublish.
- Nurudeen, S. T. U., Abubakar, A., & Umoru, A. T. (2013). The Influence of Primary Air Pollutants on Human Health Related Risk. *Journal of Environment and Earth Science*, 3(8), 147–157.

- Owa, F. W. (2014). Water Pollution: Sources, Effects, Control and Management. *International Letters of Natural Sciences*, 3, 1–6. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ilns.8.1>
- Peirce, J. J., Vesilind, P. A., & Weiner, R. F. (1997). Environmental Pollution and Control. In *Environmental Pollution* (Fourth Edi). Elsevier Science & Technology Books.
- Pemerintah Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Penn, M. R., Pauer, J. J., & Mihelcic, J. R. (2012). Biochemical oxygen demand. In *Environmental And Ecological Chemistry: Vol. II* (pp. 45–46). EOLSS.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum, Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Limbah, Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 150 Tahun 2000 Tentang Pengendalian Kerusakan Tanah Untuk Produksi Biomassa.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air.

- Pinontoan, O. R., & Sumampouw, O. J. (2019). *Dasar Kesehatan Lingkungan*. Deepublish.
- Posudin, Y. (2014). Radioactive Pollution. In *Methods of Measuring Environmental Parameters*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118914236>
- PP No 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- Prabha, S. A. C., Senthivelu, M., & Paramasivam, A. (2014). Soil quality indicators for different land uses : A review. *International Journal of Plant and Soil*, 17(9), 379–387.
- Prilly Ismi Arum, S., & Harisuseno, D. (2019). Domestic Wastewater Contribution to Water Quality of Brantas River at Dinoyo Urban Village, Malang City. *J-Pal*, 10(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jp.al.2019.010.02.02>
- Rahman, R. O., Kozak, M. W., & Tse Hung, Y. (2013). Radio Active Pollution : Causes, Control and Consequences. In *Radioactive Pollution and Control* (pp. 949–1026). [http://jiwaji.edu/pdf/ecourse/env\\_science/Radio Active pollution.pdf](http://jiwaji.edu/pdf/ecourse/env_science/Radio%20Active%20pollution.pdf)
- Ramadhan, N. I. (2018). Pengaturan Tindak Pidana Pencemaran Lingkungan di Indonesia : Studi Pencemaran Tanah di Brebes. *Journal of Multidisciplinary Studies*, 09(02), 96–102.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil pollution A Hidden Reality*. FAO. <https://doi.org/10.5124/jkma.1998.41.10.1032>
- Rosiana, R., Handayani, F., & Qomariah, S. (2016). Strategi Pengendalian Pencemaran Air Air Sungai Pepe. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2011, 562–569.
- Sari, I. R. J., & Fatkhurrahman, J. A. (2015). Inventori Pencemaran Udara Parameter Non Methane Hidrokarbon (NHMC) di Kabupaten/Kota Propinsi Jawa Tengah. *Jurnal Riset Teknologi Pencemaran Industri*, 6(November), 59–66.
- Sastrawijaya, A. T. (2009). *Pencemaran Lingkungan* (Cetakan Ke). PT Rineka Cipta.
- Savci, S. (2012). An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 73–80. <https://doi.org/10.1002/9781118914236>

org/10.7763/ijesd.2012.v3.191

- Scopetani, C., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Martellini, T., Leiniö, V., & Pellinen, J. (2022). Hazardous contaminants in plastics contained in compost and agricultural soil. *Chemosphere*, 293. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133645>
- Shah, S. M. H., Yusof, K. W., Mustafa, Z., & Mustafa, A. (2014). Concentration of Total Suspended Solids (TSS) Influenced by the Simulated Rainfall Event on Highway Embankment. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(6), 493–496. <https://doi.org/10.7763/ijet.2014.v6.747>
- Shaltami, O., Hamed, N., Fares, F., Errishi, H., El Oshebi, F., & Maceda, E. (2020). *Air pollution-A review*. Virtual Conference on Environment and Health (VCEH). [https://www.researchgate.net/publication/344713364\\_Air\\_pollution\\_-\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/344713364_Air_pollution_-_A_review)
- Shaltami, O. R., Hamed, N. M., Fares, F. F., & Errishi, H. (2020). Soil Pollution-A Review. *Virtual Conference on Environment and Health (VCEH) Venue: Agricultural University of Iceland*, 19(October).
- Shayler, H., McBride, M., & Harrison, E. (2009). Sources and Impacts of Contaminants in Soils. In *Soil Sciences*. <http://cwmi.css.cornell.edu>
- Sholihah, Q., Kuncoro, W., Wahyuni, S., Puni Suwandi, S., & Dwi Feditasari, E. (2020). The analysis of the causes of flood disasters and their impacts in the perspective of environmental law. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 437. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/437/1/012056>
- Sinaga, B. I. L., Sembiring, M., & Lubis, A. (2015). Dampak Ketebalan Abu Vulkanik Erupsi Gunung Sinabung Terhadap Sifat Biologi Tanah di Kecamatan Naman Teran Kabupaten Karo. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 3(3), 1159–1163.
- Singh, J., Yadav, P., Pal, A. K., & Mishra, V. (2020). Water Pollutants: Origin and Status. In *Sensors in Water Pollutants Monitoring: Role of Material* (Issue January, pp. 5–20). Springer Link. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_2)

- Singh, R. M., & Gupta, A. (2016). Water Pollution-Sources, Effects and Control Water Pollution-Sources, Effects and Control. *Pointer Publishers Jaipur*.
- Sonwani, S., & Maurya, V. (2018). Impact of air pollution on the environment and economy. *CAB International, December*, 113–134. <https://doi.org/10.1079/9781786393890.0113>
- Stewart, C., Johnston, D., Leonard, G., Horwell, C., Thordarson, T., & Cronin, S. (2006). Contamination of water supplies by volcanic ashfall: A literature review and simple impact modelling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158, 296–306. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.07.002>
- Sulistiyono. (2012). Pemanasan Global (Global Warming) dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil. *Forum Teknologi*, 02(2), 47–56.
- Suryani, A. S. (2022). Polusi Udara di Wilayah Perkotaan Pndonesia. In *Isu Sepekan Bidang Ekkuinbang, Komisi IV*.
- Suwardin, D., Setiadi, T., & Damanhuri, E. (2007). Biofiltrasi dalam Penyisihan Limbah Gas H<sub>2</sub>S dan NH<sub>3</sub> Aplikasi Teknik. *Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Institute*(November).
- Sweety, P. (2021). Impacts of Pollution on Environment. *Nat. Voaltiles & Essent. Oil*, 8(5), 3314–3320.
- Tánczos, K., & Török, Á. (2008). Impact of transportation on environment. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 36(1–2), 105–110. <https://doi.org/10.3311/pp.tr.2008-1-2.19>
- Tang, D. C., & Yang, Y. (2011). Relationship between industrial structure and pollution density: Evidence from recent industrialization in China. *International Journal of Ecology and Development*, 19, 30–43.
- The Jakarta Post. (2019a). *Dry season turns Ciliwung River black and smelly*. <https://www.thejakartapost.com/news/2019/07/27/dry-season-turns-ciliwung-river-black-and-smelly.html>

- The Jakarta Post. (2019b). *Fire burns almost 1,700 hectares of land, forests in Riau*. <https://www.thejakartapost.com/news/2019/03/10/fire-burns-almost-1700-hectares-of-land-forests-in-riau.html>
- Tiotiu, A. I., Novakova, P., Nedeva, D., Chong-Neto, H. J., Novakova, S., Steiropoulos, P., & Kowal, K. (2020). Impact of air pollution on asthma outcomes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6212), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176212>
- Tokan, C. A. C. (2015). Pengendalian Pencemaran Udara Melalui Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau (Rth) Di Kota Yogyakarta. *Naskah Ringkas Skripsi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 1–28. <http://e-journal.uajy.ac.id/9197/>
- Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., Gauss, M., Hoor, P., Juda-Rezler, K., Lelieveld, J., Melas, D., Rypdal, K., & Schmid, S. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. *Atmospheric Environment*, 44, 4772–4816. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01.002>
- UNICEF. (2022). *Indonesia: Hampir 70 persen sumber air minum rumah tangga tercemar limbah tinja*.
- Undang Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Verhoeven, J. I., Allach, Y., Vaartjes, I. C. H., Klijn, C. J. M., & de Leeuw, F. E. (2021). Ambient air pollution and the risk of ischaemic and haemorrhagic stroke. *The Lancet Planetary Health*, 5(8), e542–e552. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00145-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00145-5)
- Wang, J., Ma, T., Ma, D., Li, H., Hua, L., He, Q., & Deng, X. (2021). The Impact of Air Pollution on Neurodegenerative Diseases. *Therapeutic Drug Monitoring*, 43(1).
- Wardhana, W. A. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan* (Ed. III). C.V Andi Offset.
- WHO. (2000a). *Air Quality Guideline for Europe* (Second Edi).
- WHO. (2000b). Nitrogen dioxide. In *Air Quality Guidelines* (Second Edi, pp. 1–33). WHO. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2014.01.008>

- WHO. (2000c). Ozone and Other Photochemical Oxidants. In *Air Quality Guidelines* (Second Edi, pp. 1–31).
- WHO. (2000d). Particulate matter. In *Air Quality Guidelines* (Second Edi, pp. 1–40). WHO. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528616.003.0014>
- WHO. (2008). *Health Risk of Ozone from Long-Range Transboundary Air Pollution*. WHO. WHO. (2022). *Household air pollution and health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Xia, X. H., Wu, Q., Mou, X. L., & Lai, Y. J. (2014). Potential impacts of climate change on the water quality of different water bodies. *Journal of Environmental Informatics*, 25(2), 85–98. <https://doi.org/10.3808/jei.201400263>
- Yadong, Y., Changqun, D., Shiyu, L., Changhui, P., Jian, Y., Kun, Y., Xiaoyi, B., & Ping, Z. (2022). Relationship between environmental pollution and economic development in late-developing regions shows an inverted V. *Science of the Total Environment*, 838(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156295>
- Yudo, S., & Said, N. I. (2001). Masalah Pencemaran Air Di Jakarta, Sumber dan Alternatif Penanggulangannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(2), 199–206.

## BIOGRAFI PENULIS



**Ayudhia Rachmawati, S.K.M., M.K.M.**, lahir di Bandung, 23 Januari 1991. Saat ini bekerja sebagai Dosen Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Mula-warman sejak tahun 2022. Bidang keahlian di bidang pencemaran lingkungan khususnya pada pencemaran udara. Menempuh pendidikan TK hingga SD di Kota Solo, kemudian hijrah ke Semarang untuk melanjutkan pendidikan S1 di

Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro dengan peminatan Kesehatan Lingkungan dan lulus pada tahun 2012. Pernah bekerja sebagai *Health Safety Environment (HSE) Staff* di PT Virama Karya (Persero) Cabang Semarang. Selanjutnya melanjutkan pendidikan S2 di Program Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat Peminatan Kesehatan Lingkungan Universitas Indonesia dan lulus pada tahun 2020. Buku ajar ini adalah karya pertama bagi penulis semoga dapat bermanfaat dan menjadi langkah awal untuk terus produktif dalam menghasilkan karya-karya buku ilmiah lainnya.