

**Diana Sylvia, M.Si.  
Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc.  
Nurhajawarsi, M.Si.  
Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc.  
Dr. Lieza Corsita, S.T,M.T.  
Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng.  
Hijriati Sholehah, S.Si., M.Si.  
Juwairiah, S.Pd., M.Si.  
Halijah. S.Pd., M.Pd.  
Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S**

# **KIMIA LINGKUNGAN**

**Editor:  
Ahmad Ruhardi, S.Si., M.KL**



# **KIMIA LINGKUNGAN**

# KIMIA LINGKUNGAN

---

**Diana Sylvia, M.Si.**

**Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc.**

**Nurhajawarsi, M.Si.**

**Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc.**

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

**Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng.**

**Hijriati Sholehah, S.Si., M.Si.**

**Juwairiah, S.Pd., M.Si.**

**Halijah. S.Pd., M.Pd.**

**Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S.**



# KIMIA LINGKUNGAN

---

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

**Diana Sylvia, M.Si.**  
**Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc.**  
**Nurhajawarsi, M.Si.**  
**Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc.**  
**Dr. Lieza Corsita, S.T,M.T.**  
**Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng.**  
**Hijriati Sholehah, S.Si., M.Si.**  
**Juwairiah, S.Pd., M.Si.**  
**Halijah. S.Pd., M.Pd.**  
**Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S.**

Editor: Ahmad Ruhardi, S.Si., M.KL

Cetakan Pertama : Januari 2022

Cover: Rusli

Tata Letak : Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2022, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia**  
**ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT**  
Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151  
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : [www.rcipress.rcipublisher.org](http://www.rcipress.rcipublisher.org)

E-mail : [rumahcemerlangindonesia@gmail.com](mailto:rumahcemerlangindonesia@gmail.com)

Copyright © 2022 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia  
All Right Reserved

- Cet. I - : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2022  
; 14,8 x 21 cm  
ISBN : 978-623-5847-93-1

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan  
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang  
**Hak Cipta Pasal 72**

---

---

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta  
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

---

---

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada kami sehingga kami berhasil menyelesaikan Buku dengan judul Kimia Lingkungan sesuai yang ditargetkan. Buku ini berisikan tentang penjelasan mengenai kimia lingkungan yang diuraikan dalam 10 Bab dalam buku ini dari apa itu kimia lingkungan, apa saja yang termasuk kimia lingkungan, dampaknya terhadap lingkungan dan materi materi lainnya yang mendukung terhadap penjelasan kimia lingkungan. Kami menyadari bahwa Buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu kami harapkan demi kesempurnaan buku ini.

Akhir kata, kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan Buku ini dari awal sampai akhir. Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi segala usaha kita. Amin.

Januari 2022

Penulis

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 PENGENALAN KIMIA LINGKUNGAN .....	1
A. Pengertian.....	1
B. Pencemaran .....	2
C. Macam-macam Pencemaran Lingkungan.....	6
1. Pencemaran udara .....	6
2. Pencemaran Air .....	9
3. Pencemaran Tanah.....	11
BAB 2 PENGENALAN EKOSISTEM, TEKNOLOGI DAN DAMPAKNYA.....	15
A. Pengenalan Ekosistem.....	15
1. Struktur Ekosistem .....	16
B. Tipe Ekosistem .....	19
1. Kelompok ekosistem bahari.....	19
2. Kelompok ekosistem darat alami.....	20
3. Kelompok ekosistem suksesi .....	21
4. Kelompok ekosistem buatan.....	21
C. Contoh Ekosistem.....	21
1. Ekosistem Kolam.....	21
2. Ekosistem padang rumput.....	23
D. Toleransi Spesies Terhadap Faktor Abiotik .....	24
E. Teknologi dan Dampaknya .....	26
F. Kesadaran Lingkungan.....	32
BAB 3 ATMOSFER DAN KIMIA ATMOSFER.....	38
A. Atmosfer Bumi .....	39

1. Lapisan dan Struktur Vertikal Atmosfer .....	39
2. Komposisi Atmosfer .....	42
B. Reaksi Kimia pada Atmosfer .....	44
1. Reaksi Oksigen di Atmosfer .....	45
2. Reaksi Nitrogen di Atmosfer .....	49
3. Reaksi Sulfur di Atmosfer .....	52
4. Reaksi Hidrokarbon di Atmosfer .....	54
5. Reaksi Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida di Atmosfer .....	55
C. Partikulat di Atmosfer .....	56
 BAB 4 POLUTAN DAN PENCEMARAN UDARA .....	63
A. Pengertian Pencemaran Udara .....	63
B. Sumber Dan Penyebab Pencemaran Udara .....	67
C. Pengertian Dan Jenis Pencemar Udara ( <i>Air Pollutants</i> ) .....	73
1. Kriteria Polutan Udara (Criteria Air Pollutants) ...	73
2. Racun Udara ( <i>Air Toxics</i> ) .....	77
3. Pencemaran Biologis ( <i>Biological Pollutants</i> ) .....	78
D. Dampak Pencemaran Udara .....	82
1. Dampak kepada manusia .....	82
2. Dampak kepada lingkungan .....	83
E. Regulasi .....	91
F. Pengurangan ( <i>Reduction</i> ) .....	92
 BAB 5 HIDROSFER DAN DASAR-DASAR KIMIA PERAIRAN	106
A. Karakteristik Hidrosfer .....	106
1. Siklus Hidrologi .....	107
2. Karakteristik Badan Air .....	109
B. Fungsi dan klasifikasi penggunaan Air .....	113
1. Parameter Kimia Perairan .....	113



BAB 6 REAKSI-REAKSI KIMIA DI PERAIRAN .....	123
A. Lingkungan Perairan.....	123
1. Siklus Hidrologi .....	124
2. Kualitas Lingkungan Perairan .....	127
B. Parameter Kimia Perairan .....	130
1. Dissolved Oxygen (DO).....	130
2. Biological Oxygen Demand (BOD) .....	130
3. Chemical Oxygen Demand (COD ).....	131
C. Reaksi – Reaksi Kimia di perairan. ....	131
1. Reaksi Karbondioksida Di Perairan .....	131
2. Reaksi Netralisasi.....	135
3. Reaksi Pengendapan.....	137
4. Reaksi Reduksi dan Oksidasi (Redoks).....	140
 BAB 7 PENCEMARAN AIR DAN PENJERNIHAN AIR.....	143
A. Pencemaran Air .....	143
1. Definisi pencemaran air .....	143
2. Sumber Pencemar .....	144
3. Sifat-sifat air tercemar .....	144
4. Dampak Pencemaran Air .....	152
B. Penjernihan Air.....	154
1. Prinsip Penjernihan Air Dengan Metode Fisika ..	155
2. Prinsip Penjernihan Air Menggunakan Metode Kimia .....	161
 BAB 8 GEOSFER DAN KIMIA TANAH .....	164
A. Geosfer .....	164
1. Atmosfer .....	164
2. Litosfer .....	165
3. Hidrosfer .....	167
4. Biosfer .....	168
5. Antroposfer .....	169

B. Sifat Kimia Tanah.....	170
1. Pertukaran Kation .....	172
2. Kapasitas Tukar Kation/ Anion (KTK/ KTA) .....	173
3. Kejenuhan Basa (KB) .....	175
4. pH Tanah (Kemasaman Tanah) .....	176
 BAB 9 POLUTAN DAN POLUSI TANAH .....	182
A. Pengertian Tanah .....	183
B. Pencemaran Tanah .....	186
1. Pengertian Pencemaran Tanah.....	186
2. Penyebab Pencemaran Tanah .....	191
3. Jenis Polutan .....	191
4. Jenis Pencemaran Tanah .....	192
5. Dampak Pencemaran Tanah .....	199
6. Pencegahan Pencemaran Tanah.....	206
 BAB 10 TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN .....	211
A. Definisi Dan Terminologi .....	211
B. Ruang Lingkup Ilmu Toksikologi .....	214
C. Tujuan Ilmu Toksikologi.....	216
D. Sejarah Ilmu Toksikologi.....	218
E. Berbagai Cabang Ilmu Toksikologi.....	224
DAFTAR PUSTAKA.....	228
BIOGRAFI PENULIS .....	240

# DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Komposisi Atmosfer Bumi.....	42
Tabel 4.2 Reaksi pembentukan partikulat dari material anorganik.....	58
Tabel 5.1 Komposisi Gas di Udara Kering Yang Bersih .....	67
Tabel 6.1 Distribusi Air di Bumi.....	108
Tabel 6.2 Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah.....	112
Tabel 6.3 Persentase volume gas karbondioksida di atmosfer .....	116
Tabel 6.4 Kation-Kation Penyusun Kepadatan dan Anion- Anion Pasangan/Asosiasi.....	117
Tabel 7.1 Nilai Kelarutan Karbondioksida pada Air .....	131
Tabel 7.2 Perbandingan Karakterisasi Air Hujan Kota Malang .....	134
Tabel 8.1 hubungan antara suhu dengan konsentrasi oksigen terlarut maksimum pada tekanan 1 atmosfer.....	148
Tabel 9.1 Perbedaan Koloid Anorganik dan Organik.....	171
Tabel 9.2 KTK berbagai Tekstur Tanah .....	174
Tabel 9.3 Kriteria Kelas Nilai KTK Tanah.....	175
Tabel 9.4 Klasifikasi Kemasaman (pH) Tanah .....	178
Tabel 11.1 Diversifikasi dalam Bidang Toksikologi.....	225

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Struktur Vertikal Atmosfer .....	40
Gambar 4.2 Konsentrasi ozon permukaan BMKG Kemayoran Jakarta (Juni 2021) .....	48
Gambar 4.3 Konsentrasi ozon permukaan GAW Kototabang (Juli 2021) .....	49
Gambar 4.4 Siklus nitrogen.....	50
Gambar 4.5 Konsentrasi NO <sub>2</sub> di berbagai Stasiun pemantau BMKG (Agustus 2021).....	52
Gambar 4.6 Konsentrasi SO <sub>2</sub> di berbagai Stasiun pemantau BMKG (Agustus 2021).....	54
Gambar 4.7 Konsentrasi gas Rumah Kaca (CH <sub>4</sub> dan CO <sub>2</sub> ) di Stasiun GAW Kototabang .....	56
Gambar 4.8 Pemantauan partikulat (PM <sub>10</sub> ) di Kota Medan dan partikulat (PM <sub>2,5</sub> ) di Kota Pekanbaru .....	60
Gambar 5.1 Pencemaran Udara Bersumber dari Industri .....	66
Gambar 5.2 Sumber Utama Pencemaran Udara.....	69
Gambar 5.3 Perbedaan Ozon Baik dan Ozon Buruk .....	77
Gambar 5.4 Aerosol Bersumber Dari Bahan Kimia dan Manusia .....	79
Gambar 5.5 Hutan Pohon Kabut .....	80
Gambar 5.6 Kabut asap.....	80
Gambar 5.7 Ilustrasi Penyebab Global Warming.....	85
Gambar 5.8 Jalur Terjadinya Ujan Asam .....	87
Gambar 5.9 Skala pH.....	88
Gambar 5.10 Ozon di Atmosfer .....	89
Gambar 5.11 Simulasi Terjadinya Kerusakan Lapisan Ozon .	91
Gambar 5.12 Panel Surya sebagai Sumber Energi di Rumah.	96
Gambar 5.13 Jemuran Pakaian untuk Mengeringkan Baju.....	98
Gambar 6.1 Siklus Hidrologi.....	109
Gambar 6.2 Skema Lapisan Air Tanah .....	112

Gambar 6.3 Proses dekomposisi organik dan nitrifikasi pada penentuan BOD .....	121
Gambar 8.1 Filter.....	157
Gambar 8.2 Model Aliran Filter .....	158
Gambar 8.3 Kombinasi filter dan Aerasi.....	159
Gambar 8.4 Penjernihan Air dengan cara Koagulasi .....	162
Gambar 8.5 Contoh Aerasi dengan cara gravitasi.....	163
Gambar 9.1 Siklus Hidrologi Air.....	168
Gambar 9.2 Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada Tanah .....	173
Gambar 9.3 Ilustrasi KTK Tanah.....	174
Gambar 10.1 Pencemaran Logam Berat Pada Lahan Pertanian di Cina.....	198
Gambar 10.2 Penggunaan Pestisida yang Langsung ke Tanah .....	203
Gambar 10.3 Limbah sampah perdagangan .....	204
Gambar 10.4 Limbah padat rumah tangga .....	205
Gambar 10.5 Pemanfaatan Plastik Kresek Bekas.....	207
Gambar 10.6 Pembatas Taman Terbuat dari Ecobric Botol Plastik Diisi Potongan Plastik.....	208
Gambar 11.1 Tiga Bidang Dasar dalam Toksikologi dan Kaitannya dalam Kajian Risiko .....	216
Gambar 11.2 Ilmu yang Menunjang Toksikologi.....	227

# BAB 1

## PENGENALAN KIMIA LINGKUNGAN

---

Diana Sylvia, M.Si.

### A. Pengertian

---

#### 1. Kimia

Kimia menurut bahasa Arab كيمياء yang artinya adalah seni transformasi, dan menurut bahasa Yunani χημεία khemeia yang artinya alkimia, memiliki pengertian yaitu ilmu yang mempelajari tentang komposisi dan sifat zat atau suatu materi dari ukuran atom (bagian terkecil dari suatu zat) hingga molekul, serta perubahan atau dan interaksi untuk membentuk materi yang ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Ilmu kimia juga mempelajari dan memahami sifat dan interaksi atom dengan tujuan untuk menerapkan pengetahuan tersebut pada tingkat makroskopik. Menurut kimia modern, sifat fisik materi umumnya ditentukan oleh struktur pada tingkat unsur atau atom yang pada gilirannya ditentukan oleh gaya antarunsur atau antaratom tersebut.

#### 2. Lingkungan

Lingkungan merupakan kombinasi antara kondisi fisik yang mencakup keadaan sumber daya alam seperti tanah, air, udara, energi surya, mineral, serta flora dan fauna yang berada di bumi.

#### 3. Kimia lingkungan

Kimia Lingkungan adalah studi ilmiah terhadap fenomena kimia dan biokimia yang terjadi di alam. Bidang ilmu ini dapat didefinisikan sebagai studi terhadap sumber, reaksi, transpor, efek, dan nasib zat kimia di lingkungan udara, tanah, dan air, serta efek aktivitas manusia terhadapnya. Kimia lingkungan adalah ilmu antardisiplin yang

memasukkan ilmu kimia atmosfer, akuatik, dan tanah, juga sangat bergantung dengan kimia analitik, ilmu lingkungan, dan bidang-bidang ilmu lainnya.

Kimia lingkungan pertama kali mempelajari bagaimana cara kerja lingkungan yang tak terkontaminasi, zat kimia yang terkandung, jumlah konsentrasi yang ada secara alami, dan apa efeknya. Tanpa hal ini, mustahil untuk mempelajari secara akurat efek manusia terhadap lingkungan dengan proses yang terjadi pada pelepasan zat kimia. Kimia lingkungan merupakan ilmu yang mempelajari tentang spesies-spesies kimia tertentu dalam lingkungan udara, air, dan tanah karena selalu mengalami reaksi-reaksi tertentu. (Yusuf, Y. 2017.)

## **B. Pencemaran**

---

Pencemaran adalah peristiwa penyebaran bahan kimia dan bahan-bahan lainnya ke media udara, air, dan tanah dengan kadar tertentu yang dapat mengubah kesetimbangan pada daur ulang materi dalam lingkungan (keseimbangan lingkungan) baik keadaan struktur maupun fungsinya, sehingga dapat mengganggu fungsi sosial dan kesejahteraan manusia. Pencernaan yang terjadi pada saat senyawa-senyawa yang dihasilkan dari kegiatan manusia ditambahkan ke lingkungan, menyebabkan perubahan yang buruk terhadap kekhasan fisik, kimia, biologis, dan estetika. (Dewata, I dan Tarmizi. 2015)

Ditinjau dari segi ilmu kimia yang disebut dengan pencemaran lingkungan adalah peristiwa penyebaran bahan kimia dengan kadar tertentu yang dapat mengubah keadaan keseimbangan pada siklus materi, baik keadaan struktur maupun fungsinya, sehingga mengganggu kesejahteraan manusia. Pencemaran lingkungan perlu mendapat

penanganan secara serius oleh semua pihak karena pencemaran lingkungan dapat menimbulkan gangguan terhadap kesehatan, kesejahteraan, dan jiwa manusia.

Kini telah banyak para ahli ingin mempelajari lingkungan hidup secara seksama guna mencari jalan keluar dari masalah yang makin lama semakin serius. Masalah lingkungan merupakan masalah yang dapat ditinjau dari berbagai aspek pengetahuan. Secara fisik, lingkungan abiotik dapat dipelajari secara kimia, fisika, hidrologi, geologi dan sebagainya, sedangkan lingkungan biotik dapat dibahas secara biologi.

Bahan-bahan kimia yang ada di lingkungan hidup, dalam kehidupan diperlukan dalam jumlah banyak, sehingga kalau kekurangan akan menimbulkan masalah. Namun ada juga yang diperlukan untuk kehidupan dalam jumlah sedikit, dan bila jumlahnya berlebihan akan menimbulkan pencemaran. Bahan kimia yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan disebut bahan pencemar. Pada umumnya bahan pencemar udara adalah berupa gas-gas beracun dan partikel-partikel zat padat. Gas-gas beracun ini berasal dari pembakaran bahan bakar kendaraan, kegiatan industri, dan aktivitas dalam rumah tangga. Selain gas-gas beracun di atas, pembakaran bahan-bahan kendaraan juga dapat menghasilkan partikel-partikel karbon dan timah hitam yang berterbangan yang dapat mencemari udara. Gas-gas beracun hasil dari pembakaran bahan bakar ini biasanya berupa oksida-oksida karbon dan nitrogen (karbon monoksida, karbon dioksida, nitrogen monoksida, nitrogen dioksida, dinitrogen oksida) dan senyawa-senyawa hidrokarbon.

Bahan pencemar udara ini terdispersi dalam udara, sehingga kadarnya menjadi keeil. Sampai di bawah kadar tertentu tidak menimbulkan pencemaran, bila kadar bahan



pencemar ini mencapai NAB (Nilai Ambang Batas) atau KTD (Kadar Tertinggi Diperkenankan), maka pencemaran udara tidak dapat dihindarkan lagi. Karbon monoksida sangat beracun bagi manusia, sebab akan bereaksi dengan haemoglobin dan mengurangi kadar oksigen yang dapat bereaksi dengan haemoglobin diangkut ke seluruh tubuh, dengan demikian manusia akan kekurangan oksigen untuk keperluan dalam tubuhnya, manusia menderita sakit kepala bahkan dapat menjadi lemas dan pingsan.

Ozon merupakan oksidator kuat, dalam konsentrasi kecil 0,2 ppm dapat merusak daun tumbuh-tumbuhan, karet menjadi keras dan memudarkan warna tekstil. Gas  $\text{SO}_2$  dan gas  $\text{H}_2\text{S}$  merusak tumbuh-tumbuhan dan dapat menyebabkan sifat asam bila dalam udara lembab, sehingga akan merusak logam, tekstil, dan hewan.

Senyawa hidrokarbon dan gas oksida-oksida nitrogen dapat menyebabkan iritasi pada mata dan mengganggu pernafasan. Sedangkan partikel-partikel zat dapat menyebabkan alergi pada kulit, sakit mata, mengganggu pernafasan dan bila menempel pada daun akan menghalangi masuknya energi matahari pada daun untuk proses fotosintesis.

Bahan pencemar air terdiri atas Senyawa organik dan senyawa anorganik yang terdapat dalam air, hal ini dapat menyebabkan pencemaran air minum, meskipun untuk keperluan industri mungkin air tersebut belum dikatakan tercemar. Sampah dan buangan-buangan kotoran dari rumah tangga, pertanian, dan pabrik/industri dapat mengurangi kadar oksigen dalam air yang sangat dibutuhkan oleh kehidupan dalam air. Di bawah pengaruh bakteri anaerob senyawa organik akan terurai dan menghasilkan gas-gas  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  dengan bau busuknya. Penguraian senyawa-senyawa

organik juga menghasilkan gas-gas beracun dan bakteri-bakteri patogen yang akan mengganggu kesehatan air.

Deterjen tidak dapat diuraikan oleh organisme lain kecuali oleh ganggang hijau dan yang tidak sempat teruraikan ini akan menimbulkan gangguan pencemaran air. Senyawa-senyawa organik seperti pestisida, DDT, juga merupakan bahan pencemar air. Sisa-sisa penggunaan pestisida yang berlebihan akan terbawa aliran air pertanian dan akan masuk ke dalam rantai makanan dan masuk dalam jaringan tubuh makhluk hidup yang memakan makanan itu.

Bahan pencemar tanah diantaranya berupa pupuk buatan, obat pembasmi hama seperti pestisida, herbisida, bila digunakan secara berlebihan dapat menimbulkan pencemaran tanah, merubah sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologis tanah, sehingga mengganggu pertumbuhan tumbuh-tumbuhan. Sampah dan bahan buangan benda-benda padat yang makin meningkat jumlahnya dapat menjadi bahan pencemar tanah, apalagi yang sukar diuraikan oleh bakteri pengurai. Sebagai sumber pencemar tanah yang lainnya adalah bahan radioaktif, yang masuk ke dalam rantai makanan dan akhirnya dapat menyebabkan kematian pada makhluk yang memakannya. Misalnya unsur  $Sr_{90}$  sebagai hasil fisi nuklir dapat mempengaruhi perkembangan xilem pada tumbuh-tumbuhan dan tulang hewan, yang akan menyebabkan jaringan tubuh menjadi lemah. (Purwoko, D dan Nurmayanti, D. 2017.)

WHO menetapkan empat tingkatan pencemaran sebagai berikut:

1. Pencemaran tingkat pertama; yaitu pencemaran yang tidak menimbulkan kerugian bagi manusia.
2. Pencemaran tingkat kedua; yaitu pencemaran yang mulai menimbulkan kerugian bagi manusia seperti

- terjadinya iritasi pada indra kita.
3. Pencemaran tingkat ketiga; yaitu pencemaran yang sudah dapat bereaksi pada faal tubuh dan menyebabkan terjadinya penyakit yang kronis.
  4. Pencemaran tingkat keempat; yaitu pencemaran yang telah menimbulkan sakit akut dan kematian bagi manusia maupun hewan dan tumbuh-tumbuhan. (Lutfi, A. 2004.)

### **C. Macam-macam Pencemaran Lingkungan**

---

Pencemaran lingkungan dibagi atas beberapa jenis :

#### **1. Pencemaran udara**

Pencemaran udara adalah adanya substansi biologi, fisika dan kimia di atmosfer dalam jumlah berlebih dan membahayakan manusia, hewan, dan tumbuhan yang dapat mengganggu estetika dan kenyamanan atau merusak kondisi wilayah sekitar. Pencemaran ini dapat disebabkan oleh alam atau kegiatan manusia.

Udara yang belum terpengaruh oleh kegiatan manusia mengandung sejumlah kecil partikulat, gas-gas organik (misalnya  $\text{NH}_4$ ), dan gas-gas anorganik (misalnya  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) yang biasanya dianggap sebagai polutan. Polutan ini selalu dapat ditemukan di udara, karena berasal dari proses alam. Belerang dioksida, misalnya, terbentuk dari oksidasi hidrogen sulfida secara alami. Kilatan halilintar menyebabkan nitrogen dan oksigen bereaksi membentuk oksida nitrogen. Aktifitas biologi pada senyawa nitrogen dalam tanah menghasilkan oksida nitrogen juga. Gunung berapi secara alami menyemburkan partikulat, hidrogen sulfida, dan belerang dioksida. Gas-gas ini tidak terakumulasi di udara, tetapi akan hilang secara alami. Proses alami ini menyebabkan udara relatif aman bagi kesehatan.

Jenis-jenis pencemaran udara umumnya berupa gas, diantaranya :

a. Karbon Monoksida (CO)

- 1) Tidak berwarna dan tidak berbau
- 2) Bersifat racun, karena dapat berikatan dengan hemoglobin  $\text{CO} + \text{Hb} \rightarrow \text{COHb}$
- 3) Kemampuan Hb untuk mengikat CO jauh lebih besar daripada  $\text{O}_2$ , sehingga darah kurang berfungsi sebagai pengangkut  $\text{O}_2$ .

b. Belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ )

- 1) Berasal dari gunung api, *industry pulp* dengan proses sulfit dan hasil pembakaran bahan bakar yang mengandung belerang (S)
- 2) Warna gas coklat
- 3) Bersifat racun bagi pernafasan, karena dapat mengeringkan udara

c. Oksida Nitrogen ( $\text{NO}$  dan  $\text{NO}_2$ )

- 1) Terjadi pada pembakaran nitrogen
- 2) Pembakaran bahan industry dan kendaraan bermotor
- 3) Terjadi pada lingkungan yang lembab
- 4) Oksida nitrogen dapat membentuk asam nitrat yang bersifat korosif.

d. Senyawa Karbon

- 1) Adanya penggunaan dari beberapa senyawa karbon di bidang pertanian, Kesehatan dan peternakan pada kelompok organoklor, diantaranya : insektisida, fungisida dan herbisida.
- 2) Senyawa hidrokarbon banyak dihasilkan pada proses kebakaran hutan, pembakaran bahan bakar (misalnya

minyak, kayu, dan batu bara) secara tidak sempurna, penyulingan minyak, pabrik petrokimia, penguapan pelarut organik, peruraian senyawa organik (terbentuk  $\text{CH}_4$ ).

- 3) Senyawa hidrokarbon aromatik, seperti benzena dan benzopirena dapat menyebabkan kanker pada hewan dan bersifat karsinogenik terhadap manusia. Senyawa hidrokarbon berperan besar pada reaksi fotokimia. Pada reaksi fotokimia, hidrokarbon bersama dengan  $\text{NO}_x$  dan  $\text{O}_2$  membentuk smog.

e. Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )

- 1) Gas hidrogen sulfida merupakan gas yang tidak berwarna dan berbau tidak enak, seperti bau telur busuk.
- 2) Gas ini banyak dihasilkan pada proses letusan gunung berapi, peruraian senyawa organik oleh bakteri anaerob, dan gas alam yang keluar bersama-sama dengan uap air panas dari perut bumi.
- 3) Gas ini juga dihasilkan pada proses industri (misalnya pabrik kertas) dan pengolahan limbah.

f. Logam berat

Logam berat meliputi timbal ( $\text{Pb}$ ), berilium ( $\text{Be}$ ), kadmium ( $\text{Cd}$ ), air raksa ( $\text{Hg}$ ), dan nikel ( $\text{Ni}$ ). Logam-logam ini perlu dipelajari secara khusus karena toksisitasnya yang tinggi terhadap manusia dan organisme lainnya.

Timbal di udara secara alami diakibatkan oleh sebaran debu dari tanah yang mengandung timbal (sekitar 16 ppm) ke udara. Logam  $\text{Pb}$  di udara juga berasal dari buangan pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor, pembakaran batu bara, dan industri cat. Logam  $\text{Cd}$  dihasilkan oleh industri

pupuk, cat, dan plastik. Air raksa atau Hg terdapat dalam limbah pembakaran batu bara dan arang. Logam Be dan Ni dihasilkan pada berbagai proses industri dan pembakaran batu bara.

Logam Pb dapat menyebabkan kerusakan otak, perubahan tingkah laku, dan kematian pada manusia. Berilium dapat menyebabkan kerusakan pada paru-paru, pembengkakan limpa, dan badan menjadi kurus.

Kadmium dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan paru-paru. Air raksa dapat menyebabkan tremor, kulit terkelupas, dan halusinasi. Nikel dapat menyebabkan dermatitis, pusing, sakit kepala, mabuk, dan kanker. Logam berat dapat berada di udara selama beberapa hari, tergantung dari ukuran partikelnya. Logam berat relatif tidak bereaksi selama di udara. Pengurangan kadar logam berat di udara disebabkan adanya pengendapan akibat air hujan dan grafitasi.

Secara umum polutan dapat menyebabkan udara bermuatan positif. Ion positif dapat menghambat gerakan bulu getar dan menyebabkan peningkatan viskositas permukaan tenggorokan. Peningkatan viskositas menyebabkan berkurangnya sensitifitas tenggorokan dan menurunnya kemampuan bagian tubuh kita tersebut untuk menolak partikulat sehingga partikulat sulit untuk keluar dari tenggorokan. Ion positif juga dapat menyebabkan kecemasan, depresi, dan lemah mental. Polutan udara tidak hanya bersifat toksik, tetapi juga dapat melemahkan mekanisme daya tahan tubuh.

## **2. Pencemaran Air**

Pencemaran air merupakan suatu perubahan situasi di suatu wilayah penampungan air, seperti danau, sungai, lautan dan air tanah dikarenakan adanya aktivitas manusia

yang merupakan suatu bagian dari siklus hidrologi. Pada aktivitas kegiatan selain mengalirkan air, juga mengalirkan sedimen dan polutan.

Parameter kualitas air sungai yang diteliti ialah Total Suspended Solid (TSS), Biological Oxygen Demand (BOD), dan Chemical Oxygen Demand (COD).

TSS adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak larut dan tidak dapat langsung mengendap. Padatan tersuspensi akan dapat mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam air, sehingga akan mempengaruhi regenerasi oksigen dan fotosintesis (Kristanto. 2002).

BOD merupakan salah satu parameter indikator pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik. BOD adalah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik oleh mikroorganisme aerobik sehingga menjadi bentuk anorganik yang stabil. Keberadaannya di lingkungan sangat ditentukan oleh limbah organik, baik yang berasal dari limbah rumah tangga maupun limbah industri. Rumah tangga dan industri adalah sumber utama limbah organik dan merupakan penyebab utama tingginya BOD (Bapedal. 2002).

COD merupakan salah satu parameter indikator pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik. COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik yang ada dalam air dengan menggunakan oksidator kalium dikromat. Keberadaan COD di lingkungan sangat ditentukan oleh limbah organik, baik yang berasal dari limbah rumah tangga dan industri (Bapedal. 2002).

Bahan pencemar air yang paling berbahaya adalah air raksa. Senyawa-senyawa air raksa, berasal dari pabrik kertas, lampu merkuri. Karena pengaruh bakteri anaerob garam

anorganik Hg dengan adanya senyawa hidrokarbon akan bereaksi membentuk senyawa dimetil merkuri,  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  yang larut dalam air tanah dan masuk dalam rantai makanan yang akhirnya dimakan oleh manusia. Energi panas juga dapat menjadi bahan pencemar air, misalnya penggunaan air sebagai pendingin dalam proses di suatu industri atau yang digunakan pada reaktor atom, menyebabkan air menjadi panas. Air yang menjadi panas, selain mengurangi kelarutan oksigen dalam air juga dapat berpengaruh langsung terhadap kehidupan dalam air.

Beberapa hal yang dapat menyebabkan pencemaran air, yaitu :

- a. Menurunnya nilai pH air dapat memperbesar sifat korosi air pada logam besi dan dapat mengakibatkan terganggunya kehidupan organisme air.
- b. Kenaikan suhu air dapat mengakibatkan kelarutan kadar oksigen berkurang.
- c. Adanya pembusukan zat-zat organik yang dapat menyebabkan perubahan warna, bau dan rasa.
- d. Syarat air sehat yaitu tidak berbau, tidak berasa, nilai DO tinggi dan BOD rendah.

### **3. Pencemaran Tanah**

Pencemaran tanah adalah keadaan bahan kimia akibat perbuatan manusia dan mengubah lingkungan alami yang terjadi karena kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial, penggunaan pestisida, masuknya air permukaan tanah tercemar ke dalam lapisan sub-permukaan, kecelakaan kendaraan pengangkut minyak, air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah dan tidak memenuhi syarat. Adanya bahan-bahan sintetik yang tidak



dapat dihancurkan oleh mikroorganisme seperti plastic dapat menyebabkan pencemaran tanah. Begitu pula untuk pembuangan zat kimia yang mencemarkan tanah sekaligus dapat merusak tanah.

Menurut Peraturan Pemerintah No. 150 Tahun 2000, Pencemaran tanah adalah keadaan dimana bahan kimia buatan manusia tidak dapat di hancurkan oleh mikroorganisme lalu masuk dan merubah lingkungan tanah yang alami.

Sumber pencemaran tanah dapat terjadi baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Pencemaran yang terjadi secara langsung dibagi menjadi dua faktor internal yaitu pencemaran yang ditimbulkan dari alam contohnya letusan gunung, bencana banjir. Faktor eksternal yaitu pencemaran yang diakibatkan oleh aktivitas manusia. Limbah yang bersumber dari aktivitas manusia itu sendiri disebut *anthropogenic pollutants*. Contoh pencemaran yang bersumber dari kegiatan manusia itu sendiri seperti :

- a. Pertanian dengan pemberian pupuk secara berlebihan
- b. Pemberian pestisida atau insetisida
- c. Kegiatan industri yaitu pembuangan limbah yang tidak diolah terlebih dahulu.
- d. Kegiatan rumah tangga yaitu sampah domestik.
- e. Kegiatan pertambangan
- f. Tinja manusia maupun hewan

Pencemar yang masuk ke dalam tanah mengakibatkan racun di tanah, yang berdampak langsung kepada manusia ketika bersentuhan atau dapat mencemari air tanah dan udara di atasnya. Komponen pencemar tanah meliputi kertas 4 %, limbah bahan makanan 21%, gelas 12 %, besi 10 %, plastik 5 %, kayu 5 %, karet dan kulit 3 %, kain/serat tekstil

2 % dan terakhir adalah aluminium dan logam lain 1 %.

Perbedaan tanah tercemar dan tanah tidak tercemar, jika tanah tercemar memiliki ciri diantaranya :

- 1) Tanah tidak subur
- 2) Mengeluarkan bau busuk
- 3) Kering,
- 4) Terdapat logam pH dapat dibawah 6 atau diatas 8 sehingga tanah tersebut menjadi basa dan terjadi perubahan komposisi tanah.

Tanah yang tidak tercemar memiliki ciri, diantaranya :

- 1) Tidak berbau busuk
- 2) Subur
- 3) Gembur
- 4) Tidak ada logam di dalam tanah, pH tanah normal antara pH 6 dan 8,
- 5) Warna hitam gelap dan tidak mengalami perubahan komposisi tanah.

Limbah yang bersumber dari aktivitas manusia itu sendiri disebut anthropogenic pollutants. Contoh pencemaran yang bersumber dari kegiatan manusia itu sendiri seperti pertanian dengan pemberian pupuk secara berlebihan, pemberian pestisida atau insektisida, kegiatan industri yaitu pembuangan limbah yang tidak diolah terlebih dahulu dan lain lain. Pencemaran yang diakibatkan secara tidak langsung yaitu pencemaran tanah memiliki hubungan yang sangat erat dengan pencemaran udara maupun pencemaran air. Pencemaran tanah ini mengakibatkan putusnya rantai makanan.

Organisme yang ada didalam tanah/biota tanah baik yang

berukuran mikro maupun berukuran makro dapat terganggu, sehingga mereka akan mati atau pergi mencari habitat yang baru. Organisme tersebut dapat hidup dan berkembang biak pada pH 6,5 – 8,5, dengan kelembaban yang tinggi dan suhu yang nyaman bagi organisme tersebut.

Kerusakan tanah akibat adanya kegiatan industri pada daerah sekitarnya memberikan peluang terjadinya penurunan kesuburan tanah dan bahkan dapat menjadi racun bagi tanaman. Didalam tanah sudah mengandung logam, apabila logam berat diberikan pada tanah dalam jumlah berlebih akan menimbulkan proses pencemaran tanah.

# BAB 2

## PENGENALAN EKOSISTEM, TEKNOLOGI DAN DAMPAKNYA

---

**Baiq Inggar Linggarweni,SP.,M.Sc**  
Universitas Islam Al-Azhar Mataram

Bila kita mengamati lingkungan sekitar dengan seksama, maka kita akan sadar bahwa di lingkungan kita terdapat bermacam-macam benda, seperti batu, air, pohon, dan burung. Dari bermacam benda yang kita lihat tersebut, kita dapat menyadari bahwa manusia di dunia ini tidak hidup sendiri tetapi selalu ditemani oleh benda-benda di sekitar kita. Benda-benda di lingkungan kita dapat di bedakan menjadi dua komponen utama yaitu ekosistem abiotik (benda mati) dan ekosistem botik (benda hidup).

### **A. Pengenalan Ekosistem**

---

Selalu terjadi interaksi secara timbal balik antara organisme dengan lingkungannya. Interaksi timbal balik ini membentuk suatu system yang kemudian dikenal sebagai system ekologi atau ekosistem. Dapat dikatakan bahwa ekosistem merupakan suatu satuan fungsional dasar yang menyangkut proses interaksi organisme hidup dengan lingkungannya. Lingkungan dapat berupa lingkungan biotik (makhluk hidup) maupun abiotik (makhluk tak hidup). Di dalam suatu ekosistem selalu dijumpai proses innteraksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya, antara lain dapat berupa adanya aliran energy, rantai makanan, siklus biogeokimiawi, perkembangan dan pengendalian.

Ekosistem juga dapat didefinisikan sebagai suatu satuan

lingkungan yang melibatkan unsur-unsur biotic (jenis-jenis makhluk) dan factor-faktor fisik (air, iklim dan tanah) serta kimia (keasaman dan salinitas) yang saling berinteraksi satu sama lain.

Berbagai konsep ekosistem pada dasarnya sudah mulai dirintis oleh beberapa pakar ekologi. Pada tahun 1877, Karl Mobius (jerman) memakai istilah biocoenosis. Kemudian pada tahun 1887, S.A. Forbes (amerika) memakai istilah mikrokosmos. Sedangkan di rusia pada awalnya lebih banyak menggunakan istilah biocoenosis ataupun geobiocoenosis. Istilah ekosistem ini pertama kali diperkenalkan oleh seorang pakar ekologi dari inggris, A.G. Tansley pada tahun 1935, sehingga istilah ekosistem lebih sering digunakan dan diterima secara luas sampai saat ini.

## **1. Struktur Ekosistem**

Apabila kita memasuki suatu ekosistem, baik itu ekosistem daratan maupun ekosistem perairan maka akan dijumpai 2 macam organisme hidup yang merupakan komponen biotic ekosistem. Kedua jenis biotic ekosistem tersebut adalah:

- a. Autotrofik, terdiri dari organisme yang mampu menghasilkan makanan (energy) dari bahan-bahan anorganik dengan proses fotosintesis ataupun kemosintesis. Organisme ini tergolong mampu memenuhi kebutuhan dirinya sendiri dan disebut sebagai Produsen.
- b. Heterotrofik, terdiri dari organisme yang menggunakan, mengubah, atau memecah bahan organik kompleks yang telah ada yang dihasilkan oleh komponen autotrofik. Organisme ini disebut konsumen baik itu makrokonsumen maupun

mikrokonsumen.

Secara structural ekosistem mempunyai 6 komponen sebagai berikut:

- a. Bahan anorganik yang meliputi C,N,CO<sub>2</sub>,H<sub>2</sub>O dan lain-lain. Bahan-bahan ini dapat mengalami daur ulang.
- b. Bahan organik yang meliputi karbohidrat, lemak, protein, bahan humus, dan lain-lain. Bahan-bahan organik ini merupakan penghubung antara komponen biotik dan abiotik
- c. Kondisi iklim yang meliputi factor-faktor iklim, misalnya angin, curah hujan dan suhu
- d. Produsen adalah organisme-organisme autotrof, terutama tumbuhan hijau daun (berklorofil). Organisme-organisme ini mampu bertahan hidup hanya dengan bahan anorganik karena organisme ini mampu menghasilkan makannya sendiri yaitu dengan proses fotosintesis. Ada juga bakteri kemosintetik yang juga mampu menghasilkan energy kimia melalui reaksi kimia, akan tetapi peranan bakteri kemosintetik ini tidak begitu besar jika dibandingkan dengan tumbuhan fotosintetik.
- e. Makrokonsumen adalah organisme heterotrof, terutama hewan-hewan seperti kambing, ular, serangga dan udang. Organisme ini hidupnya sangat bergantung pada organisme lain dan makanannya adalah bahan organik.
- f. Mikrokonsumen adalah organisme heterotrof, saprotrof dan osmotrof terutama bakteri dan fungi. Organisme inilah yang memecah bahan organik yang berupa sampah dan bangkai organisme lain dan menguraikannya sehingga terurai menjadi bahan

anorganik. Organisme kelompok ini disebut sebagai organisme pengurai atau dekomposer.

Komponen 1, 2 dan 3 merupakan komponen abiotik/nonbiotik atau komponen yang tidak hidup, sedangkan komponen 4,5 dan 6 merupakan komponen yang hidup atau komponen biotik.

Secara fungsional ekosistem dapat dipelajari menurut 6 proses yang berlangsung di dalamnya yaitu:

- a. Lintasan atau aliran energi
- b. Rantai makanan
- c. Pola keragaman berdasar waktu dan ruang
- d. Daur ulang (siklus) biogeokimiawi
- e. Perkembangan dan evolusi
- f. Pengendalian atau sibernetika

Konsep ekosistem merupakan konsep yang luas dan merupakan konsep dasar dalam ekologi. Konsep ini menekankan pada hubungan timbal balik dan saling keterkaitan antara organisme hidup dengan lingkungannya.

Semua ekosistem mempunyai struktur umum yang sama, yaitu tersusun dari 6 komponen tersebut dan adanya interaksi antara keenam komponen tersebut. Baik itu ekosistem alami (daratan, perairan) maupun ekosistem buatan (pertanian, perkebunan).

Sering kita alami bahwa proses autotrofik dan heterotrofik serta organisme yang bertanggung jawab atas berbagai proses nya terpisah (secara tidak sempurna) baik menurut ruang dan waktu. Contohnya yaitu di hutan proses autotrofik yaitu fotosintesis lebih banyak terjadi di bagian kanopi, sedangkan proses heterotrofik lebih banyak terjadi di permukaan lantai hutan (hal ini terpisah berdasar ruang).

Proses autotrofiknya terjadi pada siang hari, sedangkan proses heterotrofiknya dapat terjadi di siang maupun malam hari (terpisah berdasar waktu).

Adanya pemisahan tersebut juga dapat dilihat pada ekosistem perairan, lapisan permukaan yang dapat ditembus oleh sinar matahari merupakan lapisan autotrofik, dalam lapisan ini proses autotrofik yang paling dominan, sedangkan lapisan yang tidak bisa ditembus sinar matahari merupakan lapisan heterotrofik.

Dengan adanya pemisahan berdasarkan ruang dan waktu maka lintasan energy juga dibedakan menjadi 2 yaitu:

- a. Lintasan merumput (*grazing circuit*) meliputi proses yang melalui konsumsi langsung terhadap tumbuhan hidup atau bagian tumbuhan hidup ataupun organisme hidup lainnya.
- b. Lintasan detritus organik (*organic detritus circuit*) meliputi akumulasi dan penguraian sampah serta bangkai.

## **B. Tipe Ekosistem**

---

Untuk mengenal tipe ekosistem digunakan ciri komunitas yang paling menonjol. Untuk ekosistem daratan biasanya digunakan komunitas tumbuhan atau vegetasinya karena wujud vegetasi merupakan pencerminan dari interaksi antara tumbuhan, hewan, dan lingkungannya.

Di Indonesia terdapat 4 kelompok ekosistem utama yaitu (1) ekosistem bahari, (2) ekosistem darat alami, (3) ekosistem suksesi, (4) ekosistem buatan.

### **1. Kelompok ekosistem bahari**

Ekosistem bahari dapat dikelompokkan ke dalam ekosistem yang lebih kecil lagi, yaitu ekosistem laut dalam, pantai pasir dangkal, terumbu karang, pantai batu dan pantai



lumpur. Dalam setiap ekosistem yang termasuk dalam ekosistem bahari ada perbedaan dalam komponen penyusunnya baik biotik maupun abiotik.

## **2. Kelompok ekosistem darat alami**

Pada ekosistem darat alami di Indonesia terdapat 3 bentuk vegetasi utama yaitu: (1) vegetasi pamah (*lowland vegetation*), (2) vegetasi pegunungan dan (3) vegetasi monsun.

Vegetasi pamah merupakan bagian terbesar hutan dan mencakup kawasan yang paling luas di Indonesia, terletak pada ketinggian 0-1000 m. vegetasi pamah terdiri dari vegetasi rawa dan vegetasi darat. Vegetasi rawa terdapat di tempat yang selalu tergenang air dan membentuk urutan yang menerus dari air terbuka sampai hutan campuran. Di Indonesia terdapat beberapa bentuk vegetasi rawa bergantung pada kedalaman, salinitas dan kualitas air, serta kondisi drainase dan banjir. Beberapa contoh vegetasi pamah adalah hutan bakau, hutan rawa air tawar, hutan tepi sungai, hutan rawa gambut dan komunitas danau.

Vegetasi pegunungan dapat di klasifikasikan menjadi hutan pegunungan, padang rumput, vegetasi terbuka pada lereng berbatu, vegetasi rawa gambut dan danau serta vegetasi alpin.

Vegetasi monsun terdapat di daerah yang beriklim kering musiman dengan  $Q > 33,3 \%$  dan evapotranspirasi melebihi curah hujan yang umumnya kurang dari 1500 mm/tahun. Jumlah hari hujan selama empat bulan terkering berturut-turut kurang dari 20. Musim kemarau pendek sampai kemarau panjang terjadi pada pertengahan tahun. Contoh monsun adalah hutan monsun, savanna dan padang rumput.

### **3. Kelompok ekosistem suksesi**

Ekosistem suksesi adalah ekosistem yang berkembang setelah terjadi kerusakan ekosistem alami yang terjadi karena peristiwa alami maupun karena kegiatan manusia atau bila ekosistem buatan tidak dirawat dan dibiarkan berkembang sendiri menurut kondisi alaminya. Ekosistem ini dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu (1) ekosistem suksesi primer dan (2) ekosistem suksesi sekunder.

Ekosistem suksesi sekunder berkembang pada substrat baru seperti permukaan tanah terbuka yang sudah ditinggalkan lama, tanah longsor atau pemapasan tanah untuk penambangan dan pembuatan jalan, timbunan abu atau lahar yang dimuntahkan oleh letusan gunung berapi, timbunan tanah bekas galian, endapan pasir pantai dan endapan lumpur di tepi danau dan tepi sungai atau muara.

Ekosistem suksesi sekunder berkembang setelah ekosistem alami rusak total tetapi tidak terbentuk substrat baru yang diakibatkan khususnya oleh kegiatan manusia seperti penebangan hutan dan pembakaran. Ekosistem ini juga dapat berkembang dari ekosistem buatan yang ditinggalkan kemudian berkembang secara alami seperti yang terjadi pada ladang berpindah atau system rotasi yang meninggalkan lahan garapan setelah 2 atau 3 kali panen.

### **4. Kelompok ekosistem buatan**

Di samping ekosistem alam ada ekosistem buatan manusia, seperti danau, sawah tadah hujan, sawah irigasi, sawah rawa, kebun pekarangan, kolam dan lain-lain.

## **C. Contoh Ekosistem**

---

### **1. Ekosistem Kolam**

Kolam merupakan salah satu contoh ekosistem yang sederhana, sehingga sangat mudah dipelajari dan sangat

sesuai untuk dipelajari oleh pemula, meskipun demikian kolam merupakan ekosistem yang sempurna, lengkap dengan ke enam komponen serta proses-prosesnya.

Dalam suatu kolam dapat kita amati komponen-komponennya sebagai berikut:

a. Komponen abiotik

Komponen abiotik meliputi materi anorganik dan organik yang terlarut dalam air yaitu  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , Ca, dan N, garam-garam fosfat, asam amino, humus dan lain-lain. Sebagian unsur hara yang penting terdapat dalam bentuk terlarut, sehingga dapat dengan cepat diserap oleh organisme. Akan tetapi sebagian besar unsur tersebut mengendap di sedimen di dasar kolam. Laju pembebasan unsur hara dari bentuk padat ke bentuk yang terlarut, masuknya cahaya ke dalam kolam, fluktuasi suhu dan kisaran iklim merupakan proses yang penting dan mengatur kecepatan fungsi atau metabolisme ekosistem kolam.

b. Produsen

Produsen yang terdapat di dalam kolam meliputi:

- 1) Tumbuhan berakar atau mengapung (biasanya hanya pada kolam dangkal atau pada bagian yang dangkal)
- 2) Fitoplankton (algae) merupakan produsen utama di perairan. Adanya fitoplankton inilah yang menyebabkan air kolam berwarna kehijauan.

c. Makro konsumen

Makro konsumen terdiri dari beberapa jenis hewan, misalnya larva serangga, *crustacean* (udang-udangan) dan ikan. Konsumen primer memakan langsung tumbuhan hidup, ada dua macam yaitu zooplankton (memakan fitoplankton) dan bentos (hewan yang hidup di dasar perairan). Konsumen sekunder misalnya serangga dan ikan, akan memakan

konsumen primer. Di samping itu ada konsumen yang memakan *detritus* (sampah)

d. *Saprotrof* atau organisme pengurai (mikro konsumen)

Saprotrof terdiri dari bakteri akuatik, flagelata, dan fungi. Organisme terdapat di permukaan sedimen di dasar kolam.

## 2. Ekosistem padang rumput

Kolam merupakan salah satu contoh ekosistem perairan, sedangkan kolam merupakan salah satu contoh ekosistem daratan. Salah satu perbedaan yang mencolok antara ekosistem perairan dan daratan adalah pada jenis produsennya.

Di ekosistem perairan, produsen utamanya adalah fitoplankton yang berukuran mikroskopik. Produsen di perairan adalah tumbuhan air, yang bentuk tubuhnya kecil, lemah tanpa jaringan penguat sehingga biomasnya kecil. Sedangkan di daratan kita jumpai produsen yang bentuk tubuhnya besar, bahkan berupa pohon dengan jaringan penguat yang kokoh, sehingga biomasnya besar.

Pada ekosistem padang rumput komponen-komponen ekosistemnya sebagai berikut:

a. Produsen

Pada ekosistem padang rumput dapat kita jumpai produsen seperti rumput herba, yang merupakan tumbuhan berakar.

b. Makro konsumen

Makro konsumen yang ada pada ekosistem padang rumput antara lain serangga, cacing, burung dan mamalia. Konsumen primer (herbivora) dapat berupa serangga dan mamalia. Konsumen sekunder berupa laba-laba dan ular. Sedangkan cacing, arthropoda tanah, dan siput darat merupakan pemakan sampah atau sisa-sisa bahan organik.

c. Mikro konsumen

Mikro konsumen pada ekosistem padang rumput terutama berupa bakteri dan fungi

d. Komponen abiotik

Komponen abiotik yang ada pada ekosistem padang rumput, misalnya air, udara, tanah dengan kandungan hara serta bahan organik.

Setelah memahami perbedaan kedua ekosistem tersebut (kolam dan padang rumput) sangat jelas bahwa meskipun penyusun masing-masing komponen ekosistem berbeda tetapi peranannya sebagai komponen ekosistem tetap sama.

#### **D. Toleransi Spesies Terhadap Faktor Abiotik**

---

Suatu spesies organisme tidak dapat hidup tersebar di mana-mana karena spesies tersebut mempunyai batas toleransi tertentu terhadap suatu variasi kondisi fisik dan kimia tertentu. Pada setiap individu hewan dalam satu populasi dapat terjadi perbedaan toleransi karena adanya perbedaan genetik, umur dan status kesehatan. Misalkan perbedaan daya tahan terhadap panas atau toksik kimiawi suatu individu ikan akan berbeda dengan individu lainnya dalam satu populasi.

Pada suatu kondisi optimum (misalnya suhu optimum) dari faktor abiotik, terdapat sejumlah organisme yang dapat hidup secara normal. Di bawah atau di atas suhu optimum juga masih ditemukan organisme yang hidup normal walaupun dalam jumlah yang sedikit. Keberadaan populasi dan distribusi dari suatu spesies organisme dalam suatu ekosistem bergantung pada daya toleransi spesies tersebut terhadap satu atau beberapa faktor fisik maupun kimiawi dalam ekosistem tersebut.

Suatu spesies mempunyai batas toleransi yang lebih lebar daripada spesies lainnya. Hampir semua organisme dalam satu spesies kurang toleran pada saat masih muda atau salah satu fase reproduksi dari daur hidupnya. Misalnya saja ikan koi dapat hidup normal pada suhu antara  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $34^{\circ}\text{C}$ . beberapa spesies hewan dapat beradaptasi dengan dengan batas toleransi terhadap faktor fisik seperti suhu jika diekspose perubahan suhunya secara perlahan. Adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang baru dinamakan aklimatisasi yang digunakan sebagai alat pencegahan dari pengaruh negatif terhadap faktor fisik atau kimia alam lingkungan yang baru. Proses aklimatisasi tersebut tidak mempunyai evolusi adaptasi sehingga proses tersebut tidak dapat diturunkan kepada generasi berikutnya.

Beberapa permasalahan timbul bila terjadi pencemaran dalam kurun waktu tertentu. Beberapa jenis pohon dalam hutan menjadi layu dan mati setelah terjadi pencemaran udara dalam kurun waktu yang cukup lama seperti yang terjadi di daratan Eropa dan Amerika Utara yang terjadi pada kurun waktu 10-20 tahun dan terlambat untuk mencegah akibat yang ditimbulkan dari pencemaran tersebut. Pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan mencegah jangan sampai unsur polutan dapat melebihi ambang batas tempat spesies pohon dapat bertahan hidup.

Perubahan faktor abiotik baik secara alamiah maupun karena perbuatan manusia yang telah melebihi ambang batas toleransi ekosistem biotik disebut sebagai pencemaran atau polusi. Polusi dapat berupa faktor fisik (suhu, debu dan sebagainya) maupun kimiawi (unsur/senyawa kimiawi) yang mencemari udara maupun air dalam suatu ekosistem. Perubahan faktor abiotik yang melampaui ambang batas toleransi dari komponen biotik dapat mengakibatkan

musnahnya suatu spesies biotik yang hidup dalam lingkungan yang bersangkutan. Suatu faktor kimia dapat berpengaruh terhadap perubahan faktor fisik dalam ekosistem abiotik, begitupun sebaliknya misalnya pemanasan global karena timbulnya lubang ozon yang diakibatkan oleh reaksi kimiawi antara Cl an  $O_3$  sehingga ozon diubah menjadi  $O_2$  yang mengakibatkan jumlah  $O_3$  di atmosfer akan berkurang.

### **E. Teknologi dan Dampaknya**

---

Pencemaran berlangsung di mana-mana dengan laju yang begitu cepat dan tidak pernah terjadi sebelumnya. Kecenderungan pencemaran mengarah ke 2 hal yaitu: 1) ke arah pembuangan senyawa-senyawa kimia tertentu yang semakin meningkat, terutama pembakaran minyak bumi secara nyata saat ini sudah merubah system alami pada skala global. 2) ke arah meningkatnya penggunaan bahan berbahaya beracun (B3) oleh berbagai kegiatan industri dengan pembuangan limbahnya ke lingkungan. Oleh sebab itu timbul masalah yang bersifat global antara lain pemanasan global, hujan asam (*acid rain*), menipisnya lapisan ozon dan sebagainya.

Pembangunan yang banyak dilakukan secara besar-besaran di Indonesia dapat membawa dampak negative terhadap lingkungan hidup. Pengaliran busa deterjen ke Laut Jawa akan membahayakan kehidupan ikan sampai ke laut banda, pendangkalan bendungan air seperti jatiluhur atau karangkates pengotoran udara kota Jakarta dan kota besar lainnya karena asap beracun pada kendaraan bermotor, pencemaran debu di gresik, pencemaran sungai-sungai besar yang mengalir kota-kota yang merupakan sumber air dan masih banyak contoh pencemaran akibat perbuatan manusia.

Pencemaran lingkungan tampak jelas seperti timbunan sampah dipasar-pasar, pendangkalan sungai karena penuh kotoran, dan asap knalpotasap pabrik yang menyebabkan sesak nafas. Teetaapi ada juga yang kurang nampak seperti terlepasnya gas hidrogen sulfida dari sumber minyak tua. Begitu jga dengan music yang memekakkan telinga yang keluar dari peralatan elektronik modern, ion fosfat daalam limbah pabrik merupakan pencemar, tetapi dapat berfungsi sebagaipupuk organik bagi tanaman

Masalah lain yang juga terjadi secara global yaitu penyalahgunaan zat-zat aditif seperti ganja, heroin, amfetamin dan yang lain dengan semua dampak yang ditimbulkannya. Peredaran bahan-bahan berbahaya tersebut semakin meningkat, Indonesia sudah menjadi target utama pemasaran. Penyalahgunaan bahan-bahan tersebut sudah dalam tahap mengkhawatirkan.

Hutan atau semak yang dibakar dan dikelola oleh manusia akan berubah fungsi menjadi lahan pertanian seperti perkebunan kelapa sawit, perkebunan cengkeh maupun lahan pertanian tanaman pangan seperti jagung dan sayuran, maka akan tercipta suatu lingkungan baru yang disebut ekosistem buatan atau ekosistem pertanian. Dalam ekosistem ini pertumbuhan dan perkembangan tanaman dan fauna (serangga hama, musuh alamidan hewan lainnya) akan banyak tergantung pada campur tangan manusia dalam mengelola habitat tersebut sebagai lahan pertanian. Lahan akan dibajak dan dicangkul, dibuatkan bedengan, ditanami dengan tanaman sayuran atau jagung dan padi, kemudian dipupuk, disemprot dengan pestisida,dipangkas, dibersihkan baru kemudian dipanen. Proses tersebut akan membentuk suatu ekosistem pertanian yang bersifat labil karena setiap saat ada campur tangan manusia yang akan membuat habitat



dapat berubah-ubah setiap saat. Maka dari itu dikatakan bahwa ekosistem pertanian menjadi suatu bentuk lingkungan yang tidak stabil karena secara terus menerus dimanipulasi oleh manusia. Maka dalam ekosistem pertanian inимempunyai rantai makanan yang lebih sederhana karena hanya mempunyai satu atau beberapa jenis tanaman utama dibandingkan dengan ekosistem alami yang biasanya terdiri dari banyak jenis flora dan fauna.

Bentuk kesederhanaan ini membuat sifat dari ekosistem pertanian kurang stabil dan lebih banyak dikuasai oleh organisme-organisme yang r-seleksi. Organisme yang r-seleksi ini adalah jenis-jenis organisme yang mempunyai daya reproduksi yang tinggi, tetapi daya kompetisinya rendah contohnya adalah serangga kutu daun dan rumput-rumputan.

Karena adanya campur tangan manusia dalam ekosistem pertanian inilah yang membuat ekosistem ini perlu mendapat suatu perhatian khusus dengan cara pengelolaan yang lebih tepat. Dengan adanya campur tangan manusia maka dalam ekosistem tersebut akan terjadi pengaruh-pengaruh sampingan yang akan merugikan manusia seperti pencemaran lingkungan, erosi, banjir dan lain-lain. Campur tangan manusia dalam ekosistem pertanian ini banyak merubah secara total sifat-sifat fisik dan biotis dari habitat tersebut melalui pemupukan, pengairan, penggunaan pestisida, dan praktik-praktik lainnya. Dasar-dasar pengembangan ekosistem mengandung hubungan yang penting antara manusia dan alam. Adanya strategi untuk mencapai proteksi lingkungan yang maksimal kadang-kadang bertentangan dengan tujuan utama untuk mendapatkan produksi pertanian yang maksimal. Maka proses peningkatan produksi tanpa menghiraukan

konsekuensi-konsekuensinya akan dapat menghasilkan pengrusakan terhadap ekosistem itu sendiri, sehingga bukannya mendapatkan keuntungan malah akan mendapatkan kerugian dan masalah-masalah yang lebih serius.

Odum (1971) mengemukakan bahwa ekologi pertanian bertujuan untuk mempelajari proses-proses dalam suatu ekosistem pertanian melalui usaha manusia serta berbagai akibat yang terjadi karena perubahan-perubahan dalam ekosistem tersebut. Maka proses tersebut juga termasuk kerusakan-kerusakan yang belum terlihat.

Dalam sistem pertanian modern perlindungan tanaman merupakan suatu masalah yang cukup rumit dan kompleks karena adanya masukan-masukan dengan teknologi modern untuk menaikkan produksi pertanian. Perkembangan teknologi pertanian dengan cara pemupukan, irigasi, pengolahan tanah, pengendalian hama dan penyakit yang memang dapat meningkatkan hasil, tetapi di samping itu pula telah banyak memberikan pengaruh sampingan yang merugikan lingkungan antara lain adalah:

1. Pemupukan yang memberikan hasil tanaman yang lebih besar dan lebih rimbun kadang-kadang terbukti menjadi lebih peka terhadap serangan hama atau penyakit dibandingkan dengan tanpa pemupukan
2. Irigasi bisa juga merangsang perkembangan hama dan penyakit karena irigasi dapat meningkatkan kelembaban tanah menjadi lebih merata. Irigasi dapat meningkatkan keelembaban, sehingga menjadi rawan terhadap infeksi patogen seperti bakteri dan jamur
3. Pengelolaan tanah, juga dapat merangsang patogen-patogen yang hidup dalam tanah. Dapat mempercepat

proses erosi terutama di lokasi yang mempunyai kemiringan yang tinggi.

4. Pemupukan dapat meningkatkan kesuburan lahan tetapi pemupukan secara terus menerus dapat membunuh mikroorganisme tanah yang berfungsi untuk merombak bahan-bahan organik.
5. Penanaman terus menerus juga dapat merangsang peningkatan populasi serangga, jamur dan nematoda yang hidup dalam tanah serta mengurangi kesuburan tanah.
6. Kepadatan tanaman yang tinggi juga dapat memberikan perubahan terhadap lingkungan sekitar tanaman dan merangsang perkembangan hama dan penyakit
7. Pengendalian hama dengan pestisida secara terus menerus dapat mengakibatkan serangga dan patogen penyakit mengembangkan kekebalan, sehingga organisme-organisme ini dapat berkembang dengan pesat, membunuh musuh alami (parasitoid dan predator) sehingga dapat mengakibatkan ledakan populasi dalam masa tanam berikutnya
8. Pengendalian hama dengan pestisida dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan secara umum, seperti pencemaran air, tanah, udara, dan produksi pertanian. Penggunaan pestisida yang berlebihan akan mengganggu keragaman hayati dalam ekosistem pertanian
9. Pembukaan sawah atau ladang baru membuat penyederhanaan ekosistem yang secara langsung maupun tidak langsung dapat menyebabkan timbulnya hama atau penyakit baru serta hilangnya keragaman hayati

Selain hal-hal di atas, bahan pencemar seperti pestisida dan senyawa-senyawa logam berbahaya serta bahan pencemar lainnya telah menyebar secara luas telah masuk ke dalam lingkungan dan ada beberapa pengaruh sebagai berikut:

1. Biomagnifikasi atau bioakumulasi, zat racun seperti logam berbahaya khususnya logam berat dan pestisida dapat masuk ke dalam tingkatan tropik, melalui proses tersebut konsentrasi zat racun meningkat secara eksponensial
2. Emisi karbon dioksida menyebabkan asidifikasi lautan dan menurunkan pH dengan larutnya  $\text{CO}_2$
3. Emisi gas rumah kaca mengakibatkan terjadinya pemanasan global yang dapat mempengaruhi berbagai ekosistem
4. Spesies invasif akan dapat berkompetisi dengan spesies alami dan menurunkan keragaman hayati
5. Nitrogen oksida keluar dari udara oleh air hujan dan memupuk tanah yang akan merubah komposisi spesies suatu ekosistem
6. Asap dan kabut dapat menurunkan jumlah sinar matahari yang diterima oleh tumbuhan untuk melakukan fotosintesis yang dapat mengakibatkan produksi lapisan ozon troposferik yang dapat merusak tumbuhan
7. Lahan dapat menjadi tidak subur dan tidak sesuai lagi untuk pertumbuhan tanaman dan akan mempengaruhi organisme lain dalam jaringan makanan
8. Sulfur dioksida dan nitrogen oksida dapat menyebabkan terjadinya hujan asam yang dapat

menurunkan pH tanah

Spesies invasif menjadi salah satu permasalahan utama di Indonesia termasuk salah satunya di Sulawesi Utara di mana terjadi ledakan hama baru yang menyerang tanaman tomat, pepaya dan pakis haji. Tanaman tomat diserang oleh penggorok daun *Liriomyza sativae* (Diptera; Agromysidae) dan *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) sejak awal tahun 2000-an dan kini menjadi hama utama pada tanaman tomat. Tanaman pepaya mulai terserang hama baru *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) sejak tahun 2010, sedangkan pakis haji diserang hama baru yaitu *Aleurodicus yasumatsui* (Homoptera: Pseudococcidae) dan *Lilioceris castaneum* (Coleoptera; Chrysomelidae) sejak tahun 2013. Hama-hama baru ini masuk ke Indonesia karena perubahan iklim akibat dari pemanasan global sehingga menggeser hama lain atau menemukan inang baru dalam lingkungan baru.

## **F. Kesadaran Lingkungan**

---

Manusia dan lingkungan hidupnya terdapat hubungan timbal balik. Manusia mempengaruhi lingkungan hidupnya, dan sebaliknya manusia dipengaruhi oleh lingkungan hidupnya. Manusia ada di dalam lingkungan hidupnya dan tidak dapat terpisahkan. Eksistensinya terjadi sebagian karena sifat-sifat keturunannya dan sebagian lagi karena lingkungan hidupnya. Interaksi antara manusia dengan lingkungannya telah membentuk hubungan yang tidak terpisahkan. Antara lingkungan hidup dengan manusia terdapat hubungan yang dinamis. Perubahan ddalam lingkungan akan menyebabkan perubahan kelakuan manusia untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang baru.

Dengan adanya hubungan dinamis sirkuler antara manusia dengan lingkungannya dapat dikatakan bahwa hanya dalam lingkungan yang baik, manusia dapat berkembang secara maksimal. Dan hanya dengan manusia yang baik lingkungan hidup dapat berkembang ke arah yang optimal. Karena itu betapa pentingnya pembinaan lingkungan hidup.

Perkembangan dunia modern yang begitu cepat akan mengakibatkan degradasi sumber daya alami dengan cepat. Perubahan ini dengan sendirinya akan mengakibatkan perubahan dan kerusakan terhadap lingkungan yang akan menyebabkan terganggunya kehidupan manusia. Oleh karena itu peran manusia sangat penting untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup dengan menyadarkan kepada masyarakat bahwa pencemaran lingkungan oleh berbagai kegiatan manusia seperti adanya pertambangan, penebangan hutan, pembuatan jalan tol, pengembangan real estate, pembakaran semak dan hutan, penggunaan pestisida, pembangunan pabrik-pabrik bahan kimia akan mempercepat proses kerusakan lingkungan dan secara langsung atau tidak langsung akan mengganggu kesehatan manusia.

Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) tentang Lingkungan dan Pembangunan yang dilaksanakan di Rio de Janeiro yang diikuti dengan "Earth Summit" tentang kelestarian pembangunan telah mengangkat isu-isu penting terkait lingkungan global. Peran masyarakat untuk mencapai tujuan tentang konservasi lingkungan menjadi penting karena tanpa adanya kesadaran masyarakat maka tujuan itu tidak akan tercapai. Masyarakat sangat perlu memahami pentingnya pendidikan lingkungan untuk dapat mengelola planet kita ini.

Tujuan untuk mengembangkan kesadaran tentang

pentingnya lingkungan adalah:

1. Untuk menjaga kelestarian lingkungan yang bersih dan sehat
2. Untuk meningkatkan kualitas lingkungan
3. Menciptakan kesadaran masyarakat tentang masalah-masalah lingkungan dan konservasi lingkungan yang kini menjadi isu politik, ekonomi dan budaya
4. Meningkatkan partisipasi masyarakat dalam mengembangkan program kelestarian lingkungan dengan tidak secara sembarangan membuang sampah, tidak menebang pohon, tetapi menanam pohon dan upaya-upaya pelestarian lingkungan lainnya.

Pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup sangat dipengaruhi oleh kebijakan ekonomi yang berlaku, kepentingan pengusaha dan faktor sosial ekonomi masyarakat pada umumnya.

### **Rangkuman Materi**

---

1. Ekosistem didefinisikan sebagai suatu satuan lingkungan yang melibatkan unsur-unsur biotic (jenis-jenis makhluk) dan factor-faktor fisik (air, iklim dan tanah) serta kimia (keasaman dan salinitas) yang saling berinteraksi satu sama lain.
2. Interaksi timbal balik ini membentuk suatu system yang kemudian dikenal sebagai system ekologi atau ekosistem
3. Di dalam suatu ekosistem selalu dijumpai proses innteraksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya, antara lain dapat berupa adanya aliran energy, rantai makanan, siklus biogeokimiawi,

perkembangan dan pengendalian.

4. Autotrofik, terdiri dari organisme yang mampu menghasilkan makanan (energy) dari bahan-bahan anorganik dengan proses fotosintesis ataupun kemosintesis.
5. Heterotrofik, terdiri dari organisme yang menggunakan, mengubah, atau memecah bahan organik kompleks yang telah ada yang dihasilkan oleh komponen autotrofik
6. Semua ekosistem mempunyai struktur umum yang sama, yaitu tersusun dari 6 komponen tersebut dan adanya interaksi antara keenam komponen tersebut. Baik itu ekosistem alami (daratan, perairan) maupun ekosistem buatan (pertanian, perkebunan).
7. Di Indonesia terdapat 4 kelompok ekosistem utama yaitu (1) ekosistem bahari, (2) ekosistem darat alami, (3) ekosistem suksesi, (4) ekosistem buatan.
8. Hampir semua organisme dalam satu spesies kurang toleran pada saat masih muda atau salah satu fase reproduksi dari daur hidupnya.
9. Perubahan faktor abiotik baik secara alamiah maupun karena perbuatan manusia yang telah melebihi ambang batas toleransi ekosistem biotik disebut sebagai pencemaran atau polusi.
10. ekosistem pertanian menjadi suatu bentuk lingkungan yang tidak stabil karena secara terus menerus dimanipulasi oleh manusia
11. Perkembangan teknologi pertanian dengan cara pemupukan, irigasi, pengolahan tanah, pengendalian hama dan penyakit yang memang dapat meningkatkan hasil, tetapi di samping itu pula telah banyak memberikan pengaruh sampingan yang



merugikan lingkungan

12. Spesies invasif menjadi salah satu permasalahan utama di Indonesia termasuk salah satunya di Sulawesi Utara di mana terjadi ledakan hama baru yang menyerang tanaman tomat, pepaya dan pakis haji
13. Hama-hama baru ini masuk ke Indonesia karena perubahan iklim akibat dari pemanasan global sehingga menggeser hama lain atau menemukan inang baru dalam lingkungan baru.
14. Perkembangan dunia modern yang begitu cepat akan mengakibatkan degradasi sumber daya alami dengan cepat.
15. Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) tentang Lingkungan dan Pembangunan yang dilaksanakan di Rio de Janeiro yang diikuti dengan "Earth Summit" tentang kelestarian pembangunan telah mengangkat isu-isu penting terkait lingkungan global.
16. Perkembangan dunia modern yang begitu cepat akan mengakibatkan degradasi sumber daya alami dengan cepat
17. Pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup sangat dipengaruhi oleh kebijakan ekonomi yang berlaku, kepentingan pengusaha dan faktor sosial ekonomi masyarakat pada umumnya. hanya dengan manusia yang baik lingkungan hidup dapat berkembang ke arah yang optimal.

### **Tugas Dan Evaluasi**

---

1. Mengapa tumbuhan disebut sebagai produsen
2. Jelaskan komponen-komponen yang menyusun ekosistem bahari

3. Apa yang menyebabkan munculnya hama baru di suatu wilayah
4. Apa yang akan terjadi dalam suatu ekosistem apabila terjadi perubahan faktor abiotiknya
5. Apa akibat dari terbentuknya ekosistem buatan

# BAB 3

## ATMOSFER DAN KIMIA ATMOSFER

---

Nurhajawarsi, M. Si

Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Tahukah Anda salah satu Stasiun Pemantau Atmosfer Global / *Global Atmosphere Watch* (GAW) berada di Tanah Air kita? Tepatnya berjarak 17 km arah Utara kota Bukittinggi, Sumatera Barat. Stasiun bernama Stasiun Bukit Koto Tabang ini merupakan bagian dari sistem monitoring dan riset yang dikoordinasi oleh *World Meteorological Organization* (WMO) dan sebagai salah satu unit kerja dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun di daerah ekuatorial yang penting dalam program pengamatan atmosfer secara global karena secara umum pengukuran kondisi atmosfer dan kualitas udara di daerah ini sangat terbatas. Sebelum mempelajari atmosfer dan kimia atmosfer, mari kita kembali ke zaman dahulu. Seorang filsuf Yunani bernama Anaximenes (585–528 SM) menyatakan bahwa udara adalah zat utama dan sumber dari zat lain. Selanjutnya, Empedocles (490–430 SM) menjelaskan bahwa udara adalah salah satu dari empat unsur. Konsep tersebut diterima hingga abad ke 18 namun kemudian timbul pertanyaan apakah udara adalah senyawa atau campuran gas-gas. Teka teki besar ini kemudian dijawab oleh hasil penelitian para ilmuwan yang mulai dipublikasikan pada tahun 1700an. Penelitian-penelitian tersebut menyimpulkan bahwa komposisi atmosfer merupakan campuran berbagai gas dan partikel. Dalam bab ini akan dibahas mengenai lapisan atmosfer, komposisi atmosfer,

serta reaksi-reaksi kimia yang terjadi pada atmosfer Bumi serta pengaruhnya fenomena alam yang terjadi.

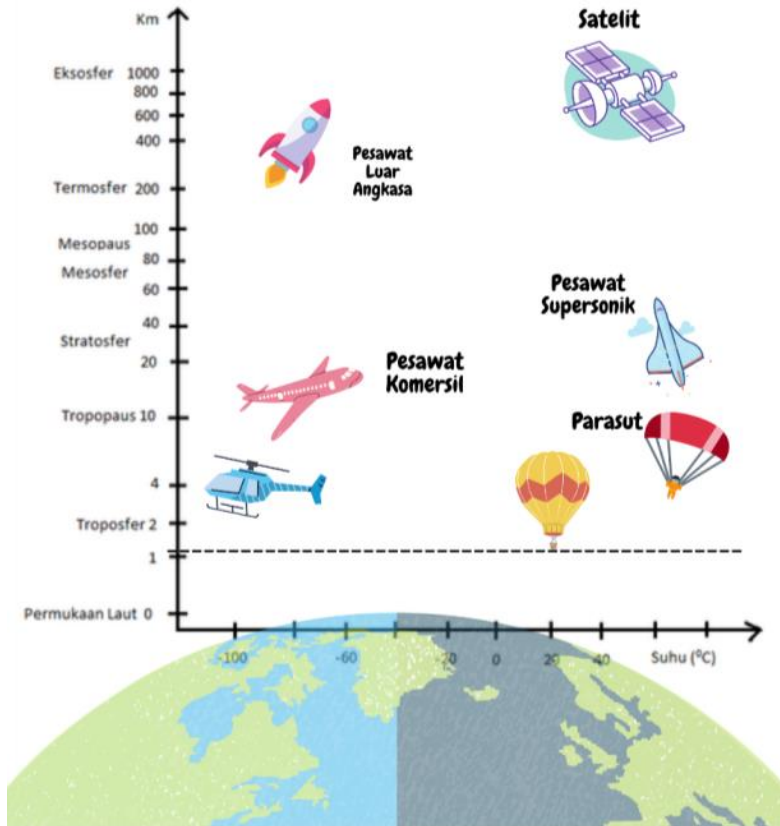
## **A. Atmosfer Bumi**

---

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) udara merupakan campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau (seperti oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas Bumi seperti yang dihirup oleh manusia saat bernapas, ruang di atas bumi yang berisi hawa; angkasa. Udara dalam istilah meteorologi disebut dengan atmosfer. Atmosfer adalah lapisan yang tersusun atas campuran gas-gas yang menyelimuti suatu planet. Atmosfer Bumi sendiri terbentang secara vertikal dari permukaan Bumi hingga 10.000 Km (6,214 mil). Selain sebagai pelindung Bumi dari benda luar angkasa seperti meteor, atmosfer juga menjaga keseimbangan suhu Bumi dengan cara mengurangi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi pada siang hari dan mencegah hilangnya panas pada malam hari. Fungsi lain dari atmosfer juga menjaga agar gravitasi bumi tetap stabil.

### **1. Lapisan dan Struktur Vertikal Atmosfer**

Lapisan atmosfer yang melingkupi Bumi terbagi menjadi 5 lapisan yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer (ionosfer), dan eksosfer. Lapisan tersebut diklasifikasikan berdasarkan jarak dan fungsinya.



**Gambar 4.1 Struktur Vertikal Atmosfer**

**a. Troposfer**

Lapisan troposfer merupakan lapisan paling dasar atmosfer yang terletak pada ketinggian 0 – 12 Km di atas permukaan bumi. Manusia pada lapisan troposfer memungkinkan manusia untuk bernapas. Hal inilah yang menjadi alasan para pendaki masih bisa bertahan pada lapisan troposfer ini. Adapun fungsi troposfer adalah menjaga kestabilan udara di bumi. Setelah lapisan troposfer,

terdapat lapisan penyeimbang yang menghubungkan dengan lapisan atmosfer dalam tingkat lebih tinggi. Lapisan pembatas atau tropopause ini termasuk lapisan atmosfer yang dinilai konstan.

b. Stratosfer

Lapisan atmosfer yang terletak pada ketinggian 50 Km di atas permukaan bumi dengan temperatur yang rendah yang hanya ditempati oleh lapisan ozon. Lapisan ini merupakan pelindung bumi dari radiasi ultraviolet. Lapisan ozon akan menipis seiring aktivitas manusia terlebih pengembangan industri secara masif.

c. Mesosfer

Lapisan mesosfer terletak hingga 75 Km di atas permukaan bumi. Pada lapisan ini, terjadi penurunan suhu yang cukup signifikan dimana setiap jarak 100 meter terjadi penurunan suhu sebanyak  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Mesosfer berfungsi sebagai pelindung bumi dari benda luar angkasa yang akan jatuh ke bumi.

d. Termosfer (Ionosfer)

Lapisan ini terletak pada ketinggian 80 Km sampai 100 Km dengan perubahan suhu berkisar antara  $40 - 1232^{\circ}\text{C}$ . Disebut juga sebagai lapisan ionosfer karena pada lapisan ini terjadi ionisasi partikel maupun molekul. Proses ionisasi ini menghasilkan cahaya warna warni yang menyebabkan fenomena alam aurora. Lapisan termosfer ini dimanfaatkan sebagai tempat pemantulan gelombang radio oleh banyak perusahaan media televisi dan radio.

e. Eksosfer

Lapisan terakhir atmosfer dengan jarak dari 800-3260 Km di atas permukaan bumi ini memiliki suhu mencapai  $2.200^{\circ}\text{C}$ . Lapisan eksosfer disebut juga dengan ruang antar planet dan geostasioner. Lapisan ini merupakan pelindung

bumi dengan cara menghancurkan meteor dan benda-benda langit yang akan menabrak bumi.

## 2. Komposisi Atmosfer

Atmosfer bumi mengandung berbagai macam gas dan partikel. Gas-gas di atmosfer digolongkan berdasarkan jumlah dan masa tinggal (*residence time*). *Residence time* atau disebut juga sebagai *removal time* atau juga *life time* adalah jumlah rata-rata waktu yang dihabiskan partikel atau zat dalam sistem tertentu (atmosfer). Satuan gas-gas atmosfer dapat dinyatakan dalam konsentrasi ( $\text{kg m}^{-3}$ ), volume rasio ( $\text{m}^3$  gas per  $\text{m}^3$  udara) dan fraksi mol ( $\text{mol mol}^{-1}$ ). Sedangkan untuk gas-gas dalam kuantitas yang sangat kecil (*trace gas*), biasanya dinyatakan dengan satuan parts per million volume (ppmv atau ppm); parts per billion volume (ppbv atau ppb); dan juga parts per trillion volume (pptv atau ppt); dimana  $1 \text{ ppmv} = 10^{-6} \text{ mol mol}^{-1}$ ;  $1 \text{ ppbv} = 10^{-9} \text{ mol mol}^{-1}$  dan  $1 \text{ pptv} = 10^{-12} \text{ mol mol}^{-1}$ .

**Tabel 4.1 Komposisi Atmosfer Bumi**

Nama	Rumus kimia	Konsentrasi	Residence Time
Nitrogen	$\text{N}_2$	78,084 %	$1,6 \times 10^7$ tahun
Oksigen	$\text{O}_2$	20,946 %	$3 \times 10^3 - 10^4$ tahun
Argon	Ar	0,934%	
Karbon dioksida	$\text{CO}_2$	$3,94 \times 10^{-2}$ % (394 ppm)	20-150 tahun
Neon	Ne	$1,818 \times 10^{-3}$ % (18,18)	
Helium	He	$5,24 \times 10^{-4}$ % ( 5,24 ppm)	$10^7$ tahun

Nama	Rumus kimia	Konsentrasi	Residence Time
Metana	CH <sub>4</sub>	1,79 x 10 <sup>-4</sup> % (1,79 ppm)	10 tahun
Kripton	Kr	1,14 x 10 <sup>-4</sup> % (1,14 ppm)	
Hidrogen	H <sub>2</sub>	5,3 x 10 <sup>-5</sup> % (0,53 ppm)	2 tahun
Dinitrogen monoksida	N <sub>2</sub> O	3,25 x 10 <sup>-5</sup> % (0,325 ppm)	150 tahun
Karbon monoksida	CO	5-25 x 10 <sup>-6</sup> % (0,05-0,25 ppm)	0,2-0,5 tahun
Xenon	Xe	8,7 x 10 <sup>-6</sup> % (0,087 ppm)	
Ozon	O <sub>3</sub>	1-5 x 10 <sup>-6</sup> % (0,01-0,05 ppm)	Mingguan-bulanan
Nitrogen dioksida	NO <sub>2</sub>	0,1-5 x 10 <sup>-7</sup> % (0,001-0,05 ppm)	8-10 hari
Amonia	NH <sub>3</sub>	0,01-1 x 10 <sup>-7</sup> % (0,0001-0,01 ppm)	~ 5 hari
Sulfur Dioksida	SO <sub>2</sub>	0,03-3 x 10 <sup>-7</sup> % (0,03-30 x 10 <sup>-3</sup> ppm)	~ 2 hari
Hidrogen Sulfida	H <sub>2</sub> S	0,01-6 x 10 <sup>-8</sup> % (0,01 -0,6 x 10 <sup>-3</sup> ppm)	~ 0,5 hari

Komposisi udara pada setiap lapisan atmosfer cenderung konstan namun akan terdapat perbedaan jumlah di setiap daerah tergantung pada aktivitas manusia yang berlangsung di daerah tersebut. Adapun penyusun utama atmosfer (*dry atmosphere*) adalah nitrogen (78.084%, % volume), oksigen (20.946%) dan argon (0.934%), serta *trace gas* dalam konsentrasi kecil yang ditampilkan pada Tabel 4.1.

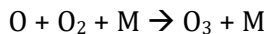


## B. Reaksi Kimia pada Atmosfer

---

Aspek penting dalam kimia atmosfer termasuk efek radiasi matahari akan mengarah pada reaksi fotokimia (fotolisis dan fotooksidasi) *trace gas* yang terjadi di troposfer. Berlangsungnya reaksi-reaksi fotokimia yang dihasilkan dari absorpsi foton radiasi elektromagnetik matahari. Namun sebelum membahas reaksi-reaksi tersebut lebih lanjut, perlu kita pelajari beberapa istilah di bawah ini:

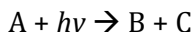
1. Energi,  $E$  adalah sejumlah foton pada cahaya ultraviolet tampak, yang dirumuskan dalam persamaan  $E = hv$ , dimana  $h$  adalah tetapan Planck; dan  $v$  adalah frekuensi elektromagnetik, kebalikan panjang gelombang  $\lambda$ .
2. Eksitasi, perpindahan elektron dalam suatu atom, molekul ataupun ion dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan disertai penyerapan energi. Dalam keadaan tereksitasi (yang ditandai dengan \*) spesi menjadi semakin reaktif.
3. Radikal bebas merupakan spesi yang memiliki elektron yang tidak berpasangan yang dilambangkan sebagai titik  $\bullet$ . Contoh reaksi atom oksigen yang tereksitasi dengan uap air menghasilkan dua radikal hidroksil.
4. *Third Body*,  $M$ : Contoh reaksi antara satu atom oksigen dan molekul oksigen pada stratosfer untuk memproduksi ozon



Reaksi tersebut melepaskan banyak energi dimana produk berdisosiasi kecuali energi tersebut ditransfer ke molekul lain yang inert dan disebut sebagai *third*

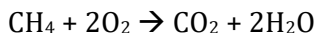
*body*, M. Third body yang paling banyak adalah molekul N<sub>2</sub> dan selanjutnya molekul O<sub>2</sub>.

5. Reaksi fotokimia atau fotolisis adalah pemutusan ikatan kimia suatu molekul dengan bantuan sinar atau foton. Reaksi tersebut dapat dituliskan seperti di bawah ini:

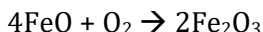


### 1. Reaksi Oksigen di Atmosfer

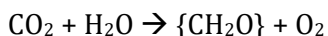
Oksigen pada troposfer memegang peranan penting dalam berbagai proses yang terjadi di permukaan bumi. Seperti pada pembakaran bahan bakar fosil dengan reaksi di bawah ini:



Oksigen atmosfer juga digunakan oleh organisme aerobik dalam mendegradasi materi-materi organik. Selain itu, oksigen juga dibutuhkan dalam proses oksidatif atau pelapukan zat-zat anorganik seperti pada reaksi berikut,

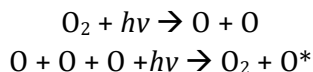


Oksigen dikembalikan ke atmosfer melalui proses fotosintesis yang melibatkan reaksi antara karbon dioksida dan air dengan reaksi seperti di bawah ini:

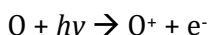


Adanya efek radiasi ionisasi mengakibatkan oksigen pada lapisan atmosfer yang lebih tinggi dapat ditemukan bukan

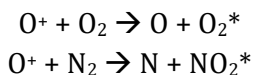
hanya sebagai molekul oksigen  $O_2$ , tetapi juga berupa atom oksigen (O); molekul oksigen tereksitasi ( $O_2^*$ ); dan ozon ( $O_3$ ). Atom oksigen dan oksigen tereksitasi sangat reaktif dan diperoleh melalui reaksi fotokimia berikut,



Atom oksigen tereksitasi mengemisikan cahaya tampak pada panjang gelombang 636 nm; 630 nm; dan 558 nm. Radiasi ultraviolet (UV) bereaksi dengan atom-atom oksigen dan membentuk ion-ion oksigen ( $O^+$ )

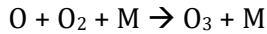


Atom oksigen yang bermuatan positif ini dapat bereaksi lebih lanjut pada temperatur yang lebih tinggi baik dengan molekul oksigen ataupun dengan molekul nitrogen.

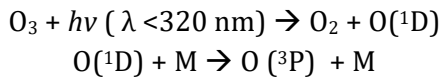


Ozon ( $O_3$ ) adalah molekul triatomik yang tersusun atas tiga atom oksigen. Pertama kali ditemukan dan dipublikasikan pada tahun 1840 oleh Kimiawan Jerman-Swis bernama Christian Schönbein. Ozon merupakan oksidator yang lebih kuat dibandingkan dengan oksigen. Sekitar 90% terdapat pada lapisan stratosfer, dan sekitar 10% berada pada lapisan troposfer. Keberadaannya sangat penting karena lapisan ozon (ozonosfer) ini menyerap radiasi ultraviolet yang dapat membahayakan makhluk hidup di bumi. Ozon mengabsorpsi cahaya UV pada area panjang gelombang 220-330 nm. Ozon bertambah dan berkurang kuantitasnya melalui proses alami.

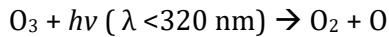
Ozon terbentuk dari reaksi rekombinasi antara atom oksigen dan molekul oksigen. Dalam reaksi ini dibutuhkan M (third body) untuk membawa energi yang dilepaskan.



Molekul ozon dihasilkan melalui reaksi di atas dan mengabsorpsi radiasi matahari. Sayangnya, absorpsi tersebut mengakibatkan dekomposisi pada ozon itu sendiri dan kembali menjadi  $\text{O}_2$  dan  $\text{O}$ . Hal ini terjadi karena ikatan dalam  $\text{O}_3$  ( $364 \text{ KJ mol}^{-1}$ ) lebih lemah dibandingkan dengan molekul  $\text{O}_2$  sehingga reaksi fotolisis dapat berlangsung dengan foton energi rendah (240-320 nm),



Reaksi Keseluruhan:



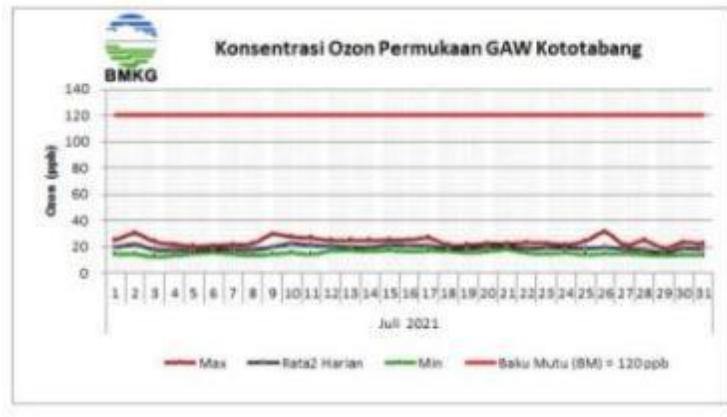
Dimana  $\text{O}({}^1\text{D})$  adalah atom  $\text{O}$  dalam keadaan tereksitasi yang secara cepat beralih ke orbital P untuk menjadi stabil,  $\text{O}({}^3\text{P})$  dengan bantuan M ( $\text{N}_2$  atau  $\text{O}_2$ ). Reaksi-reaksi disosiasi dan rekombinasi di atas berlangsung terus menerus dengan sangat cepat ( $>100 \text{ s}$ ). Selama siklus reaksi berlangsung, radiasi UV memecah molekul ozon dan atom oksigen bereaksi dengan molekul oksigen. Proses ini mengubah radiasi UV menjadi energy termal. Selain itu, ozon dapat juga bereaksi dengan atom oksigen menghasilkan dua molekul oksigen seperti reaksi di bawah ini,



Dari laman BMKG (<https://www.bmkg.go.id/>) dapat kita lihat konsentrasi ozon di berbagai stasiun. Pengukuran di Stasiun Kemayoran menggunakan alat Ozone Analyzer dengan metode UV Photometric, sedangkan di stasiun Bukit-Kototabang menggunakan alat Ozone Analyzer tipe TEI49C dengan metode UV-Absorption. Gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa konsentrasi ozon di stasiun Kemayoran dan stasiun pemantau global Kototabalang, masih berada di bawah baku mutu (120 ppb).



**Gambar 4.2 Konsentrasi ozon permukaan BMKG Kemayoran Jakarta (Juni 2021)**



**Gambar 4.3 Konsentrasi ozon permukaan GAW Kototabang (Juli 2021)**

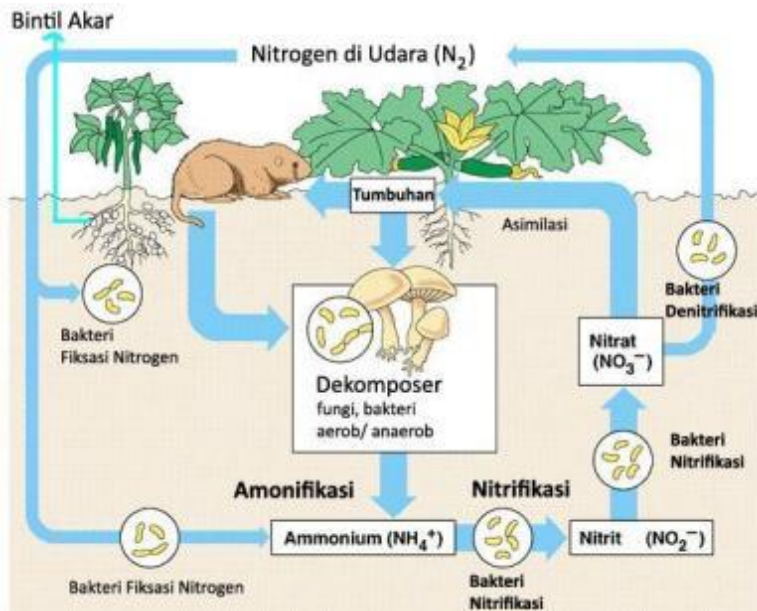
## 2. Reaksi Nitrogen di Atmosfer

Nitrogen merupakan penyusun utama atmosfer bumi (78% volume) yang memiliki peranan penting dalam siklus biogeokimia. Molekul nitrogen ( $N_2$ ) merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berwarna. Siklus nitrogen secara umum memiliki beberapa tahapan yaitu:

- a. Fiksasi nitrogen adalah proses perubahan nitrogen dari atmosfer menjadi amonia. Bakteri yang berperan dalam proses ini adalah bakteri pada akar tanaman polongan melalui fiksasi biologis. Bakteri tersebut, antara lain seperti *rhizobium* dan penggunaan enzim *nitrogenase cyanobacteria* dilibatkan untuk mengubah gas nitrogen menjadi amonia.
- b. Tahapan amonifikasi yaitu dimana sisa-sisa tanaman serta limbah terurai oleh organisme kemudian menghasilkan amonia disebut amonifikasi. Mikroorganisme dalam tanah akan mengurai bahan organik yang mati untuk dijadikan energi dan

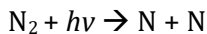
menghasilkan amonia serta senyawa dasar lain sebagai produk sampingan.

- c. Nitrifikasi adalah proses oksidasi biologis amonia dengan oksigen menjadi amonium kemudian nitrit dan diikuti oleh proses oksidasi nitrit menjadi nitrat. Degradasi amonia yang menjadi nitrit dikenal dengan nitrifikasi. Prosesnya dilakukan oleh bakteri genera *Nitrosomonas* serta *Nitrosococcus*.
- d. Denitrifikasi ialah proses reduksi nitrat yang berubah menjadi gas nitrogen inert dalam siklus nitrogen. Denitrifikasi dilakukan oleh bakteri seperti *Pseudomonas* dan *Clostridium* pada kondisi anaerobik. Hasil dari proses ini menjadikan nitrogen kembali ke atmosfer.

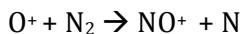
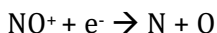


**Gambar 4.4 Siklus nitrogen**  
(Sumber: roboguru.ruangguru.com)

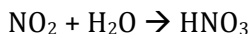
Tidak seperti oksigen, N<sub>2</sub> susah bereaksi oleh radiasi UV. Pada ketinggian sekitar 100 Km, atom nitrogen dihasilkan melalui reaksi fotokimia berikut,



Selain itu, atom nitrogen bebas dapat diperoleh melalui reaksi-reaksi di bawah ini,

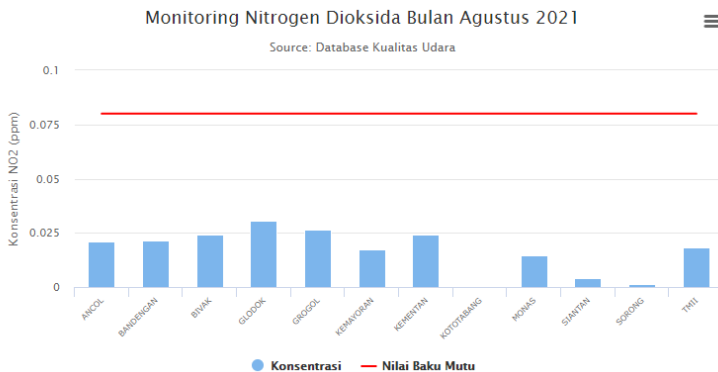


Salah satu oksida nitrogen yang menjadi perhatian adalah dinitrogen monoksida (N<sub>2</sub>O). Gas tersebut merupakan gas rumah kaca dan berperan dalam fotokatalitik ozon pada lapisan stratosfer. Hal ini menjadi alasan mengapa emisi gas N<sub>2</sub>O diatur dalam Protokol Kyoto. Terjadinya fenomena hujan asam diakibatkan oleh tingginya gas polutan NO<sub>2</sub> yang bereaksi dengan uap air yang terkondensasi membentuk tetesan-tetesan.



Dari laman BMKG (<https://www.bmkg.go.id/>) dapat kita lihat konsentrasi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) di berbagai stasiun. Pengukuran kadar NO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode passive gas menggunakan alat passive sampler. Analisis sampel dilakukan di laboratorium kualitas udara BMKG, menggunakan alat spectrophotometer. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa konsentrasi NO<sub>2</sub> pada bulan Agustus 2021 masih berada di bawah baku mutu (0,08 ppm).



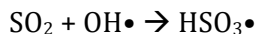


**Gambar 4.5** Konsentrasi NO<sub>2</sub> di berbagai Stasiun pemantau BMKG (Agustus 2021)

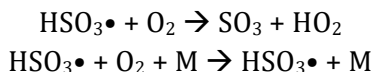
### 3. Reaksi Sulfur di Atmosfer

Sulfur adalah salah satu unsur esensial bagi makhluk hidup terutama sebagai penyusun protein. Sulfur dapat ditemukan dalam bentuk unturnya, sulfida, sulfit, dan senyawa lainnya. Sumber sulfur di atmosfer antara lain hasil pembakaran bahan bakar fosil, emisi dari laut hasil aktivitas mikroorganisme, erupsi vkanik dan dekomposisi makhluk hidup. Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) adalah spesi yang paling banyak diemisikan ke lapisan troposfer. H<sub>2</sub>S mengalami reaksi oksidasi menghasilkan SO<sub>2</sub> dan selanjutnya mengalami oksidasi lebih lanjut menjadi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

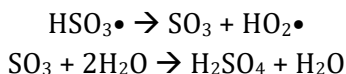
Pada atmosfer, SO<sub>2</sub> memiliki masa tinggal yang singkat sebagai gas. Hal ini dikarenakan gas tersebut langsung bereaksi dengan air dan turun sebagai hujan asam. Asam sulfat dihasilkan melalui reaksi radikal SO<sub>2</sub> seperti berikut,



Sulfur dioksida bereaksi dengan radikal OH (berasal dari uap air) membentuk spesi radikal HSO yang bereaksi dengan molekul oksigen menghasilkan SO<sub>3</sub> dan HO<sub>2</sub> atau juga hasil intermediet HSO<sub>3</sub> seperti di bawah ini,

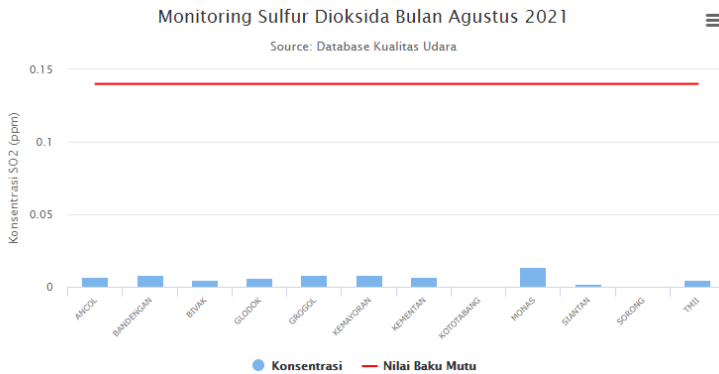


Hasil intermediet HSO<sub>3</sub>• dapat juga mengalami reaksi lebih lanjut menjadi SO<sub>3</sub> dan HO<sub>2</sub> atau bereaksi dengan senyawa lain. SO<sub>3</sub> yang dihasilkan bereaksi dengan air membentuk asam sulfat. Asam sulfat terdispersi dalam molekul air hujan menyebabkan pH air hujan menjadi asam, sehingga fenomena ini dikenal sebagai hujan asam (*acid rain*) dengan reaksi seperti berikut,



Sementara itu gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) mudah teroksidasi menjadi gas SO<sub>2</sub>, sehingga di atmosfer masa tinggal gas tersebut hanya 1-2 hari saja.

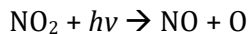
Dari laman BMKG (<https://www.bmkg.go.id/>) dapat kita lihat konsentrasi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) di berbagai stasiun. Pengukuran kadar SO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode passive gas menggunakan alat passive sampler. Analisis sampel dilakukan di laboratorium kualitas udara BMKG, menggunakan alat kromatografi ion. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> pada bulan Agustus 2021 masih berada di bawah baku mutu (0,14 ppm).



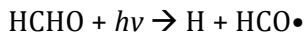
**Gambar 4.6** Konsentrasi SO<sub>2</sub> di berbagai Stasiun pemantau BMKG (Agustus 2021)

#### 4. Reaksi Hidrokarbon di Atmosfer

Hidrokarbon merupakan salah satu polutan yang senyawanya tersusun atas atom karbon (C) dan hidrogen (H). Di atmosfer, hidrokarbon mengalami reaksi kimia dan fotokimia. Reaksi fotokimia hidrokarbon terjadi dengan diawali reaksi fotokimia NO<sub>2</sub> sebagai reaksi primer,



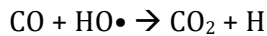
dan selanjutnya terjadi reaksi sekunder, misalnya reaksi fotokimia formaldehida menghasilkan radikal formil yang reaktif seperti berikut,



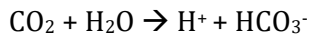
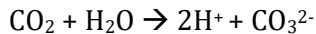
Interaksi senyawa hidrokarbon dengan NO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> menghasilkan *smog*. Selain itu, senyawa-senyawa hidrokarbon juga dapat bereaksi secara heterogen dengan partikel-partikel padat di atmosfer.

## 5. Reaksi Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida di Atmosfer

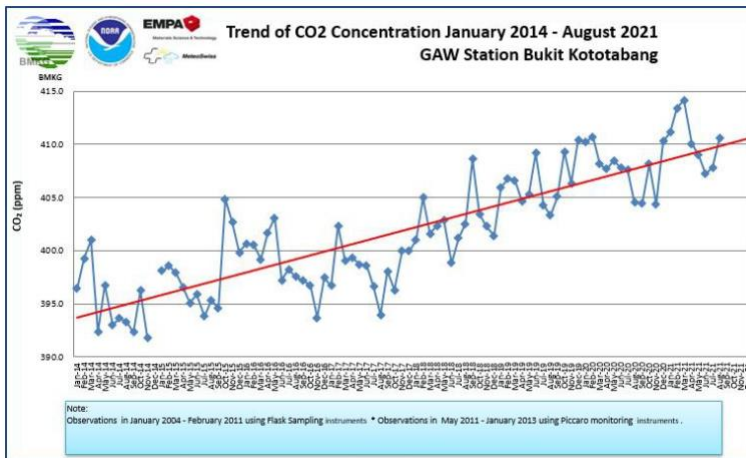
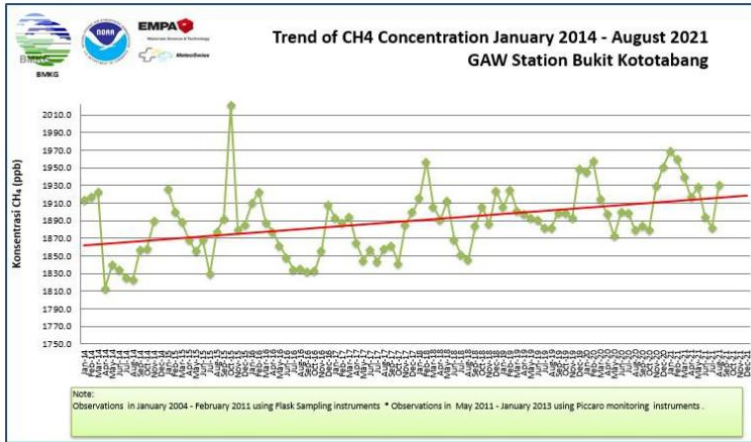
Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran senyawa hidrokarbon yang tidak sempurna. Di atmosfer, karbon monoksida bereaksi dengan radikal hidroksil dan menghasilkan karbon dioksida seperti reaksi di bawah ini,



Gas  $\text{CO}_2$  yang ada berada di atmosfer akan terlarut dalam air hujan membentuk senyawa karbonat dan bikarbonat,



Sejak tahun 2004, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) telah melakukan pengukuran gas rumah kaca di stasiun *Global Atmosphere Watch* (GAW) Bukit Kototabang Sumatra Barat. Pengukuran konsentrasi gas rumah kaca menggunakan peralatan otomatis (*direct method*) dan peralatan manual (*sampling method*). Peralatan otomatis menggunakan Analyzer Piccaro G3010 dengan metoda Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS). Peralatan manual menggunakan "*Air Kit Flask Sampling*" dan sampel tersebut dikirim ke laboratorium NOAA - USA untuk dianalisis.



**Gambar 4.7 Konsentrasi gas Rumah Kaca (CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>) di Stasiun GAW Kototabang**

### C. Partikulat di Atmosfer

Partikulat atau partikel adalah suspensi padatan atau cairan dalam gas. Beberapa jenis partikulat antara lain: aerosol, mist, asap, debu, jelaga dan abu terbang. Partikel

atmosfer sangat kompleks dan tersusun dari banyak material serta berbagai sumber. Aerosol ( $< 0.1 \mu\text{m}$ ) atmosfer umumnya mengandung sulfat, nitrat, amonium, garam laut, karbon, dan material organik lain. Partikel halus ( $d < 0.1 \mu\text{m}$ ) biasanya terdiri dari sulfat, nitrat, amonium, karbon, dan *trace* logam seperti timbal, cadmium, nikel, tembaga, dll. Sedangkan partikel kasar ( $d > 1 \mu\text{m}$ ) biasanya debu, kerak, nitrat, sodium, klorida dan partikel organik biogenik seperti spora, serbuk sari, dll.

Partikulat abu terbang (*fly ash*) bersumber dari hasil pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara dan lignit (batu bara coklat) yang terlepas ke atmosfer. Abu terbang umumnya terdiri atas oksida-oksida aluminium, kalsium, besi dan silikon tergantung pada jenis bahan bakarnya.

Asbes/asbestos merupakan mineral silikat berpori dengan rumus kimia  $\text{Mg}_3\text{P}(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$  yang banyak dimanfaatkan sebagai isolator panas dan produk yang tahan terhadap gesekan. Sumber asbestos di atmosfer berasal dari pembuatan berbagai produk semen, keramik, kampas rem kendaraan, serta pelapisan dinding tahan api karena sifat fisik dan kimianya yang sangat stabil, fleksibel dan kuat. Asbes digolongkan menjadi polutan karena dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti asbestosis (kondisi pneumonia), mesothelioma (tumor jaringan mesotelial), dan bronchogenic carcinoma (kanker yang diawali dengan saluran udara pada paru-paru).

Partikulat dapat berupa material organik maupun anorganik. Beberapa contoh partikulat anorganik antara lain partikulat Besi (II,III) oksida; kalsium oksida; garam-garam sulfat, ammonium nitrat, dan ammonium klorida yang ditunjukkan melalui reaksi pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2 Reaksi pembentukan partikulat dari material anorganik**

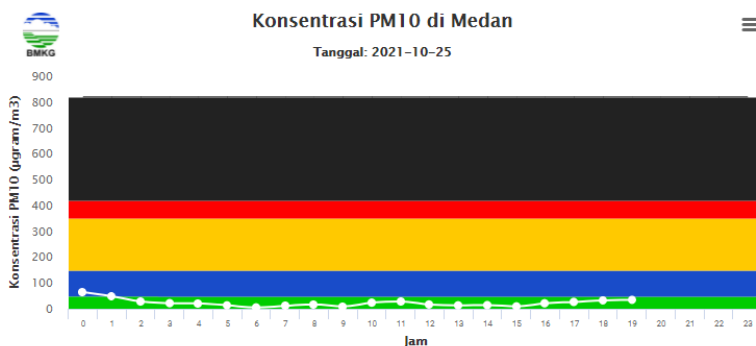
REAKSI	SUMBER
$3\text{FeS}_2 + 8 \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{SO}_2$	Pembakaran pirit-batu bara
$\text{CaCO}_3 + \text{panas} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	Fraksi abu batu bara
$\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Polusi udara, sumber sulfur dari erupsi vulkanik
$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaO} \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	Polusi udara, sumber sulfur dari erupsi vulkanik dan sumber CaO dari pengolahan tambang
$\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \leftrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$	Polusi udara, partikulat yang saling bereaksi di atmosfer
$\text{NH}_3 + \text{HCl} \leftrightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$	Polusi udara, partikulat yang saling bereaksi di atmosfer

Beberapa logam berat juga ditemukan di atmosfer seperti merkuri, timbal, kadmium, krom, vanadium, nikel, arsenik, dan meskipun berilium tidak digolongkan ke dalam logam berat, namun di atmosfer, logam ini ditemukan dalam jumlah yang banyak di atmosfer. Dalam Bab 4 ini yang dibahas adalah logam merkuri dan timbal. Ditinjau dari segi toksisitas, dua logam ini masuk dalam pengawasan logam berat karena memiliki ambang batas yang lebih rendah dibandingkan dengan logam berat yang lain. Logam merkuri yang banyak ditemukan di atmosfer adalah organomerkuri yang volatile seperti  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  dan garam merkuri  $\text{CH}_3\text{HgBr}$  yang mana senyawa-senyawa ini berasosiasi dengan partikulat lainnya. Merkuri dihasilkan dari pembakaran batu bara dan erupsi vulkanik. Sedangkan timbal di atmosfer bersumber dari penggunaan bensin yang mengandung tetraetiltimbal ( $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ) serta timbal halida seperti  $\text{PbCl}_2$ ,

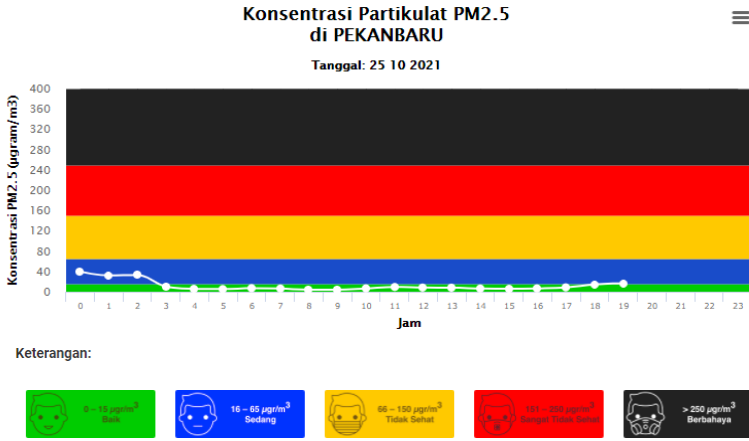
PbClBr, PbBr<sub>2</sub> serta limbah-limbah industri yang memanfaatkan timbal dalam produksinya. Bahkan untuk kasus tertentu, partikel radioaktif dapat ditemukan di atmosfer. Misalnya ledakan reaktor nuklir atau detonasi senjata nuklir.

Selain partikulat anorganik, terdapat juga partikulat organik di atmosfer. Ditemukan paling banyak adalah karbon organik yang bersumber dari pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa. Partikulat organik ditemukan dalam berbagai senyawa, mulai dari senyawa alifatik rantai karbon panjang (16-28 atom karbon) maupun senyawa aromatik polisiklik.

Dari laman BMKG (<https://www.bmkg.go.id/>) dapat kita lihat konsentrasi Partikulat di berbagai stasiun. Partikulat PM<sub>10</sub> artinya partikulat yang ukurannya lebih kecil dari 10 mikron, sedangkan PM<sub>2,5</sub> artinya partikulat yang ukurannya lebih kecil dari 2,5 mikron. Pemantauan partikulat (PM<sub>10</sub>) di Kota Medan dan partikulat (PM<sub>2,5</sub>) di Kota Pekanbaru pada Gambar 4.8.







**Gambar 4.8 Pemantauan partikulat (PM<sub>10</sub>) di Kota Medan dan partikulat (PM<sub>2,5</sub>) di Kota Pekanbaru**

## Rangkuman Materi

1. Atmosfer bumi adalah lapisan yang tersusun atas campuran gas dan partikel yang menyelimuti permukaan bumi yang berfungsi sebagai pelindung dari benda luar angkasa seperti meteor; menjaga keseimbangan suhu Bumi; dan menjaga agar gravitasi bumi tetap stabil.
2. Lapisan atmosfer yang melingkupi Bumi terbagi menjadi 5 lapisan yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer (ionosfer), dan eksosfer.
3. *Residence time* atau disebut juga sebagai *removal time* atau juga *life time* adalah jumlah rata-rata waktu yang dihabiskan partikel atau zat dalam sistem tertentu (atmosfer).
4. Satuan gas-gas atmosfer dapat dinyatakan dalam konsentrasi ( $\text{kg m}^{-3}$ ), volume rasio ( $\text{m}^3$  gas per  $\text{m}^3$  udara) dan fraksi mol ( $\text{mol mol}^{-1}$ ). Sedangkan untuk

gas-gas dalam kuantitas yang sangat kecil (*trace gas*), biasanya dinyatakan dengan satuan parts per million volume (ppmv atau ppm); parts per billion volume (ppbv atau ppb); dan juga parts per trillion volume (pptv atau ppt); dimana  $1 \text{ ppmv} = 10^{-6} \text{ mol mol}^{-1}$ ;  $1 \text{ ppbv} = 10^{-9} \text{ mol mol}^{-1}$  dan  $1 \text{ pptv} = 10^{-12} \text{ mol mol}^{-1}$ .

5. Energi,  $E$  adalah sejumlah foton pada cahaya ultraviolet tampak, yang dirumuskan dalam persamaan  $E = hv$ , dimana  $h$  adalah tetapan Planck; dan  $\nu$  adalah frekuensi elektromagnetik, kebalikan panjang gelombang  $\lambda$ .
6. Eksitasi, perpindahan elektron dalam suatu atom, molekul ataupun ion dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan disertai penyerapan energi. Dalam keadaan tereksitasi (yang ditandai dengan \*) spesi menjadi semakin reaktif.
7. Radikal bebas merupakan spesi yang memiliki elektron yang tidak berpasangan yang dilambangkan sebagai titik  $\bullet$ .
8. *Third Body*,  $M$  adalah spesi inert yang menyerap energy hasil reaksi. *Third body* yang paling banyak adalah molekul  $N_2$  dan selanjutnya molekul  $O_2$ .
9. Reaksi fotokimia atau fotolisis adalah pemutusan ikatan kimia suatu molekul dengan bantuan sinar atau foton. Sebagian besar reaksi yang terjadi di atmosfer merupakan reaksi fotokimia.
10. Partikulat atau partikel adalah suspensi padatan atau cairan dalam gas.
11. Partikulat dapat berupa material organik maupun anorganik.
12. Beberapa jenis partikulat antara lain: aerosol, mist, asap, debu, jelaga dan abu terbang.

## Tugas Dan Evaluasi

---

1. Jelaskan mengapa spesi seperti amonia, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, dan hidrogen sulfida memiliki masa tinggal (*residence time*) relatif singkat di atmosfer?
2. Jelaskan secara singkat tingkat lapisan atmosfer dan perubahan suhunya!
3. Jika pembakaran fosil dalam industri tidak sempurna maka akan menghasilkan CO, bagaimanakah dengan siklus CO<sub>2</sub> nya? Dalam bentuk apa akan kembali ke atmosfer?
4. Jelaskan bagaimana kegiatan manusia dan aktivitas industri memberikan pengaruh terhadap konsentrasi partikulat di atmosfer?
5. Efek pemanasan global (*Global Warming*) adalah isu yang masih terus hangat diperbincangkan. Sebagai bagian dari masyarakat dunia, hal-hal konkret apa yang akan Anda lakukan untuk mengurangi dampak pemanasan global tersebut? Kaitkan dengan pengetahuan yang Saudara dapatkan di Bab 4!

# BAB 4

## POLUTAN DAN PENCEMARAN UDARA

---

Mega Fia Lestari, S.Pd., M.Sc

Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Udara adalah hal gratis yang Allah ciptakan untuk dihirup oleh manusia dan makhluk hidup lainnya selama 24 jam sehari agar tetap mampu melangsungkan kehidupannya. Secara ilmiah, udara merupakan campuran gas yang terdapat di dalam atmosfer bumi yang terdiri atas 2 gas utama yakni 78,08% gas nitrogen dan 20,95% gas oksigen serta sisanya adalah gas-gas lainnya termasuk keberadaan gas karbon dioksida sebesar 0,0314%. Namun, di masa kemajuan teknologi dan era revolusi industri 4.0, pembangunan gedung pencakar langit dan pusat industri semakin meningkat yang secara perlahan namun pasti akan berpengaruh terhadap penurunan kualitas udara. Udara yang dahulu ketika dihirup terasa segar akan menjadi udara yang menyesakkan dada karena banyaknya polutan yang dikandungnya. Jika keadaan ini semakin berlangsung lebih lama, maka kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan akan terganggu dan mengancam kelestariannya di muka bumi ini. Pembahasan di bawah ini bertujuan untuk mengupas tentang jenis polutan yang terkandung pada udara yang tercemar, sumber diperolehnya polutan, dan solusi yang dapat dilakukan sejak dini agar pencemaran udara dapat berkurang.

### **A. Pengertian Pencemaran Udara**

---

Berdasarkan Undang-Undang No.23 Tahun 1997, pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia

sehingga kualitas lingkungan hidup turun hingga tingkat tertentu yang mengakibatkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Pemerintah Republik Indonesia, 1997). Menurut Peraturan Pemerintah R.I No. 41 Tahun 1999, pencemaran udara merupakan masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara ambien diakibatkan oleh kegiatan manusia yang menyebabkan menurunnya mutu udara ambien hingga ke tingkat tertentu sehingga udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Presiden Republik Indonesia, 1999). Selain itu, menurut Peavy (Peavy et al., 1985), pencemaran udara adalah masuknya satu atau lebih polutan misalnya debu, asap, bau, gas, dan uap ke atmosfer bumi dalam jumlah, karakteristik dan waktu tertentu yang berpotensi membahayakan kehidupan makhluk hidup di muka bumi ini. Oleh karena itu, pencemaran udara mengacu kepada pelepasan polutan/kontaminan/zat pencemar ke udara, yaitu polutan/kontaminan/zat pencemar yang merugikan kesehatan manusia dan bumi ini secara keseluruhan. Pencemaran udara dapat didefinisikan sebagai adanya bahan kimia atau senyawa beracun (termasuk yang berasal dari biologi) di udara, pada tingkat kandungan yang mampu menimbulkan gangguan terhadap kesehatan. Dalam arti yang lebih luas, pencemaran udara berarti adanya bahan kimia atau senyawa tertentu di udara yang biasanya tidak ada, dan yang menurunkan kualitas udara atau yang menyebabkan perubahan yang merugikan kualitas hidup (misalnya kerusakan lapisan ozon dan pemanasan global).

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (*WHO, World Health Organization*), setiap tahunnya, pencemaran udara mengakibatkan hampir tujuh juta kematian di seluruh dunia. Saat ini, sembilan dari sepuluh manusia menghirup udara

yang melebihi batas kandungan polutan berdasarkan pedoman WHO khususnya bagi mereka yang tinggal di Negara berpenghasilan rendah dan menengah. Di Amerika Serikat, Undang-Undang Udara Bersih (*the Clean Air Act*) telah ditetapkan sejak tahun 1970 yang isinya adalah memberi wewenang kepada *U.S Environmental Protection Agency (EPA)* (Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat) untuk menjaga kesehatan masyarakat dengan mengatur emisi polutan udara yang berbahaya ini (Mackenzie & Turrentine, 2021). Sedangkan di Indonesia sendiri, berpedoman kepada Peraturan Pemerintah R.I No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Peraturan pemerintah ini merupakan penjabaran lebih lanjut dari Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Perlindungan Lingkungan Hidup, yang sekarang telah berganti menjadi Undang-Undang No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Selain Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999, ada juga beberapa Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang mengatur hal-hal teknis yang dimandatkan pada Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 misalnya penentuan baku mutu emisi, prosedur pengendalian pencemaran udara, dan pemantauan kualitas udara.



**Gambar 5.1 Pencemaran Udara Bersumber dari Industri**  
(Sumber: <https://pxhere.com>)

Terjadinya pencemaran udara atau tidak di suatu wilayah dapat dinilai dengan menggunakan perbandingan terhadap komposisi udara di atmosfer. Komposisi udara atmosfer merupakan campuran mekanis yang terdiri dari beberapa gas. Komposisi gas-gas tersebut relatif konstan jika tidak terjadi pencemaran udara. Komposisi gas-gas di atmosfer bumi diukur komposisinya pada udara kering yang bersih dan hasilnya dapat diamati pada Tabel 1.

**Tabel 5.1 Komposisi Gas di Udara Kering Yang Bersih  
(Stoker & Seager, 1972)**

No	Senyawa Gas	Rumus Kimia	Komposisi di Udara (%)	ppm
1	Nitrogen	N <sub>2</sub>	78,08	780.800
2	Oksigen	O <sub>2</sub>	20,95	209.500
3	Argon	Ar	0,934	9.340
4	Karbon Dioksida	CO <sub>2</sub>	0,0314	314
5	Neon	Ne	0,00182	18
6	Helium	He	0,000524	5
7	Metana	CH <sub>4</sub>	0,0002	2
8	Kripton	Kr	0,000114	1

## **B. Sumber Dan Penyebab Pencemaran Udara**

---

Pencemaran udara diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni:

1. Pencemaran udara yang terlihat (*visible pollution*)  
Pencemaran udara yang terlihat, seperti namanya, bisa terlihat. Kabut asap yang dilihat di daerah perkotaan adalah contoh dari pencemaran udara yang terlihat.
2. Pencemaran udara yang tidak terlihat (*invisible pollution*)  
Pencemaran udara yang tidak terlihat, tetapi bisa lebih mematikan dibandingkan pencemaran udara yang terlihat. Contoh pencemaran udara yang tidak terlihat adalah sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksida (NO).

Daerah/tingkatan wilayah terjadinya pencemaran udara, dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis mulai dari tingkatan dengan ruang lingkup yang kecil hingga yang lebih luas, yaitu:



1. Lokal

Pada tingkat lokal, terjadi penurunan kualitas udara ambien dalam radius beberapa kilometer (km).

2. Regional

Pada tingkat regional, terjadi fenomena seperti hujan asam, reaksi fitokimia, dan penurunan kualitas air pada jarak beberapa kilometer (km) hingga 1000 km

3. Global

Pada tingkat global, terjadi penipisan lapisan ozon dan pemanasan global yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

Menurut *National Park Service* (NPS, 2018), ada empat jenis sumber utama pencemaran udara, yakni:

1. Sumber bergerak (*mobile sources*)

Sumber bergerak seperti mobil, bus, pesawat, truk, dan kereta api. Sumber bergerak menyumbangkan lebih dari setengah dari semua polusi udara di U.S dan menurut Badan Perlindungan Lingkungan U.S (*the Environmental Protection Agency*) sumber utama pencemaran udara yang bergerak adalah mobil.

2. Sumber diam (*stationary sources*)

Sumber diam seperti pembangkit listrik, kilang minyak, fasilitas industri, dan pabrik. Pada industri pembangkit listrik, dibutuhkan banyak sekali bahan baku berupa batu bara. Pembakaran batu bara tersebut menghasilkan polusi udara dalam jumlah besar dari satu lokasi, ini juga dikenal sebagai sumber polusi titik dan menjadi salah satu penyebab utama pencemaran udara di Indonesia.

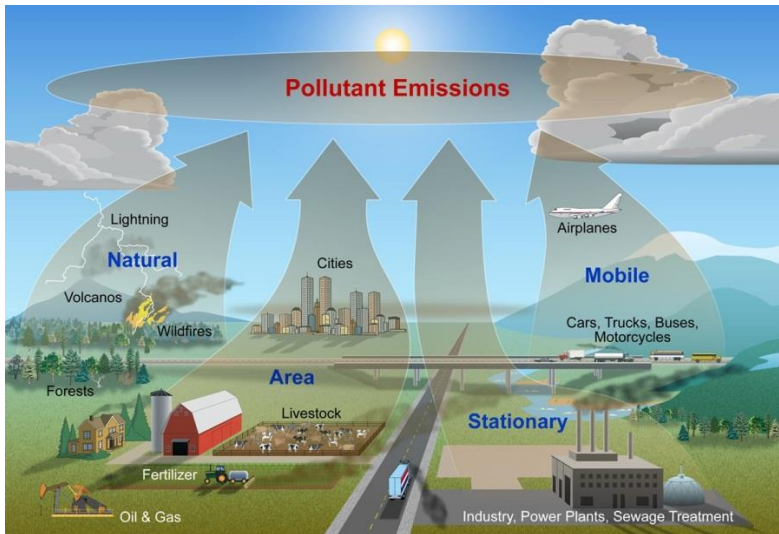
3. Sumber wilayah (*area sources*)

Sumber wilayah seperti area pertanian, kota, dan perapian kayu bakar. Sumber wilayah terdiri dari banyak

sumber polusi yang lebih kecil yang dianggap bukan masalah besar tetapi jika diabaikan dapat menjadi suatu kluster sumber pencemaran udara tersendiri.

4. Sumber alam (*natural sources*)

Sumber alam seperti debu yang tertiuip angin, kebakaran hutan, dan letusan gunung berapi. Sumber alam terkadang dapat menjadi signifikan misalnya saat terjadi letusan gunung berapi yang membuat udara menjadi tercemar atau saat kebakaran hutan yang tidak terkendali. Tetapi, hal-hal tersebut biasanya tidak menimbulkan polusi udara yang berkelanjutan seperti sumber jenis lainnya jika telah ditangani dengan baik.



**Gambar 5.2 Sumber Utama Pencemaran Udara**  
(Sumber: <https://www.nps.gov/>)

Menurut Fajri (Fajri, 2021), ada 10 penyebab pencemaran udara yang terjadi di Indonesia yakni:

1. Pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam untuk menghasilkan listrik dan berbagai jenis energi untuk menunjang kehidupan manusia. Ketika bahan bakar fosil dibakar maka akan menghasilkan Karbon Monoksida ( $\text{CO}$ ) dalam jumlah besar. Gas tersebut berperan dalam penipisan lapisan ozon dan memperparah efek rumah kaca.
2. Emisi yang berasal dari kegiatan industri. Dalam pengoperasian industri tersebut, dihasilkan berbagai jenis gas seperti nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) yang menjadi penyebab pencemaran udara. Beberapa industri juga menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakunya sehingga sisa negatif beroperasinya industri adalah sebagai penyumbang gas pencemar udara.
3. Pencemaran udara dalam ruangan. Pencemaran udara terjadi misalnya ketika ada yang merokok dalam ruangan sehingga udara dalam ruangan tersebut justru berbahaya bagi orang lain disekitarnya.
4. Kebakaran hutan yang sering terjadi hampir tiap tahun di beberapa wilayah di Indonesia. Kebakaran hutan biasanya terjadi saat musim kemarau yang diakibatkan oleh manusia yang sengaja membakar hutan untuk membuka lahan ataupun dikarenakan suhu lingkungan yang tinggi akibat pemanasan global.
5. Kegiatan area pertanian misalnya penggunaan pestisida. Pestisida yang disemprokan pada tanaman menghasilkan bau dan partikel senyawa gas tertentu yang tertinggal di udara yang menjadi penyumbang polutan pencemar udara.
6. Berbagai jenis produk kimia dan sintesis. Beberapa produk rumah yang sering digunakan oleh manusia

misalnya cat, parfum, dan deodorant mengandung senyawa yang disebut *Volatile Organic Compounds (VOCs)*. Senyawa VOCs adalah senyawa organik yang bersifat volatil atau mudah menguap yang jika terhirup oleh manusia maka akan membahayakan kesehatan berupa penyakit asma dan penyakit paru-paru. Jika partikel senyawa ini terlepas ke udara, maka akan menjadi polutan penyebab pencemaran udara.

7. Proses pembusukan mikroorganismenya. Saat terjadi pembusukan oleh mikroorganismenya seperti bakteri dan jamur pada limbah rumah tangga ataupun industri maka akan dihasilkan gas metana yang beracun yang menjadi salah satu polutan pencemar udara. Jika gas ini terlalu banyak dihirup maka akan menyebabkan kematian.
8. Mobilisasi transportasi. Jumlah penggunaan kendaraan bermotor dan bermobil di Indonesia menjadi penyumbang utama penyebab terjadinya pencemaran udara khususnya di daerah ibukota seperti Jakarta, Makassar, Bandung, dan Surabaya. Kendaraan menghasilkan gas-gas yang akan menjadi polutan seperti karbon dioksida, karbon monoksida, dan nitrogen oksida.
9. Pembakaran sampah di area terbuka. Di area pemukiman, sering sekali ditemukan adanya pembakaran sampah yang dilakukan oleh masyarakat dengan tujuan untuk membersihkan lingkungan. Justru, hal yang dilakukan tersebut hanyalah memindahkan sampah ke udara dalam bentuk polutan yang akan meningkatkan pencemaran udara. Tak hanya sampah dedaunan, warga pun kadang membakar sampah plastik, ban bekas, dan juga botol kaca yang dapat menghasilkan gas berbahaya ketika di bakar. Saat gas berbahaya tersebut dihirup oleh manusia, maka akan menimbulkan gangguan kesehatan seperti kanker,

masalah hati, dan masalah pernapasan.

10. Kegiatan industri pertambangan yang mana ketika mineral bumi sedang diambil maka akan menyebabkan banyak partikel debu yang bertebaran ke udara. Komposisi polutan akan semakin meningkat di udara sehingga meningkatkan tingkat pencemaran udara di lingkungan.

Menurut Teqoya (Teqoya, 2021), udara dalam ruangan berisiko 5-10 kali tercemar daripada udara luar. Hal tersebut disebabkan oleh 4 faktor berikut:

1. Produk rumah tangga

Contoh produk rumah tangga yang berpotensi menyebabkan pencemaran udara yakni produk pembersih rumah tangga, cat, pewangi, lilin wangi, dan dupa yang memancarkan bahan kimia beracun ke udara dan menyebabkan polusi udara dalam ruangan.

2. Alergen

Alergen adalah agen mikroskopis yang terutama dipancarkan oleh jamur, serangga, tungau debu, serbuk sari, dan hewan peliharaan. Setelah kontak dengan alergen ini, beberapa orang mungkin menderita rinitis, masalah pernapasan, infeksi mata, dan gangguan mata.

3. Virus dan bakteri

Umumnya, udara dalam ruangan memiliki tingkat bakteri yang lebih tinggi daripada udara luar. Virus dan bakteri berkembang biak lebih banyak di musim dingin daripada di musim panas, karena kurangnya ventilasi habitat.

4. Asap rokok

Berdasar pada Badan Internasional untuk Penelitian Kanker, *International Agency for Research on Cancer (IARC)*, asap tembakau adalah polusi yang paling

berbahaya di udara dalam ruangan dan sejak tahun 2002 dikategorikan sebagai karsinogen.

### **C. Pengertian Dan Jenis Pencemar Udara (*Air Pollutants*)**

Polutan merupakan elemen/molekul/partikel yang terlibat dalam polusi yang menyebabkan terjadinya pencemaran terhadap lingkungan baik pencemaran air, tanah, maupun udara. Polutan dapat masuk ke lingkungan dengan berbagai cara, baik secara alami maupun oleh perantara manusia. Secara potensial, polutan udara dapat ditemukan di udara di mana saja, baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan.

Polutan udara dapat dibagi menjadi tiga kelompok (*Department of Agriculture Water and Environment, 2021*), yaitu:

#### **1. Kriteria Polutan Udara (*Criteria Air Pollutants*)**

Kriteria polutan udara (*Criteria Air Pollutants*) adalah istilah yang digunakan secara Internasional untuk menggambarkan polutan udara yang telah diatur dan digunakan sebagai indikator kualitas udara. Peraturan atau standar tersebut didasarkan pada kriteria yang berhubungan dengan kesehatan dan/atau dampak lingkungan. Salah satu fitur kunci dari kriteria polutan udara adalah bahwa mereka umumnya tersebar luas di seluruh negeri.

Australia (*Department of Agriculture Water and Environment, 2021*) dan Amerika Serikat (National Center for Environmental Health, 2021) telah mengidentifikasi enam polutan sebagai kriteria polutan udara di udara luar (ambien), yakni:

##### **a. Karbon monoksida (*Carbon Monoxide*)**

Karbon monoksida adalah gas tidak berbau dan tidak berwarna yang dihasilkan oleh oksidasi tidak sempurna

(pembakaran) karbon. Karbon monoksida diproduksi secara alami oleh oksida metana, di lautan dan udara, yang dihasilkan dari dekomposisi organik. Di perkotaan, kendaraan bermotor adalah sumber terbesar penghasil karbon monoksida.

### **b. Sulfur dioksida (*Sulphur Dioxide*)**

Sulfur dioksida di atmosfer muncul dari aktivitas alam dan manusia. Proses alami seperti letusan gunung berapi melepaskan senyawa belerang. Kegiatan utama manusia yang menghasilkan sulfur dioksida adalah peleburan bijih mineral yang mengandung belerang, dan pembakaran bahan bakar fosil. Sulfur dioksida larut dalam air, membentuk asam sulfat yang sangat korosif di alam. Hal ini sangat merusak bahan, tumbuhan, dan jaringan hewan.

### **c. Materi partikulat (*Particulate Matter*)**

Materi partikulat (PM) adalah istilah kolektif yang digunakan untuk menunjukkan susunan luas padatan atau cairan yang terbagi halus yang tersebar di udara. Materi partikulat dapat mencakup organisme hidup seperti bakteri, virus, jamur, ganggang, serbuk sari, dll. Partikulat yang tidak dapat hidup di atmosfer adalah kabut, asap, debu, dll.

Materi partikulat yang mengancam kesehatan dapat dipancarkan dari sejumlah sumber seperti gunung berapi dan badai debu, pembangkit listrik, proses industri, dan insinerator. Ukuran partikel tersebut berkisar kurang dari 0,1 mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) hingga ratusan mikrometer. Partikel yang memiliki diameter aerodinamis kurang dari 10  $\mu\text{m}$  disebut sebagai  $\text{PM}_{10}$ . Karena partikel-partikel ini cukup kecil untuk memasuki sistem pernapasan manusia, mereka juga disebut sebagai materi partikulat yang dapat terhirup. Partikel yang berukuran lebih besar dari 10  $\mu\text{m}$  biasanya ditahan oleh silia di hidung, dan tidak masuk ke saluran

pernapasan. Oleh karena itu, partikel yang lebih besar dari 10  $\mu\text{m}$  tidak menyebabkan banyak kerusakan kecuali iritasi pada hidung dan mata.

Sumber materi partikulat (PM) dibedakan sebagai berikut (University of California, 2021):

1)  $\text{PM}_{2,5}$

$\text{PM}_{2,5}$  (juga dikenal sebagai partikel fraksi halus) umumnya didefinisikan sebagai partikel dengan diameter aerodinamis 2,5  $\mu\text{m}$  atau kurang. Sumber partikel halus meliputi semua jenis kegiatan pembakaran (kendaraan bermotor, pembangkit listrik, pembakaran kayu, dll) dan proses industri tertentu.

2)  $\text{PM}_{10-2,5}$

$\text{PM}_{10-2,5}$  (juga dikenal sebagai partikel fraksi dasar) umumnya didefinisikan sebagai partikel dengan diameter aerodinamis lebih besar dari 2,5  $\mu\text{m}$ , tetapi sama dengan atau kurang dari 10  $\mu\text{m}$ . Sumber partikel kasar termasuk operasi penghancuran atau penggilingan, dan debu dari jalan beraspal atau tidak beraspal.

3) PM lainnya dapat terbentuk di udara dari perubahan kimia gas. Mereka secara tidak langsung terbentuk ketika gas dari bahan bakar yang terbakar bereaksi dengan sinar matahari dan uap air. Sumbernya bisa dari pembakaran bahan bakar di kendaraan bermotor, di pembangkit listrik, dan dalam proses industri lainnya.

#### d. Timbal (*Lead*)

Sumber utama timbal di udara adalah bahan bakar bertimbal yang digunakan pada kendaraan bermotor. Pengenalan bahan bakar tanpa timbal pada tahun 1985 telah mengakibatkan penurunan substansial dalam konsentrasi timbal di udara. Timbal adalah logam berat, dan jika ada di



dalam tubuh, dapat mengganggu fungsi otak, terutama pada anak-anak.

**e. Nitrogen oksida (*Oxides of Nitrogen*)**

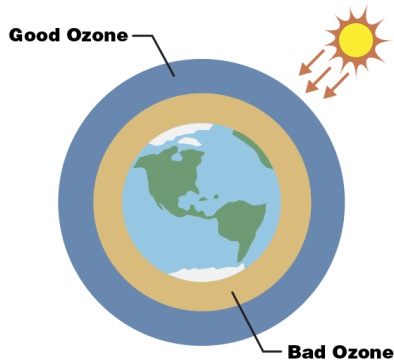
Aktivitas utama manusia yang menghasilkan oksida nitrogen adalah pembakaran bahan bakar, terutama pada kendaraan bermotor. Oksida nitrogen terbentuk di udara ketika bahan bakar dibakar pada suhu tinggi. Ini sebagian besar dalam bentuk oksida nitrat, dengan kurang dari 10% sebagai nitrogen dioksida. Setelah dipancarkan, oksida nitrat bergabung dengan oksigen (mengoksidasi) untuk membentuk nitrogen dioksida. Oksida nitrogen ini dapat tetap berada di atmosfer selama beberapa hari, dan selama waktu ini, proses kimia dapat menghasilkan asam nitrat dan partikel seperti nitrat dan nitrit. Oksida nitrogen ini memainkan peran utama dalam reaksi kimia yang menghasilkan kabut fotokimia.

**f. Ozon (*Ozone*)**

Ozon adalah gas tidak berwarna yang terbentuk oleh reaksi kimia antara gas organik reaktif dan oksida nitrogen dengan adanya sinar matahari. Ozon adalah salah satu pencemar (polutan) iritan sekunder yang ada di kabut asap perkotaan. Ozon juga merupakan gas rumah kaca yang dapat menjadi baik dan buruk bagi lingkungan kita. Itu semua tergantung di mana ozon tersebut berada di atmosfer bumi.

Ozon tinggi di atmosfer kita adalah hal yang baik. Ozon ini berada pada lapisan stratosfer dengan ketinggian 12-50 km. Ozon tersebut membantu memblokir energi berbahaya dari matahari sampai ke tanah, yang disebut radiasi. Tetapi, ketika ozon lebih dekat ke tanah, itu bisa sangat buruk bagi kesehatan manusia. Ozon permukaan tanah terbentuk ketika sinar matahari bereaksi dengan bahan kimia tertentu yang berasal dari sumber pembakaran bahan bakar fosil, seperti

pabrik atau knalpot mobil.



**Gambar 5.3 Perbedaan Ozon Baik dan Ozon Buruk**  
(Sumber: <https://climatekids.nasa.gov/>)

Selain itu, *The U.S Environmental Protection Agency (U.S EPA)* menetapkan senyawa-senyawa polutan udara lainnya yang biasa ditemukan di udara yakni:

- 1) Akrolein
- 2) Asbes
- 3) Benzena
- 4) Karbon disulfida
- 5) Kreosot
- 6) Bahan bakar minyak/minyak tanah
- 7) Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs*)
- 8) Serat Vitreous Sintetis
- 9) Total Hidrokarbon Minyak Bumi (*Total Petroleum Hydrocarbons, TPH*)

## **2. Racun Udara (*Air Toxics*)**

Racun udara kadang-kadang disebut sebagai polutan udara berbahaya (*hazardous air pollutants*). *The Living Cities-*

*Air Toxics Program* mendefinisikan racun udara sebagai polutan berupa gas, aerosol, atau partikulat yang ada di udara dalam konsentrasi rendah dengan karakteristik seperti toksisitas atau persistensi sehingga dapat membahayakan kehidupan manusia, tumbuhan, atau hewan (*National Center for Environmental Health, 2021*).

Sumber racun udara termasuk emisi kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar padat, emisi industri, dan bahan-bahan seperti cat dan perekat di gedung-gedung baru. Racun udara berpotensi menimbulkan bahaya serius bagi kesehatan manusia dan/atau lingkungan. Dalam mengenali potensi masalah kesehatan yang timbul dari paparan racun udara, Australia telah menetapkan tolak ukur nasional untuk 5 prioritas racun udara di udara ambien (*National Center for Environmental Health, 2021*), yaitu:

- a. Benzena
- b. Toluene
- c. Xilena
- d. Formaldehida
- e. Hidrokarbon Poliaromatik

### **3. Pencemaran Biologis (*Biological Pollutants*)**

Pencemaran biologis adalah kelas lain dari polutan. Mereka muncul dari sumber seperti kontaminasi mikrobiologis, misalnya jamur, kulit hewan, dan manusia serta sisa-sisa dan kotoran hama seperti kecoa. Polutan biologis dapat mengudara dan dapat berdampak signifikan pada kualitas udara dalam ruangan.

Zat pencemar udara dapat dikategorikan berdasarkan ciri fisiknya (Ratnani, 2008), yaitu:

- a. Gas misalnya karbon teroksidasi dan tereduksi ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ), nitrogen ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ),  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , uap

$C_6H_6$ , Hg, fenol volatile,  $Cl_2$ , dll

b. Radiasi pengion yang berbeda dan kebisingan

c. Partikel dalam suspensi (aerosol, kabut, asap)

1) Aerosol: partikel zat yang ada di udara dalam keadaan terhambur dan melayang



**Gambar 5.4 Aerosol Bersumber Dari Bahan Kimia dan Manusia**

(Sumber: <https://id.fluorined-chemical.com/> dan <https://news.detik.com/>)

2) Kabut (*fog*) : aerosol yang berada di udara berbentuk butiran-butiran air



**Gambar 5.5 Hutan Pohon Kabut**  
(Sumber: <https://pixabay.com/>)

- 3) Kabut Asap (*smog*) : aerosol yang ada di udara dalam keadaan terhambur dan melayang yang berbentuk campuran antara butir padatan dan cairan



**Gambar 5.6 Kabut asap**  
(Sumber: Bobak via Wikimedia Commons CC BY-SA 2.5)

Kabut asap adalah jenis polusi udara di kota-kota yang membuat sulit untuk melihat ke luar. Gambar di atas adalah gambar Beijing pada hari yang cerah setelah hujan (kiri) dan pada hari yang berkabut (kanan).

Berdasarkan sumber emisinya, pencemar udara dibagi menjadi dua jenis yakni:

1. Pencemar udara (polutan) primer

Pencemar udara primer adalah pencemar yang terbentuk dan dipancarkan langsung dari sumber tertentu. Contohnya adalah partikulat, karbon monoksida, nitrogen oksida, dan sulfur oksida dari knalpot kendaraan bermotor serta abu dari letusan gunung berapi.

Sumber pencemar udara primer di udara dapat digolongkan menjadi dua sumber yaitu:

a. Sumber yang bersifat alamiah (*natural*)

Contoh sumber yang bersifat alamiah misalnya pencemar udara yang berasal dari letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, dan spora tumbuhan.

b. Sumber yang berasal dari kegiatan manusia (antropogenik)

Contoh sumber pencemar udara yang berasal dari kegiatan manusia yaitu mobilisasi transportasi, industri yang beroperasi, rokok yang dihirup manusia, dan pembakaran sampah.

2. Pencemar udara (polutan) sekunder

Pencemar udara sekunder adalah pencemar yang terbentuk di atmosfer ketika pencemar primer bereaksi atau berinteraksi melalui reaksi kimia tertentu. Contohnya adalah ozon dan aerosol organik sekunder (kabut asap). Polutan sekunder lebih sulit dikendalikan karena memiliki cara sintesis yang berbeda dan pembentukannya tidak dipahami dengan baik. Mereka terbentuk secara alami di lingkungan dan menyebabkan masalah seperti kabut asap fotokimia.

## **D. Dampak Pencemaran Udara**

---

Dampak pencemaran udara dapat dibagi menjadi beberapa kategori, yakni:

### **1. Dampak kepada manusia**

Manusia mengalami berbagai efek kesehatan akibat terpapar polusi udara. Efek yang dirasakan dapat dibagi menjadi dua jenis yakni:

#### **a. Efek jangka pendek**

Efek jangka pendek, yang bersifat sementara, adalah munculnya penyakit seperti pneumonia atau bronkitis. Selain itu, menyebabkan ketidaknyamanan seperti iritasi pada hidung, tenggorokan, mata, atau kulit. Polusi udara juga dapat menyebabkan sakit kepala, pusing, dan mual. Bau busuk yang dibuat oleh pabrik, sampah, atau sistem saluran pembuangan juga dianggap sebagai polusi udara. Bau ini bukanlah dampak yang begitu serius namun tetap tidak menyenangkan.

#### **b. Efek jangka panjang**

Efek jangka panjang dari pencemaran udara dapat berlangsung selama bertahun-tahun atau seumur hidup. Efek pencemaran udara bahkan dapat menyebabkan kematian seseorang. Efek kesehatan jangka panjang dari pencemaran udara termasuk penyakit jantung, kanker paru-paru, dan penyakit pernapasan seperti emfisema. Pencemaran udara juga dapat menyebabkan kerusakan jangka panjang pada saraf, otak, ginjal, hati, dan organ tubuh manusia lainnya. Beberapa ilmuwan menduga pencemaran udara menyebabkan cacat lahir. Hampir 2,5 juta orang meninggal di seluruh dunia setiap tahun akibat efek polusi udara luar atau dalam ruangan (National Geographic, 2021).

Manusia bereaksi berbeda terhadap berbagai jenis pencemaran udara. Anak-anak dan orang dewasa yang lebih

tua, yang sistem kekebalannya cenderung lebih lemah, seringkali lebih sensitif terhadap pencemaran udara. Paparan polusi udara tingkat tinggi selama kehamilan juga dapat menyebabkan keguguran dan kelahiran prematur, autisme, asma, dan gangguan spektrum pada anak kecil. Hal ini juga dapat mengganggu perkembangan awal otak anak dan menyebabkan pneumonia, yang membunuh hampir satu juta anak di bawah usia lima tahun. Anak-anak berisiko lebih besar terkena infeksi pernapasan jangka pendek dan penyakit paru-paru di daerah yang terpapar polusi udara. Kondisi seperti asma, penyakit jantung, dan penyakit paru-paru dapat diperburuk oleh paparan pencemaran udara. Lama paparan dan jumlah serta jenis polutan juga merupakan faktor yang menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia.

## **2. Dampak kepada lingkungan**

Seperti manusia, hewan, dan tumbuhan, seluruh ekosistem dapat mengalami efek akibat terjadinya pencemaran udara. Kabut, seperti kabut asap, adalah jenis pencemaran udara yang terlihat yang mengaburkan bentuk dan warna. Pencemaran udara yang kabur bahkan dapat meredam suara.

Partikel pencemar udara akhirnya jatuh kembali ke bumi. Pencemaran udara secara langsung dapat mencemari permukaan badan air dan tanah. Hal ini dapat membunuh tanaman atau mengurangi produktivitas tanaman tersebut. Hal tersebut dapat membunuh pohon muda dan tanaman lain.

Partikel sulfur dioksida dan nitrogen oksida di udara, dapat menciptakan hujan asam ketika bercampur dengan air dan oksigen di atmosfer. Polutan udara ini sebagian besar



berasal dari pembangkit listrik tenaga batu bara dan kendaraan bermotor. Ketika hujan asam turun ke bumi, hal tersebut dapat merusak tanaman dengan mengubah komposisi tanah; menurunkan kualitas air di sungai, danau dan sungai; merusak tanaman; dan dapat menyebabkan bangunan dan monumen membusuk. Seperti manusia, hewan dapat menderita efek kesehatan dari paparan pencemar udara. Cacat lahir, penyakit, dan tingkat reproduksi yang lebih rendah semuanya dikaitkan dengan pencemaran udara.

Adapun dampak pencemaran udara terhadap lingkungan di rincikan sebagai berikut:

**a. Pemanasan Global (Global Warming)**

Pemanasan global adalah fenomena lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran udara dan antropogenik. Hal ini mengacu pada peningkatan suhu udara dan laut di seluruh dunia. Kenaikan suhu ini setidaknya sebagian disebabkan oleh peningkatan jumlah gas rumah kaca di atmosfer. Gas rumah kaca memerangkap energi panas di atmosfer bumi. (Biasanya, lebih banyak panas bumi yang keluar ke luar angkasa).

Karbon dioksida adalah gas rumah kaca yang memiliki efek terbesar pada pemanasan global. Karbon dioksida dilepaskan ke atmosfer dengan membakar bahan bakar fosil (batubara, bensin, dan gas alam). Manusia mulai mengandalkan bahan bakar fosil untuk menggerakkan mobil dan pesawat, memanaskan rumah, dan menjalankan pabrik. Melakukan hal-hal tersebut justru mencemari udara dengan karbon dioksida.

Gas rumah kaca lainnya yang dipancarkan oleh sumber alami dan buatan juga termasuk metana, *nitrous oxide*, dan gas berfluorinasi. Metana adalah emisi utama dari pembangkit listrik tenaga batu bara dan proses pertanian.

*Nitrous oxide* adalah emisi umum dari pabrik industri, pertanian, dan pembakaran bahan bakar fosil di mobil. Gas berfluorinasi, seperti hidrofluorokarbon, dikeluarkan oleh industri. Gas berfluorinasi sering digunakan sebagai pengganti gas seperti klorofluorokarbon (CFC). CFC telah dilarang di banyak tempat karena menipiskan lapisan ozon.



**Gambar 5.7 Ilustrasi Penyebab Global Warming**  
(Sumber: <https://www.vecteezy.com/>)

Di seluruh dunia, banyak negara telah mengambil langkah-langkah untuk mengurangi atau membatasi emisi gas rumah kaca untuk memerangi pemanasan global. Protokol Kyoto, pertama kali diadopsi di Kyoto, Jepang, pada tahun 1997, merupakan kesepakatan antara 183 negara bahwa mereka akan bekerja untuk mengurangi emisi karbon dioksida mereka. Amerika Serikat belum menandatangani perjanjian itu.

## **b. Hujan Asam (*Acid Rain*)**

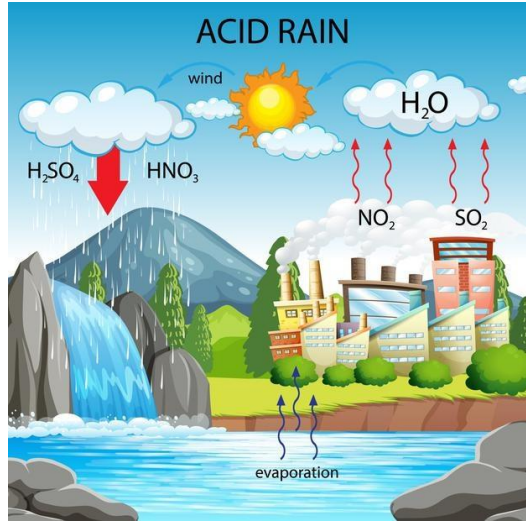
Hujan asam, atau deposisi asam, adalah istilah luas yang mencakup segala bentuk presipitasi dengan komponen asam, seperti asam sulfat atau nitrat yang jatuh ke tanah dari atmosfer dalam bentuk basah atau kering. Ini bisa termasuk hujan, salju, kabut, hujan es atau bahkan debu yang bersifat asam.

Hujan asam terjadi ketika sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dilepaskan ke atmosfer dan diangkut oleh angin dan arus udara.  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  bereaksi dengan air, oksigen dan bahan kimia lainnya untuk membentuk asam sulfat dan nitrat. Ini kemudian bercampur dengan air dan bahan lainnya sebelum jatuh ke tanah. Sedangkan sebagian kecil  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  penyebab hujan asam berasal dari sumber alam seperti gunung berapi, sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil.

Sumber utama  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  di atmosfer adalah:

- 1) Pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan listrik. Dua pertiga  $\text{SO}_2$  dan seperempat  $\text{NO}_x$  di atmosfer berasal dari pembangkit tenaga listrik
- 2) Kendaraan dan alat berat
- 3) Manufaktur, kilang minyak dan industri lainnya

Angin dapat meniup  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  dalam jarak jauh dan melintasi perbatasan membuat hujan asam menjadi masalah bagi semua orang dan bukan hanya mereka yang tinggal dekat dengan sumber-sumber ini.



**Gambar 5.8 Jalur Terjadinya Ujan Asam**  
(Sumber: <https://www.freepik.com/>)

Bentuk deposisi asam terbagi atas dua jenis, yakni:

1) Deposisi Basah

Deposisi basah adalah apa yang paling sering kita anggap sebagai hujan asam. Asam sulfat dan nitrat yang terbentuk di atmosfer jatuh ke tanah bercampur dengan hujan, salju, kabut, atau hujan es.

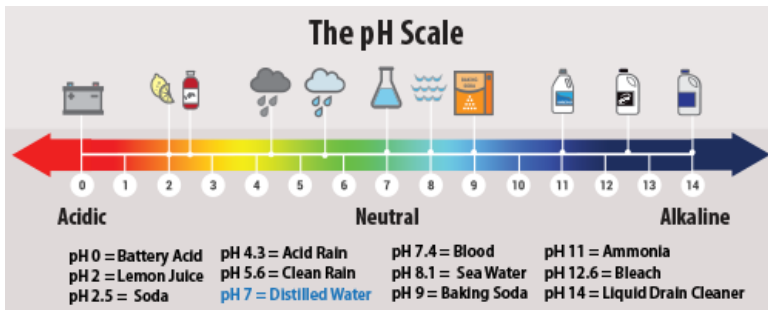
2) Deposisi Kering

Partikel asam dan gas juga dapat terdeposit dari atmosfer tanpa adanya uap air sebagai deposisi kering. Partikel asam dan gas dapat mengendap ke permukaan (badan air, vegetasi, bangunan) dengan cepat atau dapat bereaksi selama transportasi atmosfer untuk membentuk partikel yang lebih besar yang dapat berbahaya bagi kesehatan manusia. Ketika asam yang terakumulasi tersapu dari permukaan oleh hujan berikutnya, air asam ini mengalir melalui tanah, dan dapat membahayakan tanaman dan

satwa liar, seperti serangga dan ikan.

Jumlah keasaman di atmosfer yang mengendap ke bumi melalui pengendapan kering tergantung pada jumlah curah hujan yang diterima suatu daerah. Misalnya, di daerah gurun, rasio deposisi kering dan basah lebih tinggi daripada daerah yang menerima beberapa inci hujan setiap tahun.

Keasaman dan alkalinitas hujan asam diukur dengan menggunakan skala pH dimana 7,0 netral. Semakin rendah pH suatu zat (kurang dari 7), semakin asam; semakin tinggi pH suatu zat (lebih besar dari 7), semakin basa itu. Hujan normal memiliki pH sekitar 5,6; itu sedikit asam karena karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) larut ke dalamnya membentuk asam karbonat lemah. Hujan asam biasanya memiliki pH antara 4,2 dan 4,4.



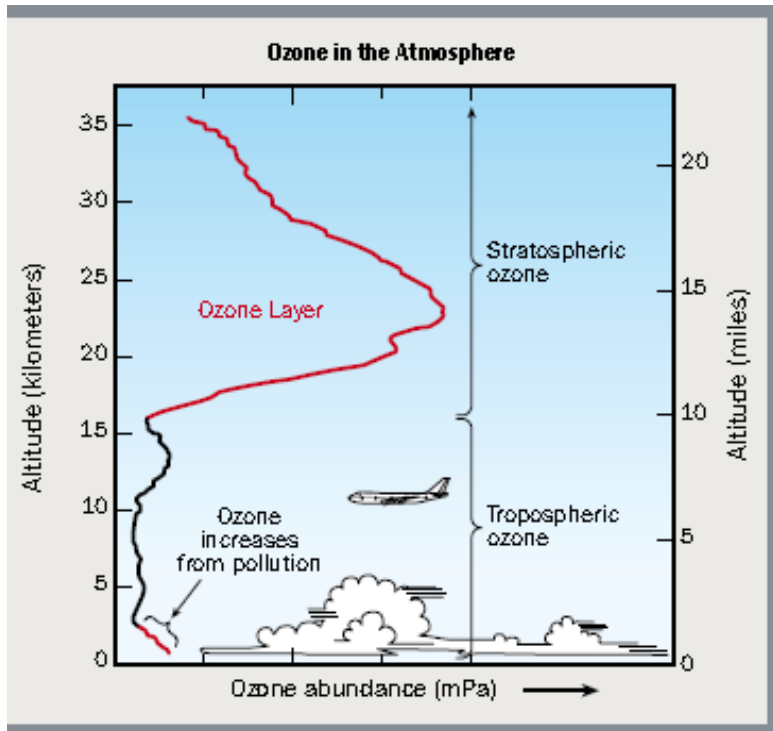
**Gambar 5.9 Skala pH**  
(Sumber: <https://www.epa.gov/>)

### c. Penipisan Lapisan Ozon

Atmosfer bumi terdiri dari beberapa lapisan. Lapisan terendah, troposfer, memanjang dari permukaan bumi hingga ketinggian sekitar 10 km. Hampir semua aktivitas manusia terjadi di troposfer. Gunung Everest, gunung

tertinggi di planet ini, tingginya hanya sekitar 9 km. Lapisan berikutnya, stratosfer, berlanjut dari 10-50 km. Sebagian besar pesawat komersial terbang di bagian bawah stratosfer.

Sebagian besar ozon atmosfer terkonsentrasi di lapisan stratosfer, sekitar 15-30 km di atas permukaan bumi (lihat Gambar 10). Ozon adalah molekul yang mengandung tiga atom oksigen ( $O_3$ ). Pada waktu tertentu, molekul ozon terus terbentuk dan hancur di stratosfer. Jumlah total tetap relatif stabil selama beberapa dekade yang telah diukur.



**Gambar 5.10 Ozon di Atmosfer**

(Sumber: Figure Q1-2 from Michaela I. Hegglin (Lead Author), David W. Fahey, Mack McFarland, Stephen A. Montzka, and Eric R. Nash, Twenty Questions and Answers

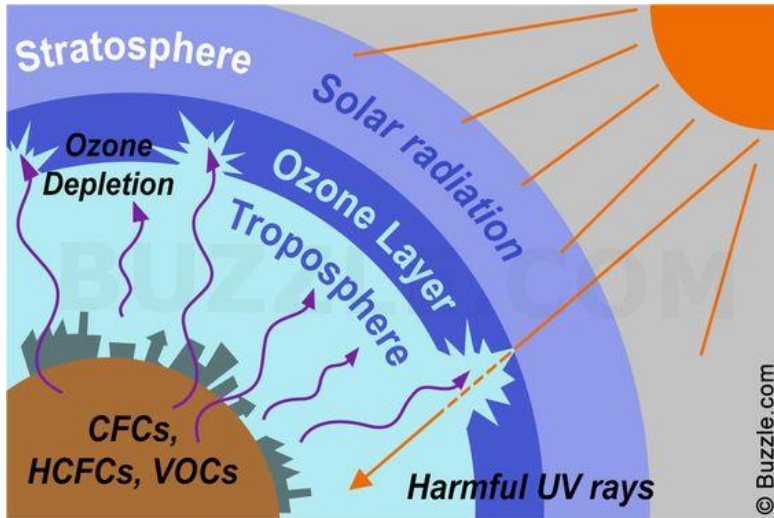
About the Ozone Layer: 2014 Update, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, 84 pp., World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2015)

Lapisan ozon di stratosfer menyerap sebagian radiasi dari matahari, mencegahnya mencapai permukaan planet. Yang terpenting, ozon menyerap porsi sinar UV yang disebut UVB. UVB telah dikaitkan dengan banyak efek berbahaya, termasuk kanker kulit, katarak, dan kerusakan pada beberapa tanaman dan kehidupan laut.

Para ilmuwan telah membuat catatan yang mencakup beberapa dekade yang merinci tingkat ozon normal selama siklus alam. Konsentrasi ozon di atmosfer bervariasi secara alami dengan bintik matahari, musim, dan garis lintang. Proses ini dipahami dengan baik dan dapat diprediksi. Setiap penurunan alami tingkat ozon telah diikuti oleh pemulihan. Namun, mulai tahun 1970-an, bukti ilmiah menunjukkan bahwa pelindung ozon semakin menipis di luar proses alami.

Penipisan ozon terjadi ketika atom klorin dan bromin bersentuhan dengan ozon di stratosfer dan mereka menghancurkan molekul ozon. Satu atom klorin dapat menghancurkan lebih dari 100.000 molekul ozon sebelum dikeluarkan dari stratosfer. Ozon dapat dihancurkan lebih cepat daripada yang dibuat secara alami.

Beberapa senyawa melepaskan klorin atau bromin ketika mereka terkena sinar UV yang intens di stratosfer. Senyawa ini berkontribusi terhadap penipisan ozon, dan disebut zat perusak ozon (*ozone-depleting substances, ODS*). ODS yang melepaskan klorin termasuk klorofluorokarbon (CFC), hidroklorofluorokarbon (HCFC), karbon tetraklorida, dan metil kloroform. ODS yang melepaskan bromin termasuk halogen dan metil bromida.



**Gambar 5.11 Simulasi Terjadinya Kerusakan Lapisan Ozon**

(Sumber: <https://www.pinterest.de/>)

## **E. Regulasi**

Selain Protokol Kyoto Internasional (*The International Kyoto Protocol*), sebagian besar negara maju telah mengadopsi undang-undang untuk mengatur emisi dan mengurangi polusi udara. Di Amerika Serikat, perdebatan sedang berlangsung tentang sistem yang disebut *cap and trade* untuk membatasi emisi. Sistem ini akan membatasi, atau membatasi, jumlah polusi yang diizinkan perusahaan. Perusahaan yang melebihi batas mereka harus membayar. Perusahaan yang mencemari kurang dari *cap* mereka dapat memperdagangkan atau menjual sisa tunjangan polusi mereka ke perusahaan lain. *Cap and trade* pada dasarnya akan membayar perusahaan untuk membatasi polusi.

Pada tahun 2006, Organisasi Kesehatan Dunia (*The World Health Organization, WHO*), mengeluarkan Pedoman Kualitas



Udara baru (*new Air Quality Guidelines*). Pedoman WHO lebih ketat daripada pedoman yang ada di sebagian besar negara. Pedoman WHO bertujuan untuk mengurangi kematian terkait polusi udara sebesar 15 persen per tahun.

## **F. Pengurangan (*Reduction*)**

---

Siapa saja dapat mengambil langkah-langkah untuk mengurangi pencemaran udara. Jutaan orang setiap hari membuat perubahan sederhana dalam hidup mereka untuk melakukan ini. Hal-hal yang dapat dilakukan oleh manusia sejak dini guna mengurangi pencemaran udara yang terjadi, yaitu:

### **1. Gunakan Transportasi Umum**

Mendorong masyarakat untuk semakin menggunakan transportasi umum guna mengurangi polusi. Coba juga *carpooling*. Jika Anda dan kolega Anda berasal dari komunitas yang sama dan memiliki jadwal yang sama, anda dapat menjelajahi opsi ini untuk menghemat energi dan uang.

### **2. Praktik Rumah Tangga Terbaik**

Buang cerobong asap dan/atau tungku kayu yang digunakan untuk pemanas rumah. Gunakan *gas logs* bukan kayu. Juga menghilangkan penggunaan rumput gas dan peralatan taman. Hindari membakar sampah, daun kering atau bahan lain di halaman rumah, dan hindari menyalakan api unggun terbuka. Cobalah membuat mulsa atau membuat kompos dari sampah halaman. Gunakan produk pembersih dan cat yang ramah lingkungan.

### **3. Menghemat energi**

Matikan komputer dan lampu saat keluar. Banyak bahan bakar fosil dibakar untuk menghasilkan listrik. Untuk menghemat energi, lampu neon kompak menggunakan lebih

sedikit listrik daripada lampu neon lainnya. Mereka hidup lebih lama, menggunakan lebih sedikit listrik, menurunkan tagihan listrik dan juga membantu mengurangi polusi dengan menggunakan lebih sedikit energi.

#### **4. Memahami konsep mengurangi, menggunakan kembali, dan mendaur ulang (*reduce, reuse and recycle*)**

Jangan membuang benda-benda yang tidak berguna bagi Anda. Sebaliknya, gunakan kembali untuk tujuan lain. Misalnya, bisa menggunakan pot bekas untuk menyimpan biji-bijian atau kacang-kacangan.

Menurut Rinkesh (Rinkesh, 2021), ada 45 cara-cara umum namun praktis dan mudah untuk menghentikan atau mencegah pemanasan global sehingga tidak perlu mencari kolonisasi di planet lain, yaitu:

#### **1. *Reduce, Reuse and Recycle*, 3R(mengurangi, menggunakan kembali, dan mendaur ulang)**

Mengurangi kebutuhan untuk membeli produk baru menghasilkan jumlah limbah yang lebih sedikit. Bahkan jika perlu membeli, pertimbangkan untuk membeli produk ramah lingkungan. Ini adalah yang paling efektif dari 3R. Gunakan kembali botol, wadah plastik, dan barang-barang lain yang dibeli di toko bahan makanan. Menggunakan kembali botol air dan barang-barang lainnya adalah kesadaran tentang apa yang sudah ada di luar sana. Ini akan mengurangi keharusan membeli barang lain yang akan memenuhi fungsi yang sama. Kita dapat mendaur ulang hampir semua hal, misalnya kertas, botol, aluminium foil, kaleng, koran. Mendaur ulang barang-barang yang tidak diinginkan ini adalah tip penghematan bumi yang bagus. Dengan mendaur ulang, kita dapat membantu mengurangi tempat pembuangan sampah.

## **2. Kurangi Sampah**

Tempat pembuangan sampah adalah penyumbang utama metana dan gas rumah kaca lainnya. Ketika limbah dibakar, ia melepaskan gas beracun ke atmosfer, yang menyebabkan pemanasan global. Menggunakan kembali dan mendaur ulang barang-barang lama dapat mengurangi jejak karbon secara signifikan karena mendaur ulang barang-barang lama membutuhkan energi yang jauh lebih sedikit daripada menghasilkan barang-barang dari awal.

## **3. Perbarui Perabotan Anda**

Meja daur ulang, furnitur, dan barang-barang usang lainnya untuk menjaga tempat pembuangan sampah tetap bersih. Pertimbangkan untuk menggunakan bahan daur ulang seperti palet atau mengganti furnitur lama daripada membeli yang baru.

## **4. Daur Ulang Pakaian**

Rata-rata orang Amerika membuang sekitar 80 pon pakaian setahun. Mode cepat tidak hanya boros, tetapi biaya lingkungannya sangat merusak. Beberapa pengecer menawarkan program daur ulang, sementara perusahaan seperti Patagonia benar-benar akan membeli, memperbarui, dan menjual kembali pakaian yang sudah usang.

## **5. Bawa Tas Belanja sendiri**

Kantong plastik merusak lingkungan. Mereka membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai, mencemari tanah dan saluran air, dan menyebabkan kematian hewan laut yang meluas. Kota-kota dan negara bagian di seluruh negeri telah memberlakukan larangan kantong plastik atau biaya tas sekali pakai untuk mengatasi masalah tersebut. Beralih ke tas yang dapat digunakan kembali dan gunakan secara konsisten untuk berkontribusi.

## **6. Ganti Bola Lampu Pijar Biasa**

Ganti bola lampu pijar biasa dengan *Compact Fluorescent Light* (CFL). Mereka mengkonsumsi energi 70% lebih sedikit daripada bohlam biasa dan memiliki masa pakai yang lebih lama.

## **7. Beli Peralatan Hemat Energi**

Selalu beli produk yang hemat energi karena dapat membantu menghemat banyak uang untuk tagihan energi. Produk bersertifikasi *Energy Star* lebih efisien yang dapat membantu menghemat energi, menghemat uang, dan mengurangi jejak karbon.

## **8. Mematikan lampu**

Ingat, jika tidak menggunakan ruangan, lampu tidak perlu dinyalakan.

## **9. Matikan Perangkat Elektronik**

Matikan perangkat elektronik saat bepergian selama beberapa hari atau lebih. Penggunaan peralatan elektronik yang tidak perlu tidak hanya akan menghemat bahan bakar, yaitu batu bara yang digunakan untuk mendapatkan listrik, tetapi juga meningkatkan masa pakai gadget.

## **10. Gunakan Panel Surya**

Banyak orang telah menggunakan energi surya. Memasang panel surya adalah sesuatu yang mudah dan tersedia. Insentif dan diskon yang diberikan oleh lembaga pemerintah dan perusahaan energi menjadikan energi surya sesuatu yang perlu diperhatikan.



**Gambar 5.12 Panel Surya sebagai Sumber Energi di Rumah**

(<https://pxhere.com/id/photo/546339>)

### **11. Gunakan Lebih Sedikit Air Panas**

Hindari mencuci pakaian dengan air panas. Cukup cuci dengan air dingin atau hangat. Hindari mandi terlalu sering dan gunakan lebih sedikit air panas. Hal ini akan membantu dalam menghemat energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi itu.

### **12. Pasang Termostat yang Dapat Diprogram**

Termostat yang dapat diprogram tidak memerlukan banyak biaya, dan biayanya dapat dipulihkan dari jumlah yang dihemat dengan mengurangi energi. Saran termudah dan paling hemat biaya adalah dengan menyesuaikan termostat pada 1 derajat ke bawah di musim dingin dan naik 1 derajat di musim panas. Turunkan termostat pada 2 derajat di musim dingin.

### **13. Gunakan Bahan Bakar Ramah Lingkungan**

Listrik, mobil pintar, mobil yang menggunakan minyak nabati, dll...adalah contoh yang bagus dalam menggunakan energi terbarukan. Mendukung perusahaan yang menyediakan produk ini akan membantu perusahaan

manufaktur arus utama lainnya untuk beralih.

#### **14. Cari Pilihan Bahan Bakar Terbarukan**

Jika tidak mampu membeli mobil listrik, belilah bahan bakar yang paling ramah lingkungan. Saat membeli mobil, pilihlah mobil yang menyediakan bahan bakar terbarukan.

#### **15. Hemat Energi**

Ketika mengonsumsi lebih sedikit energy maka lebih sedikit karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Mengubah jenis bola lampu yang digunakan adalah awal yang baik.

#### **16. Bungkus pemanas air Anda dalam Isolasi**

Dengan menjaga energi dalam pemanas air terkondensasi, lebih sedikit energi yang dipancarkan ke udara. Ini tidak hanya membantu bumi tetapi juga menghemat pengeluaran.

#### **17. Periksa Tutup Gas Anda**

Tutup gas yang longgar, retak, atau rusak memungkinkan gas keluar dari tangki sebagai uap yang dapat merusak lingkungan. Ini juga membuang-buang bahan bakar dan uang bensin yang diperoleh dengan susah payah. Putar tutup gas sampai berbunyi klik beberapa kali.

#### **18. Menyekat**

Membuat rumah kita lebih efisien secara substansial dapat mengurangi energi yang dibutuhkan untuk memanaskan dan mendinginkan. Menambahkan isolasi dan mendempul di sekitar rumah dapat mengurangi tagihan energi hingga lebih dari 25%.

#### **19. Ganti Filter pada AC dan Tungku**

Jika belum mengganti filter AC dan tungku, maka energi tetap terbang tetapi menghirup udara kotor. Membersihkan filter udara yang kotor dapat menghemat beberapa gram karbon dioksida per tahun.

## 20. Peduli lingkungan (*Go Green*)

Menggunakan peralatan *Energy Star* tidak hanya akan menghemat uang tetapi juga jumlah energi yang terbuang di rumah.

## 21. Unduh Aplikasi Penghematan Bumi (*Earth Saving Apps*)

Aplikasi seperti *Kil-Ur-Watts* dan *Wiser EMS* tidak hanya membantu menghitung biaya energi, tetapi juga menyediakan alat dan cara untuk menghemat energi dan uang.

## 22. Menanam sebuah pohon

Menanam pohon dapat membantu banyak dalam mengurangi pemanasan global daripada metode lainnya. Mereka tidak hanya memberikan oksigen tetapi juga mengambil karbon dioksida selama proses fotosintesis, yang merupakan sumber utama pemanasan global.

## 23. Gunakan Jemuran untuk Mengeringkan Pakaian Anda

Pikirkan orang tua ketika mereka melakukan ini. Sebagian besar pakaian tidak boleh dimasukkan ke dalam pengering.



**Gambar 5.13 Jemuran Pakaian untuk Mengeringkan Baju**  
(<https://www.conserve-energy-future.com/>)

## **24. Tanam Kebun Sayur sendiri**

Tidak ada yang lebih lokal daripada mendapatkan sayuran segar dari halaman belakang rumah sendiri.

## **25. Mulai Pengomposan**

Mengubah sisa makanan dan potongan rumput menjadi tanah segar yang kaya nutrisi memberi dorongan pada taman rumah. Kira-kira 20 hingga 30% dari apa yang biasanya kita buang dapat dikomposkan. Dan prosesnya menawarkan manfaat besar seperti menghemat uang untuk pengiriman sampah organik ke tempat pembuangan sampah dan menghasilkan energi dari metana.

## **26. Hemat Air**

Ini adalah tips yang melelahkan, tetapi sangat penting. Jika kita menambahkan air yang terbuang karena jutaan orang Amerika menyikat gigi, kita dapat menyediakan air minum yang tidak bersih untuk lebih dari 23 negara. Ingat, dibutuhkan energi untuk menarik dan menyaring air dari bawah tanah.

Mandi cepat selama 5 menit akan sangat menghemat energi. Jenis kepala pancuran yang digunakan juga akan membantu dalam memerangi pemanasan global. Mandilah alih-alih mandi. Mandi menggunakan lebih sedikit air daripada mandi sebesar 25%, selama setahun, itu berarti ratusan galon yang dihemat.

## **27. Makan Lebih Sedikit Hamburger**

Selain karbon dioksida, metana yang masuk ke udara berkontribusi terhadap pemanasan global. Dengan daging yang dikonsumsi dalam hitungan detik, jumlah sapi yang mengeluarkan metana merupakan penyumbang besar.

## **28. Kurangi Limbah Makanan**

Apakah itu tertinggal di piring atau membusuk di lemari es, makanan yang terbuang adalah masalah besar. Menurut



*Environmental Protection Agency (EPA)*, di Amerika Serikat, pemborosan makanan menyumbang sampah 38 juta ton per tahun. Namun, perubahan kecil pada rutinitas masing-masing dapat membuat perbedaan besar. Hemat makanan, dan terapkan cara yang lebih cerdas tentang penyimpanan dan pengawetan.

### **29. Jangan Minum Air Botol**

Tempat pembuangan sampah sudah mengandung lebih dari 2 juta ton botol plastik. Dibutuhkan 1,5 juta barel minyak untuk memproduksi botol air setiap tahun, dan botol-botol itu membutuhkan waktu lebih dari 1.000 tahun untuk terurai. Miliki satu botol air yang dapat digunakan kembali untuk membuat perbedaan besar.

### **30. Makan Siang di Kotak Makanan**

Setiap kali membuang karung kertas cokelat, kotak kertas makanan, steroform, maupun wadah makanan sekali pakai sehabis makan, maka semakin banyak sampah yang dihasilkan. Biasakan membawa makanan sendiri dari rumah dengan menggunakan kotak makanan yang dapat dipakai berkali-kali.

### **31. Makan Makanan Yang di Olah Sendiri**

Manfaat kesehatan tidak hanya berbicara keajaiban bagi mereka yang makan makanan yang diolah sendiri, tetapi juga mengurangi biaya energi yang digunakan oleh pabrik yang memproduksi makanan olahan.

### **32. Hapus Rumput Anda**

Sepetak hijau "kecil" di depan rumah terlihat indah, tetapi halaman rumput membutuhkan air ekstra, peralatan bertenaga gas, dan pupuk yang mencemari saluran air. Lebih sedikit rumput sama dengan lebih sedikit gas.

### **33. Gunakan Kain Dapur Daripada Handuk Kertas**

Handuk kertas tidak menghasilkan apa-apa selain energi

yang terbuang—bayangkan polusi pabrik, serta konsumsi pohon.

### **34. Gunakan Kembali Handuk**

Gantung handuk hingga kering, alih-alih memasukkannya kembali ke dalam cucian setelah beberapa kali digunakan.

### **35. Hindari Produk Dengan Banyak Kemasan**

Hanya saja, jangan membeli produk dengan banyak kemasan. Ketika membeli produk seperti itu, maka akhirnya kita akan membuang bahan limbah ke tempat sampah, yang kemudian akan membantu mengisi tempat pembuangan sampah dan mencemari lingkungan. Juga, mencegah orang lain dari membeli produk tersebut.

### **36. Service Mobil Secara Teratur**

Perawatan rutin akan membantu mobil berfungsi dengan baik dan mengeluarkan lebih sedikit karbon dioksida.

### **37. Periksa Ban Kendaraan**

Pastikan ban terisi angin dengan benar saat kita mengemudi. Jika tidak, maka kendaraan mungkin mengkonsumsi lebih banyak bahan bakar, yang pada gilirannya melepaskan lebih banyak CO<sub>2</sub> di atmosfer. Jaga agar mesin disetel dengan benar dan mengemudi dengan tidak terlalu agresif. Mengemudi secara agresif dan seringnya mengerem menghambat mesin dan bahkan dapat menurunkan jarak tempuh mobil.

### **38. Kurangi Berkendara atau Carpool**

Dengan berkendara lebih sedikit, tidak hanya menghemat bahan bakar tetapi juga membantu mengurangi pemanasan global. Juga, perhatikan kemungkinan lain, misalnya, carpooling. Jika Anda memiliki rekan kerja yang tinggal di area yang sama, maka Anda dapat menggabungkan perjalanan

Jika perlu pergi ke pasar lokal, maka berjalan kaki atau

bersepeda. Keduanya adalah bentuk latihan yang bagus. Polusi terbesar yang mengeluarkan asap disebabkan oleh minyak dan bensin. Oleh karena itu, mengurangi konsumsi merupakan langkah besar untuk mengurangi pemborosan energi.

### **39. Naik Angkutan Umum**

Transportasi umum membantu mengurangi kemacetan dan emisi karbon. Banyak penduduk kota yang salah mengira bahwa bus dan kereta memakan waktu lebih lama. Saat ini transportasi umum dibuat lebih nyaman dan cepat.

### **40. Mengendarai Sepeda**

Tidak hanya bersepeda yang sehat, tetapi juga mengurangi jumlah CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke udara. Berjalan kaki adalah cara mudah lainnya untuk mengurangi pemanasan global.

### **41. Bekerja Dari Rumah setidaknya sehari dalam seminggu**

Bekerja beberapa hari setiap bulan dari rumah berarti mengurangi satu komuter di jalan yang berkontribusi terhadap gas rumah kaca.

### **42. Menjadi Bagian dari Komunitas Pemanasan Global**

Terhubung dengan orang lain akan membantu kita menjadi lebih sadar akan dampak yang kita semua miliki. Forum Nasional Perubahan Iklim dan Forum Kemanusiaan Global adalah cara yang bagus untuk mengetahui fakta, statistik, dan upaya terbaru dalam membuat perbedaan.

### **43. Rayakan Hari Bumi**

Lakukan kegiatan positif setiap hari bumi misalnya menanam pohon, memungut sampah, atau bergabung dengan forum, maka langkah kecil tersebut dapat mengurangi pencemaran udara yang terjadi.

#### **44. Sadari Kontribusi Kita**

Dengan teknologi di ujung jari kita, menemukan informasi tentang melindungi lingkungan ada di mana-mana. Untuk membantu mengeluarkan lebih sedikit CO<sub>2</sub>, langkah pertama adalah menyadari seberapa banyak kita dapat berkontribusi.

#### **45. Menyebarkan Kesadaran**

Selalu berusaha sebaik mungkin untuk mendidik orang tentang pemanasan global dan penyebab serta akibatnya. Beri tahu mereka bagaimana mereka dapat berkontribusi dengan menghemat energi yang baik bagi lingkungan. Kumpulkan peluang dan buat program yang akan membantu kita berbagi informasi dengan teman, kerabat, dan tetangga. Dengan sedikit lebih sadar, kita semua dapat memainkan peran kita dalam memerangi pemanasan global. Tips mudah ini akan membantu melestarikan planet ini untuk generasi mendatang.

### **Rangkuman Materi**

---

Pencemaran udara dapat didefinisikan sebagai adanya bahan kimia atau senyawa beracun (termasuk yang berasal dari biologi) di udara, pada tingkat kandungan yang mampu menimbulkan gangguan terhadap kesehatan. Dalam arti yang lebih luas, pencemaran udara berarti adanya bahan kimia atau senyawa tertentu di udara yang biasanya tidak ada, dan yang menurunkan kualitas udara atau yang menyebabkan perubahan yang merugikan kualitas hidup (misalnya kerusakan lapisan ozon dan pemanasan global). Ada empat jenis sumber utama pencemaran udara, yakni: (1) sumber bergerak (*mobile sources*) misalnya mobil, bus, pesawat, truk, dan kereta api; (2) sumber diam (*stationary sources*) misalnya pembangkit listrik, kilang minyak, fasilitas industri,

dan pabrik; (3) sumber wilayah (*area sources*) misalnya area pertanian, kota, dan perapian kayu bakar; dan, (4) sumber alam (*natural sources*) misalnya debu yang tertiuap angin, kebakaran hutan, dan letusan gunung berapi.

Polutan merupakan elemen/molekul/partikel yang terlibat dalam polusi yang menyebabkan terjadinya pencemaran terhadap lingkungan baik pencemaran air, tanah, maupun udara. Polutan dapat masuk ke lingkungan dengan berbagai cara, baik secara alami maupun oleh perantara manusia. Secara potensial, polutan udara dapat ditemukan di udara di mana saja, baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan. Polutan udara dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yakni (1) Kriteria Polutan Udara (*Criteria Air Pollutants*) contohnya Karbon monoksida (*Carbon Monoxide*), Sulfur dioksida (*Sulphur Dioxide*), Materi partikulat (*Particulate Matter*), Timbal (*Lead*), Nitrogen oksida (*Oxides of Nitrogen*), dan Ozon (*Ozone*); (2) Racun Udara (*Air Toxics*) misalnya benzena, toluene, xilena, formaldehida, dan hidrokarbon poliaromatik; (3) Pencemaran Biologis (*Biological Pollutants*) misalnya jamur.

Pencemaran udara yang terjadi berdampak pada manusia dan lingkungan. Pada manusia, pencemaran udara mengakibatkan gangguan kesehatan pada manusia, sedangkan pada lingkungan, pencemaran udara menyebabkan global warming, hujan asam, dan penipisan lapisan ozon. Sebagai manusia yang menghuni bumi ini dan memiliki akal pikiran, kita dapat melakukan banyak hal guna mengurangi pencemaran udara yang terjadi. Hal utama adalah membiasakan diri menggunakan transportasi umum, mengurangi penggunaan plastik, dan membiasakan diri membawa kotak makanan dan botol air minum yang dapat dipakai berulang kali. Dengan kata lain, kita harus mampu

melaksanakan 3R yaitu *Reduce, Reuse and Recycle* (mengurangi, menggunakan kembali, dan mendaur ulang).

### **Tugas Dan Evaluasi**

---

1. Identifikasi hal-hal apa saja yang telah kalian lakukan yang justru menambah pencemaran udara yang terjadi di bumi ini!
2. Identifikasi hal-hal apa saja yang telah kalian lakukan guna mengurangi pencemaran udara!
3. Menurut kalian, apakah kendaraan yang telah berumur 15 tahun lebih masih layak beroperasi di jalanan? Jelaskan!
4. Menurut kalian, apakah tindakan membakar sampah misalnya sampah hasil menyapu halaman rumah adalah tindakan yang bijak dilakukan dalam membersihkan lingkungan sekitar? Jelaskan!
5. Bagaimana cara mengurangi dampak *global warming* yang terjadi dimulai dari diri kalian masing-masing?

# BAB 5

## HIDROSFER DAN DASAR-DASAR KIMIA

### PERAIRAN

---

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

Universitas Sains dan Teknologi Jayapura

#### A. Karakteristik Hidrosfer

---

Air adalah salah satu material yang dibutuhkan untuk keberlangsungan hidup yang menutupi sekitar 70% permukaan bumi (Clair N. Sawyer, 2003); (Effendi, 2003) dimana air terdapat dalam berbagai bentuk, misalnya uap air es, cairan dan salju. Air tawar terutama terdapat di sungai, danau, air tanah (*ground water*), dan gunung es (*glacier*). Semua badan air di daratan dihubungkan dengan laut dan atmosfer melalui siklus hidrologi yang berlangsung secara kontinu. Ilmu yang mempelajari tentang air dan karakteristiknya disebut hidrologi. Beberapa ahli berpendapat mengenai pengertian hidrologi. Menurut (Asdak, 2014) hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air dalam segala bentuknya (cairan, gas, padat) pada, dalam, dan di atas permukaan tanah. Sedangkan (Arsyad, 2008) berpendapat bahwa hidrologi adalah ilmu yang mempelajari proses penambahan, penampungan, dan kehilangan air di bumi. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lain. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut (Effendi, 2003).

1. Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) -  $100^{\circ}\text{C}$ , air berwujud cair. Suhu  $0^{\circ}\text{C}$  merupakan titik beku (*freezing point*) dan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  merupakan titik didih (*boiling point*) air.

2. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik.
3. Air memerlukan panas yang tinggi dalam proses penguapan. Penguapan (evaporasi) adalah proses perubahan air menjadi uap air. Proses ini memerlukan energi panas dalam jumlah yang besar.
4. Air merupakan pelarut yang baik. Air mampu melarutkan berbagai jenis senyawa kimia. Air hujan mengandung senyawa kimia dalam jumlah yang sangat sedikit, sedangkan air laut dapat mengandung senyawa kimia hingga 35.000 mg/liter.
5. Air memiliki tegangan permukaan yang tinggi. Suatu cairan dikatakan memiliki tegangan permukaan yang tinggi jika tekanan antar-molekul cairan tersebut tinggi. Tegangan permukaan yang tinggi menyebabkan air memiliki sifat membasahi suatu bahan secara baik (*higher wetting ability*)
6. Air merupakan satu-satunya senyawa yang merenggang ketika membeku. Pada saat membeku, air merenggang sehingga es memiliki nilai densitas (massa/volume) yang lebih rendah daripada air. Dengan demikian es akan mengapung di air.

## 1. Siklus Hidrologi

Air merupakan salah satu senyawa kimia yang terdapat di alam secara berlimpah-limpah. Namun, ketersediaan air yang memenuhi syarat bagi keperluan manusia relative sedikit karena dibatasi oleh berbagai faktor. Tabel 6.1 menunjukkan bahwa 97% air di muka bumi ini merupakan air laut yang tidak dapat digunakan oleh manusia secara langsung. Dari 3% air yang tersisa 2 % diantaranya tersimpan sebagai



gunung es (*glacier*) di kutub. Air yang benar-benar tersedia bagi keperluan manusia hanya 0,62%, meliputi air yang terdapat di danau, sungai dan air tanah.

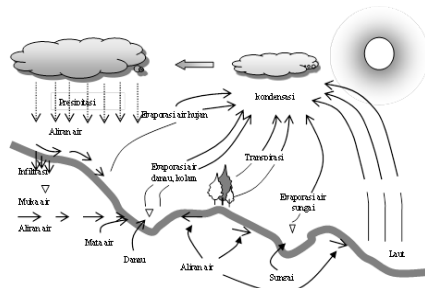
**Tabel 6.1 Distribusi Air di Bumi**

Lokasi	Volume	Persentasi (%)
1. Air Laut	1.320.000-1.370.000	97,3
2. Air Tawar		
a. Gunung es ( <i>glacier</i> )	24.000-29.000	2,1
b. Uap air di atmosfer	13-14	0,001
c. Air tanah kedalaman 4.000 m	4.000-8.000	0,6
d. Uap air tanah	60-80	0,006
e. Sungai	1.2	0,00009
f. Dana asin	104	0,007
g. Danau air tawar	125	0,009

(Sumber : (Effendi, 2003))

Air tawar yang tersedia selalu mengalami siklus hidrologi; pergantian total (*replacement*) air sungai berlangsung sekitar 18-20 tahun; sedangkan pergantian uap air terdapat di atmosfer berlangsung sekitar dua belas hari dan pergantian air tanah dalam (*deep groundwater*) membutuhkan waktu ratusan tahun (Effendi, 2003). Penguapan dari daratan terdiri dari *evaporasi* dan *transpirasi*. *Evaporasi* merupakan proses menguapnya air dari permukaan tanah, sedangkan *transpirasi* adalah proses menguapnya air dari tanaman. Uap yang dihasilkan akan mengalami kondensasi dan dipadatkan membentuk awan-

awan yang nantinya dapat kembali menjadi air dan turun sebagai presipitasi. Sebelum tiba di permukaan bumi presipitasi tersebut sebagian langsung menguap ke udara, sebagaian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi), dan sebagian lagi akan diupapkan dan sebagian lagi mengalir melalui dahan (*stem flow*) atau jatuh dari daun dan akhirnya sampai ke permukaan tanah. Air yang sampai ke permukaan tanah sebagian akan berinfiltrasi dan sebagian akan mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah kemudian mengalir ke tempat yang lebih rendah (*run off*), masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Dalam perjalanan menuju laut sebagian akan mengalami penguapan, dan begitu seterusnya ( (Asdak, 2014); (Clair N. Sawyer, 2003); (Effendi, 2003)). Proses siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 6.1 berikut :



**Gambar 6.1 Siklus Hidrologi**  
(Suripin, 2004)

## 2. Karakteristik Badan Air

Badan air dicirikan oleh tiga komponen utama, yaitu komponen hidrologi, komponen fisik-kimia, dan komponen biologi. Penilaian kualitas suatu badan air harus mencakup ketiga komponen tersebut (Effendi, 2003).

### a. Air Permukaan (surface water)

Air tawar berasal dari dua sumber, yaitu air permukaan

(surface water) dan air tanah (ground water). Air permukaan adalah air yang berada di sungai, danau, waduk, rawa, dan badan air lain, yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Areal tanah yang mengalirkan air ke suatu badan air disebut *watersheds* atau *drainage basins*. Air yang mengalir dari daratan menuju suatu badan air disebut limpasan permukaan (*surface run off*) ; dan air yang mengalir di sungai menuju laut disebut aliran air sungai (*river run off*). Perairan permukaan diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu badan air tergenang (*standing waters* atau lentik) dan badan air mengalir (*flowing waters* atau lotik).

### **1) Perairan tergenang (Lentik)**

Perairan tergenang meliputi danau, kolam, waduk (*reservoir*) rawa (*wetland*), dan sebagainya. Perairan tergenang (lentik), khususnya danau, biasanya mengalami stratifikasi secara vertical akibat perbedaan intensitas cahaya perbedaan suhu pada kolom air yang terjadi secara vertikal.

### **2) Perairan Mengalir (Lotik)**

Salah satu contoh perairan mengalir adalah sungai. Sungai dicirikan oleh arus yang searah dan relative kencang, dengan kecepatan berkisar antara 0,1- 1,0 m/detol, serta dipengaruhi oleh waktu, iklim dan pola drainase. Pada perairan sungai biasanya terjadi pencampuran masa air secara menyeluruh dan tidak terbentuk stratifikasi vertical kolom air seperti pada perairan lentik. Kecepatan arus, erosi dan sedimentasi merupakan fenomena yang biasan terjadi di sungai sehingga kehidupan flora dan fauna sangat dipengaruhi oleh ketiga variabel tersebut.

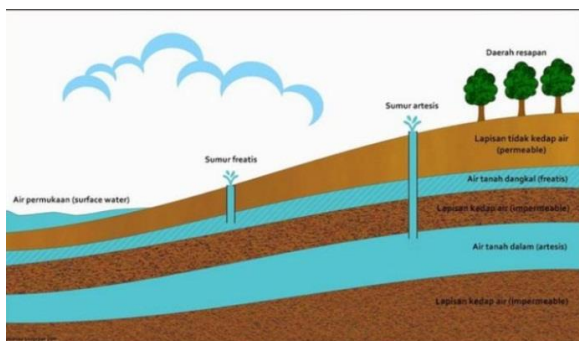
Klasifikasi perairan lentik sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan perbedaan suhu air, sedangkan klasifikasi perairan lotik justru dipengaruhi oleh kecepatan

arus atau pergerakan air, jenis sedimen dasar, erosi dan sedimentasi (Effendi, 2003).

**b. Air Tanah (*Groundwater*)**

Air tanah (*roundwater*) merupakan air yang berada di bawah permukaan tanah. Air tanah ditemukan pada akifer. Pergerakan air tanah sangat lambat; kecepatan arus berkisar antara  $10^{-10}$ - $10^{-3}$  m/detik dan dipengaruhi oleh porositas, premeabilitas dari lapisan tanah, dan pengisian kembali air (*recharge*). Karakteristik utama yang membedakan air tanah dari air permukaan adalah pergerakan yang sangat lambat dan waktu tinggal yang lama tersebut, air tanah akan sulit untuk pulih kembali jika mengalami pencemaran (Effendi, 2003); (Asdak, 2014); (Arsyad, 2008)).

Daerah di bawah tanah yang terisi air tersebut daerah saturasi (*zone of saturation*). Pada daerah saturasi, setiap pori tanah dan batuan terisi oleh air yang merupakan air tanah (*groundwater*). Batas atas daerah saturasi disebut water table, yang merupakan peralihan antara daerah saturasi yang banyak mengandung air dan belum saturai/jenuh (*unsaturated/vadose zone*) yang masih mampu menyerap air jadi , daerah saturasi berada di bawah daerah *unsaturated* ( Gambar 6.2)



**Gambar 6.2 Skema Lapisan Air Tanah**  
(Annisa Salsabila, 2020)

Kemampuan tanah dan batuan dalam menahan air tergantung pada sifat porositas dan permeabilitas tanah. Adapun karakteristik sifat tanah ditunjukkan dalam tabel 6.2. Lapisan tanah yang bersifat *porous* (mampu menampung air) dan *preamble* (mampu melakukan atau memindahkan air) disebut akifer. Akifer terbagi menjadi dua, yaitu akifer dangkal dan akifer dalam.

**Tabel 6.2 Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah**

Tekstur Tanah	Kapasitas Penahanan Nutrien	Infiltrasi Tanah	Kapasitas Penahanan Air	Aerasi
1. Tanah liat/pekat (clay)	Baik	Jelek	Baik	Jelek
2. Lumpur (silt)	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
3. Pasir (sand)	Jelek	Baik	Jelek	Baik
4. Tanah liat/gemuk (loam)	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang

Sumber : (Effendi, 2003)

## **B. Fungsi dan klasifikasi penggunaan Air**

---

Air yang digunakan untuk keperluan yang berbeda mempunyai standar kualitas yang berbeda pula. Berdasarkan penggunaannya air dapat diklasifikasikan menjadi empat kelas peruntukan sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup pada lampiran IV tentang Baku Mutu Air Nasional.

Klasifikasi peruntukan air sebagai berikut :

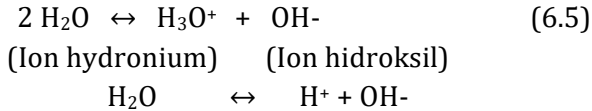
- 1) Kelas satu peruntukan untuk air baku air minum dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut ;
- 2) Kelas dua peruntukan air untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama;
- 3) Kelas tiga peruntukan air untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman dan/ata peruntukan lain sejenis ;
- 4) Kelas empat peruntukan air dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain sejenis.

### **1. Parameter Kimia Perairan**

Beberapa definisi kimia yang sering digunakan dalam penentuan parameter kimia perairan adalah sebagai berikut (Effendi, 2003); (Clair N. Sawyer, 2003):

#### **a. pH dan Asiditas**

Air membentuk kseimbangan seperti yang ditunjukkan dalam persamaan reaksi (6.5) dan (6.6)



Ion hidrogen bersifat asam. Keberadaan ion hidrogen menggambarkan nilai pH (derajat keasaman), yang dinyatakan dengan persamaan (6.7).

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

konsentrasi ion hidrogen dalam air murni yang netral adalah  $1 \times 10^{-7}$  g/liter. Nilai disosiasi air ( $K_w$ ) pada suhu  $25^\circ\text{C}$  adalah  $10^{-14}$ , seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (6.8), (6.9), dan (6.10).

$$\begin{array}{l}
 [\text{H}^+] + [\text{OH}^-] = K_w ; K_w = 10^{-14} \\
 [\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{10^{-7}} = 10^{-7} \text{ g/liter}; \text{OH}^- = 10^{-7} \text{ g/liter} \\
 \text{pH} = -\text{Log}_{10} [\text{H}^+] = \text{Log}_{10} \frac{1}{[\text{H}^+]}
 \end{array}$$

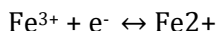
Klasifikasi nilai pH adalah sebagai berikut.

$$\begin{array}{ll}
 \text{pH} = 7 & : \text{Netral} \\
 7 < \text{pH} < 14 & : \text{alkalis (basa)} \\
 0 < \text{pH} < 7 & : \text{asam}
 \end{array}$$

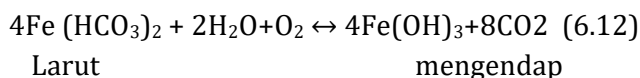
## b. Potensi Redoks

Potensi redoks (reduksi dan oksidasi) atau oxidation-reduction potential (ORP) yang menggambarkan aktivitas elektron dari suatu oksidan kepada reduktan. Suatu bahan dikatakan mengalami oksidasi jika kehilangan electron dan dikatakan mengalami reduksi jika menerima elektron. Adapun contoh proses oksidasi reduksi ditunjukkan dalam

persamaan (6.11).



Pada persamaan (6.11), ion ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) memperoleh elektron atau mengalami reduksi menjadi ion ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ); sedangkan ion ferro kehilangan elektron atau mengalami oksidasi menjadi ion ferri (Boud, 1988). Proses oksidasi ferro karbonat menjadi ferri karbonat yang melibatkan oksigen ditunjukkan dalam persamaan reaksi (6.12).



Adanya parameter ORP dilatarbelakangi oleh kenyataan bawah suatu system, dalam hal ini larutan, mengalami proses oksidasi sehingga terjadi perubahan yang terus-menerus dari perbandingan (rasio) antara bentuk teroksidasi dan tereduksi (Effendi, 2003); (Clair N. Sawyer, 2003).

### c. Oksigen Terlarut

Atmosfer bumi mengandung oksigen sekitar 250 ml/liter. Oksigen merupakan salah satu gas yang terlarut dalam perairan. Kadar oksigen yang terlarut di perairan alami bervariasi, tergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Semakin besar suhu dan ketinggian (*altitude*) serta semakin kecil tekanan atmosfer, kadar oksigen terlarut semakin kecil (Effendi, 2003); (Clair N. Sawyer, 2003)).

Kadar oksigen terlarut juga berfluktuasi secara harian (*diurnal*) dan musiman, tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan (*turbulence*) masa air, aktivasi



fotosintesis, respirasi, dan limbah (*effluent*) yang masuk ke badan air.

#### d. Karbondioksida

Atmosfer bumi mengandung karbondioksida dengan persentase yang relatif kecil, yakni 0,0033% (table 6.3). akan tetapi, dari tahun ke tahun, kadar karbondioksida memperlihatkan kecenderungan peningkatan, sebagai hasil dari pengundulan hutan dan pembakaran bahan fosil, misalnya minyak bumi dan batu bara. Sekitar setengah dari karbondioksida merupakan hasil pembakaran ini berada di atmosfer dan setengahnya lagi tersimpan di laut dan digunakan dalam proses fotosintesis oleh diatom dan algae laut (Effendi, 2003).

**Tabel 6.3 Persentase volume gas karbondioksida di atmosfer**

Gas	Persentase (%)
1. Nitrogen (N <sub>2</sub> )	78,084
2. Oksigen (O <sub>2</sub> )	20,946
3. Argon (Ar)	0,934
4. Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	0,033

#### e. Alkalinitas

Alkalinitas adalah gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam, atau dikenal dengan sebutan *acid-neutralizing capacity* (ANC) atau kuantitas anion di dalam air yang dapat menetralkan kation hidrogen. Penyusunan alkalinitas perairan adalah anion bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), dan hidroksida (OH<sup>-</sup>). Borat (H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub><sup>-</sup>), silikat (HSiO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fosfat (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dan H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, sulfide (HS<sup>-</sup>), dan ammonia (NH<sub>3</sub>) juga memberikan kontribusi terhadap

alkalinitas. Jeffries et al. (1986) dalam (Effendi, 2003) menyatakan nilai ANC dalam persamaan 6.27).

$$\begin{aligned} \text{ANC} &= \Sigma \text{ kation basa} - \Sigma \text{ anion asam kuat} \\ &= ([\text{Ca}] + [\text{Mg}] + [\text{Na}] + [\text{K}]) - ([\text{SO}_4] + [\text{NO}_3] + [\text{Cl}]) \end{aligned}$$

Kation utama yang mendominasi perairan tawar adalah kalsium dan magnesium, sedangkan pada perairan laut adalah sodium dan magnesium.

#### f. Kesadahan

Kesadahan (hardness) adalah gambaran kation logam divalent (valensi dua). Kation-kation ini dapat beraksi dengan sabun (soap) membentuk endapan (presipitasi) maupun dengan anion-anion yang terdapat di dalam air membentuk endapan atau karat pada peralatan logam.

Pada perairan tawar, kation divalent yang paling berlimpah adalah kalsium dan magnesium (table. 6.4), sehingga kesadahan pada dasarnya ditentukan oleh jumlah kalsium dan magnesium.

**Tabel 6.4 Kation-Kation Penyusun Kesadahan dan Anion-Anion Pasangan/Asosiasi**

Kation	Anion
Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Sr <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>
Fe <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Mn <sup>2+</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>

Sumber : (Effendi, 2003)

Kesadahan perairan berasal dari kontak air dengan tanah dan berbatuan.

### g. Bahan Organik

Semua bahan organik mengandung karbon (C) berkombinasi dengan satu atau lebih elemen lainnya. Bahan organik berasal dari tiga sumber utama sebagai berikut (Clair N. Sawyer, 2003):

- 1) Alam, misalnya *fiber*, minyak nabati dan hewani, lemak hewani, alkaloid, selulosa, kanji, gula dan sebagainya.
- 2) Sintesis, yang meliputi semua bahan organik yang diproses oleh manusia.
- 3) Fermentasi, misalnya alkohol, aseton, gliserol, antibiotik, dan asam yang semuanya diperoleh melalui aktivitas mikroorganisme.

Bahan organik dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yaitu alifatik, aromatic dan heterosiklik.

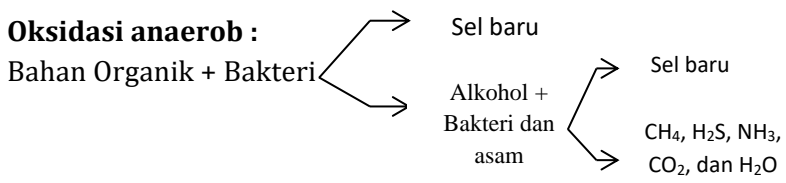
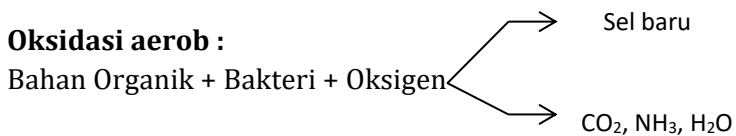
Bahan-bahan organik yang perlu diperhatikan dalam pengolahan kualitas air adalah sebagai berikut:

- 1) Karbohidrat (CHO). Bahan-bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen misalnya glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ), kanji (*starch*), dan selulosa.
- 2) Senyawa nitrogen (CHONS). Bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan kadang-kadang sulfur misalnya protein, asam amino, dan urea.
- 3) Lemak (lipids atau fats) (CHO), yakni bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, dan sedikit oksigen.

Penentuan masing-masing bahan organik tersebut cukup sulit sangat kompleks. Oleh karena itu, ditentukan kandungan total bahan organik atau TOC (*Total Organic Carbon*).

Sumber utama karbon di perairan adalah aktivitas fotosintesis. Selain itu, fiksasi karbon oleh bakteri juga merupakan sumber karbon organik di perairan. Pada lapisan profundal dari perairan waduk yang bersifat oligotrof, sekitar 24% dari produksi bahan organik dihasilkan oleh asimilasi CO<sub>2</sub> oleh bakteri heterotof (Effendi, 2003).

Berbagai jenis bahan organik yang terdapat di dalam ini dirombak (didekomposisi) melalui proses oksidasi, yang dapat berlangsung dalam suasana aerob (keberadaan oksigen) maupun anaerob (tanpa oksigen). Perbedaan yang mendasar antara oksidasi aerob dan anaerob terletak pada senyawa yang berperan sebagai akseptor (penerima) ion hidrogen. Pada oksidasi aerob, yang berperan sebagai akseptor (penerima) ion hidrogen adalah oksigen, dengan melepaskan lebih besar energi; sedangkan pada oksidasi anaerob, yang berperan sebagai askseptor hidrogen adalah nitrat atau sulfat atau bahan organik, dengan melepaskan lebih sedikit energi. Oksidasi anaerob berlangsung pada suhu yang lebih panas, dengan kisaran suhu optimum antara 35<sup>o</sup> (mesopilic) hingga 55<sup>o</sup>C (*thermophilic*) (Effendi, 2003).



Danau dan sungai memiliki kadar bahan anorganik terlarut sepuluh kali lebih besar dari pada kadar bahan

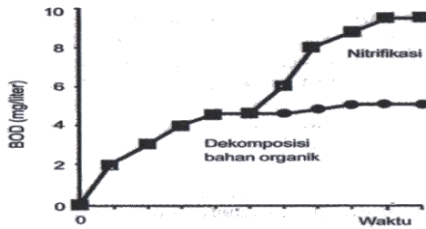
organik. Air tanah memiliki kadar bahan anorganik terlarut seratu kali lebih besar dari pada bahan organik. Air laut memiliki kadar bahan anorganik terlarut 30.000 kali lebih besar daripada kadar bahan organik.

### **1) Kandungan bahan organik total (Total organic carbon/TOC)**

Selain karbon anorganik yang terdapat dalam komponen penyusun alkalinitas, karbon di perairan juga terdapat dalam bentuk karbon organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan atau biota akuatik, baik yang hidup atau mati dan menjadi detritus; maupun karbon yang terdapat pada bahan organik yang berasal dari limbah industri dan domestik. Penjumlahan karbon organik total dan karbon anorganik total (karbonat, biokarbonat, dan asam karbonat) merupakan nilai karbon total (*total carbon*).

### **2) Kebutuhan oksigen biokimiawi atau biochemical oxygen demand (BOD)**

Dekomposisi bahan organik pada dasarnya terjadi melalui dua tahap. Pada tahap pertama, bahan organik diuraikan menjadi bahan anorganik. Pada tahap kedua, bahan anorganik yang tidak stabil mengalami oksidasi menjadi bahan anorganik yang lebih stabil, misalnya amonia mengalami oksidasi menjadi nitrat (nitrifikasi). Pada penentuan nilai BOD, hanya dekomposisi tahap pertama yang berperan, sedangkan oksidasi bahan anorganik (nitrifikasi) dianggap sebagai pengganggu. Kurva yang menggambarkan proses dekomposisi tahap pertama dan tahap kedua pada penentuan nilai BOD ditunjukkan dalam gambar berikut.



**Gambar 6.3 Proses dekomposisi organik dan nitrifikasi pada penentuan BOD**  
(Effendi, 2003)

### **3) Kebutuhan oksigen kimiawi atau chemical oxygen demand (COD)**

COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia, baik yang dapat didegradasi secara biologis (biodegradable) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (non biodegradable) menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Pada proses pemantauan COD, oksigen dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlakukan untuk mengoksidasi air sampel (Clair N. Sawyer, 2003).

Jika pada perairan terdapat bahan organik yang resisten terhadap degradasi biologis, misalnya selulosa, tanin, lignin, fenol, polisakarida, benzena dan sebagainya, maka lebih cocok dilakukan pengukuran nilai COD dibandingkan dengan nilai BOD.

### **4) Kandungan bahan organik total atau total organic matter (TOM)**

Kalium permanganat ( $\text{KMnO}$ ) telah lama dipakai sebagai oksidator pada penentuan konsumsi oksigen untuk mengoksidasi bahan organik, yang dikenal sebagai parameter nilai permanganat atau sering disebut sebagai kandungan

bahan organik total atau TOM (*Total Organic matter*). Akan tetapi, kemampuan oksidasi oleh permanganat sangat bervariasi tergantung pada senyawa-senyawa yang terkandung dalam air. Penentuan nilai oksigen yang dikonsumsi dengan metode permanganat selalu memberikan hasil yang lebih kecil daripada nilai BOD. Kondisi ini menunjukkan bahwa permanganat tidak cukup mampu mengoksidasi bahan organik secara sempurna. Untuk mengatasi kelemahan permanganat ini, digunakan oksidator lain, misalnya kalium dikromat dan kalium iodat.

## **Kesimpulan**

---

Badan air dicirikan oleh tiga komponen utama, yaitu komponen hidrologi, komponen fisik-kimia, dan komponen biologi. Air yang digunakan untuk keperluan yang berbeda mempunyai standar kualitas yang berbeda pula. Berdasarkan penggunaannya air dapat diklasifikasikan menjadi empat kelas peruntukan sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Kualitas air dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu faktor fisik, faktor kimia, faktor biologi. Beberapa definisi kimia yang sering digunakan dalam penentuan parameter kimia perairan antara lain pH, potensi redoks, alkalinitas, kesadahan, oksigen terlarut, karbondioksida dan bahan organik.

## **Tugas dan Evaluasi**

---

1. Apa yang dimaksud dengan siklus hidrologi ?
2. Hitung keseimbangan pH larutan yang mengandung  $10^{-3}$  M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $10^{-8}$  M  $\text{H}_2\text{SO}_4$
3. Faktor-faktor apakah yang mempengaruhi kelarutan oksigen dalam air?

## BAB 6

# REAKSI-REAKSI KIMIA DI PERAIRAN

---

Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng

Program Studi Sarjana Terapan Teknik Pengendalian Pencemaran  
Lingkungan

Aktivitas manusia banyak mengeluarkan polusi baik air, tanah maupun udara. Polutan tersebut berpotensi untuk menurunkan kualitas lingkungan apabila tidak dikendalikan salah satunya adalah lingkungan perairan. Polutan dihasilkan dari reaksi kimia dari proses – proses aktivitas dari manusia. Reaksi kimia terjadi karena sifat air yang merupakan zat yang mudah melarutkan banyak senyawa kimia. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai lingkungan perairan, parameter kimia perairan, dan reaksi-reaksi kimia di perairan.

### A. Lingkungan Perairan

---

Bumi merupakan sebuah sistem lingkungan yang saling mempengaruhi satu sama lainnya. Di dalam bumi tempat tinggal kita terdiri dari 3 bagian bumi yaitu atmosfer, hidrosfer dan litosfer.

#### 1. Atmosfer

Merupakan bagian bumi yang berisi udara. Atmosfer ini terbagi menjadi beberapa lapisan yaitu lapisan troposfer, stratosfer, mesosfer dan ionosfer. Di dalam atmosfer bumi terdapat bermiliar ton udara yang disusun oleh gas nitrogen sebanyak 78%, Oksigen sebanyak 21% dan sisanya merupakan gas-gas lain dalam jumlah yang sedikit. Sebagian besar makhluk hidup di bumi ini hidup pada lapisan troposfer.

#### 2. Hidrosfer



Hidrosfer merupakan bagian bumi yang mencakup perairan darat maupun perairan laut. Pada bagian ini terdiri dari air laut dan air tawar. Dari jumlah keseluruhan 100% air di bagian hidrosfer ini terdapat 97,5 % merupakan air laut dan sisanya 2,5 % merupakan air tawar.

### 3. Litosfer

Litosfer merupakan bagian bumi terluar bumi yang merupakan lapisan kulit bumi paling atas. Dimana kandungan utamanya adalah  $\text{SiO}_2$ . Lapisan litosfer ini mempunyai ketebalan hingga 70 km.

## 1. Siklus Hidrologi

Sebelum memahami tentang kimia perairan, kita terlebih dahulu harus memahami siklus hidrologi. Siklus hidrologi merupakan salah satu siklus dari 4 siklus yang berlangsung di bumi. Siklus hidrologi merupakan sirkulasi air yang berada di lapisan hidrosfer kemudian bergerak menuju ke atmosfer dan kembali lagi ke hidrosfer dan berlangsung secara terus menerus. Karena adanya siklus ini maka hal itu yang menyebabkan keberadaan air di bumi ini akan selalu tetap dan tidak pernah habis. Siklus hidrologi mempunyai beberapa tahapan. Tahapannya adalah sebagai berikut:

#### a. Evaporasi

Evaporasi adalah peristiwa air yang berubah menjadi uap air yang menguap ke atmosfer. Proses evaporasi dapat terjadi dikarenakan paparan suhu yang tinggi di air permukaan yang mengakibatkan air di permukaan menguap ke atmosfer.

#### b. Transpirasi.

Transpirasi merupakan proses penguapan air dari dalam tubuh tumbuhan. Sama seperti proses evaporasi, tahapan ini juga mengubah air dalam tubuh tumbuhan menjadi uap air.

Uap air ini juga akan terbawa ke atmosfer. Uap air yang dihasilkan dalam tahapan ini jumlahnya akan lebih sedikit dari jumlah uap air yang dihasilkan dari pada proses evaporasi.

c. Evapotranspirasi.

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari evaporasi dan juga transpirasi. Dalam siklus hidrologi, proses evapotranspirasi ini sangat mempengaruhi jumlah uap air yang terangkut ke atmosfer.

d. Sublimasi.

Sublimasi merupakan perubahan molekul cair menjadi molekul gas menuju ke atmosfer bumi. Akan tetapi, pada tahap sublimasi penguapan yang terjadi ialah perubahan es yang ada di kutub dan di gunung yang tidak melewati proses mencair terlebih dahulu. Jumlah uap yang dihasilkan dari proses sublimasi tidak sebanyak yang dihasilkan oleh proses evaporasi maupun transpirasi.

e. Kondensasi

Tahap kondensasi merupakan tahap siklus hidrologi yang mana air yang telah menguap berubah menjadi partikel es. Uap air yang berasal dari proses evaporasi, transpirasi, Evapotranspirasi dan sublimasi sudah mencapai pada ketinggian tertentu di atmosfer yang mempunyai suhu yang sangat dingin, maka uap air tersebut akan berubah menjadi partikel es yang berukuran sangat kecil. Kemudian partikel es tersebut akan berubah menjadi awan dan semakin banyak partikel es, awan semakin tebal dan berwarna hitam.

f. Adveksi

Adveksi ini terjadi setelah partikel-partikel es membentuk sebuah awan. Tahap ini terjadi perpindahan awan dari satu titik ke titik lainnya namun masih dalam satu

horizontal. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh angin dan tekanan udara sehingga mengakibatkan perpindahan awan. Proses adveksi menyebabkan awan menyebar dari atmosfer yang berada di lautan ke atmosfer yang berada di daratan.

g. Presipitasi

Presipitasi yaitu tahap mencairnya awan hitam karena tidak mampu lagi menahan suhu yang semakin meningkat. Pada tahap inilah akan terjadi salah satu gejala alam yang dinamakan hujan dengan ciri jatuhnya butiran air ke permukaan bumi. Bila suhu yang ada di sekitar kurang dari 0 derajat celcius, kemungkinan akan terjadi hujan salju atau bahkan es.

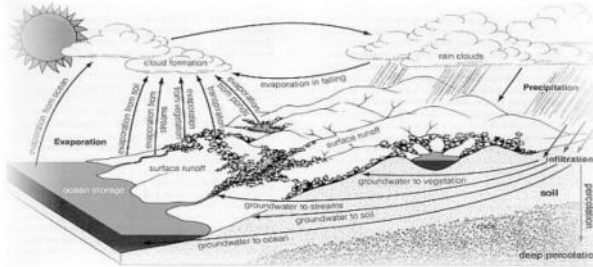
h. Run Off atau Limpasan.

Run Off merupakan proses perpindahan air dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah di permukaan bumi. Pergerakan air tersebut dapat terjadi melalui saluran-saluran danau, got, sungai dan waduk.

i. Infiltrasi.

Infiltrasi merupakan peresapan air ke dalam tanah. Air yang sudah berada di permukaan bumi akibat pengaruh presipitasi, tidak semuanya mengalir di permukaan bumi tetapi sebagian akan masuk ke dalam tanah dan akan bergerak ke dalam pori-pori tanah.

Agar lebih jelas dalam memahami gambaran siklus hidrologi, dapat dilihat pada skema berikut:



Sumber : (Winarno, Hatma, & Soejoko, 2010)

Siklus hidrologi yang terjadi pada permukaan bumi menyebabkan jumlah air di permukaan bumi akan selalu sama semenjak dari zaman nenek moyang dahulu, akan tetapi karena perubahan kondisi alam yang disebabkan oleh faktor alam maupun faktor antropogenik (aktivitas manusia) terjadi sebaran air yang tidak merata di permukaan bumi. Selain persebaran air yang tidak merata, kualitas air di permukaan bumi saat ini juga mengalami penurunan. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi di hidrosfer sangat dipengaruhi oleh reaksi-reaksi kimia di atmosfer dan litosfer.

## 2. Kualitas Lingkungan Perairan

Semakin bertambahnya penduduk, maka akan semakin banyak kegiatan yang dilakukan manusia dalam memenuhi kebutuhannya. Setiap aktivitas manusia akan menimbulkan masalah lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Masalah lingkungan seperti pencemaran, kerusakan dan bencana dari tahun ke tahun masih terus berlangsung dan semakin luas. Kondisi tersebut tidak hanya menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan tetapi juga memberikan dampak yang sangat serius bagi kesehatan dan jiwa manusia.

Kualitas air di lingkungan mempunyai ukuran-ukuran

kanan dikategorikan baik ataupun tercemar dapat ditentukan secara kuantitatif dengan menentukan indeks status mutu air. Indeks pencemaran air didasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2003). Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang adalah fungsi dari  $C_i/L_{ij}$  dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})M^2 + (C_i/L_{ij})R^2}{2}} \quad (1)$$

Keterangan :

- $C_i$  = Konsentrasi parameter kualitas air.
- $L_{ij}$  = Konsentrasi parameter kualitas air pada baku mutu peruntukan air (j).
- $PI_j$  = Indeks Pencemaran/Pollution Index bagi peruntukan (j).
- $(C_i/L_{ij})M$  =  $(C_i/L_{ij})$  maksimum
- $(C_i/L_{ij})R$  =  $(C_i/L_{ij})$  rata-rata Evaluasi terhadap nilai PI (Pollution Index)

$0 \leq PI_j \leq 1,0$  → Memenuhi baku mutu (kondisi baik)

$1,0 < PI_j \leq 5,0$  → Cemar ringan

$5,0 \leq PI_j \leq 10$  → Cemar sedang

$PI_j > 10$  → Cemar berat

Pertimbangan memilih metode Indeks Pencemaran untuk mengetahui kualitas air dikarenakan adanya persamaan antara jenis kontaminan fisik, kimia maupun biologi (Puspita, Ibrahim, & Hartono, 2016). Indeks pencemaran diukur dengan mengetahui pengujian parameter kualitas

lingkungan. Parameter mempunyai nilai yang bersifat kuantitatif maupun kualitatif. Parameter lingkungan perairan merupakan parameter yang paling banyak yang mencakup hampir 40 parameter resmi menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 51 Tahun 2004. Parameter lingkungan air yang diatur dalam Keputusan Menteri Negara tersebut mencakup parameter fisika, kimia, logam terlarut, radioaktif dan biologi. Parameter fisika meliputi kecerahan, kebauan, padatan suspensi total, suhu, sampah, lapisan minyak, warna, dll. Parameter kimia meliputi: salinitas, pH, BOD, COD, DO, Nitrat, Fosfat, dll. Parameter logam terlarut meliputi: Hg, Zn, Cr, Pb, Zn, Nikel, dll. Parameter biologi meliputi: total coliform, Fecal coliform. Parameter radioaktif meliputi: sinar  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  dan lain-lain. Setiap parameter mempunyai nilai baku mutu yang berbeda-beda sesuai dengan kebijakan pemerintah setempat dengan mengacu peraturan pemerintah pusat.

Penentuan baku mutu dalam setiap parameter berbeda-beda sesuai dengan peruntukannya dan sesuai dengan kegiatan penghasil limbah. Sebagai contoh pada status penentuan kualitas air sungai yang berbeda peruntukannya mempunyai nilai baku mutu pada parameter krom valensi 6 juga berbeda. Untuk air golongan A yang peruntukannya untuk air minum mempunyai nilai baku mutu parameter krom valensi 6 sebanyak 0.05 mg/L. Sedangkan nilai baku mutu untuk parameter yang sama pada air sungai golongan D yang peruntukannya untuk industri adalah 1 mg/L. Dapat dilihat bahwa toleransi kadar krom valensi 6 yang digunakan pada air golongan 4 lebih tinggi apabila dibandingkan dengan air sungai golongan 1. Sehingga penentuan parameter lingkungan tidak bisa terlepas dari kebijakan pemerintah dengan mempertimbangkan faktor keadilan untuk semua

masyarakat dan tidak mengabaikan faktor keberlangsungan lingkungan hidup.

## **B. Parameter Kimia Perairan**

---

### **1. Dissolved Oxygen (DO)**

DO atau *dissolve oxygen* ialah kadar oksigen yang terlarut dalam air. Semakin tinggi DO maka air tersebut akan semakin baik. Konsentrasi oksigen terlarut DO merupakan parameter yang penting dalam mengetahui suatu kualitas perairan. Satuan yang biasa digunakan dalam menyebut konsentrasi DO adalah dengan satuan ppm. ppm ialah singkatan dari *part per million* atau sama dengan mg/L. Nilai DO yang rendah dalam suatu perairan bisa dijadikan indikator perairan tersebut tercemar oleh zat organik maupun zat anorganik. Oksigen dibutuhkan mikroorganisme perairan untuk melakukan degradasi terhadap bahan organik. Selain itu, dan digunakan oleh bahan anorganik untuk mengadakan reaksi kimia. Sehingga apabila nilai DO dalam suatu perairan itu rendah maka bisa dilihat bahwa oksigen banyak digunakan oleh mikroorganisme untuk mengurai bahan organik yang ada.

### **2. Biological Oxygen Demand (BOD)**

BOD atau *biological oxygen demand* ialah tingkat oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme dalam air tersebut untuk mendegradasi bahan organik. Semakin tinggi nilainya maka semakin banyak mikroba yang membutuhkan oksigen dan membuat nilai DO turun. Semakin tinggi nilai BOD maka akan semakin rendah kualitas air dan menunjukkan derajat pengotoran air limbah semakin besar. Di dalam air terdapat banyak senyawa organik dan anorganik dan mikroorganisme yang mengurai senyawa tersebut. Walaupun nilai BOD sebagai salah satu parameter pengukuran pencemaran

limbah organik di dalam perairan, akan tetapi nilai BOD sesungguhnya tidak menunjukkan jumlah bahan organik sebenarnya yang terdapat di dalam air. Akan tetapi mengukur secara relatif jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk mengurai bahan organik yang ada.

### 3. Chemical Oxygen Demand (COD )

COD atau *chemical oxygen* adalah jumlah oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik di dalam air secara kimiawi. Nilai COD merupakan ukuran pencemaran air oleh bahan- bahan organik. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Nilai COD biasanya lebih besar dari nilai BOD nya hal ini karena bahan – bahan yang stabil terhadap mikroorganisme bisa ikut teroksidasi dalam uji COD.

## C. Reaksi – Reaksi Kimia di perairan.

### 1. Reaksi Karbondioksida Di Perairan

Karbondioksida merupakan salah satu senyawa kimia yang mudah larut di dalam air. Karbondioksida yang terlarut dalam perairan berasal dari berbagai macam sumber diantaranya adalah udara. Salah satu komponen penyusun udara adalah senyawa CO<sub>2</sub> yang mempunyai jumlah sebesar 0,03% dari komponen penyusun udara. Apabila udara bereaksi dengan air pada tekanan yang standar maka CO<sub>2</sub> akan larut dalam air dengan nilai kelarutan sebagai berikut:

**Tabel 7.1 Nilai Kelarutan Karbondioksida pada Air**

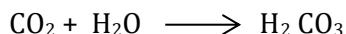
Suhu °C	Kelarutan, bpj
---------	----------------



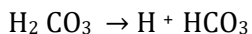
0	1,00
5	0,83
10	0,70
15	0,59
20	0,51
25	0,43
30	0,38

Sumber:(Sastrawijaya, A, 2009)

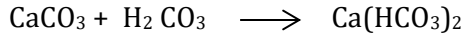
Kelarutan CO<sub>2</sub> dalam air dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu maka kelarutan CO<sub>2</sub> dalam air semakin rendah. CO<sub>2</sub> dalam udara sangat mudah masuk ke dalam air melalui proses difusi dengan reaksi sebagai berikut:



Selain karena difusi udara dengan air, sejumlah besar karbondioksida yang terlarut dalam air di permukaan bumi juga berasal dari air hujan, hasil penguraian zat-zat organik oleh mikroorganisme seras hasil proses respirasi mikroorganisme. Di dalam lingkungan perairan, Asam karbonat yang merupakan hasil reaksi CO<sub>2</sub> dan air akan membentuk ion-ion yang menyebabkan air akan bersifat asam.



Jika air yang sudah membentuk ion-ion masuk dalam rongga-rongga tanah yang mengandung batu kapur, maka kondisi air akan lebih asam lagi. Hal ini dikarenakan kapur (CaCO<sub>3</sub>) akan bereaksi dengan air yang mengandung CO<sub>2</sub> akan membentuk garam asam.



Masuknya karbondioksida ke dalam air apabila keadaan air tenang maka proses yang terjadi adalah proses difusi, apabila airnya bergelombang maka proses yang terjadi lebih cepat masuk ke dalam perairan.

Selain interaksi antara udara dengan air, air hujan merupakan salah satu cara masuknya karbondioksida ke dalam perairan. Tetes-tetes air hujan yang jatuh dari awan dan terjun ke permukaan bumi berinteraksi dengan udara yang mengandung  $\text{CO}_2$ . Hal ini akan menambah keasaman air hujan walaupun dalam jumlah yang sedikit. Akan tetapi pengaruh karbondioksida pada nilai pH air hujan tidak terlalu signifikan dalam mempengaruhi kualitas pH air hujan. Salah satu contohnya adalah kualitas pH air hujan di kota Malang. Berikut merupakan gambaran kualitas air hujan di kota Malang.

**Tabel 7.2 Perbandingan Karakterisasi Air Hujan Kota Malang**

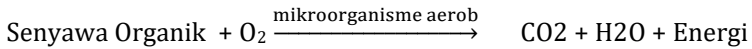
**Air Hasil Filtrasi dan Standar Baku Mutu Indonesia**

Parameter	Satuan	* Standar	Air Hujan	Air Filtrasi	Keterangan
<b>SIFAT FISIK</b>					
Bau	-	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau	-
TDS	mg/L	1500	136	116	-
Kekeruhan	NTU	25	1.05	1.02	-
Rasa	-	Tidak berasa	Tidak berasa	Tidak berasa	-
Temperatur	°C	± 3°C	24.60°C	24.50°C	-
Warna	Pt.Co	50	<0.26	<0.26	-
<b>SIFAT KIMIA</b>					
pH	-	6.50 – 9.00	7.40	7.30	-
KmnO <sub>2</sub>	mg/L	10	0.90	0.50	-
Flurida	mg/L	1.50	0.34	0.32	-
Klorida	mg/L	600	7	6	-
Nitrat	mg/L	10	0.53	0.60	-
Sulfat	mg/L	400	6.63	7.31	-
Kesadahan total	mg/L	500	39.60	34	-
Nitrit	mg/L	1	<0.001	0.07	-
Deterjen	mg/L	0.50	0.09	0.05	-
Sianida	mg/L	0.10	tt**)	tt**)	MDL <0.01x10 <sup>-1</sup>
Krom val 6	mg/L	0.05	<0.01	tt**)	MDL <0.12 x10 <sup>-1</sup>
Arsen	mg/L	0.05	<0.26	tt**)	MDL <0.05x10 <sup>-2</sup>
Kadmium	mg/L	0.01x10 <sup>-1</sup>	tt**)	tt**)	MDL <0.02 x10 <sup>-2</sup>
Besi	mg/L	0.01x10 <sup>-1</sup>	<0.26	tt**)	MDL <0.02 x10 <sup>-2</sup>
Raksa	mg/L	0.50	tt**)	tt**)	MDL <0.03x10 <sup>-3</sup>
Mangan	mg/L	0.05	0.01	tt**)	MDL <0.01 x10 <sup>-2</sup>
Timbal	mg/L	0.01	tt**)	tt**)	MDL <0.44 x10 <sup>-2</sup>
Selenium	mg/L	15	tt**)	tt**)	MDL <0.05 x10 <sup>-2</sup>
Seng	mg/L	-	tt**)	tt**)	MDL <0.64 x10 <sup>-2</sup>
<b>SIFAT BIOLOGI</b>					
Total koliform	MPN/100 ml	50	5	2	-

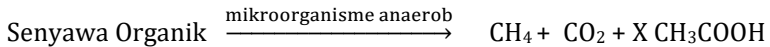
Sumber : (Untari & Kusnadi, 2015)

Karbondioksida dapat juga terbentuk sebagai hasil metabolisme. Respirasi makhluk hidup baik hewan dan tanaman di perairan menghasilkan CO<sub>2</sub>. Peristiwa tersebut akan mempengaruhi kadar CO<sub>2</sub> dalam air. Di dalam perairan juga terdapat banyak senyawa organik yang merupakan hasil dari pembusukan hewan dan tumbuhan perairan. Senyawa organik tersebut dengan menggunakan bantuan mikroorganisme aerob maupun anaerob menghasilkan karbondioksida. Berikut ini merupakan reaksi degradasi senyawa organik. Degradasi senyawa organik menjadi CO<sub>2</sub> bisa terjadi pada dua kondisi yaitu kondisi aerob dan anaerob. Kondisi aerob merupakan kondisi terdegradasinya senyawa organik oleh mikroorganisme dengan adanya kehadiran oksigen sebaliknya dengan kondisi anaerob yang berlangsung tanpa kehadiran oksigen.

Reaksi degradasi senyawa organik pada proses aerobik.



Reaksi degradasi senyawa organik pada proses anaerobik



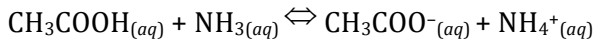
Karbon merupakan salah satu unsur yang mengalami daur dalam ekosistem. Dimulai dari atmosfer karbon berpindah melalui produsen, konsumen dan penguraian kemudian kembali ke atmosfer. Di atmosfer karbon terkait dalam  $\text{CO}_2$  setelah mengikuti fotosintesis senyawa itu terkait dalam glukosa atau senyawa karbon lainnya. Kemudian senyawa-senyawa ini dimangsa oleh konsumen dan tersimpan sampai mati dan akhirnya dimangsa oleh pengurai kemudian kembali ke atmosfer.

## 2. Reaksi Netralisasi

Reaksi Netralisasi adalah reaksi yang melibatkan pencampuran antara asam dan basa untuk menghasilkan garam dan air dengan kondisi yang netral yaitu pH 7. Senyawa asam dan basa merupakan senyawa yang sangat mudah mengion dalam air, terutama untuk asam dan basa kuat.

Pengertian asam dan basa dikenalkan oleh ilmuwan Johannes Brønsted (1879–1947) dan Thomas Lowry (1874–1936) pada tahun 1923. Menurut Brønsted Lowry, definisi asam adalah proton donor (pemberi proton), basa adalah proton aseptor (penerima proton). Sebagai contoh reaksi

asam asetat. Asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) memberikan proton ke amonia. Amonia berperan sebagai basa.

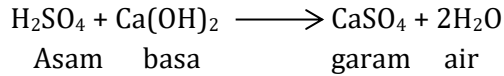


Ketika asam dan basa bereaksi menghasilkan asam dan basa yang baru. Ion asetat  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  pada reaksi diatas adalah sebaga basa bereaksi dengan ion amonium sebagai asam menghasilkan asam asetat dan amonia. Kita menyebut ion asetat sebagai basa konjugasi dari asam asetat dan ion amonium sebagai asama konjugasi dari amonia.

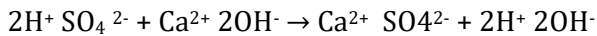
Senyawa asam apabila terlarut di dalam perairan akan menurunkan nilai pH menjadi sangat rendah. Sebaliknya apabila senyawa basa apabila dilarutkan ke dalam air akan membuat kondisi pH perairan menjadi sangat tinggi. pH yang ekstrim diperairan akan mengakibatkan kerugian pada makhluk hidup yang tinggal didalamnya. Menambahkan asam kuat pada air yang bersifat basa atau sebaliknya merupakan hal yang sangat penting dalam pengolahan limbah secara biologi dimana memerlukan mikroorganisme pendegradasi senyawa organik dikarenakan perubahan pH yang sangat ekstrim baik terlalu asam ataupun basa akan membunuh mikroorganisme (P. Cheremisinoff, 2002) . Menurut Keputusan Menteri Negera Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003, pH yang diperbolehkan untuk air yang dibuang di perairan adalah 6-9. Sehingga perlu adanya reaksi netralisasi untuk menaikkan dan menurunkan pH agar sesuai dengan pH tersebut.

Salah satu contoh reaksi netralisasi dalam perairan adalah reaksi antara larutan kapur ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dengan asam sulfat. Pada kasus penanganan limbah batubara dilakukan pengupasan lapisan batuan-batuan yang berakibat lapisan

sulfide terpapar ke lingkungan sekitar di udara maupun di perairan membentuk senyawa asam sulfat. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Reaksi Ion :

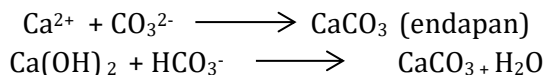


Berdasarkan reaksi kesetimbangan diatas dapat dilihat bahwa H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mempunyai ion H<sup>+</sup> dan Ca(OH)<sub>2</sub> mempunyai ion OH<sup>-</sup> yang akan membentuk garam CaSO<sub>4</sub> dan air yang membuat air limbah bersifat netral. Penambahan air kapur juga harus melalui jumlah yang tepat sehingga tidak akan berlebihan yang akan mengakibatkan pH akan tinggi dan kondisi air bersifat basa. (Faisal & Syarifudin, 2014)

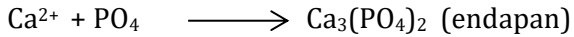
### 3. Reaksi Pengendapan

Reaksi pengendapan merupakan salah reaksi dasar yang digunakan dalam memisahkan senyawa-senyawa polutan di perairan yang sukar mengendap. Limbah yang sukar mengendap dalam air ditambah reaktan menjadi senyawa baru yang mengendap dengan air.

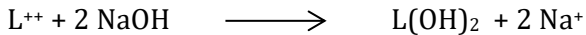
Contoh: Pengendapan ion Karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), Fosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) dan logam-logam berat. Ion karbonat yang terdapat dalam air umumnya dalam bentuk CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Untuk mengendapkannya umumnya menggunakan Ca(OH)<sub>2</sub>



Ion fosfat dapat mengendap dengan ion  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  umumnya yang digunakan adalah  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Logam Berat umumnya dapat membentuk endapan dengan basa. Dalam reaksi ini perlu memperhatikan kelarutan  $\text{L}(\text{OH})_2$  di dalam air atau kadang dinyatakan dalam  $K_{sp}$ . Selain dengan penambahan basa, endapan juga dapat diperoleh dengan penambahan ion sulfide. Beberapa logam berat dapat mengendap dalam bentuk sulfida:  $\text{CdS}$ ,  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $\text{CuS}$  dan  $\text{NiS}$ . Bila basa yang digunakan terlalu banyak, sehingga pH air tinggi ( $\text{pH} > 10$ ) beberapa logam bisa membentuk senyawa yang larut lagi



Sehingga reaksi pengendapan ini banyak digunakan untuk mengurangi kadar limbah logam berat yang berada di perairan dengan memanfaatkan reagen pengendap. Salah satu contohnya adalah pengurangan limbah raksa ( $\text{Hg}$ ) dengan penambahan Natrium Sulfida ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dengan menggunakan metode presipitasi. Dengan mencampurkan ion merkuri dengan presipitan Natrium Sulfida dapat menghasilkan *removal* merkuri sebesar 99,81%, sedangkan dengan presipitan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dapat menghasilkan *removal* merkuri sebesar 90,11% (Fadlilah, Prasetya, & Mulyono, 2018).

Keberhasilan reaksi presipitasi dalam menghasilkan endapan tidak terlepas dari nilai  $K_{sp}$  endapan. Dimana ada 3 kemungkinan yang akan terjadi jika sebuah senyawa pengendap akan di tambahkan ke dalam senyawa yang akan

diendapkan. Sebagai contoh endapan AgCl yang didapatkan dari mencampurkan AgNO<sub>3</sub> dan HCl tidak selalu menghasilkan endapan putih. Hal ini tergantung dari nilai kelarutan ion Ag<sup>+</sup>, kelarutan ion Cl<sup>-</sup> dan Ksp AgCl. Ada 3 kemungkinan yang akan terjadi yaitu:

belum mengendap ; bila  $[Ag^+][Cl^-] < K_{sp}AgCl$   
 tepat jenuh ; bila  $[Ag^+][Cl^-] = K_{sp}AgCl$   
 telah mengendap ; bila  $[Ag^+][Cl^-] > K_{sp}AgCl$ .

Sebagai contoh soal:

Periksalah apakah campuran 100 ml 4x10<sup>-3</sup> M Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan 400 ml 2,5 x 10<sup>-3</sup> M HCl telah membentuk endapan PbCl<sub>2</sub> (Ksp = 2 x 10<sup>-10</sup>).

Diketahui:

V Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> = 100 mL,  
 M Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> = 4 x 10<sup>-3</sup> M  
 V HCl = 400 mL,  
 M HCl = 2,5 x 10<sup>-3</sup> M  
 Ksp PbCl<sub>2</sub> = 2 x 10<sup>-10</sup>

Jawaban:

1. Mol Pb<sup>+</sup> dalam Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> = 100 mL x 4.10<sup>-3</sup> M = 0,4 mmol
2. Mol Cl<sup>-</sup> dalam HCl = 400 mL x 2,5 x 10<sup>-3</sup> M = 1 mmol
3. Kelarutan/Molaritas Pb<sup>+</sup> dalam PbCl<sub>2</sub> = 0,4 mmol/Vol campuran = 0,4 mmol/500 mL = 8.10<sup>-4</sup> M
4. Kelarutan/Molaritas Cl<sup>-</sup> dalam PbCl<sub>2</sub> = 1 mmol/Vol campuran = 1 mmol/500 mL = 2.10<sup>-3</sup> M
5. Hasil kali kelarutan PbCl<sub>2</sub> adalah  

$$PbCl_2 \longrightarrow Pb^{2+} + 2Cl^-$$



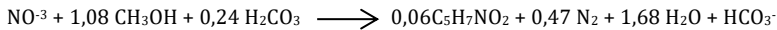
$$\begin{aligned}
 \text{Hasil kali kelarutan} &= [\text{Pb}^{2+}][\text{Cl}^-]^2 \\
 &= (8 \cdot 10^{-4})(2 \cdot 10^{-3})^2 \\
 &= 32 \cdot 10^{-10} > 2 \times 10^{-10} (\text{Ksp} \\
 &\quad \text{PbCl}_2) \text{ (Mengendap)}
 \end{aligned}$$

#### 4. Reaksi Reduksi dan Oksidasi (Redoks)

Reaksi redoks merupakan reaksi kimia yang melibatkan perpindahan elektron yang mengakibatkan perubahan bilangan oksidasi dari masing-masing atom yang terlibat. Salah satu contoh reaksi reduksi adalah reaksi denitrifikasi. Sedangkan reaksi oksidasi adalah reaksi nitrifikasi.

##### a. Reaksi Denitrifikasi

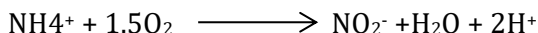
Reaksi denitrifikasi merupakan reaksi reduksi dari nitrat menjadi nitrogen.



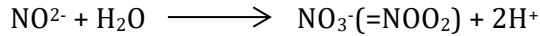
Reaksi denitrifikasi diatas terjadi pada kondisi anaerob melibatkan bakteri anaerob dan bakteri fakultatif heterotropik. Persamaan diatas tidak hanya menunjukkan bahwa oksigen tidak diperlukan dalam proses denitrifikasi. Pada reaksi diatas terjadi perubahan bilangan oksidasi antara moleku-molekul di reaktan dengan molekul-molekul di produk.

##### b. Reaksi Nitrifikasi

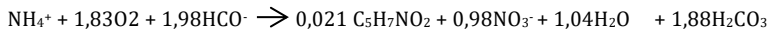
Reaksi nitrifikasi merupakan reaksi oksidasi dari ammonium menjadi nitrat dengan melibatkan proteobakteri autotropik aerobic obligat. Pertama-tama ammonium di oksidasi menjadi nitrit dengan pengoksidasi ammonium, seperti misalnya: *Nitrosomonas* sp dan *Nitrospira* sp.



Nitrat yang dihasilkan kemudian di oksidasi oleh pengoksidasi nitrat (sejenis nitrobacter sp) menghasilkan nitrit dengan bantuan oksigen yang didapat dari air (Mara, 2004)



Secara keseluruhan reaksi nitrifikasi dari ammonium adalah sebagai berikut:



## **Rangkuman**

---

1. Siklus hidrologi yang terjadi pada sistem di lingkungan bumi sangat berpengaruh terhadap sebaran bahan kimia di lingkungan. Hal ini karena reaksi-reaksi kimia yang terjadi di lingkungan atmosfer, litosfer dan hidrosfer sangat mempengaruhi sebaran bahan kimia di lingkungan perairan.
2. Bahan kimia polutan dari sistem lingkungan akan berpengaruh terhadap kualitas perairan. Kualitas perairan bisa dikatakan baik maupun tercemar tidak hanya di dasarkan pada pengamatan biasa akan tetapi dengan menghitung indeks pencemaran berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
3. Parameter kualitas perairan didasarkan pada parameter fisik, kimia dan biologi. Beberapa Parameter kimia yang mempengaruhi kualitas perairan adalah Dissolved Oxygen (DO), Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand

(COD). Dimana indikator kualitas perairan itu baik apabila nilai DO tinggi serta nilai BOD dan COD rendah.

4. Sebaran bahan kimia di perairan dapat terjadi melalui beberapa reaksi-reaksi berikut ini:
  - a. Reaksi Karbondioksida dalam Perairan.
  - b. Reaksi Netralisasi.
  - c. Reaksi Pengendapan (Presipitasi)
  - d. Reaksi Reduksi dan Oksidasi.

### **Tugas dan Evaluasi**

---

1. Jelaskan mengapa siklus hidrologi yang terjadi pada lingkungan sangat berpengaruh terhadap sebaran bahan kimia di perairan?
2. Menurut anda, bagaimana kualitas perairan yang belum termcemar oleh polutan bahan kimia?
3. Pada saat ini sering ada fenomena di waktu yang sama pada daerah tertentu terjadi banjir dan di daerah lain terjadi kekeringan, Bagaimanakah menurut anda?
4. Periksa apakah campuran 200 ml  $4 \times 10^{-3}$  M  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dan 300 ml  $1 \times 10^{-3}$  M NaCl telah membentuk endapan  $\text{PbCl}_2$  ( $K_{sp} = 2 \times 10^{-10}$ ).
5. Bagaimanakah pengaruh reaksi kimia yang terjadi di perairan yang diakibatkan logam berat terhadap lingkungan, Jelaskan jawabanmu dengan tepat!

# BAB 7

## PENCEMARAN AIR DAN PENJERNIHAN AIR

---

Hijriati Sholehah, S.Si., M.Si.

Air adalah sumber kehidupan manusia dan sumber daya alam yang dapat diperbaharui tetapi dapat dengan mudah terkontaminasi oleh aktivitas manusia. Sehingga, tidak bisa dipungkiri pada era ini terjadi peningkatan pencemaran air. Pencemaran air adalah penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, yang diakibatkan adanya zat pencemar yang masuk dalam badan perairan sehingga menghasilkan air bukan dari kemurniannya. Air yang ada di alam kebanyakan sudah tercemar. Namun, air yang tidak tercemar tidak selalu air murni melainkan air yang tidak mengandung bahan-bahan asing tertentu dalam jumlah melebihi ambang batas yang sudah ditetapkan, sehingga air tersebut dapat digunakan secara normal untuk keperluan sehari-hari misalnya untuk air minum, mandi, mencuci, rekreasi, kehidupan hewan air dan keperluan industri.

### A. Pencemaran Air

---

#### 1. Definisi pencemaran air

Pencemaran air merupakan kondisi yang diakibatkan adanya masukan beban pencemar/limbah buangan yang berupa gas, bahan yang terlarut, dan partikulat. Pencemar yang masuk ke dalam badan perairan dapat dilakukan melalui atmosfer, tanah, limpasan/*run off* dari lahan pertanian, limbah domestik, perkotaan, industri, dan lain-lain (Effendi, 2003). Pencemaran air menurut Surat Keputusan

Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988 Tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan adalah : masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi kurang atau sudah tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Tarmizi, 2015).

## 2. Sumber Pencemar

Banyak penyebab sumber pencemaran air, tetapi secara umum dapat dikategorikan menjadi 2 (dua) yaitu sumber kontaminan langsung dan tidak langsung (Tarmizi, 2015):

### a. Sumber langsung (*point source*)

Sumber langsung merupakan sumber pencemaran yang berasal dari titik tertentu yang ada di sepanjang badan air penerima dengan sumber lokasi yang jelas. Titik lokasi pencemaran terutama berasal dari pipa pembuangan limbah industri yang tidak mengolah limbahnya maupun pembuangan hasil pengolahan limbah di IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) yang masuk ke badan air penerima.

### b. Sumber tidak langsung (*non-point source*)

Sumber tak langsung merupakan sumber yang berasal dari kegiatan pertanian, peternakan, industri kecil/menengah, dan domestik yang berupa penggunaan dari barang konsumsi.

## 3. Sifat-sifat air tercemar

Indikator untuk mengetahui apakah suatu air tercemar atau tidak, dapat diketahui dengan melakukan pengujian untuk menentukan sifat-sifat air sehingga dapat diketahui

apakah terjadi penyimpangan dari batasan-batasan pencemaran air. Adapun beberapa sifat-sifat air yang umum dapat diuji dan dapat digunakan untuk menentukan tingkat polusi air, seperti : pengamatan secara fisik , kima dan biologi.

Pengamatan secara fisik yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan perubahan suhu, tingkat kejernihan air dan adanya perubahan bau, warna serta rasa. Pengamatan secara kimiawi yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan perubahan pH, nilai BOD/COD, kandungan minyak , lemak, logam berat dan bahan radioaktif. Sedangkan pengamatan secara biologis yaitu pengamatan pencemaran air berdasarkan mikroorganismenya patogen.

Sifat-sifat air yang pada umumnya sering dilakukan pada pemeriksaan pencemaran air nilai pH/keasaman/alkalinitas, suhu, warna, bau dan rasa, oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biokimia (BOD), kebutuhan oksigen kimiawi (COD), padatan terlarut, minyak dan lemak serta pemeriksaan total coliform dan *E.Coli*.

#### **a. Nilai pH, keasaman dan alkalinitas**

Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH normal sekitar 6,5-7,5. Sedangkan pH air yang tercemar, misalnya air limbah berbeda-beda tergantung dari jenis limbah, contoh air limbah pabrik pulp dan kertas biasanya mempunyai pH 7,6-9,5. Sedangkan pada pabrik susu dan produk-produk susu biasanya mempunyai pH 5,3-7,8. Pada industri-industri makanan, peningkatan keasaman air limbah umumnya disebabkan oleh kandungan asam-asam organik.

Nilai pH dibawah pH normal, air tersebut bersifat asam. Sebaliknya, air yang mempunyai pH diatas pH normal bersifat basa. Perubahan keasaman pada air limbah baik

asam (pH menurun) ataupun basa (pH naik) akan sangat mengganggu kehidupan biota akuatik. Sebagian besar bioata akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH antara 7-8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir pada pH yang rendah. Selain itu, air limbah yang mempunyai pH rendah bersifat sangat korosif terhadap baja dan sering menyebabkan pengkaratan pada pipa-pipa besi.

### **b. Suhu**

Air biasanya digunakan sebagai medium pendingin dalam berbagai proses industri. Air limbah mungkin mempunyai suhu lebih tinggi dari pada air asalnya. Sehingga kenaikan suhu air akan menimbulkan beberapa akibat sebagai berikut:

- 1) Kecepatan reaksi kimia meningkat.
- 2) Jumlah oksigen terlarut di dalam air menurun.
- 3) Kehidupan ikan dan hewan air lainnya terganggu, jika batas suhu yang mematikan terlampaui, ikan dan hewan air lainnya akan mati (fardiaz, 1992).

Suhu air kali atau air limbah yang relatif tinggi dapat ditandai antara lain dengan munculnya ikan-ikan dan hewan air lainnya ke permukaan untuk mencari oksigen.

### **c. Warna, Bau dan Rasa**

Warna air yang tidak normal biasanya menunjukkan adanya zat pencemar. Banyak limbah menyebabkan anak sungai memiliki warna terang yang dapat tertanam dalam air. Hal ini disebabkan oleh zat warna organik. Warna air dapat dibedakan atas dua macam yaitu warna sejati (*true colour*) yang disebabkan oleh bahan-bahan terlarut dan warna semu (*apparent colour*) yang disebabkan oleh adanya

bahan-bahan terlarut dan dan bahan-bahan tersuspensi termasuk juga yang bersifat koloid. Warna organik dan senyawa-senyawa besi serta cromium umumnya bersifat toksik. Akan tetapi adanya perubahan warna pada air tidak selalu berbahaya. Misalnya air sungai berwarna kehijauan disebabkan adanya asam humus dari tumbuh-tumbuhan. Asam humus juga tidak beracun, namun air berwarna menyebabkan pandangan yang tidak indah.

Bau air tergantung dari sumber airnya. Bau air dapat disebabkan oleh bahan-bahan kimia, ganggang, plankton tumbuhan dan hewan air, baik yang hidup dan sudah mati.

Air yang normal sebenarnya tidak mempunyai rasa. Timbulnya rasa yang berbeda biasanya disebabkan oleh adanya zat pencemar. Limbah industri mengandung berbagai macam senyawa kimia yang memberikan karakteistik dan rasa yang tidak enak pada air bahkan ketika ada dalam jumlah kecil sekalipun. Misalnya rasa seperti tinta timbul karena ion ferro ada dalam air pada konsentrasi yang rendah sekitar 0,1 ppm.

#### **d. Oksigen terlarut (DO)**

Oksigen terlarut merupakan kebutuhan dasar untuk kehidupan tanaman dan hewan di dalam air. Kehidupan makhluk hidup di dalam air tersebut tergantung dari kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen minimal yang dibutuhkan untuk kehidupannya. Tanpa adanya oksigen terlarut, banyak mikroorganismenya dalam air tidak dapat hidup karena oksigen terlarut digunakan untuk proses degradasi senyawa organik dalam air. Oksigen dapat berasal dari atmosfer atau proses fotosintesis tanaman air, dimana jumlahnya tidak tetap tergantung dari jumlah tanamannya dan dari atmosfer (udara) yang masuk ke dalam



air dengan jumlah yang terbatas. Berdasarkan data-data temperatur dan tekanan, maka kelarutan oksigen jenuh dalam air pada 25°C dan tekanan 1 atmosfer adalah 8,32 mg/L (Tarmizi, 2015). Semakin tinggi suhu air semakin rendah tingkat kejenuhannya. Hal ini dapat ditunjukkan pada tabel 1.1.

**Tabel 8.1 hubungan antara suhu dengan konsentrasi oksigen terlarut maksimum pada tekanan 1 atmosfer**

Suhu (°C)	Konsentrasi O <sub>2</sub> terlarut maksimum (ppm)	Suhu (°C)	Konsentrasi O <sub>2</sub> terlarut maksimum (ppm)
0	14.6	30	7.6
10	11.3	32	7.4
12	10.8	34	7.2
14	10.4	36	7.0
16	10.0	38	6.8
18	9.5	40	6.6
20	9.2	42	6.4
22	8.8	44	6.2
24	8.5	46	6.0
26	8.2	48	5.8
28	9.9	50	5.6

Sumber : Polusi Air dan Udara, fardiaz 1992)

Kadar oksigen terlarut yang tinggi tidak menimbulkan pengaruh fisiologis bagi manusia. Namun, Ikan dan organisme akuatik lain membutuhkan oksigen terlarut dengan jumlah cukup banyak. Konsentrasi oksigen terlarut yang terlalu rendah akan mengakibatkan ikan dan organisme akuatik akan mati. Sebaliknya konsentrasi oksigen terlarut yang terlalu tinggi juga mengakibatkan proses pengkaratan semakin cepat karena oksigen akan mengikat hidrogen yang

melapisi permukaan logam menyebabkan organisme akuatik lebih menderita. Air dikategorikan sebagai air tercemar jika konsentrasi oksigen terlarut menurun dibawah batas yang dibutuhkan untuk kehidupan biota. Penyebab utama berkurangnya oksigen terlarut dalam air adalah adanya bahan-bahan buangan yang membutuhkan oksigen, seperti kotoran manusia, bahan-bahan buangan dari industri pengolahan pangan, pabrik kertas industri penyamakan kulit, industri pematangan daging dan sebagainya.

#### 1) BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

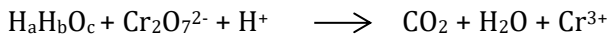
BOD (*biochemical oxygen demand*) menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan buangan organik didalam air menjadi karbondioksida dan air. Jadi, nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut. Jika oksigen yang dibutuhkan tinggi ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut, maka kandungan bahan-bahan buangan yang membutuhkan oksigen tinggi. Untuk kepentingan praktis, proses oksidasi dianggap lengkap selama 20 hari, akan tetapi penentuan BOD selama 20 hari dianggap masih cukup lama. Penentuan BOD ditetapkan selama 5 hari inkubasi, maka biasa disebut BOD<sub>5</sub>. Selain memperpendek waktu yang dibutuhkan, hal itu juga dimaksudkan untuk meminimumkan pengaruh oksidasi amonia yang menggunakan oksigen. Selama 5 hari masa inkubasi, diperkirakan 70%-80% bahan organik telah mengalami oksidasi (Tarmizi, 2015).

Air yang hampir murni mempunyai nilai BOD kira-kira 1 ppm, air yang mempunyai nilai BOD 3 ppm masih dianggap cukup murni, tetapi kemurnian air diragukan jika nilai

BODnya mencapai 5 ppm atau lebih. Besarnya kadar BOD merupakan indikasi bahwa perairan tersebut telah tercemar.

## 2) COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan, misalnya kalium dikromat, untuk mengoksidasi bahan-bahan yang terdapat didalam air, agar buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia baik yang dapat di degradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi. Bahan buangan organik tersebut akan dioksidasi oleh kalium bichromat yang digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) menjadi gas CO<sub>2</sub> dan gas H<sub>2</sub>O serta sejumlah ion chrome. Reaksinya sebagai berikut :



Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi daripada uji BOD karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/L, sedangkan pada perairan tercemar dapat lebih dari 200 mg/L dan pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/L (Tarmizi, 2015).

### e. Nitrit (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen Okside (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas yang terdaftar di atmosfer yang terdiri dari gas nitrit okside (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Walaupun bentuk nitrogen gas lainnya ada , tetapi kedua gas ini yang paling banyak ditemui sebagai polutan udara.

Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) bersifat toksik dalam perairan, kandungan Nitrit di perairan ditentukan oleh pencemaran oleh senyawaan N dan terhambatnya proses pembentukan Nitrat oleh mikroorganisme hal ini berkaitan juga dengan ketersediaan oksigen terlarut. Umumnya, perairan alami memiliki kadar nitrit dalam jumlah sedikit, dan segera teroksidasi menjadi nitrat yang menyebabkan kandungan nitrat lebih tinggi dari nitrit. Sumber Nitrit berkaitan dengan sumber yang menghasilkan senyawaan nitrogen, sumber tersebut umumnya berasal dari limbah industri dan limbah domestik. Reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dalam proses pembakaran. Perairan alami mengandung nitrit sekitar 0,01 mg/liter dan sebaiknya tidak melebihi 0,06 mg/liter karena dapat bersifat toksik. Pada manusia konsumsi nitrit yang berlebihan dapat mengakibatkan terganggunya proses pengikatan oksigen oleh hemoglobin darah. (Effendi, 2003).

Nitrat( $\text{NO}_3^-$ ) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrient utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan sangat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna nitrogen di perairan, yang berlangsung pada kondisi aerob. Kadar nitrat nitrogen perairan alami biasanya tidak lebih dari 0,1 mg/liter. Kadar nitrat > 5 mg/liter menggambarkan terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan.

#### **f. Minyak dan Lemak**

Minyak dan lemak yang mencemari perairan dapat berasal dari kendaraan bermotor pada perairan, buangan industri, maupun dari buangan domestik. Adanya minyak dan lemak dalam suatu perairan dapat mengakibatkan

berkurangnya penetrasi sinar matahari ke dalam air, menurunnya konsentrasi oksigen terlarut karena menghambat difusi udara dengan permukaan air. Hal tersebut akan dapat mengganggu kehidupan. Minyak dan lemak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliserid dari asam lemak ini berupa cairan dalam keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental dikenal sebagai lemak. Minyak dan lemak tergolong benda yang tidak mudah diuraikan oleh bakteri. Bahan-bahan asam dapat menghancurkannya untuk menghasilkan gliserin dan asam lemak (Sugiharto, 1987).

#### **4. Dampak Pencemaran Air**

Dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran air banyak sekali jenisnya. Dampak ini dapat terbagi dan dikategorikan ke dalam empat kelas antara lain Dampak terhadap kehidupan biota air, kualitas air tanah, kesehatan dan Estetika lingkungan(Suyasa, 2015).

##### **a. Dampak terhadap Kehidupan Biota Air**

Zat pencemar di dalam air akan menurunkan kadar oksigen yang terlarut di dalam air. Oksigen diperlukan untuk mendegradasi / menguraikan zat-zat pencemar. Kehidupan air membutuhkan jumlah oksigen yang cukup. Jika kadar oksigennya menurun sampai pada tingkat tertentu, maka kehidupan biota perairan akan terganggu. Kematian biota perairan antara lain ikan-ikan dan tumbuhan air juga disebabkan oleh adanya zat-zat beracun. Jika bakteri mati, maka proses penjernihan air limbah secara alamiah juga akan mengalami hambatan. Polusi termal dari limbah juga akan mengganggu kehidupan biota perairan.

##### **b. Dampak terhadap Kualitas Air Tanah**

Polutan akan meresap ke dalam tanah melalui pori-pori tanah. Pada proses peresapan ini, tanah akan menjadi jenuh. Hal ini akan menimbulkan gangguan terhadap air tanah, sebagai salah satu sumber air minum yang paling banyak digunakan.

### **c. Dampak terhadap Kesehatan**

Dampak terhadap kesehatan tergantung dari kualitas air, karena air merupakan media bagi penyebaran penyakit. Penularan penyakit dapat bermacam-macam yaitu : Air sebagai media hidup bagi makhluk hidup termasuk mikroba, air sebagai sarang penyebar penyakit dan jumlah air yang berkurang menyebabkan tidak tercukupinya kebutuhan manusia untuk membersihkan dirinya. Di Indonesia terdapat beberapa penyakit yang dikategorikan sebagai *waterborn diseases* atau penyakit yang dibawa oleh air. Penyakit ini dapat menyebar apabila mikroba penyebabnya dapat masuk ke dalam sumber air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Jenis mikroba yang penyebarannya melalui air cukup banyak, antara lain bakteri, protozoa dan virus. Di bawah ini akan diuraikan beberapa penyakit yang termasuk dalam kategori *waterborn diseases* beserta agen pembawanya.

### **d. Dampak terhadap Estetika Lingkungan**

Proses Industri menghasilkan hasil samping berupa limbah / bahan buangan. Jumlah limbah yang dihasilkan berbanding lurus dengan tingginya kegiatan produksi. Limbah dapat diolah dengan cara diendapkan terlebih dahulu, namun metode ini menimbulkan dampak bau yang menyengat. Penumpukan limbah juga memerlukan wilayah yang luas agar tidak mengganggu sanitasi dan kesehatan di

pemukiman penduduk. Masalah ini disebut sebagai masalah estetika lingkungan. Limbah minyak dan lemak juga menimbulkan masalah estetika lingkungan, yaitu sekitar tempat pembuangan limbah menjadi licin. Pada tempat pembuangan dan pengolahan limbah, masalah bau umumnya timbul dari beberapa kegiatan antara lain : tangki pembuang limbah industri, tangki pembusuk limbah yang mengandung Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ ) dan proses pengolahan bahan organik.

## **B. Penjernihan Air**

---

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi kehidupan dan perikehidupan manusia, serta bagian dari komponen lingkungan hidup yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya

Penetapan kualitas air didasarkan pada Baku Mutu Air yang berlaku. Untuk kriteria kualitas air minum ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor: 20 Tahun 1990, tentang Pengendalian Pencemaran Air. Baku mutu air merupakan batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar terdapat dalam air, namun air tetap berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Sampai saat ini air yang banyak kita gunakan berasal dari air permukaan (sungai dan danau) dan air tanah. Penggunaan air sangat tergantung pada kualitasnya. Air untuk keperluan minum harus memenuhi syarat kesehatan, dan harus mempunyai tingkat kemurnian yang tinggi. Air tersebut harus bersih dan jernih, tidak bersedimen, berwarna, berbau, berasa, dan tidak mengandung bakteri, virus, dan bahan-bahan kimia berbahaya, serta mengandung sejumlah mineral dan garam-garam tertentu. Untuk pertanian dan industri, air yang bebas

dari garam dan bahan-bahan kimia beracun sangat diperlukan. Namun, kualitas air untuk industri pengolahan makanan sama dengan kualitas air minum.

Proses penjernihan/penyediaan air bersih merupakan proses perubahan sifat fisik, kimia dan biologi air baku agar memenuhi syarat untuk digunakan sebagai air minum. Tujuan dari kegiatan pengolahan air minum adalah sebagai berikut:

1. Menurunkan kekeruhan
2. Mengurangi bau, rasa dan warna
3. Menurunkan dan mematikan mikroorganisme
4. Mengurangi kadar bahan-bahan yang terlarut dalam air
5. Menurunkan kesadahan
6. Memperbaiki derajat keasaman (pH)

Pengolahan air dibagi dalam tiga tingkatan pengolahan, yaitu:

1. Pengolahan fisik yaitu suatu tingkatan pengolahan yang bertujuan untuk mengurangi, menghilangkan kotoran-kotoran yang kasar, penyisihan lumpur dan pasir serta mengurangi kadar zat-zat organik yang ada dalam air yang akan diolah
2. Pengolahan kimia yaitu suatu tingkat pengolahan dengan menggunakan zat-zat kimia untuk membantu proses pengolahan selanjutnya.
3. Pengolahan bakteriologis yaitu suatu tingkat pengolahan untuk membunuh/memusnahkan bakteri-bakteri yang terkandung dalam air.

## **1. Prinsip Penjernihan Air Dengan Metode Fisika**



### a. Prinsip penyaringan (filtrasi)

Penyaringan merupakan proses pemisahan antara padatan/koloid dengan cairan. Proses penyaringan bisa merupakan proses wal (primary treatment) atau penyaringan dari proses sebelumnya. Apabila air olahan mempunyai padatan dengan ukuran seragam, saringan yang digunakan adalah *single medium*. Sebaiknya bila ukuran padatan beragam, digunakan saring *dual medium* atau *three medium*. Penyaringan air olahan yang mengandung padatan beragam dari ukuran besar sampai kecil/halus. Penyaringan dilakukan dengan cara membuat saringan bertingkat, yaitu saringan kasar, saringan sedang sampai saringan halus.

Untuk merancang system penyaringan ini perlu penelitian terlebih dahulu terhadap beberapa factor sebagai berikut:

- 1) Jenis limbah padat (terapung atau tenggelam)
- 2) Ukuran padatan: ukurab yang terkecil dan ukuran yang terbesar
- 3) Perbandingan ukuran kotoran padatan besar dan kecil
- 4) Debit air olahan yang akan diolah

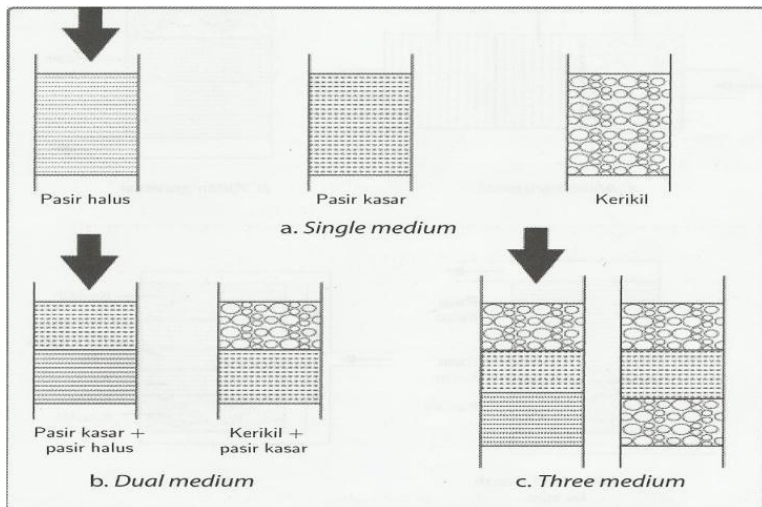
Bentuk dan jenis saringan bermacam-macam. Penyaringan bahan padatan kasar menggunakan saringan berukuran 5 -20 mm, sedangkan padatan yang halus (hiperfiltrasi) dapat menggunakan saringan yang lebih halus lagi. Saringan ini diusahakan mudah diangkat dan dibersihkan.

Bahan untuk penyaringan kasar dapat terbuat dari logam tahan karat seperti stainless steel, kawat tembaga, batu kerikil, btu bara, karbon aktif. Penyaringan untuk padatan yang halus dapat menggunakan kain polyester atau pasir.

Jenis saringan yang biasa digunakan adalah saringan bergetar, barscreen racks, dan bak penyingkapan saringan pasir lambat. Jenis saringan yang banyak digunakan adalah saringan bak pasir dan batuan. Saringan pasir menggunakan batu kerikil dan pasir. Pasir yang baik untuk penyingkapan adalah pasir kuasa.

Jenis saringan menurut konstruksinya dibedakan menjadi saringan miring, saringan pembawa, saringan sentrifugal dan drum berputar. Kecepatan penyingkapan dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

- 1) *Single medium*: saringan untuk menyaring air yang mengandung padatan dengan ukuran seragam
- 2) *Dual medium*: saringan untuk menyaring air limbah yang didominasi oleh dua ukuran padat
- 3) *Three medium*: saringan untuk menyaring air limbah yang mengandung 3 ukuran padatan

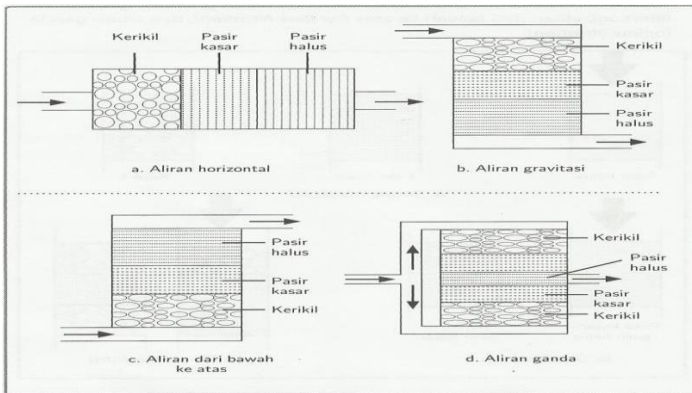


**Gambar 8.1 Filter**

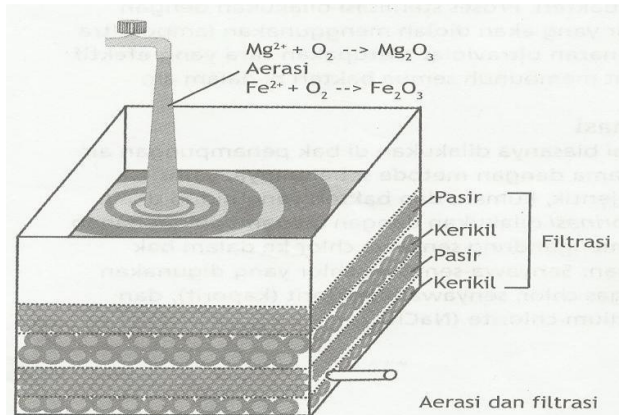
Ukuran filter dibagi menjadi:

- 1) Pasir sangat kasar (very coarse sand) : 2 – 1 mm
- 2) Pasir kasar (coarse sand) : 1 – 0,5 mm
- 3) Pasir sedang (medium sand) : 0,5 – 0,25 mm
- 4) Pasir halus (fine sand) : 0,25 – 0,1 mm
- 5) Pasir sangat halus (very fine sand) : 0,1 – 0,05 mm

Sistem aliran air olahan dalam system filtrasi terdiri dari beberapa macam. Penentuan aliran ini memperhatikan sifat dari limbah padat yang akan difiltrasi. Sistem aliran tersebut dibagi menjadi empat system, yaitu aliran horizontal, aliran gravitasi, aliran dari bawah ke atas dan aliran ganda.



**Gambar 8.2 Model Aliran Filter**



**Gambar 8.3 Kombinasi filter dan Aerasi**

### **b. Prinsip Penjernihan Air dengan pengendapan (sedimentasi)**

Sedimentasi merupakan proses pengendapan bahan padat dari air olahan. Proses sedimentasi bisa terjadi bila air limbah mempunyai berat jenis lebih besar daripada air sehingga mudah tenggelam. Proses pengendapan ada yang bisa terjadi langsung, tetapi adapula yang memerlukan proses pendahuluan, seperti koagulasi atau reaksi kimia. Prinsip sedimentasi adalah pemisahan bagian padat dengan memanfaatkan gaya gravitasi sehingga bagian yang padat berada di dasar kolam pengendapan, sedangkan air dibagian atas.

### **c. Prinsip penjernihan air dengan absorpsi dan adsorpsi**

Absorpsi merupakan proses penyerapan bahan-bahan tertentu dengan penyerapan tersebut, air menjadi jernih karena zat-zat didalamnya diikat oleh absorben. Absorpsi umumnya menggunakan bahan absorben dari karbon aktif. Pemakaiannya, dengan cara membubuhkan karbon aktif

bubuk ke dalam air olahan atau dengan cara menyulurkan air melalui saringan yang medianya terbuat dari karbon aktif kasar. Sistem ini efektif untuk mengurangi warna serta menghilangkan bau dan rasa. Proses kerja penyerapan (absorpsi) yaitu penyerapan ion-ion bebas di dalam air yang dilakukan oleh absorben. Sebagai contoh, penyerapan ion oleh karbon aktif.

Absorben yang umum digunakan adalah karbon aktif karena cocok untuk pengolahan air olahan yang mengandung fenol dan bahan yang memiliki beral molekul tinggi. Karbon aktif yang digunakan dapat berbentuk granula atau serbuk dengan waktu kontak 30 menit dalam tanki pengolahan yang dilengkapi dengan pengaduk. Setiap gram karbon aktif dapat mengabsorpsi 0,4 -0,9 fenol. Karbon aktif biasanya terbuat dari onthracile, bituminous, petroleum coke, dan arang tempurung kelapa atau arang kayu.

Aplikasi absorpsi yaitu dengan mencampurkan absorben dengan serbuk karbon aktif dengan cara menjadikan karbon aktif sebagai media filtrasi. Apabila absorben dicampurkan dengan serbuk karbon aktif, selanjutnya larutan disaring. Namun apabila karbon aktif digunakan sebagai media penyaring, dipilih karbon aktif yang berbentuk granula dan secara berkala harus dicuci atau diganti dengan yang baru. Disamping dapat mengabsorpsi fenol, karbon aktif juga dapat mengabsorpsi racun dan mikroorganisme.

Adsorpsi merupakan penangkapan/ pengikatan ion-ion bebas di dalam air oleh adsorben. Contoh zat yang digunakan untuk proses adsorpsi adalah zeolit dan resin yang merupakan polimerasi dari polihidrik fenol dengan formaldehid. Contohnya pengikatan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Na}^{+}$ . Setiap gram resin dapat mengadsorpsi asam 4 – 9 mev. Banyaknya adsorben yang diperlukan tergantung konsentrasi larutan.

Semakin tinggi konsentrasi larutan, semakin besar pula adsorben yang diperlukan untuk menjernihkan air.

#### **d. Prinsip penjernihan air dengan elektrodialisis**

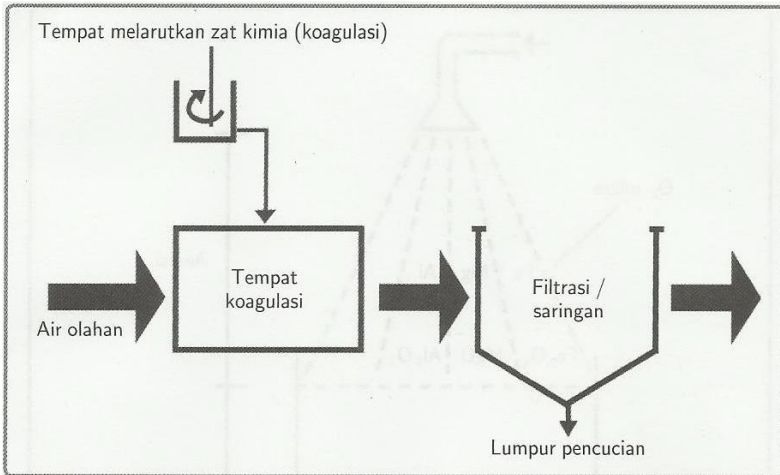
Elektrodialisis merupakan proses pemisahan ion-ion yang larut di dalam air limbah dengan memberikan dua kutub listrik yang berlawanan dari arus searah (direct current, DC). Ion positif akan bergerak ke kutub negative (katoda), sedangkan ion negative akan bergerak ke kutub positif (anoda). Pada kutub positif (anoda). Ion negative akan melepaskan elektronnya sehingga menjadi molekul yang berbentuk gas ataupun padat yang tidak larut dalam air. Hal ini memungkinkan terjadinya pengendapan.

## **2. Prinsip Penjernihan Air Menggunakan Metode Kimia**

### **a. Prinsip penjernihan air dengan metode koagulasi**

Koagulasi merupakan proses penggumpalan melalui reaksi kimia, reaksi koagulasi dapat berjalan dengan membubuhkan zat pereaksi (koagulan) sesuai dengan zat yang terlarut. Koagulan yang banyak digunakan adalah kapur, tawas dan kaporit.

Petimbangan karena garam-garam Ca, Fe dan Al bersifat tidak larut dalam air sehingga mampu mengendap bila bertemu dengan sisa-sisa basa. Dari hasil koagulan itu selanjutnya endapan dipisahkan melalui filtrasi maupun sedimentasi. Banyaknya koagulan tergantung pada jenis dan konsentrasi ion-ion yang terlarut dalam air olahan serta konsentrasi yang diharapkan sesuai dengan standar baku. Untuk mempercepat proses koagulasi dalam air limbah maka dilakukan pengadukan dengan mixer statis maupun rapid mixer.

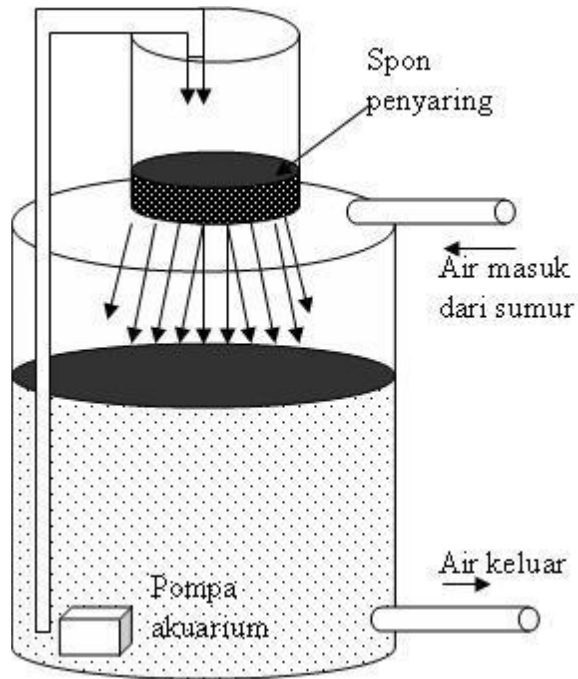


**Gambar 8.4 Penjernihan Air dengan cara Koagulasi**

### **b. Prinsip penjernihan air dengan Aerasi**

Aerasi merupakan suatu system oksigenasi melalui penangkapan  $O_2$  dari udara pada air olahan yang akan diproses. Pemasukan oksigen ini bertujuan agar  $O_2$  di udara dapat bereaksi dengan kation yang ada di dalam air olahan. Reaksi kation dan oksigen menghasilkan oksidasi logam yang sukar larut dalam air sehingga dapat mengendap.

Proses aerasi terutama untuk menurunkan kadar besi (Fe) dan magnesium (Mg). Kation  $Fe^{2+}$  atau  $Mg^{2+}$  bila disemburkan ke udara akan membentuk oksida  $Fe_3O_3$  dan  $MgO$ .



**Gambar 8.5 Contoh Aerasi dengan cara gravitasi**



# BAB 8

## GEOSFER DAN KIMIA TANAH

---

Juwairiah, S.Pd.,M.Si.

Politeknik Negeri Media Kreatif PSDKU Medan

Ilmu pengetahuan yang kita pelajari akan banyak memberikan manfaat dalam hidup kita baik secara teoritis maupun secara praktis. Ilmu pengetahuan memiliki banyak manfaat yang bisa diketahui yaitu membuat manusia menjadi lebih mudah dan efisien dalam kehidupannya, manusia mudah dalam memecahkan permasalahan yang dialami dalam hidup dan meningkatkan kualitas dan derajat hidup.

Pada bab ini kita dapat mengetahui mengenai atmosfer, litosfer (termasuk pedosfer), hidrosfer, biosfer dan antroposfer. Selain itu, pada bab ini kita dapat mengetahui juga mengenai koloid tanah anorganik dan organik, sifat kimia tanah yang penting bagi pertanian, peranan KTK tanah, kejenuhan basa (kb), pH tanah (kemasaman tanah), dan peranan pH tanah.

### A. Geosfer

---

Geosfer secara umum adalah lapisan atau sfera yang terdapat pada bumi yang terletak pada permukaan bumi dan di bawah permukaan bumi dan lapisan bumi tersebut berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap kehidupan bumi. Geosfer terdiri atas atmosfer, litosfer (termasuk pedosfer), hidrosfer, biosfer dan antroposfer.

#### Macam-macam Geosfer

##### 1. Atmosfer

Atmosfer merupakan lapisan gas yang melingkupi sebuah planet, termasuk bumi, dari permukaan planet tersebut

sampai jauh di luar angkasa. Atmosfer bumi terdapat dari ketinggian 0 km di atas permukaan tanah, sampai dengan sekitar 560 km dari atas permukaan bumi. Kepadatan atmosfer menurun jika semakin jauh ke luar angkasa, karena daya tarik gravitasi planet, yang menarik gas dan aerosol (partikel tersuspensi mikroskopis debu, jelaga, asap atau bahan kimia) ke dalam, paling dekat dengan permukaan. Atmosfer beberapa planet, seperti Merkurius, hampir tidak ada, karena atmosfer primordial telah lolos dari daya tarik gravitasi planet yang relatif rendah dan telah dilepaskan ke angkasa.

Contoh fenomena atmosfer:

- a. Adanya perubahan musim di belahan bumi yang berpengaruh bagi kehidupan baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai contoh dari perubahan musim yang disebabkan oleh faktor penyebab iklim musim di Indonesia adalah pada musim penghujan para petani memanfaatkannya dengan mulai melakukan penanaman di sawah tadah hujan. Selain itu pada musim penghujan para nelayan biasanya mengurungkan niat untuk berlayar karena pasang surut air laut tidak bisa diprediksi secara pasti.
- b. Adanya perubahan unsur-unsur cuaca. Contohnya perbedaan jenis pakaian yang digunakan penduduk di daerah beriklim dingin biasanya mengenakan pakaian yang berbahan tebal, sedangkan penduduk di daerah beriklim panas cenderung mengenakan pakaian berbahan tipis.

## **2. Litosfer**

Litosfer adalah bagian bumi yang padat atau paling kaku dan terluar. Meskipun litosfer masih dianggap elastis, tapi tidak kental. Litosfer jauh lebih getas dari pada astenosfer.

Elastisitas dan keuletan litosfer bergantung pada suhu, tekanan, dan kelengkungan bumi itu sendiri. Litosfer memiliki kemampuan untuk melakukan pemanasan yang terkait dengan konveksi yang terjadi di mantel plastik di bawah litosfer.

Litosfer bukanlah lapisan kontinu, litosfer terbagi menjadi lempeng tektonik yang bisa bergerak. Ini adalah lapisan yang memiliki kedalaman sekitar 100 km . Bagian paling dalam dan terpanas litosfer dikenal sebagai astenosfer.

Ada dua jenis litosfer, yaitu :

a. Litosfer Oseanik

- 1) Berada di dasar badan air seperti laut
- 2) Kedalamannya hampir 50-100 km. Menjadi kental seiring waktu karena pendinginan di astenosfer.
- 3) Bertambah padat seiring usia
- 4) Terdiri dari kerak mafik dan mantel mafik ultra

b. Litosfer Kontinental

- 1) Berada di bawah tanah yang padat
- 2) Kedalamannya sekitar 40 -100 km
- 3) Litosfer kontinental lebih ringan dari pada litosfer samudera
- 4) Terdiri dari batuan beku dan sedimen

Contoh fenomena litosfer :

- a. Terjadinya gempa karena pergeseran lempeng tektonik. Contoh fenomena geosfer dalam kehidupan sehari-hari ini dapat kita temui di Indonesia. Gempa karena pergeseran lempeng tektonik sering terjadi di berbagai wilayah Indonesia, seperti gempa di Karo, gempa di Jogjakarta, dan gempa di Papua.

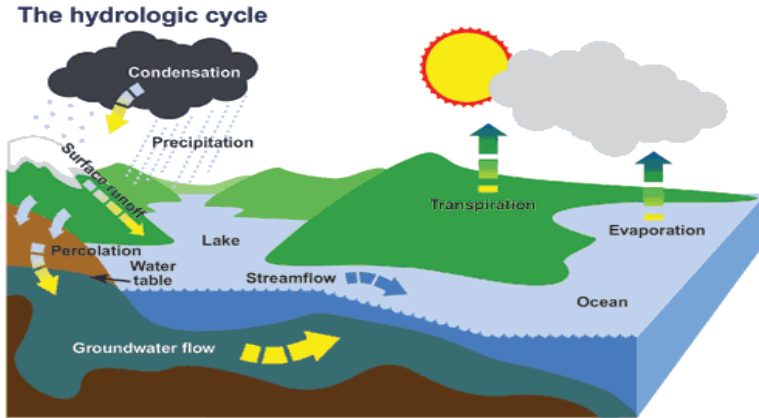
- b. Terjadinya erosi di daerah miring, maka dari itu perlu dilakukan pembuatan sengkedan (terasering) di daerah miring untuk mengurangi tingkat erosi.

### **3. Hidrosfer**

Hidrosfer adalah jumlah total air di planet. Hidrosfer termasuk air yang ada di permukaan planet, di bawah tanah, dan di udara. Hidrosfer suatu planet dapat berupa cairan, uap, atau es. Secara keseluruhan, hidrosfer sangat besar jumlahnya, di lautan hidrosfer meliputi sekitar 71% dari luas permukaan bumi.

Di bumi, air cair ada permukaan dalam bentuk lautan, danau dan sungai. Itu juga ada di bawah tanah, seperti air tanah, di sumur dan akuifer. Uap air paling terlihat sebagai awan dan kabut. Bagian beku dari hidrosfer bumi berupa es seperti gletser dan gunung es. Bagian beku dari hidrosfer memiliki nama sendiri, *cryosphere*.

Pergerakan air dalam hidrosfer melalui suatu siklus yang disebut siklus hidrologi. Air terkumpul di awan, lalu jatuh ke bumi dalam bentuk hujan atau salju. Air ini terkumpul di sungai, danau dan lautan. Kemudian menguap ke atmosfer untuk memulai siklus dari awal lagi.



**Gambar 9.1 Siklus Hidrologi Air**

Sumber : <https://tambahpinter.com/siklus-hidrologi/>

Contoh fenomena hidrosfer:

- a. Jumlah cadangan air di dalam tanah yang dipengaruhi oleh peresapan air ke dalam tanah dan faktor yang mempengaruhi potensi air tanah lainnya. Jenis batuan dan penutup lahan juga bisa mempengaruhi peresapan air. Selain itu, penggunaan air tanah oleh manusia ikut mempengaruhi ketersediaan air tanah.
- b. Adanya salju yang terdapat di pegunungan Jaya Wijaya, Papua Indonesia. Contoh fenomena geosfer dalam kehidupan sehari-hari ini merupakan contoh yang unik yang terdapat di Indonesia yang mempunyai iklim tropis.

#### 4. Biosfer

Biosfer adalah lapisan planet bumi di mana kehidupan ada. Lapisan ini berkisar dari ketinggian hingga 10 km di atas permukaan laut. Biosfer adalah salah satu dari empat lapisan yang mengelilingi bumi bersama dengan litosfer (batu),

hidrosfer (air) dan atmosfer (udara) dan itu adalah jumlah dari semua ekosistem.

Biosfer bersifat unik. Sejauh ini belum ada kehidupan di tempat lain di alam semesta. Kehidupan di bumi bergantung pada matahari. Energi yang disediakan oleh cahaya matahari, ditangkap oleh tanaman, beberapa bakteri dan protista yang digunakan dalam proses fotosintesis.

Energi yang ditangkap mengubah karbon dioksida menjadi senyawa organik seperti gula dan menghasilkan oksigen. Sebagian besar spesies hewan, jamur, tanaman, parasit dan banyak bakteri tergantung secara langsung atau tidak langsung pada fotosintesis.

Contoh fenomena biosfer :

- a. Adanya keragaman adat dan budaya di belahan bumi. Keragaman ini mempengaruhi kehidupan manusia itu sendiri, meliputi cara berinteraksi, keterampilan yang berbeda dan kebutuhan yang berbeda.
- b. Adanya potensi sumber daya alam yang berbeda yang menyebabkan perbedaan pada cara pemanfaatannya pula, maka dari itu pengolahan dan alat yang digunakan akan berbeda pula karena perbedaan jenis-jenis sumber daya alam ini

## **5. Antroposfer**

Antroposfer (kadang disebut juga sebagai Technosphere) adalah bagian dari lingkungan yang dibuat atau dimodifikasi oleh manusia untuk digunakan dalam aktivitas manusia dan habitat manusia.

Antroposfer merupakan bagian permukaan bumi yang dihuni oleh manusia. Adapun contoh antroposfer yaitu berupa wilayah dan perwilayahan perkotaan, pedesaan, lokasi pemukiman dan sebagainya. Seiring perkembangan

teknologi manusia, seperti semakin besarnya kemampuan teknologi untuk menyebabkan deforestasi, dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan berpotensi meningkat

#### Contoh Fenomena Antroposfer

- a. Adanya persebaran flora dan fauna yang ada di belahan bumi. Fenomena ini disebabkan karena kondisi habitat yang mendukungnya, seperti adanya Harimau Jawa, onta di Arab dan burung cendrawasih di Papua beserta habitatnya. Selain itu, keberadaan fauna di belahan dunia juga dimanfaatkan oleh manusia, sebagai contoh di Indonesia penduduk memanfaatkan sapi, kerbau dan kuda, sedangkan di Thailand penduduknya memanfaatkan gajah untuk membantu kegiatan sehari-hari.
- b. Adanya keragaman konsumsi bahan pangan yang disebabkan oleh perbedaan flora dan fauna. Contohnya di Indonesia makanan pokoknya adalah nasi karena Indonesia merupakan daerah penghasil padi.

## **B. Sifat Kimia Tanah**

---

Tanah memiliki sifat kimia yang berperan besar dalam reaksi-reaksi di dalam tanah yang disebut koloid tanah. Koloid tanah adalah bahan mineral anorganik maupun bahan organik yang sangat halus yang berukuran  $< 0,001$  mm atau  $< 1$  mikron sehingga mempunyai luas permukaan yang sangat tinggi persatuan berat. Koloid tanah (disebut juga Misel tanah) merupakan bagian tanah yang sangat aktif dalam reaksi-reaksi fisikokimia di dalam tanah dan berperan secara langsung atau tidak langsung dalam penyediaan unsur hara bagi tanaman.

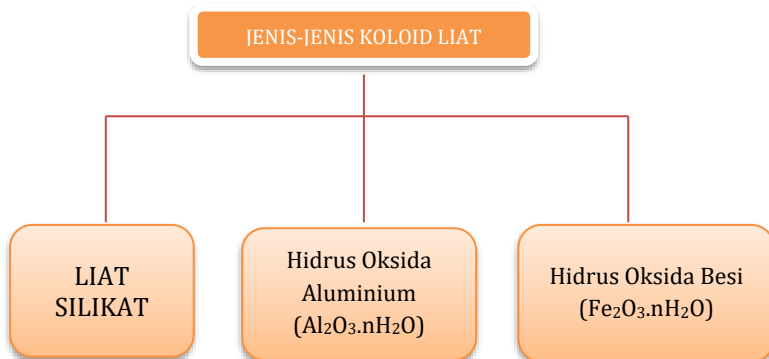
Jenis Koloid tanah :

1. Koloid Anorganik, contoh : Liat
2. Koloid Organik , contoh : Humus

**Tabel 9.1 Perbedaan Koloid Anorganik dan Organik**

Aspek	Koloid Anorganik	Koloid Organik
Bentuk Koloid	Kristalin (lempeng); sebagian kecil Amorph	Amorph
Daya serap terhadap air	15 – 20% dari bobotnya	80 – 90% dari bobotnya
Daya serap terhadap kation/anion unsur hara	Besar	lebih besar dari koloid anorganik
Kapasitas Tukar Kation (KTK)	8 – 100 me/100 gr	150 – 300 me/100 gr
Kohesi dan plastisitas	Tinggi	Rendah
Warna tanah	Cerah/ Pucat	Hitam

### Jenis Koloid Liat (Anorganik)





### Bentuk Kristalin :

Gibsit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Kaolinit, Haloisit, Montmorilonit,

Iilit, Vermikulit dan klorit

Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ );

Goethit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ );

Limonit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ );

### Bentuk Non Kristalin (Amorf):

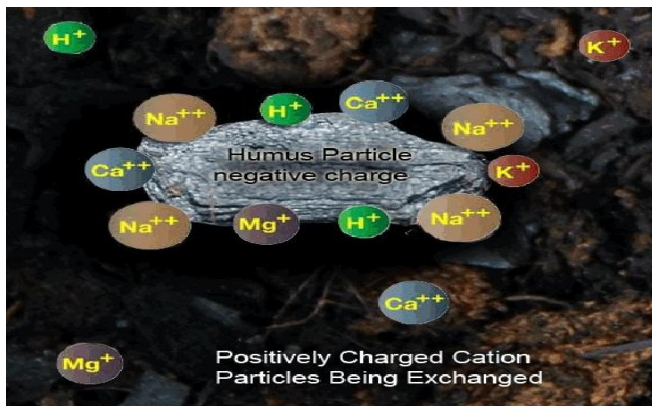
Alofan dan Imogolit

Koloid Hidrus Oksida Aluminium dan Besi di dalam tanah sering bermuatan positif sehingga mampu memfiksasi unsur hara Phospor yang cukup kuat, akibatnya unsur Phospor tersebut tidak dapat diserap oleh akar tanaman.

## Sifat Kimia Tanah Yang Penting Bagi Pertanian

### 1. Pertukaran Kation

Permukaan kolid tanah umumnya memiliki muatan listrik negatif (anion), karena bermuatan listrik negatif, maka koloid tanah (misel tanah) dapat menyerap unsur-unsur hara yang bermuatan positif (kation).

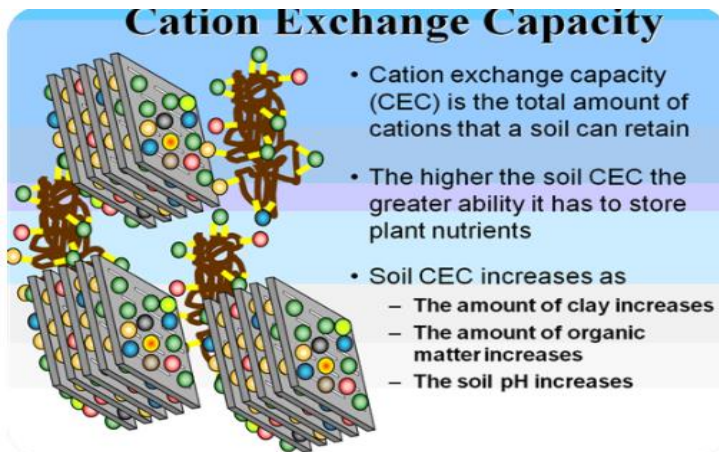


Sumber : <https://slidetodoc.com/soil-chemistry-colloids-clay-minerals-and-humus-and-2/>

## 2. Kapasitas Tukar Kation/ Anion (KTK/ KTA)

Kapasitas Tukar Kation dan Anion (KTK/KTA) menunjukkan kemampuan tanah untuk menyerap dan menukar atau melepaskan kembali kation atau anion ke dalam larutan tanah. Sifat tanah ini menunjukkan suatu tanah mampu menyimpan unsur hara dan kemudian melepaskan kembali ke dalam larutan tanah sehingga dapat digunakan sebagai bahan makanan bagi tanaman. Unsur hara tanaman diserap tidak dalam bentuk molekul, tetapi tanaman menyerap unsur hara ini dalam bentuk ion-ion. Kation tanah yaitu  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ . Anion tanah yaitu  $H_2PO_4(-)$ ,  $SO_4(2-)$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$

KTK (Cation Exchange Capacity) adalah banyaknya kation (dalam mili ekivalen) yang dapat diserap per 100 gr berat tanah. Semakin tinggi KTK tanah, semakin tinggi tanah tersebut dapat menyediakan unsur hara. KTK tanah akan meningkat bila kandungan liat dan bahan organik tanah meningkat, pH tanah meningkat.



**Gambar 9.2 Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada Tanah**

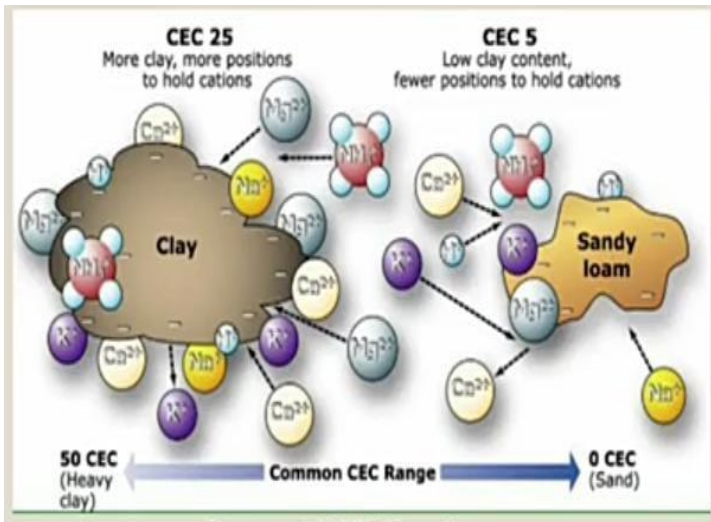
Sumber : [pinterest.com/Soil science](https://pinterest.com/Soil%20science)

**Tabel 9.2 KTK berbagai Tekstur Tanah**

Sands	FineSandy Loam	Loams, silt loams	Clay loams	Clay
meq/100g				
1-5	5-10	5-15	15-30	>30

**KTK Bahan Organik (BO)**

OM
meq/100g
200 - 400



**Gambar 9.3 Ilustrasi KTK Tanah**

Sumber (Youtube : Sifat Kimia Tanah Oleh Bapak Hari Prasetyo)

**Tabel 9.3 Kriteria Kelas Nilai KTK Tanah**

KTK (me/100g tanah)	Kriteria
> 40	Sangat tinggi
25-40	Tinggi
15-25	Sedang
5-15	Renah
< 5	Sangat rendah

### Peranan KTK Tanah

- Kation dapat dipertukarkan (missal  $K^+$ , aplikasi pupuk KCl) dapat melepaskan kation lain ke larutan tanah
- Penyangga (buffer) hara dapat mengurangi kehilangan hara akibat pencucian
- Menentukan bagaimana cara aplikasi pupuk untuk tanaman, dibenam atau disebar

### 3. Kejenuhan Basa (KB)

Kejenuhan basa menunjukkan perbandingan antara jumlah kation-kation basa dengan jumlah semua (kation basa dan kation asam) yang terdapat dalam kompleks serapan tanah. Kejenuhan Basa (KB) merupakan persentase (%) KTK yang ditempati oleh kation-kation basa ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$  dan  $K^+$ ).

Cara menghitung kejenuhan :

$$\text{Kejenuhan Basa (KB)} = \frac{\text{jumlah kation-kation basa}}{\text{jumlah kation basa dan asam (KTK)}} \times 100\%$$

Contoh : suatu tanah memiliki KTK = 15 me/100 gr dan total kation basa = 10 me/100 gr maka nilai KB:

$$\begin{aligned} \text{KB} &= (\text{total kation basa}) / \text{KTK} \times 100\% \\ &= (10 \text{ me/ } 100 \text{ gr}) / (15 \text{ me/ } 100 \text{ gr}) \times 100\% = 66,7\%. \end{aligned}$$

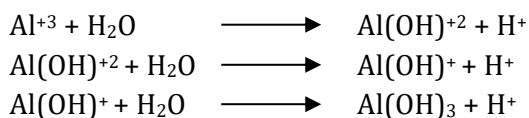
Semakin tinggi nilai KB, maka tanah tersebut akan memiliki pH tanah yang semakin tinggi. Cara meningkatkan KB tanah, diantaranya pengapuran tanah, penggunaan pupuk yang bersifat basa dan lain-lain.

#### 4. pH Tanah (Kemasaman Tanah)

pH tanah menunjukkan kemasaman suatu tanah yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) di dalam tanah, makin tinggi kadar ion  $H^+$  di dalam tanah maka semakin masam tanah tersebut. Tanah yang banyak mengandung  $Al^{+3}$  dan  $H^+$  akan memiliki pH rendah (masam), sebaliknya tanah yang banyak mengandung unsur  $Na^+$ ;  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  memiliki pH tinggi (Basa).

Sumber kemasaman tanah :

- a. Ion  $H^+$  dalam tanah
- b. Ion Al dalam tanah, dengan reaksi :



Tanah masam jumlah ion  $H^+ > OH^-$

Tanah alkalis jumlah ion  $H^+ < OH^-$

Tanah netral jumlah ion  $H^+ \approx OH^-$

#### Peranan pH Tanah

- a. pH menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman.

Pada tanah masam unsur P sulit untuk diserap tanaman karena difiksasi oleh Al, pada tanah alkali P difiksasi Ca.

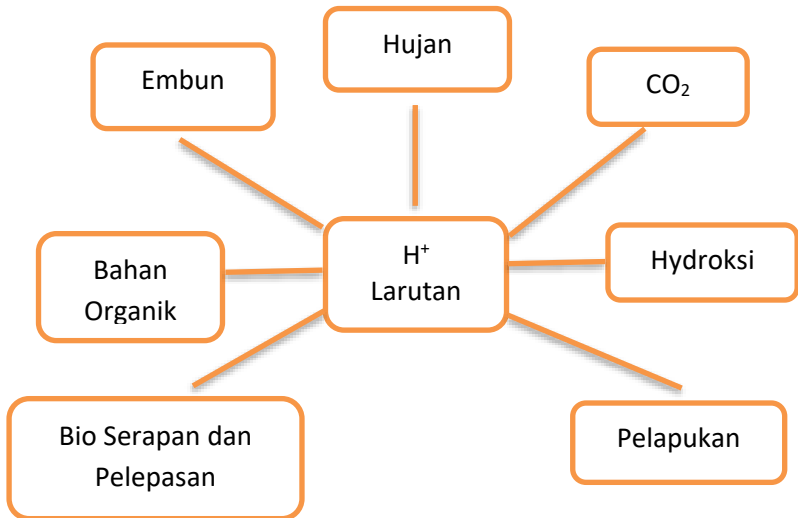
b. pH menunjukkan adanya unsur-unsur beracun.

Pada tanah masam banyak dijumpai ion Al dalam tanah, yang dapat mengikat P dan racun bagi tanaman. Pada tanah masam unsur Fe, Mn, Zn, Cu dan Co mudah larut, maka tanaman dapat keracunan. Pada tanah alkalis, Mo dan B menjadi racun bagi tanaman.

c. pH dapat mempengaruhi perkembangan mikroorganismenya.

Bakteri berkembang dengan baik pada pH > 5,5. Fungi berkembang pada segala tingkat pH, tetapi pada pH > 5,5 fungi harus bersaing dengan bakteri, jadi lebih dominan pada pH < 5,5

### Faktor Mempengaruhi pH Tanah



**Tabel 9.4 Klasifikasi Kemasaman (pH) Tanah**

pH	Kelas
< 4,5	Sangat masam
4,5 - 5,5	Masam
5,6 - 6,5	Agak masam
6,6 - 7,5	Netral
7,6 - 8,5	Agak alkalis
> 8,5	Alkalis

Ketersediaan unsur hara dalam tanah dipengaruhi oleh pH tanah. Secara umum, pada pH tanah netral (pH 6,0 - 7,5) ketersediaan unsur hara optimal. Cara mengubah pH tanah yaitu untuk tanah yang terlalu masam dapat dinaikkan pH nya dengan menambah kapur ke dalam tanah, sedangkan untuk tanah yang terlalu alkalis dapat diturunkan pH nya dengan penambahan belerang.

#### Upaya Praktis Untuk Meningkatkan Kesuburan Kimia Tanah

- menambahkan bahan organik secara berkala
- menambahkan pupuk kimia secara berimbang dan tepat dosis
- menambahkan pupuk hayati atau pupuk organik yang mengandung mikroorganisme (bakteri atau jamur) secara berkala
- mengurangi erosi tanah oleh air hujan dimana sebaiknya menanam tegak lurus dengan arah kemiringan agar tidak terjadi erosi berlebihan
- menambahkan kapur pertanian untuk tanah masam (pH rendah) dengan meningkatkan pH menuju kisaran normal dengan cara pengapuran.

## Rangkuman Materi

---

1. Geosfer secara umum adalah lapisan atau sfera yang terdapat pada bumi yang terletak pada permukaan bumi dan di bawah permukaan bumi dan lapisan bumi tersebut berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap kehidupan bumi.
2. Geosfer terdiri atas atmosfer, litosfer (termasuk pedosfer), hidrosfer, biosfer dan antroposfer.
3. Atmosfer merupakan lapisan gas yang melingkupi sebuah planet, termasuk bumi, dari permukaan planet tersebut sampai jauh di luar angkasa.
4. Litosfer adalah bagian bumi yang padat atau paling kaku dan terluar. Litosfer memiliki kemampuan untuk melakukan pemanasan yang terkait dengan konveksi yang terjadi di mantel plastik di bawah litosfer.
5. Hidrosfer adalah jumlah total air di planet. Hidrosfer termasuk air yang ada di permukaan planet, di bawah tanah, dan di udara.
6. Biosfer adalah lapisan planet bumi di mana kehidupan ada. Lapisan ini berkisar dari ketinggian hingga 10 km di atas permukaan laut. Biosfer adalah salah satu dari empat lapisan yang mengelilingi bumi bersama dengan litosfer (batu), hidrosfer (air) dan atmosfer (udara) dan itu adalah jumlah dari semua ekosistem.
7. Antroposfer (kadang disebut juga sebagai Technosphere) adalah bagian dari lingkungan yang dibuat atau dimodifikasi oleh manusia untuk digunakan dalam aktivitas manusia dan habitat manusia.
8. Koloid tanah adalah bahan mineral anorganik maupun bahan organik yang sangat halus yang berukuran  $< 0,001$  mm atau  $< 1$  mikron sehingga mempunyai luas



- permukaan yang sangat tinggi persatuan berat.
9. Koloid tanah (disebut juga Misel tanah) merupakan bagian tanah yang sangat aktif dalam reaksi-reaksi fisikokimia di dalam tanah dan berperan secara langsung atau tidak langsung dalam penyediaan unsur hara bagi tanaman.
  10. Jenis Koloid tanah : Koloid Anorganik, contoh : Liat dan Koloid Organik, contoh : Humus.
  11. Sifat kimia tanah yang penting bagi pertanian yaitu pertukaran kation, kapasitas tukar kation/ anion (KTK/ KTA), kejenuhan basa (kb), dan pH tanah (kemasaman tanah)
  12. Peranan KTK tanah yaitu Kation dapat dipertukarkan, dapat melepaskan kation lain ke larutan tanah, penyangga (buffer) hara dapat mengurangi kehilangan hara akibat pencucian, menentukan bagaimana cara aplikasi pupuk untuk tanaman, ditanam atau disebarkan
  13. Kejenuhan basa menunjukkan perbandingan antara jumlah kation-kation basa dengan jumlah semua (kation basa dan kation asam) yang terdapat dalam kompleks serapan tanah.
  14. Kejenuhan Basa (KB) = 
$$\frac{\text{jumlah kation-kation basa}}{\text{jumlah kation basa dan asam (KTK)}} \times 100\%$$
  15. pH tanah menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen (H<sup>+</sup>) di dalam tanah, makin tinggi kadar ion H<sup>+</sup> di dalam tanah maka semakin masam tanah tersebut.
  16. Peranan pH Tanah yaitu pH menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman, pH menunjukkan adanya unsur-unsur beracun, pH dapat mempengaruhi perkembangan mikroorganismenya.

17. Upaya Praktis Untuk Meningkatkan Kesuburan Kimia Tanah yaitu menambahkan bahan organik secara berkala, menambahkan pupuk kimia secara berimbang dan tepat dosis, menambahkan pupuk hayati atau pupuk organik yang mengandung mikroorganisme (bakteri atau jamur) secara berkala, mengurangi erosi tanah oleh air hujan dimana sebaiknya menanam tegak lurus dengan arah kemiringan agar tidak terjadi erosi berlebihan, dan menambahkan kapur pertanian untuk tanah masam (pH rendah) dengan meningkatkan pH menuju kisaran normal dengan cara pengapuran.

### **Tugas Dan Evaluasi**

---

1. Mengapa tanah pertanian yang banyak mengandung liat dan bahan organik, umumnya memiliki nilai KTK tinggi ?
2. Apa yang harus dilakukan untuk meningkatkan nilai KTK tanah pertanian?
3. Pengukuran pH tanah yang sama, bila menggunakan pelarut air (pH aktif) memiliki nilai pH lebih besar bila dibandingkan dengan menggunakan pelarut KCl (pH potensial). Jelaskan mengapa ?
4. Tuliskan secara rinci contoh fenomena pada geosfer !
5. Jelaskan mengenai siklus hidrologi !

# BAB 9

## POLUTAN DAN POLUSI TANAH

---

**Halijah, S.Pd., M.Pd**

Universitas Muhammadiyah Bulukumba

Akhir-akhir ini banyak diperbincangkan di media pertelevisian tentang masalah lingkungan, antara lain pencemaran oleh industri, pestisida, alat transportasi, erosi, banjir dan kekeringan karna penebangan hutan. Banyaknya anggapan terhadap permasalahan tersebut bahwa tindakan manusia telah merusak lingkungan hidup, sedangkan segala yang alamiah merupakan lingkungan hidup yang baik. Sampah yang sengaja dibuang di sembarangan tempat terutama sampah plastik adalah salah satu contoh pencemaran tanah. Hal ini disebabkan karena sampah plastik yang berbaur langsung dengan tanah itu sangat sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme atau mikroba-mikroba yang terdapat dalam tanah. Materi yang tidak terurai ini kemudian menumpuk dan tanah menjadi tercemar dan mengganggu alam di sekitarnya, termasuk manusia. Selain sampah plastik, polutan juga menjadi salah satu penyebab pencemaran.

Akibat selanjutnya yaitu lingkungan menjadi semakin rusak dan mengalami pencemaran. Pencemaran lingkungan terbagi atas tiga jenis, berdasarkan tempat terjadinya, yaitu pencemaran udara, pencemaran air dan pencemaran tanah. Di Indonesia, kerusakan lingkungan akibat pencemaran udara, air dan tanah sudah sangat kritis. Khususnya di daerah Kabupaten Bulukumba dan sekitarnya, pernah terjadi bencana lingkungan seperti sampah bertebaran dimana-mana, banjir, tanah longsor dan masih banyak lagi pencemaran lainnya.

## **A. Pengertian Tanah**

---

Tanah merupakan suatu tempat untuk tumbuh terutama untuk tumbuhan dan pemberi nutrisi. Tanah dapat menyediakan air dan berbagai zat unsur hara, baik makroskopis maupun mikroskopis. Kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara ini tergantung pada kandungan tanah, bahan organik tanah (BOT) dan kelembaban tanah. Menurut kandungan organiknya biasanya terdapat dua jenis tanah yaitu tanah mineral dan tanah organik/gambut

Kedua jenis tanah tersebut memiliki sifat kimiawi tanah yang berbeda. Karakteristik tanah gambut sangat ditentukan oleh ketebalan dan jenis mineral di dasar gambut serta derajat dekomposisi gambut. Komposisi kimiawi gambut sangat dipengaruhi oleh derajat pembusukan dan sifat kimiawi lingkungan alaminya. Ketersediaan makronutrien NP serta banyak mikronutrien umumnya rendah Tanah mineral juga dicirikan oleh kandungan bahan organik yang rendah dan kelarutan aluminium yang tinggi, yang dapat meracuni tanaman. Tanah mineral rendah nitrogen dan fosfor, sedangkan kalsium, magnesium, natrium dan kalium rendah logam alkali.

Dalam sifat tanah dapat dibedakan berdasarkan warnanya, strukturnya, tekstur dan derajat keasaman tanah. Warna tanah dapat menentukan kandungan bahan organik maupun kimia, kandungan mineral, kandungan air, drainase, dan perkembangan tanah yang biasanya berwarna gelap maka pertanda tanah itu subur. Bahan organik tanah merupakan bahan di dalam atau permukaan tanah yang berasal dari sisa tumbuhan hewan, dan manusia baik yang telah mengalami dekomposisi lanjut maupun yang sedang mengalami proses dekomposisi.

Tanah merupakan suatu system yang sangat kompleks yang dapat ditinjau dari beberapa segi, yaitu fisik, kimiawi dan biologis. Tanah yang dengan istilah lain disebut pedosfera yang berada di atas permukaan bumi ini merupakan hasil perpaduan dari beberapa bagian penyusun kerak bumi, yaitu litosfera, biosfera, hidrosfera dan atmosfera. Apabila diperhatikan lebih seksama, tanah bukanlah terdiri dari benda padat yang pejal melainkan ternyata tersusun dari empat bagian penyusun tanah, yaitu bahan mineral (anorganik), bahan-bahan organik atau sisa tanaman dan hewan, air tanah dan udara tanah.

Tekstur tanah yang baik adalah memiliki keseimbangan komposisi fraksi tanah yang memungkinkan pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman. Kemudian, setelah bumi terbentuk dan cocok untuk kultivasi, Allah menanam benih di dalamnya. Allah mempersiapkan bumi untuk makhluk-Nya dalam kondisi sempurna, tanaman dan vegetasi tumbuh. Di bidang pertanian atau sudut pandang biologis, vegetasi adalah rantai pertama lingkaran kehidupan. Vegetasi memasok makanan untuk hewan manusia dan herbivora, dan hewan herbivora akan memasok daging untuk manusia atau menjadi mangsa hewan karnivora. Namun, siklus hidup ini tergantung air. Semua organisme hidup tidak akan bertahan tidak ada air. Air membuat semua organisme bertahan hidup.

Tanah sebagai media tumbuh mempunyai empat fungsi utama yaitu sebagai : (1) tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran yang mempunyai dua peran utama sebagai penyokong tegak tumbuhnya tanaman dan penyerap hara tanaman. (2) penyedia kebutuhan primer tanaman untuk aktivitas metabolismenya meliputi air, udara dan unsur hara. (3) penyedia kebutuhan sekunder tanaman yang dapat menunjang aktivitasnya agar tetap optimum

meliputi zat-zat pemacu tumbuh, antibiotik dan enzim yang berfungsi dalam penyediaan kebutuhan primer. (4) habitat biota tanah yang berdampak positif dalam penyediaan kebutuhan primer maupun sekunder tanaman maupun yang berdampak negatif sebagai hama penyakit tanaman). Kesuburan tanah adalah potensi tanah untuk menyediakan unsur hara dalam jumlah yang cukup dalam bentuk yang tersedia dan seimbang untuk menjamin pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimum. Tanah yang diusahakan untuk bidang pertanian memiliki tingkat kesuburan yang berbeda-beda. Pengelolaan tanah secara tepat merupakan faktor penting dalam menentukan pertumbuhan dan hasil tanaman yang akan diusahakan. Evaluasi kesuburan tanah adalah proses penilaian masalah-masalah keharaan dalam tanah dan pembuatan rekomendasi pemupukan Susanto (2005) menyebutkan bahwa kemampuan tanah sebagai habitat tanaman yang menghasilkan bahan yang dapat dipanen sangat ditentukan oleh tingkat kesuburan atau sebagai alternatif kapasitas berproduksi atau produktivitas. Demikian pula menurut Nyoman (2013), kesuburan tanah merupakan kemampuan tanah untuk dapat menyediakan hara dalam jumlah yang cukup untuk pertumbuhan dan hasil tanaman.

Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 150 Tahun 2000 tentang Pengendalian kerusakan tanah untuk produksi bio massa: "Tanah adalah salah satu komponen lahan berupa lapisan teratas kerak bumi yang terdiri dari bahan mineral dan bahan organik serta mempunyai sifat fisik, kimia, biologi, dan mempunyai kemampuan menunjang kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya". Tetapi apa yang terjadi, karena akibat kegiatan dan ulah manusia, banyak terjadi kerusakan tanah. Di dalam PP No. 150 Tahun 2000 di sebutkan bahwa

“Kerusakan tanah untuk produksi biomassa adalah berubahnya sifat dasar tanah yang melampaui kriteria baku kerusakan tanah”.

## **B. Pencemaran Tanah**

---

### **1. Pengertian Pencemaran Tanah**

Banyak para Ahli yang mendefinisikan atau memberikan pengertian tentang pencemaran. Pencemaran tanah adalah merupakan keadaan dimana adanya berbagai bahan substansi kimia yang masuk ke dalam lapisan tanah sehingga mengubah struktur, fungsi dan lingkungan di dalam tanah. Pencemaran tanah adalah keadaan dimana bahan kimia buatan manusia masuk dan mengubah lingkungan tanah alami. Pencemaran tanah ini diartikan sebagai suatu kondisi masuknya satu atau banyak benda kimia, fisik, atau biologis ke dalam permukaan tanah di mana benda-benda tersebut yang bisa merusak struktur tanah dan membuat tanaman menjadi sulit untuk beradaptasi.

Pencemaran lingkungan adalah masalah yang paling utama dan harus segera diatasi seiring dengan peningkatan aktivitas manusia dan industri untuk memenuhi kebutuhan dimana populasi yang terus bertambah setiap tahunnya. Aktivitas ini dapat menghasilkan banyak limbah, dan jika dikelola secara tidak benar dan bertanggung jawab akan berdampak negatif terhadap lingkungan.

Pencemaran adalah biologi, material, energi dan/atau komponen lain yang masuk atau terkandung dalam lingkungan, dan/atau perubahan tatanan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas manusia atau proses alam, sehingga mengurangi kualitas lingkungan sampai batas tertentu Akibatnya kualitas lingkungan menjadi semakin berkurang dan tidak dapat lagi berfungsi sesuai dengan

tujuannya.

Pencemaran tanah juga dapat memberikan dampak terhadap ekosistem terganggu. Perubahan kimiawi tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/ yang berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut. Akibatnya bahkan dapat memusnahkan beberapa spesies primer dari rantai makanan, yang dapat memberi akibat yang besar terhadap predator atau tingkatan lain dari rantai makanan tersebut. Bahkan jika efek kimia pada bentuk kehidupan terbawah tersebut rendah, bagian bawah piramida makanan dapat menelan bahan kimia asing yang lama-kelamaan akan terkonsentrasi pada makhluk-makhluk penghuni piramida atas. Banyak dari efek-efek ini terlihat pada saat ini, seperti konsentrasi DDT pada burung menyebabkan rapuhnya cangkang telur, meningkatnya tingkat Kematian anakan dan kemungkinan hilangnya spesies tersebut. Dampak pada pertanian terutama perubahan metabolisme tanaman yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan hasil pertanian. Hal ini dapat menyebabkan dampak lanjutan pada konservasi tanaman di mana tanaman tidak mampu menahan lapisan tanah dari erosi. Beberapa bahan pencemar ini memiliki waktu paruh yang panjang dan pada kasus lain bahan-bahan kimia derivatif akan terbentuk dari bahan pencemar tanah utama.

Namun seiring berjalannya waktu, kesuburan yang dimiliki oleh tanah Indonesia banyak yang digunakan sesuai aturan yang berlaku tanpa memperhatikan dampak jangka panjang yang dihasilkan dari pengolahan tanah tersebut. Salah satu diantaranya, penyelenggaraan pembangunan Pembangunan kawasan industri di daerah-daerah pertanian



dan sekitarnya menyebabkan berkurangnya luas areal pertanian, pencemaran tanah dan badan air yang dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil/produk pertanian, terganggunya kenyamanan dan kesehatan manusia atau makhluk hidup lain.

Pencemaran adalah suatu penyimpangan dari keadaan normalnya. Jadi pencemaran air tanah adalah suatu keadaan air yang telah mengalami penyimpangan dari keadaan normalnya. Keadaan normal air masih tergantung pada faktor penentu, yaitu kegunaan air itu sendiri dan asal sumber air tersebut.

Pencemaran lingkungan adalah suatu keadaan yang terjadi karena adanya perubahan kondisi dan tata lingkungan baik itu (tanah, udara, dan air) yang tidak menguntungkan serta (merusak dan merugikan kehidupan manusia, binatang, dan tumbuhan) yang disebabkan oleh kehadiran benda-benda asing (seperti sampah, limbah industri, minyak, logam berbahaya dan sebagainya). Hal ini salah satunya sebagai akibat dari perbuatan manusia, sehingga mengakibatkan lingkungan tersebut tidak berfungsi dengan baik

Ketika suatu zat berbahaya atau beracun telah mencemari permukaan tanah, maka ia dapat menguap, tersapu air hujan dan atau masuk ke dalam permukaan tanah. Pencemaran yang masuk ke dalam tanah kemudian terendap sebagai zat kimia beracun di tanah. Zat beracun tersebut dapat berdampak langsung kepada manusia ketika bersentuhan atau dapat mencemari air tanah dan udara di atasnya. Kontaminasi oleh logam berat seperti Kadmium (Cd), Seng (Zn), Plumbum (Pb), Kuprum (Cu), Kobalt (Co), Selenium (Se) dan Nikel (Ni) menjadi perhatian yang serius karena dapat menjadi potensi polusi dan pencemaran pada permukaan tanah maupun air tanah dan dapat

menyebar ke daerah sekitarnya melalui air, angin, penyerapan oleh tumbuhan, dan bioakumulasi pada rantai makanan.

Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa pencemaran mengakibatkan menurunnya pertumbuhan dan produksi tanaman serta diikuti dengan gejala yang tampak (visible symptoms). Kerusakan tanaman karena pencemaran yang berawal dari tingkat biokimia (gangguan proses fotosintesis, respirasi, serta biosintesis protein dan lemak), selanjutnya tingkat ultrastruktural (disorganisasi sel membran), kemudian tingkat sel, jaringan (dinding sel, mesofil, pecahnya inti sel) dan diakhiri dengan terlihatnya gejala pada jaringan daun seperti klorosis dan nekrosis .

Dampak negatif yang menimpa lahan pertanian dan lingkungan sekitar kita perlu mendapatkan perhatian yang serius oleh pemerintah setempat, karena limbah industri yang mencemari lahan pertanian tersebut banyak mengandung unsur-unsur kimia berbahaya yang bisa mencemari badan air, lingkungan, merusak tanah dan tanaman serta berakibat mengganggu kesehatan makhluk hidup.

Pencemaran Lingkungan karena Tercemarnya tanah, air, udara dan unsur lingkungan lainnya oleh pestisida, dapat berpengaruh buruk secara langsung maupun tidak langsung terhadap manusia dan kelestarian lingkungan hidup. Suatu pestisida tertentu dapat merusak lapisan ozon stratosfir. Pencemaran lingkungan pada umumnya terjadi karena penanganan pestisida yang tidak tepat, penggunaan yang berlebihan dan sifat fisiko kimia pestisidanya.

Apabila terdapat banyak sampah plastik di tempat yang tidak seharusnya ada sampah plastik kemudian terjadi curah hujan dengan intensitas yang tinggi maka air hujan tersebut

tidak akan mengalir ke tempat yang lebih rendah ataupun diserap oleh tanah, maka dapat menimbulkan bencana berupa banjir. Hujan yang jatuh ke permukaan tanah memiliki energi yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu energi potensial dan energi kinetik. Energi kinetik merupakan energi yang terjadi ketika hujan jatuh ke permukaan tanah dengan kecepatan dan butir hujan tertentu sehingga berpotensi dapat menghancurkan agregat – agregat tanah .

Timbunan sampah yang berasal dari limbah domestik dapat mengganggu/ mencemari karena: lindi (air sampah), bau dan estetika. Timbunan sampah juga menutupi permukaan tanah sehingga tanah tidak bisa dimanfaatkan. Padatan, lumpur, bubur yang berasal dari proses pengolahan adalah limbah padat hasil buangan industri. Adanya reaksi kimia yang menghasilkan gas tertentu menyebabkan penimbunan limbah padat ini busuk selain itu pencemaran tanah juga menyebabkan timbulnya bau tidak sedap di sekitarnya. Karena tertimbunnya limbah ini dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan permukaan tanah menjadi rusak dan air yang meresap ke dalam tanah terkontaminasi oleh bakteri tertentu dan berakibat turunnya kualitas air tanah pada musim kemarau oleh karena telah terjadinya pencemaran tanah. Timbunan yang mengering akan dapat mengundang bahaya kebakaran.

Menurut Situmorang (2017), secara umum pencemaran tanah disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Penyebab yang disebabkan oleh faktor internal adalah pencemaran tanah yang diakibatkan oleh aktivitas alam (secara alamiah) yang sulit diduga maupun dikendalikan dan bahkan tidak dapat atau sukar diukur. Sedangkan pencemaran secara eksternal adalah pencemaran tanah yang disebabkan oleh adanya aktivitas manusia baik

yang disengaja maupun yang tidak disengaja.

## **2. Penyebab Pencemaran Tanah**

Penyebab dari pencemaran atau polusi tanah ini terdiri dari dua sumber utama yaitu penyebab antropogenik (buatan manusia) dan penyebab alami.

- a. Polutan alami. Proses alami dapat menyebabkan akumulasi bahan kimia beracun di dalam tanah. Jenis kontaminasi ini hanya tercatat dalam beberapa kasus, seperti akumulasi tingkat perklorat yang lebih tinggi di tanah di Gurun Atacama di Chile. Ini sejenis akumulasi yang murni terjadi karena adanya proses alami di lingkungan yang gersang.
- b. Polutan yang dihasilkan manusia. Kontaminan buatan manusia adalah penyebab utama polusi tanah. Terdiri dari berbagai macam kontaminan atau bahan kimia, baik organik maupun anorganik. Mereka bisa mencemari tanah baik sendiri atau dikombinasikan dengan beberapa kontaminan tanah alami. Polusi tanah akibat manusia biasanya disebabkan oleh pembuangan limbah yang tidak tepat yang berasal dari sumber industri atau perkotaan, kegiatan industri, dan pestisida pertanian.

## **3. Jenis Polutan**

Polusi tanah biasanya disebabkan oleh jenis polutan dan kontaminan. Polutan utama pada pencemaran tanah adalah agen biologi dan beberapa aktivitas manusia. Kontaminan tanah adalah semua produk dari polutan tanah yang mencemari tanah. Aktivitas manusia yang mencemari tanah berkisar dari praktik pertanian yang menanam tanaman menggunakan bahan kimia pestisida berlebihan hingga

limbah perkotaan atau industri. Bisa pula berupa emisi radioaktif yang mencemari tanah dengan berbagai zat beracun.

- a. Agen biologi. Agen biologis bekerja di dalam tanah untuk mengenalkan pupuk kandang dan mencerna lumpur (berasal dari kotoran manusia, burung dan hewan) ke permukaan tanah.
- b. Praktik pertanian. Tanah tercemar sebagian besar akibat penggunaan pestisida, pupuk, herbisida, kotoran, dan pupuk kandang.
- c. Pola radioaktif. Zat radioaktif seperti Radium, Thorium, Uranium, Nitrogen, dll dapat menyusup ke tanah dan menimbulkan efek beracun.
- d. Limbah perkotaan. Limbah perkotaan terdiri dari, misalnya limbah rumah tangga dan komersial.
- e. Limbah industri. Baja, pestisida, tekstil, obat-obatan, kaca, semen, minyak bumi, dll diproduksi oleh pabrik kertas, kilang minyak, pabrik gula, industri minyak bumi dan lain-lain.

#### **4. Jenis Pencemaran Tanah**

Pencemaran tanah ini dapat terjadi karena beberapa hal diantaranya: pencemaran secara langsung. Misalnya karena manusia menggunakan pupuk secara berlebihan, pemberian pestisida pada tanaman atau insektisida, dan pembuangan limbah secara sembarangan yang tidak dapat dicernakan seperti plastik. Pencemaran dapat juga melalui air. Air yang mengandung bahan pencemaran (polutan) akan mengubah susunan kimia tanah sehingga mengganggu jasad yang hidup di dalam atau di permukaan tanah. Pencemaran juga dapat melalui udara. Udara yang tercemar akan menurunkan hujan yang mengandung bahan pencemar ini, akibatnya tanah akan

tercemar juga.

Menurut Suprihanto Notoatmojo (2005), Jenis pencemaran tanah diantaranya :

**a. Pencemar Organik**

Pencemaran organik pada umumnya senyawa kimia buatan manusia seperti pestisida atau bahan industri lainnya yang kemungkinan sulit atau tidak dapat terurai oleh kegiatan mikroorganisme tanah. Hasil penguraian ini sampai batas tertentu juga sebagai bahan pencemar sehingga tanah mengalami pencemaran. Walaupun bahan organik tersebut sudah mengalami peruraian lebih lanjut, akan tetapi penggunaannya yang berulang-ulang dan berlebihan akan menyebabkan konsentrasi di dalam tanah meningkat.

Pencemaran organik yang menjadi masalah bagi lingkungan dan manusia adalah pencemar yang berasal dari industri dan pertanian (pestisida) secara berlebihan. Masalah yang ditimbulkan oleh kontaminan organik selain bersifat toksin, sebagian juga bersifat sebagai persisten. Pencemar organik ini terdapat dalam jumlah yang sangat banyak. Hal inilah yang menyebabkan banyak sekali material baru yang dibuat dan digunakan oleh peradaban modern. Banyak diantaranya menunjukkan sifat yang berbahaya dan tahan lama (persistent). Bahan-bahan pencemar organik persistent adalah sejumlah bahan pencemar kimia yang bersifat racun. Pencemaran akan terjadi pada tanah jika bahan-bahan organik masuk kedalam permukaan tanah dan melebihi atau berlebihan yang menyebabkan tanah tidak dapat berfungsi dengan baik seperti biasanya. Penggunaan pestisida yang berlebihan akan menyebabkan tanah ini menjadi resisten terhadap bahan pencemar tersebut.

Tanpa kita menyadarinya bahwa bahan-bahan kimia ini banyak disekitar kita dan Sifatnya tidak mudah terurai

(*persisten*) melalui proses kimia, fisika dan biologi dan cenderung berakumulasi pada jaringan lemak manusia, hewan dan tumbuhan hingga bertahun-tahun. Bahan-bahan tersebut memang bukan produk alamiah, melainkan tercipta sebagai produk sampingan dan aktivitas industri, pertanian, perkebunan dan sebagainya. Bahan-bahan ini mudah menyebarkan ke tanah, air, udara, pangan bahkan tubuh manusia dapat terkontaminasi. Ada sekitar 12 bahan pencemar organik yang persisten yang disadari atau tidak akrab dengan kehidupan sehari-hari, yaitu:

- 1) Aldrin, berupa pestisida yang dipakai untuk membunuh rayap, belalang, cacing serta hama serangga lainnya. Jika digunakan secara berlebihan akan berdampak pada kesehatan lingkungan sekitar kita.
- 2) Chlordane yakni pestisida yang dipakai secara luas untuk mengendalikan rayap dan serangga dengan spektrum luas terutama di bidang pertanian.
- 3) DDT yakni pestisida yang paling terkenal karena banyak dipakai untuk melindungi masyarakat dan hewan penyebab penyakit malaria dan penyakit lainnya.
- 4) Dieldrin, berupa pestisida yang dipakai untuk mengendalikan rayap dan hama tekstil. Tapi juga kerap dipakai untuk mengendalikan serangga penyebab penyakit dan untuk pertanian.
- 5) Endrin yakni pestisida untuk serangga yang disemprotkan pada daun tanaman werti kapas dan butir padi. Racun ini juga dipakai untuk membunuh tikus dan hewan pengerat lainnya.
- 6) Heptachlor yakni pestisida yang dipakai untuk membunuh serangga tanah, rayap, serangga kapas,

belalang, hama tanaman lainnya, nyamuk penyebab malaria.

- 7) Mirex, yakni pestisida membunuh serangga terutama jenis semut, rayap. Tapi juga dipakai untuk bahan pemadam api
- 8) Toxphene, atau disebut juga “camphechlor” adalah pestisida yang dipakai untuk melindungi tanaman kapas, padi, buah, kacang dan sayuran dan serangga hama kutu dan tungau
- 9) HCB (Hexachlorbenzene), yakni bahan pembasmi jamur yang mempengaruhi makanan hasil pertanian, bahan ini juga merupakan hasil samping dari produksi bahan kimia tertentu dan dari proses yang menghasilkan dioxin dan furans.
- 10) PCB (Polychlorinated Biphenyl) dalam industri bahan ini dipakai sebagai penyangga panas seperti pada travo, bahan tambahan pada cat, kertas karbon, serta penutup (sealants) dan plastic.
- 11) Dioxin, yakni bahan kimia yang dihasilkan tanpa sengaja pada pembakaran yang tidak sempurna, dalam proses pembuatan pestisida atau bahan kimia lain seperti pada industri kertas, plastik, buibur kayu, bahan pemutih, senyawa ini juga dihasilkan pula dari asap, mobil, tembakau, kayu dan sebagainya.

## **b. Pencemar Anorganik**

Pencemar anorganik terutama logam berat cenderung berada di dalam tanah dalam waktu yang lama, meskipun status kimianya kemungkinan berubah menurut waktu. Dibagi menjadi tiga golongan utama yaitu:

### **1) Garam-garam**

Garam-garaman yang terdapat dalam tanah dapat



terdisolasi menjadi kation dan anion. Secara alamiah, larutan tanah dan air tanah mengandung garam-garam, sebagai contoh adalah ion garam-garaman dalam tanah dapat terdisolasi menjadi kation dan anion. Secara alamiah, larutan tanah dan air tanah mengandung garam-garam. kondisi tertentu terutama akibat aktivitas manusia, konsentrasi garam tersebut dalam tanah akan berlebihan dan mengganggu ekosistem. Untuk anion seperti sulfur dan khlorida mempunyai potensi sebagai pencemar, sedangkan untuk katioan, sodium dan magnesium juga mempunyai potensi yang sam

## **2) Senyawa nitral dan posfat**

Nitrogen dan fosfor merupakan suatu unsure yang sangat penting bagi tumbuhan maupun mahluk hidup lainnya, karna merupakan komponen selnya, dan sering disebut sebagai nutrient bagi tumbuhan. Keadaan nitrogen dan fosfor dalam jumlah sedikit, terutama fosfat dalam perairan terbuka sudah cukup untuk menunjang kehidupan tumbuhan seperti alga. Dalam hal ini nitrogen dan fosfat dalam air tanah dapat menjadi sumber pencemar penyebab terjadinya eutrifikasi.

## **3) Logam Berat**

Konsentrasi alamiah logam berat yang terkandung di dalam tanah adalah tergantung pada jenis tanah dan reaksi kimia yang terjadi di dalam tanah. Logam berat seperti timbal, kadmium, timah dan merkuri termasuk polutan yang paling banyak masuk ke dalam tanah oleh aktivitas manusia. Adanya peningkatan secara terus menerus dari aktivitas industri untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia yang semakin hari semakin bertambah, merupakan salah satu penyebab utama pencemaran tanah, polusi, dan pencemaran lainnya (Yamamoto).

## **4) Air raksa (Merkuri)**

Air raksa (Hg) merupakan logam dengan berat atom 200,59. Hg mempunyai tiga valensi, yaitu valensi 0, I, II. Di alam, Hg ditemukan dalam mineral cinnabar, yang mengandung HgS yang stabil, atau garam-garam sulfur lainnya. Hg dapat pula ditemukan dalam bentuk senyawa kompleks dengan organik. Kegiatan manusia yang mungkin menyebabkan tersebarnya Hg dalam tanah adalah pertanian, industri, dan pertambangan. Dalam pertanian, Hg sering digunakan sebagai komponen dalam pestisida atau biosida. Selain itu, Hg juga dapat berasal dari udara akibat pembakaran dari bahan bakar fosil, produk elektrik, sebagai katalis dalam industri khlorine dan NaOH, pertambangan Hg dan pengecorannya, serta pertambangan emas. Air raksa bersifat racun, terutama menyerang pada susunan saraf pusat, penurunan daya ingat, penurunan kemampuan gerak, dan menyebabkan kerusakan pada janin juga telah dideteksi. Contoh keracunan Hg pada manusia adalah penyakit minamata, yang terjadi di Jepang.

### **5) Kadmium (Cadmium)**

Kadmium (Cd) adalah logam yang lunak dengan berat atom 112,40. Umumnya ditemukan dalam kondisi stabil pada valensi II, koma seperti misalnya CdS. Dalam tanah Cd ditemukan dalam bentuk dan spesies misalnya

- a) Spesies yang dapat dipertukarkan, seperti misalnya bila ter adsorpsi karena gaya elektostatis pada permukaan lempung atau organic particulate.
- b) Fase yang dapat tereduksi misalnya, bila ter adsorpsi atau kopresipitasi dengan oksida, hidrosida dari Fe atau Mn atau Al yang melapisi mineral lempung.
- c) Spesies karbonat, bila mengalami presipitasi bersama karbonat atau bikarbonat dalam Ph tinggi.
- d) Lattice fase, bila terfiksasi dalam struktur kristal

mineral.

- e) Spesies sulfida, bila bereaksi membentuk senyawa dengan sulfida, membentuk senyawa insoluble yang sangat stabil.

## 6) Khromium (Chromium)

Chromium (Cr) adalah logam dengan berat atom 51,996. Cr mempunyai valensi 0, III dan VI. Cr dengan valensi III merupakan yang paling stabil, tetapi Cr dengan valensi VI sangat toksin. Sebagaimana Cd Cr juga berasal dari pelapukan batuan asli, buangan industri (seperti pabrik kertas, petrokimia, baja dan plating) dan aktivitas manusia lainnya. Dalam tanah Cd dapat berubah konsentrasinya karena proses oksidasi atau reduksi, terlarut dalam larutan tanah, teradsorpsi pada permukaan mineral tanah atau partikel organik, terkompleksasi oleh organik atau terpresipitasi sebagai komponen yang tak larut.



**Gambar 10.1 Pencemaran Logam Berat Pada Lahan Pertanian di Cina**

### c. Pencemar Mikrobiologis

Tanah secara alamiah terkandung mikroorganisme di dalamnya. Variasi jenis dan jumlahnya sangat beragam, hal ini dikarenakan tanah merupakan lingkungan hidup bagi mikroorganisme seperti bakteri, virus, jamur, protozoa dan

nematoda. Keberadaan mikroorganisme dalam tanah tersebut banyak yang bersifat patogen baik terhadap manusia maupun makhluk hidup lainnya. Konsentrasi berlebihan dari mikroorganisme biasanya merupakan akibat kontaminasi. Bakteri bersama jamur merupakan mikroorganisme yang terpenting dalam transformasi zat pencemar dalam tanah.

Penyebab pencemaran mikroorganisme pada tanah adalah air buangan domestik, tangki Mikroba patogen mempunyai persistensi yang berbeda dalam lingkungan di luar tubuh manusia (host). Beberapa jenis intestinal parasit dapat hidup dalam lingkungan di luar tubuh manusia. Mikroorganisme seperti jamur akan membuat spora yang memungkinkan perkembangbiakan pada kondisi yang memungkinkan. Sedangkan jenis nematoda dapat membentuk kista yang juga tahan terhadap lingkungan yang tidak baik, kemudian akan berkembangbiak bila lingkungannya memungkinkan.

## **5. Dampak Pencemaran Tanah**

Menyadari tentang bahaya dan dampak yang ditimbulkan pencemaran tanah yang disebabkan oleh zat kimia maka kita harus mempunyai keberanian untuk menunjukkan kasus pencemaran tanah di Indonesia. Adanya kasus perselisihan antara masyarakat dengan industri seperti yang terpublikasi dalam berbagai media massa adalah sebagai bukti nyata bahwa kasus pencemaran tanah yang disebabkan oleh aktivitas manusia masih terjadi sampai saat ini, dan kasus pencemaran tanah mungkin tidak akan berhenti sebelum semua umat manusia mempunyai kesadaran terhadap perlunya pemeliharaan kelestarian lingkungan. Suara dan tindakan dari kita yang membaca buku ini untuk memulai

dan tetap konsisten untuk peduli terhadap lingkungan disekitar kita. Kontribusi yang diberikan oleh individu dalam penyelamatan lingkungan akan berguna untuk menyelamatkan generasi yang akan datang.

Ada beberapa bentuk dari dampak pencemaran tanah, diantaranya adalah sebagai berikut ini:

**a. Dampak pada Kesehatan**

Adanya pencemaran tanah yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Seberapa besar dampak ini pada kesehatan sebenarnya juga sangat tergantung pada jenis polutan serta seberapa sering dan banyaknya polutan yang terpapar ke dalam tubuh kita. banyak dan sering polutan masuk ke dalam tubuh maka dampak penyakit yang akan dialami juga akan semakin besar dan juga sebaliknya. adapun berbagai jenis resiko polutan dan penyakitnya adalah sebagai berikut ini:

- 1) Kromium, yang merupakan zat kimia yang digunakan dalam berbagai pestisida dan juga herbisida ini mampu membuat munculnya dampak karsinogenik pada semua populasi bukan hanya untuk spesies manusia saja namun juga makhluk hidup lainnya.
- 2) Zat timbale, ini sangat berbahaya jika terlalu banyak terpapar ke dalam tubuh karena dapat mengakibatkan peningkatan resiko terkena penyakit ginjal dan kerusakan otak pada manusia
- 3) Benzene, jika tubuh terus menerus mengalami paparan benzene dalam jumlah yang sangat banyak dan intensitas yang sering maka bisa meningkatkan terkena penyakit leukemia atau kanker darah, dan tentu saja penyakit ini sangat berbahaya bahkan mematikan.
- 4) Merkuri, tubuh yang terlalu sering mendapatkan

paparan dari zat ini akan sangat mudah mengalami gangguan pada organ ginjalnya bahkan ada beberapa penyakit juga yang tidak bisa diobati karena zat ini.

- 5) Sikoldenia, zat ini memicu timbulnya infeksi dan gangguan pada fungsi organ hati
- 6) Karmabat, yang mampu membuat gangguan pada saraf otot sehingga tubuh akan mengalami kesulitan dalam bergerak,
- 7) Klorin, zat cair yang mengandung klorin ini sangat berbahaya bagi tubuh karena mengganggu fungsi kinerja dari organ hati dan ginjal serta menyebabkan gangguan pada saraf pusat di dalam otak.
- 8) Selain dampak pada kesehatan yang telah disebutkan di atas, dampak pada kesehatan lainnya yang akan dirasakan oleh para penderitanya antara lain adalah gangguan pada penglihatan, pendengaran, ruam pada kulit, pusing, letih, lelah, dan gejala penyakit lainnya. apabila terjadi dosis yang sangat besar pada paparan pencemaran ke dalam tubuh bahkan bisa berakibat fatal pada kematian.

#### **b. Dampak pada Ekosistem**

Dampak lainnya yang timbul dari adanya pencemaran tanah ini adalah dampak pada ekosistem yang telah ada. Tanah merupakan bahan yang sangat sensitive dan sangat mudah mengalami perubahan kandungan kimiawi dan struktur di dalamnya meskipun itu hanya sedikit saja jumlah dari zat kimia yang masuk ke dalam tanah. Perubahan kandungan kimia tersebut akan mengakibatkan perubahan metabolisme pada organisme yang hidup di dalam tanah. akibat dari hal ini tidaklah sepele yaitu bisa memicu adanya putusnya rantai makanan. Bagaimana hal ini bisa terjadi? jadi

rantai makanan primer jika sudah terkontaminasi oleh pencemaran juga akan mempengaruhi rantai makanan yang ada di atasnya sehingga ini bisa memusnahkan rantai makanan. Misalnya saja pengaruh zat DDT pada tanah yang di atasnya ditumbuhi oleh tanaman yang menjadi makanan burung maka telur dari burung tersebut akan menjadi rawan pecah.

Selain itu dengan adanya pencemaran tanah ini juga dapat menimbulkan zat kimia masuk ke dalam air tanah sehingga membuat berbagai jenis tumbuhan akan sulit tumbuh di atasnya bahkan mati. Kesuburan tanah pun akan menghilang dan ini akan sangat berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup di bumi ini.

### **c. Dampak pada Pertanian**

Dampak pencemaran tanah pada pertanian akan dapat terlihat jelas terutama pada perubahan metabolisme tanaman dan akhirnya dapat terlihat langsung dari adanya penurunan hasil pertanian itu sendiri. Pencemaran tanah ini juga akan mengakibatkan tumbuhan tidak dapat tumbuh dengan optimal sehingga tanah juga menjadi rawan mengalami erosi tanah karena tidak ada penahannya lagi. Jika tanah mengalami pencemaran dalam jangka waktu yang lama maka bisa menyebabkan tanah tersebut tercemar secara permanen sehingga tidak bisa digunakan lagi sebagai lahan pertanian. Untuk itu sebaiknya para petani untuk tidak menggunakan bahan kimia seperti pupuk dan pestisida dalam jumlah yang berlebihan atau banyak sesuai prosedur kebutuhan pada tanamannya karena ternyata bukan hanya membunuh hama namun juga membuat pencemaran di dalam tanah.



**Gambar 10.2 Penggunaan Pestisida yang Langsung ke Tanah**

Limbah padat pada rumah tangga merupakan sisa-sisa dari aktivitas di rumah tangga dapat berupa sisa makanan, sisa bangunan, pakaian yang tidak dipakai lagi, perabot rumah tangga, daun dan potongan pohon, dan lain-lain. Sampah rumah tangga sering menimbulkan permasalahan dilingkungan khususnya tanah disekitar rumah yang sering dibuang disembarang tempat. Sehingga tanah yang ditimbun dengan berbagai sampah rumah tangga tersebut menjadi tidak produktif lagi.

Limbah padat pusat perdagangan. Limbah dari pusat perdagangan memiliki berbagai macam bahan buangan yang dapat pula mencemari tanah seperti plastic, kertas, kardus, sisa-sisa bangunan, kayu-kayu bekas pengepakan barang, potongan potongan kain, potongan kayu dan lain-lain.





**Gambar 10.3 Limbah sampah perdagangan**

Limbah padat dari tempat-tempat rekreasi, banyak tempat-tempat rekreasi yang saat ini merupakan tempat orang banyak melakukan aktivitas rekreasi. Dari aktivitas yang dilakukan pasti menghasilkan sampah. Seperti aktifitas di gunung, di pantai, di kolam renang, di hutan, di taman dan lain-lain. Semua memiliki potensi untuk menghasilkan sampah yang dapat menyebabkan pencemaran tanah. Di tempat rekreasi para pengunjung melakukan aktivitas makan dan minum, dan biasanya banyak pengunjung yang dengan sengaja membuang sampah atau plastic disembarangan tempat. Dalam hal ini apabila tidak dikelola secara benar sampah akan berserakan disembarang yang akan menjadi sumber pencemaran pada tanah.



**Gambar 10.4 Limbah padat rumah tangga**

Mengingat tanah merupakan lapisan teratas dari kerak bumi serta menopang kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya sangatlah penting menjaga kualitas tanah agar selalau dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Namun kenyataan tanah selalau mengalami degradasi dari waktu ke waktu. Sebenarnya sudah banyak peraturan yang ada yang berkaitan dengan pencemaran dalam rangka untuk menghindari terjadinya pencemaran lingkungan termasuk tanah.

Berbagai peraturan yang berkaitan dengan pencemaran tanah :

- 1) PerMen LH Nomor 23 Tahun 2008 tentang Pencegahan Pencemaran dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup akibat Pertambangan Emas Rakyat
- 2) Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 02 Tahun 2007 Tentang Larangan Ekspor Pasir, Tanah, dan Top Soil (termasuk Tanah Pucuk atau Humus)
- 3) Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 03 Tahun 2007 Tentang Verifikasi atau Penelusuran Teknis Ekspor Bahan Galian Golongan C Selain Pasir, Tanah

dan Top Soil (Termasuk Tanah Pucuk atau Humus).

- 4) PerMen LH Nomor 07 Tahun 2006 Tentang Tata Cara Pengukuran Kriteria Baku Kerusakan Tanah Untuk Produksi Biomassa
- 5) Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2001 Tentang Pengendalian Kerusakan Dan Atau Pencemaran Lingkungan Hidup yang Berkaitan Dengan Kebakaran Hutan Dan Atau Lahan

## **6. Pencegahan Pencemaran Tanah**

Pencemaran tanah dapat memberikan dampak yang sangat buruk bagi lingkungan dan makhluk hidup yang ada disekitarnya. Tanah yang tercemar dapat mengganggu kesuburan tanah dan membunuh organisme yang ada dan beraktivitas di dalam tanah. Tanah yang sudah tercemar ditandai dengan penurunan kualitas tanah yang tidak dapat lagi digunakan untuk keperluan fisik manusia seperti untuk pertanian, perkebunan, perikanan, peternakan dan juga untuk pemukiman. Tanah tidak dapat lagi ditumbuhi tumbuhan karena unsur hara atau nutrisi yang dibutuhkan untuk tumbuhan tidak ada lagi dalam tanah. Biasanya tanah yang tercemar terlihat tandus, kering dan gersang serta kurang mengandung air tanah.

Untuk mencegah terjadinya pencemaran tanah dapat dilakukan sesuai dengan bahan pencemarnya.

### **a. Pencemaran karena plastik kresek**

Plastik kresek bila langsung dibuang di alam akan memerlukan waktu puluhan tahun untuk perombakannya kembali, bila pembuangan sampah plastik tidak tangani secara tepat akan mengakibatkan penumpukan plasti di permukaan tanah yang membuat tanah tidak dapat ditanami lagi, untuk itu maka plastik kresek dapat dimanfaatkan

sebagai bahan pembuatan bunga plastik.



**Gambar 10.5 Pemanfaatan Plastik Kresek Bekas**

<http://nakedplainedesigner.blogspot.co.id/2010/10/plastic-in-design.html>

b. Botol air mineral

Saat ini produksi botol air mineral sangat banyak karena semua masyarakat memanfaatkan air kemasan dalam botol plastik untuk memenuhi kebutuhan minum sehari-hari. Karena air mineral dalam botol praktis membawa dan mudah memperolehnya sehingga sampah botol air mineral ini menjadi melimpah dan bila tidak dikelola akan menyebabkan kerusakan kualitas tanah. Karena sampah botol air minum mineral termasuk non degradable waste, tetapi termasuk *combustable wastes*. Agar tidak menimbulkan pencemaran tanah maka botol air mineral dapat dimanfaatkan menjadi *ecobric* seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 10.6 Pembatas Taman Terbuat dari Ecobric Botol Plastik Diisi Potongan Plastik**

### **Penggunaan Pestisida**

Penggunaan pestisida dengan dosis yang telah ditentukan dan hanya pada keadaan yang sangat mendesak kalau memungkinkan menggunakan metode alami untuk mengendalikan hama tanaman. Menurut Sastrawijaya, 2000, cara yang dapat ditempuh untuk mencegah pencemaran tanah oleh pestisida adalah :

- a. Pengaturan jenis tanaman dan waktu tanam,
- b. Memilih varietas tanaman yang tahan hama,
- c. Menggunakan musuh alami untuk hama,
- d. Menggunakan hormon serangga,
- e. Memanfaatkan daya tarik seks untuk serangga,
- f. Pemandulan (sterelisasi),

### **Rangkuman Materi**

---

Pencemaran tanah merupakan keadaan dimana adanya berbagai bahan substansi kimia yang masuk ke dalam lapisan tanah sehingga mengubah struktur dan lingkungan di dalam tanah. Terjadinya pencemaran tanah disebabkan oleh

masuknya komponen pencemar yang melebihi daya dukung tanah, sehingga terjadi pergeseran fungsi tanah. Lebih buruk lagi jika zat pencemar terpapar terus menerus pada tanah yang akan berakibat pada kerusakan tanah.

Jenis-jenis pencemaran tanah dibagi menjadi empat bagian besar yaitu pencemaran organik, pencemaran anorganik, pencemar radioaktif dan pencemar mikrobiologis. Pencemaran organik yang banyak mencemari tanah adalah jenis pestisida yang banyak digunakan untuk pertanian, dimana penggunaan pestisida yang berlebihan akan berdampak buruk bagi tanah. Pencemaran anorganik yang paling toksik adalah dari logam berat seperti Air Raksa (Hg), cadmium (Cd), chromium (Cr) dan Timbal (Pb). Pencemaran Logam berat menyebabkan tanah menjadi tercemar karna logam berat yang masuk ke dalam tanah akan bertahan lama di dalam tanah. sementara pencemaran mikrobiologis terjadi karena adanya mikroba patogen baik dari golongan bakteri, jamur maupun nematoda. Terjadinya pencemaran pada tanah akan berdampak buruk bagi manusia dan lingkungan, terjadinya kasus-kasus pencemaran tanah membuat gambaran yang nyata akan dampak yang terjadi jika tanah tercemar. Dampak pencemaran tanah diantaranya menimbulkan dampak kesehatan bagi manusia, mengganggu keseimbangan ekologi dan merusak pertanian.

### **Tugas Dan Evaluasi**

---

1. Jelaskan Pengertian Tanah?
2. Uraikan pengertian dari pencemaran tanah!
3. Jelaskan Jenis-jenis pencemaran tanah yang ada!
4. Dampak apa yang ditimbulkan jika tanah mengalami pencemaran?
5. Upaya apa yang bisa dilakukan untuk mencegah

terjadinya pencemaran pada tanah?

# BAB 10

## TOKSIKOLOGI LINGKUNGAN

---

Dr.Herniwanti.S.Pd,Kim.M.S

Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat, Sekolah Tinggi Ilmu  
Kesehatan Hang Tuah Pekanbaru

### A. Definisi Dan Terminologi

---

*Toxicology is the study of the potential of substances to cause harm to a biological system*

Toksikologi adalah ilmu yang mempelajari potensi bahaya suatu bahan pada sistem biologis

*“The science to study the adverse effects of chemicals on living organisms”*

Ilmu yang mempelajari efek yang merugikan dari bahan kimia pada organisme hidup

Gambar. Definisi Toksikologi. (Sumber: Klaassen, 2008)

Awal mulanya toksikologi didefinisikan sebagai ‘ilmu yang mempelajari racun’. Istilah toksikologi berarti ‘ilmu racun’. Kata toksik dalam bahasa Indonesia merupakan kata serapan dari bahasa Inggris toxic ‘beracun’ dan berkombinasi dengan logos ‘ilmu’. Kata toxic sendiri berasal dari bahasa Latin toxicus ‘racun’(poison). Asal kata itu berasal dari Yunani kuno toxikon, yang dipakai pada anak panah yang diselupkan pada bahan beracun. Toksikologi, dengan demikian, berhubungan dengan toxikos ‘busur’ dan toxikon ‘celupan anak panah’, dua kata Latin yang dipergunakan pada masa silam ketika anak panah yang dipakai untuk berperang mengandung racun (Klaassen, 2008).



Sebagai sebuah ilmu, toksikologi terus berkembang tidak hanya berfokus pada pengetahuan dan penggunaan pelbagai bahan-bahan racun (Klaassen, 2008). Secara umum TOKSIKOLOGI kini berarti 'study of the adverse effects of agents on living organism' atau 'studi efek buruk (merugikan) dari toksikan pada organisme hidup'. Dalam makna toksikologi itu terdapat empat konsep berikut:

1. Study, yang meliputi aspek uji coba, koleksi data, dan evaluasi
2. Effects, yang berupa efek yang tidak diinginkan baik efek yang nyata maupun yang samar
3. Agents, yang dapat berasal dari kimia sintesis ataupun alam
4. Living Organism, yang dapat berupa manusia, flora, dan fauna

Toksikologi juga didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari efek toksik xenobiotic (materi asing). Toksikologi industri merupakan salah satu cabang ilmu toksikologi yang diterapkan di industri, sebagai istilah yang banyak digunakan oleh negara-negara yang memperoleh pengetahuan dari Amerika. Ahli lainnya menyebutnya sebagai occupational toxicology atau toksikologi di tempat kerja (istilah ini umumnya digunakan oleh negara-negara yang memperoleh pengetahuan dari Inggris).

Toksikologi merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang amat luas penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan di tempat kerja. Toksikologi juga merupakan ilmu yang cukup pesat perkembangannya hingga melahirkan beberapa cabang ilmu toksikologi berdasarkan ilmu dan aplikasinya.

Toksikologi mencakup multidisiplin sebagaimana ilmu kedokteran yang meliputi bidang-bidang terkait. Dasar toksikologi adalah biologi, kimia, farmakologi, fisiologi, imunologi, dan patologi. Toksikologi berperan dalam berbagai bidang kehidupan, antara lain dalam industri makanan, yaitu penggunaan zat aditif makanan; dalam dunia pertanian, yaitu penggunaan pestisida; dan dalam industri kimia, yaitu berkaitan dengan pelarut dan komponen lain dalam proses produksi suatu bahan kimia. Toksikologi digunakan untuk mengkaji perilaku bahan kimia dan dampak negatif yang ditimbulkannya, baik terhadap manusia maupun lingkungan.

Toksikologi dalam perkembangannya berperan penting dalam menunjang berbagai subdisiplin ilmu lainnya. Pada awalnya dunia toksikologi berkembang seiring dengan perkembangan ilmu farmakologi. Kini toksikologi dapat berdiri sendiri sebagai suatu disiplin ilmu. Kedua disiplin ilmu tersebut sebenarnya memiliki kemiripan baik metode maupun tujuan keilmuan, antara lain mempelajari mekanisme perubahan suatu bahan kimia dalam sistem biologi.

Dalam dunia farmakologi, hubungan dosis- respons suatu bahan kimia dipelajari untuk mendapatkan berapa dosis terendah yang dapat menghasilkan efek terapi yang diharapkan. Dunia toksikologi mempelajari dosis suatu bahan kimia untuk mendapatkan berapa dosis terendah (serendah apa pun) yang tidak memberikan efek farmakologis dari dosis yang dapat menyebabkan timbulnya efek racun. Terdapat pelbagai definisi tentang toksikologi, salah satunya adalah 'the study of the potential of substances to cause harm to a biological system' atau 'ilmu yang mempelajari potensi bahaya suatu bahan pada sistem

biologis' (Williams & Burson, eds., 1989). Definisi tersebut menunjukkan bahwa secara keilmuan toksikologi mempelajari potensi bahaya suatu bahan (tidak hanya bahan kimia) dan efeknya terhadap sistem biologis.

## **B. Ruang Lingkup Ilmu Toksikologi**

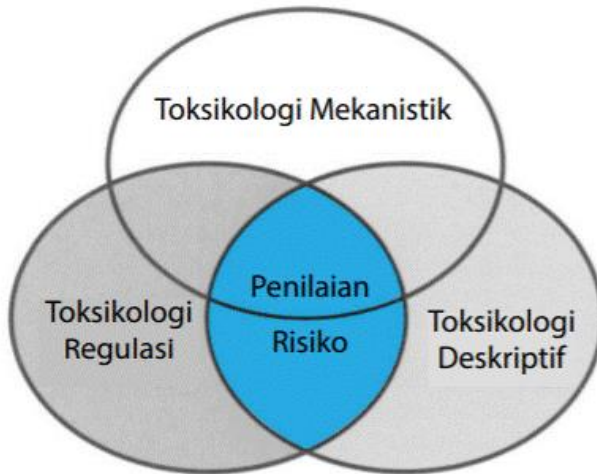
---

Ruang lingkup toksikologi pada awalnya didasari oleh tiga bidang, yaitu toksikologi deskriptif, toksikologi mekanistik, dan toksikologi regulatori (Gambar 1.3). Dalam perkembangannya, ketiga bidang dasar ini kemudian yang mendasari pemanfaatan data toksikologi untuk kajian risiko (risk assessment) dan ditunjang oleh toksikologi informatika. Dua bidang kajian pertama menyajikan informasi tentang mekanisme toksisitas dan efek yang ditimbulkan oleh toksikan, sementara tiga berikutnya memanfaatkan dan mengevaluasi informasi yang disajikan untuk kepentingan penggunaan dan pengendalian toksikan.

1. Toksikologi Deskriptif mengkaji efek toksik bahan kimia dalam ruang lingkup dosis atau pajanan yang umumnya dilakukan dengan uji toksisitas, mencakup protokol uji toksistas akut, subakut, atau kronik. Hasil studinya merupakan data toksisitas. Data toksisitas yang dihasilkan dapat digunakan untuk evaluasi keselamatan toksikan, sebagai komponen kunci untuk penilaian risiko yang digunakan oleh toksikologi regulatori dalam penetapan peraturan dan berkontribusi dalam pengembangan toksikologi mekanistik melalui pengembangan hipotesis.
2. Toksikologi Mekanistik, atau disebut juga Toksikologi Biokimia, mengkaji mekanisme terjadinya efek toksik di dalam tubuh organisme hidup, yaitu mekanisme terjadinya reaksi atau perubahan selular, biokimia,

dan/atau molekular di dalam sistem biologis yang diakibatkan oleh toksikan. Toksikologi mekanistik sangat berguna dalam penilaian risiko kesehatan.

3. Toksikologi Regulatori mengkaji data yang dikumpulkan dari toksikologi deskriptif, toksikologi mekanistik, dan hasil penelitian lainnya untuk mengambil keputusan tentang penggunaannya serta menentukan batas aman penggunaannya, walaupun dalam penetapannya melibatkan faktor sosial, ekonomi, dan faktor lainnya. Contohnya adalah penetapan nilai ambang batas suatu bahan kimia.
4. Toksikologi Informatika, bidang kajiannya adalah mengumpulkan, mengompilasi, dan menyebarluaskan informasi toksikologi, termasuk menganalisis, menginterpretasikan, dan membuat simpulan dari data yang didapat, seperti yang dicantumkan dalam lembar keselamatan material atau yang dikenal sebagai Material Safety Data Sheet (MSDS).
5. Penilaian Risiko mengkaji besar risiko terjadinya dampak pada populasi yang terpajan toksikan dengan menggunakan hasil studi deskriptif dan mekanistik tentang toksikan, dihubungkan dengan tingkat paparan toksikan.



**Gambar 11.1 Tiga Bidang Dasar dalam Toksikologi dan Kaitannya dalam Kajian Risiko**  
(Sumber: Klaassen, 2008)

### **C. Tujuan Ilmu Toksikologi**

Tujuan toksikologi adalah mengenal dan mengkaji mekanisme efek toksik bahan kimia terhadap makhluk hidup agar manusia dapat menggunakan dan hidup berdampingan dengan toksikan tanpa menimbulkan efek yang merugikan seperti gangguan kesehatan atau rusaknya lingkungan hidup. Untuk mencapai tujuan tersebut, lingkup kajian toksikologi mencakup:

1. Mengetahui, memahami, dan mendefinisikan toksisitas intrinsik dari bahan kimia;
2. Menilai risiko dan mengevaluasi dampak dari bahan kimia;
3. Mengidentifikasi sistem atau organ target/kritis yang dipengaruhi bahan kimia.

Toksikologi sangat bermanfaat untuk memprediksi atau mengkaji akibat yang berkaitan dengan bahaya toksik pada manusia dan lingkungannya. Toksikologi merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang amat luas penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan di tempat kerja. Toksikologi juga merupakan ilmu yang cukup pesat perkembangannya hingga melahirkan beberapa cabang ilmu toksikologi berdasarkan ilmu dan aplikasinya.

Toksikologi mencakup multidisiplin sebagaimana ilmu kedokteran yang meliputi bidang-bidang terkait. Dasar ilmu toksikologi adalah biologi, kimia, farmakologi, fisiologi, imunologi, dan patologi. Toksikologi berperan dalam berbagai bidang kehidupan, antara lain dalam industri makanan, yaitu penggunaan zat aditif makanan, dalam dunia pertanian, yaitu penggunaan pestisida, dalam industri kimia, yaitu berkaitan dengan pelarut dan komponen lain dalam proses produksi suatu bahan kimia.

Toksikologi digunakan untuk mengkaji perilaku bahan kimia dan dampak negatif yang ditimbulkannya, baik terhadap manusia maupun lingkungan. Dalam dunia toksikologi, dikenal berbagai macam istilah yang sering digunakan. Istilah-istilah (terminologi) tersebut antara lain:

1. Xenobiotika, yaitu istilah umum yang digunakan untuk menyatakan zat asing yang masuk ke dalam tubuh. Xenobiotika dapat memberikan berbagai keuntungan, seperti obat-obatan) atau dapat bersifat racun (seperti timbal).
2. Toksikan, yaitu segala jenis bahan yang dapat memberikan efek yang berlawanan (merugikan). Zat toksik dapat berada dalam bentuk fisik (seperti radiasi), kimiawi (seperti sianida), ataupun biologis (bisa ular).

3. Toksin, yaitu toksikan yang berupa protein spesifik yang dihasilkan secara alamiah oleh makhluk hidup, contohnya Tetanus, yang disebabkan toksin yang dieksresikan oleh bakteri *Clostridium tetani*.
4. Toksisitas (toxicity), yaitu kapasitas intrinsik dari suatu toksikan yang dapat menimbulkan efek bagi organisme.
5. Bahaya (hazards), yaitu potensi terealisasinya toksisitas suatu agen pada situasi tertentu.
6. Risiko (risk), yaitu kemungkinan terealisasinya suatu bahaya (hazard).
7. Safety, yaitu kemungkinan tidak terealisasinya suatu bahaya (kebalikan dari risiko).
8. Dosis, yaitu unit yang menyatakan paparan terhadap bahan kimia, fisik, atau biologis yang sampai ke organ sasaran. Dosis diekspresikan sebagai unit berat atau volume per unit luas permukaan tubuh. Misalnya mg/kgBB, ml/kgBB, atau mg/m<sup>2</sup>, ppm, atau ppb.

#### **D. Sejarah Ilmu Toksikologi**

---

Pada awal abad ke-20 keselamatan dan kesehatan kerja sudah mulai mendapat perhatian. Terkait dengan hal tersebut, diberlakukan larangan penggunaan fosfor putih dan timah putih di tempat kerja. Pada pertengahan abad ke-20 toksikologi sudah dipergunakan untuk mengamankan produk industri, pemenuhan aspek medikolegal, dan untuk pemantauan lingkungan kerja maupun pemantauan biologik pekerja. Tahun 1946 Aurbach mengemukakan teori mutasi somatis (“Somatische Mutation”) mengenai hubungan interaksi kimia dengan terjadinya mutagen.

Toksikologi dalam perkembangannya berperan penting dalam menunjang berbagai subdisiplin ilmu lainnya. Pada

awalnya dunia toksikologi berkembang seiring dengan perkembangan ilmu farmakologi. Kini, toksikologi dapat berdiri sendiri sebagai suatu disiplin ilmu. Kedua disiplin ilmu tersebut sebenarnya memiliki kemiripan baik metode maupun tujuan keilmuan, antara lain mempelajari mekanisme perubahan suatu bahan kimia dalam sistem biologi. Dalam dunia farmakologi, hubungan dosis-respons suatu bahan kimia dipelajari untuk mendapatkan berapa dosis terendah yang dapat menghasilkan efek terapi yang diharapkan.

Sementara itu, dunia toksikologi mempelajari dosis suatu bahan kimia untuk mendapatkan berapa dosis terendah (serendah apa pun) yang tidak memberikan efek farmakologis dari dosis yang dapat menyebabkan timbulnya efek racun. Beberapa tonggak sejarah yang patut dicatat, mulai dari zaman prasejarah, Abad Pertengahan, sebelum dan sesudah Revolusi Industri, sampai dengan sekarang antara lain seperti berikut.

1. Papyrus Eber mungkin menulis rekaman medis (medical record) yang pertama (1500 SM), berisi sekitar 800 informasi mengenai racun, misalnya opium (racun pada anak panah China purbakala) dan racun tumbuh-tumbuhan lainnya.
2. Hippocrates (400 SM) menulis dasar-dasar yang sederhana tentang toksikologi.
3. Theophrastus (370–286 SM), seorang murid Aristoteles, mencantumkan banyak sekali rujukan tentang tumbuh-tumbuhan beracun dalam *De Historia Plantarum*.
4. Mithridates VI (131–63 SM) mempelajari cara pencegahan dan penanggulangan keracunan secara sistematis. Ia menggunakan dirinya dan tawanan



sebagai kelinci percobaan untuk menguji racun dan antidotnya dengan cara mengonsumsi racun dan campuran racun lain yang diyakini dapat berfungsi sebagai penawar racun untuk melindungi dirinya (mithridatic), namun ia meninggal dalam usia muda karena keracunan.

5. Dioscorides, seorang ahli fisika dari Yunani pada zaman Kekaisaran Nero membuat penggolongan racun beserta uraian dan gambarannya.
6. Catherine De Medici pada Abad Pertengahan mencoba mencampurkan senyawa toksik, mencatat efek yang terjadi pada tubuh terhadap dosis yang diberikan, dan mengamati tingkat keracunan/toksisitas serta keluhan dan gejala yang timbul pada penderita.
7. Moses bin Maimon atau Maimonides (1135–1204) menulis buku tentang racun dan antidotumnya. Buku ini berisi petunjuk pertolongan pertama pada keracunan, baik yang disengaja maupun tidak, seperti keracunan akibat gigitan serangga, ular, dan anjing gila.
8. Pada akhir Abad Pertengahan, orang yang terkenal dalam ilmu dan kedokteran adalah P.A.T.B von Hohenheim-Paracelcus (1493–1541). Dia menyatakan bahwa “semua zat atau substansi adalah racun; tiada yang bukan racun. Dosis yang tepatlah yang membedakan racun dari obat”. Menurutnya, uji toksisitas sangat penting dalam mempelajari respons tubuh terhadap zat kimia untuk menjelaskan hubungan dosis-respons. Ia menulis buku yang berjudul *Bergsucht*, yang berisi penjelasan tentang gangguan kesehatan yang timbul akibat keracunan arsen kronik dan merkuri serta rincian serangan

asma dan gejala saluran pencernaan pada para pekerja tambang.

9. Mattieu Yoseph Bonaventura Orfila (1787–1853) adalah dokter pribadi Louis XVIII dari Prancis dan merupakan salah satu dari pimpinan Universitas Paris. Orfila adalah orang pertama yang berusaha menghubungkan secara sistematis antara informasi kimia dan efek biologis dari suatu racun. Orfila juga mengajukan hubungan antara ilmu kimia dan ilmu hukum, Karya besarnya telah menghasilkan bahan otopsi yang digunakan untuk membuktikan penyebab keracunan, baik keracunan akibat kecelakaan maupun keracunan yang disengaja.
10. Calude Bernard (1813–1878) berpandangan bahwa analisis fisiologis dari sistem organik dapat dilaksanakan dengan bantuan agen-agen toksik.
11. Louis Lewin (1854–1929) menghasilkan literatur tentang toksikologi metil alkohol, etil alkohol, dan jenis alkohol lain, kloroform, penggunaan opiat kronik dan bahan halusinogen yang dikandung dalam tumbuh-tumbuhan. Di antara penerbitannya adalah *A Toxicologist's View of World History, A Text book of Toxicology*.
12. Pada abad ke-20 toksikologi berkembang sangat cepat. Di antaranya adalah perkembangan oleh Rudolf Peter, dkk. (1945) mengenai dimerkaprol sebagai satu antidotum arsen yang dikandung gas-gas perang. Selanjutnya adalah penemuan dan pemahaman DDT oleh Paul Muller dan penemuan senyawa insektisida organofosfat oleh Willy Lange dan Germard Schrader.

Saat ini toksikologi mulai digunakan sebagai evaluasi keselamatan (safety evaluation) dan kajian risiko risk assessment. Sejarah perkembangan toksikologi lebih detail disajikan pada Tabel dibawah ini:

<b>Tokoh/Institusi/Momentum</b>	<b>Tahun</b>	<b>Perkembangan</b>
<i>Perkembangan Awal</i>		
Paracelsus	1492–1541	Toksikologi mulai
Agricola	1494–1515	dicetuskan
Bernardino Ramazzini	1633–1714	Toksikologi di tempat
Magendie	1783–1855	Toksikologi
Orfila	1787–1853	eksperimental
Bernard	1813–1878	

<b>Tokoh/Institusi/Momentum</b>	<b>Tahun</b>	<b>Perkembangan</b>
<i>Era Toksikologi Modern</i>		
Becquerel dan Curie	1890–1900	Toksisitas bahan
Hawk dan Oser	Perang Dunia II	Bioassay
Mueller	1920	Pestisida dan
Dodd's	1920	Estrogen
Lehman dan Geiling	1930	Bencana
Stafford Warren	Perang Dunia II	Toksikologi sistem pernapasan ( <i>Inhalation Toxicology</i> )

<b>Tokoh/Institusi/Momentum</b>	<b>Tahun</b>	<b>Perkembangan</b>
Willy Lange dan Gerhard Schrader	Perang Dunia II	Inhibitor kolinesterase organofosfat ( <i>organophosphate cholinesterase inhibitor</i> ) dan neurotoksikologi
Elizabeth dan James Miller	1940	Karsinogenesis dan model kajian risiko ( <i>risk assessment model</i> )
Lehman dan Fitzhugh Oser	1950	Mulainya eksperimen untuk bahan makanan, obat, dan kosmetik di Amerika Mulainya konferensi bidang toksikologi
Adrian Albert	1951	Toksisitas selektif ( <i>site-specific action</i> ) bahan kimia
Delaney Clause	1958	Karsinogenesis
Lehman dan Hayes	1955 atau 1958	Diterbitkannya <i>Toxicology and Applied Pharmacology Journal</i>
McArdle Lab	1957	TCDD

Tokoh/Institusi/Momentum	Tahun	Perkembangan
NTCR (National Center for Toxicologic Research)	1960	Peraturan dan legislasi ( <i>regulatory and legislation</i> )
Rachel Carson	1962	<i>Silent Spring</i> — Insiden Thalidomide— ribuan bayi dilahirkan cacat
Love Canal	1970	<i>Hazardous waste</i> dan <i>chemical dump sites</i>
Ames	1983	Mekanisme genetik dan karsinogenisitas

### E. Berbagai Cabang Ilmu Toksikologi

Saat ini toksikologi juga sudah berkembang menjadi integrasi dari berbagai bidang keilmuan, antara lain ilmu kedokteran, farmasi, biologi, kimia, fisika, matematika, statistik, komputer (modelling), biologi molekuler, kesehatan masyarakat, keselamatan dan kesehatan kerja, ilmu lingkungan, makanan, dan kosmetik. Dari perkembangannya muncul bidang yang sangat spesifik dalam toksikologi.

Di lapangan, pembagian toksikologi berdasarkan aplikasinya di berbagai sektor dunia kerja dan dunia usaha antara lain adalah seperti berikut

1. Toksikologi Industri atau Toksikologi Okupasi, yang mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan toksikologi pada pekerja yang terpajan;
2. Toksikologi Klinik, yang mempelajari efek toksikan

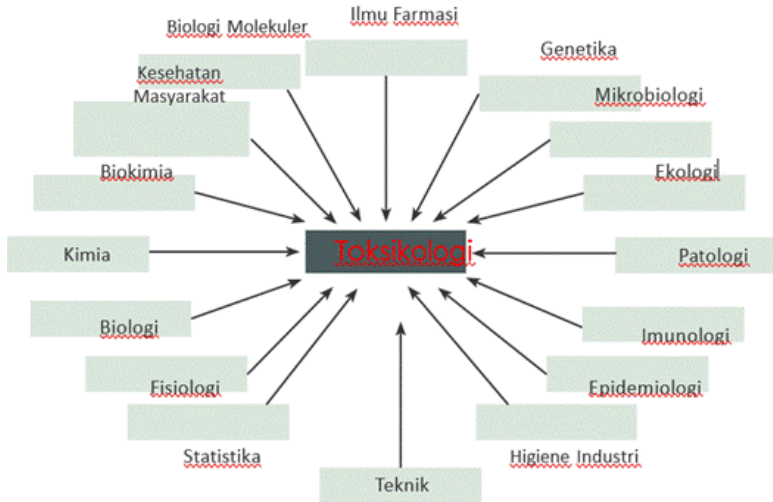
- pada organ spesifik dan kesehatan pada umumnya serta pengelolaannya;
3. Toksikologi Forensik, yang mempelajari segala teknik analitis dan keterampilan untuk kepentingan medikolegal;
  4. Toksikologi Pertanian, yang mempelajari toksikan yang ada pada bidang pertanian, seperti pestisida dan pupuk;
  5. Toksikologi Lingkungan, yang mempelajari “nasib” toksikan di lingkungan serta dampaknya pada ekosistem dan manusia.

**Tabel 11.1 Diversifikasi dalam Bidang Toksikologi**

Bidang	Fokus
Toksikologi okupasi ( <i>occupational toxicology</i> )	Toksikologi di tempat kerja
Toksikologi lingkungan ( <i>environmental toxicology</i> )	Toksikologi lingkungan
Toksikologi analitis/forensik ( <i>analytic/</i>	Toksikologi analitis dan forensik
<i>ecotoxicology</i> )	Toksikologi di lingkungan biota
Toksikologi pernapasan ( <i>inhalation toxicology</i> )	Toksikologi pada sistem pernapasan
Neurotoksikologi	Toksikologi sistem saraf
Toksikologi kimia ( <i>chemical</i> )	Toksikologi bahan-bahan kimia
Toksikologi klinik ( <i>clinical</i> )	Toksikologi di bidang klinik
Toksikologi makanan ( <i>food</i> )	Toksikologi bahan pangan
Toksikologi regulatori ( <i>regulatory toxicology</i> )	Toksikologi dalam bidang peraturan
Toksikologi <i>in vitro</i> ( <i>in vitro</i> )	Toksikologi <i>in vitro</i> (di luar

<b>Bidang</b>	<b>Fokus</b>
Toksikologi kebakaran ( <i>combustion toxicology</i> )	Toksikologi dalam bidang kebakaran
Toksikologi genetik ( <i>genetic</i> )	Toksikologi genetik
Toksikologi kosmetik ( <i>cosmetic toxicology</i> )	Toksikologi bahan kosmetik
Toksikologi deskriptif ( <i>descriptive toxicology</i> )	Toksikologi yang menjelaskan efek toksik
Toksikologi mekanistik ( <i>mechanistic toxicology</i> )	Toksikologi mekanisme
Toksikologi reproduktif ( <i>reproductive toxicology</i> )	Toksikologi sistem reproduksi
Toksikologi obat ( <i>drug</i> )	Toksikologi farmasi
Toksikologi pestisida ( <i>pesticide toxicology</i> )	Toksikologi pestisida
Toksikologi okuler ( <i>ocular</i> )	Toksikologi sistem penglihatan
Toksikologi renal ( <i>renal</i> )	Toksikologi yang memengaruhi
Hepatotoksikologi	Toksikologi yang memengaruhi

Toksikologi tidak dapat terpisahkan dari ilmu lainnya yang menunjang implementasi dari toksikologi itu sendiri. Di antara ilmu yang menunjang penerapan toksikologi adalah higiene industri, epidemiologi, kimia, biologi, patologi, biologi molekuler, ilmu kesehatan masyarakat, statistik, dan lain-lain.



**Gambar 11.2 Ilmu yang Menunjang Toksikologi**

Sumber: <http://toxicology.usu.edu/660/html/history.htm>



## DAFTAR PUSTAKA

- Annisa Salsabila, I. L. (2020). *Pengantar Hidrologi*. Bandar Lampung: Aura Publishing.
- Arif Zulkifli, *Dasar-dasar Ilmu Lingkungan*, Salemba Teknika, Jakarta, 2014.
- Arsyad, S. (2008). *Penyelamatan Air, Tanah dan Lingkungan*. Jakarta, Bogor: Yayasan Obor Indonesia dan Cressprent Press.
- Artikel lingkungan hidup. <https://lingkunganhidup.co/pengertian-pencemaran-tanah-penyebab-akibat-solusi/https://lingkunganhidup.co/category/pencemaran/>.
- Asdak, C. (2014). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Asmadi, Khayan dan Kasjono, H.S. 2011. *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Gosyen publisihing.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2021. *Kualitas Udara* . <https://www.bmkg.go.id/>. Diakses pada bulan Oktober 2021.
- Bapedal. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2002. Analisis kualitas air dan limbah cair.
- Baver, L. D. 1972. *Soil Physics*. Fourth Edition. Jhon Willey and Sons, Inc. New York.
- Chaney, R.L. Brown, S.L., dan Angle, J.S. 1998. Soil-root interface: Food chain contamination and ecosystem health. Di dalam: Huang M. dkk. (ed). Madison W.I. Soil Science Social 3:9-11.
- Clair N. Sawyer, P. L. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science*. New York: McGraw-Hill

Companies.

- Damanik, M. M. B., B. E. Hasibuan., Fauzi., Sarifuddin da H. Hanum. 2010. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Dantje T. Sembel.2015. *Toksikologi Lingkungan*. Penerbit Andi Yogyakarta
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia
- Dasar-Dasar dan Pengelolaan*. Prenadamedia Group. Jakarta
- Department of Agriculture Water and Environment. (2021). *Air pollutants*. Australian Government. <https://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-pollutants>
- Dewata, I dan Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan Polusi Air, Udara dan Tanah*. UNP Press.
- Dewata, I. & Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan*. UNP Press : Padang
- Dewata, Indang dan Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan*. Padang: UNP Press.
- Dikti. 1991. *Kesuburan Tanah*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- Djajadiningrat,2001, *Pemikiran Tantangan dan Permasalahn Lingkungan, Aksara Buana,Bandung*.
- Donahue, R. L. 1977. *Soils an Introduction to Soils and Plant Growth*. Fourth Edition Prentice
- Dr. Rukaesih achmad. 2004. *Kimia Lingkungan*. Penerbit Andi Yogyakarta
- Edi Haryanto. 2004. *WorkshopWashe management in Refinery and Improvement of Enviroment in Refinery – Metode Penanganan Produksi Bersih Di Lingkungan*

Industri Migas, Pusdiklat Migas Cepu, Yogyakarta.

- Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Yogyakarta: PT Kanisius.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta. Penerbit Kanisius.
- Endang Saptiningsih. 2007. Peningkatan Produktivitas Tanah Pasir untuk Pertumbuhan Tanaman Kedelai dengan Inokulasi Mikorhiza dan Rhizobium. *BIOMA*. Vol. 9, No. 2, Hal. 58 – 61. ISSN: 1410-8801
- Fadlilah, I., Prasetya, A., & Mulyono, P. (2018). Recovery Ion  $Hg^{2+}$  dari Limbah Cair Industri Penambangan Emas Rakyat dengan Metode Presipitasi Sulfida dan Hidroksida. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.34496>
- Faisal, A., & Syarifudin, A. (2014). Dosis Optimum Larutan Kapur untuk Netralisasi pH Air. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(1), 184–189.
- Fajri, D. L. (2021). *10 Penyebab Polusi Udara di Indonesia*. Katadata. <https://www.beritasatu.com/kesehatan/29122/10-penyebab-polusi-udara-di-rumah>
- Hadi, Wahyono. 2012. *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Surabaya: ITS press.
- Hall, Inc. Englewood. Cliffs. New Jersey.
- Hanafiah, K. A. 2012. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta Hardjowigeno S. 2010. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Haridjaja O. 1980. *Pengantar Fisika Tanah*. Institut Pendidikan Latihan dan Penyuluhan Pertanian. IPB. Bogor.

- Harjadjowigeno, Sarwono, 2003, *Ilmu Tanah*, Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hastutiningrum, S. Sunarsih, S. & Imelda. 2018. Analisis Hubungan Aktivitas Kendaraan Bermotor Terhadap Konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di Udara Ambien (Studi Kasus: Jl. Panembahan Senopati Yogyakarta). *Jurnal Teknologi Technoscientia* Vol 11 No. 1 hal. 85-94.
- Hidayat, B. (2015) 'Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar', *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(1), pp. 51-61.
- Indonesia, P. R. dan Nusantara, W. (1997) 'Undang Undang No. 23 Tahun 1997 Tentang: Pengelolaan Lingkungan Hidup', *Jakarta: Menteri Negara Sekretaris Negara Republik Indonesia*
- International Chemical Safety Card (ICSC).  
<http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/>
- Irsanda, P. G. R. 2014. *Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Kali Pelayaran, Kabupaten Sidoarjo Dengan Metode Wual2kw*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Islami. T dan W. H. Utomo. 1995. *Hubungan Tanah, Air dan Tanaman*. IKIP Semarang Press. Semarang.
- James, G. *Principles of Environmental Chemistry*. Jones & Bartlett Learning: Sudbury
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2003). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. *Jakarta: Menteri Negara Lingkungan Hidup*, 1-15. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Klaassen C.D. (2008). Casarett and Doull's Toxicology, The

Baasic Science of Poisons. 7th Edition. New York:Mc Graw-Hill.

Konsepri Produksi Bersih Dan Minimisasi Limbah, Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti

Kormondy, E.J.1969. *Concepts of Ecology*. Prentice-Hall Inc, New Jersey

Kristanto P. 2002. Ekologi industri. ANDI Yogyakarta. Yogyakarta.

Lagzi, I., Meszaros, R., Gelybo, G., & Leelossy, A. 2013. *Atmospheric Chemistry*. Lorand University: Hungaria

Luki, U. 2007. *Dasar-Dasar Fisika Tanah Pertanian Terapan I (Matrik Tanah) Teori dan Contoh-Contoh Soal*. Universitas Andalas . Padang.

Lutfi, A. 2004. Departemen Pendidikan Nasional. Kimia Lingkungan.

Mackenzie, J., & Turrentine, J. (2021). *Air Pollution Facts, Causes and the Effects of Pollutants in the Air*. Nrdc. <https://www.nrdc.org/stories/air-pollution-everything-you-need-know#causes%0Ahttps://www.nrdc.org/stories/air-pollution-everything-you-need-know>

Manahan, S. 2017. *Environmental Chemistry*. CRC Press: New York

Mansur. 2013. "Dampak Sosial Penggunaan Pestisida Bagi Petani Perspektif Sosiologi Pedesaan". Jurnal Kajian Ilmu-ilmu Komunikasi dan Bimbingan Islam. Volume 6, No.1, <http://ejournal.iainkendari.ac.id/al-munzir/article/view/233>.

Mara, D. (2004). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Earthscan, USA.

Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 *tentang Pedoman penetapan daya tampung beban pencemaran*

*air pada sumber air.*

- Muslimah .2015. "Dampak Pencemaran Tanah dan Langkah Pencegahan". Agrisamudra Jurnal Penelitian. Volume 2, No.1,  
<https://ejurnalunsam.id/index.php/jagris/article/view/224>.
- Mustafa, M., Asmita, A., M. Ansar, dan Masyhur, S. (2012) 'Modul Pembelajaran Dasar-Dasar Ilmu Tanah', Universitas Hasanuddin Makasar, 169.
- National Center for Environmental Health. (2021). *Air Pollutants*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/air/pollutants.htm>
- National Geographic. (2021). *Air Pollution*. National Geographic.  
<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/air-pollution/>
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH):  
<http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>
- NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazard.  
<http://www.cdc.gov/niosh/npg/npg.html#printed>
- Notodarmojo, Suprihanto, 2005, Pencemaran Tanah & Air Tanah, ITB, Bandung.
- Notohadiprawiro T. 1999. *Tanah dan Lingkungan*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- NPS. (2018). Where Does Air Pollution Come From? In *National Park Service* (p. 1).  
<https://www.nps.gov/subjects/air/sources.htm>  
<https://www.blf.org.uk/support-for-you/air-pollution/where-does-it-come-from>  
<https://www.nps.gov/subjects/air/sources.htm>

- Nurmayanti, D. & Purwoko, D. 2017. *Kimia Lingkungan*. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan, Kemenkes RI : Jakarta
- Nyoman, I. 2013. Bahan Kuliah Kesuburan Tanah dan Pemupukan. [www.fp.unud.ac.id](http://www.fp.unud.ac.id). SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1988
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA): <http://www.osha.gov/> Centre for Diseases Control (CDC): <http://www.cdc.gov>.
- P. Cheremisinoff, N. (2002). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann.
- Palar, Heryando. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT. Rineka Cipta : Jakarta.
- Peavy, H. S., Rowe, D. R., & Tchobanoglous, G. (1985). *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Pemerintah Republik Indonesia. (1997). Undang Undang Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Lembaran Negara Republik Indonesia* 1997, 1, 21. [http://ciptakarya.pu.go.id/dok/hukum/uu/uu\\_23\\_1997.pdf](http://ciptakarya.pu.go.id/dok/hukum/uu/uu_23_1997.pdf)
- Peraturan Pemerintah Nomor 150 Tahun 2000 tentang pencemaran Tanah.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan dan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 *tentang Pengelolaan dan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.
- Prasetyo, B. H. dan Suriadikarta, D. A. (2006) 'Karakteristik,

Potensi, dan teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia', *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), pp. 39–46.

Presiden Republik Indonesia. (1999). Peraturan Pemerintah R.I Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Peraturan Pemerintah No. 41 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*, 18.

Prodjosantoso, A.K. & Tutik R. 2011. *Kimia Lingkungan*. Penerbit Kanisius: Yogyakarta

Purwoko, D dan Nurmayanti, D. 2017. Kemenkes RI. Kesehatan Lingkungan (Kimia Lingkungan)).

Pusdiklat migas,2003, Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001, Buklet,Cepu

Puspita, I., Ibrahim, L., & Hartono, D. (2016). Pengaruh Perilaku Masyarakat yang Bermukim di Kawasan Bantaran Sungai Karang Anyar Kota Tarakan (Influence of The Behavior of Citizens Residing in Riverbanks to The Decrease of Water Quality in The River of Karang). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(2), 249. <https://doi.org/10.22146/jml.18797>

Rahmawati, Deazy. 2011. Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak Di Bergas Kabupaten Semarang dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai. Semarang: Tesis Program Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.

Ratnani, R. D. (2008). Teknik Pengendalian Pencemaran Udara Yang Diakibatkan Oleh Partikel. *Momentum*, 4(2), 27–32.

Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS). <http://www/cdc.gov/niosh/rtecs/>.

Resosudarmo,R.S; K. Kartawinata; A. Soegiarto. 1992. *Pengantar ekologi*. Penerbit Remaja Rosdakarya bandung



- Rinkesh. (2021). *45+ Easy and Simple Ways To Stop Global Warming and Reduce Earth's Temperature*. Conserve Energy Future. <https://www.conserve-energy-future.com/stopglobalwarming.php>
- Saidi, A. 2006. *Fisika Tanah dan Lingkungan*. Fakultas Pertanian. Universitas Andalas. Padang
- Sarief S. 1985. *Ilmu Tanah Pertanian*. Pustaka Buana. Bandung
- Sarief S.1989. *Fisika Kimia Tanah Pertanian*. Pustaka Buana. Bandung 47
- Sastrawijaya, A, T. (2009). *Pencemaran Lingkungan*. Rineka Cipta.
- Sastrawijaya, Tresna, 1991, *Pencemaran Lingkungan*, Rineka Cipta.
- Sastrawijaya. A.T. 2009. *Pencemaran Lingkungan*. Rineka Cipta: Jakarta
- Sitomorang, Manihar, 2017, *Kimia Lingkungan*, PT Rajagrafindo Persada, Depok.
- Smit, R.L. 1974. *Ecology and Field Biology*.2<sup>nd</sup>.ed.Harper & Row, Pub. New York
- Soegiman. 1982. *Ilmu Tanah*. Terjemahan dari Buckman, H. O dan Brady, N. C. *The Nature and Properties of soil*. Bharata Karya Aksara. Jakarta.
- Soemarwoto,O.1991.*ekologi dalam pembangunan berwawasan lingkungan*.Panitia Penghormatan Purnabakti Profesor Otto Sumarwoto
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. IPB Press. Bogor
- Stoker, H. S., & Seager, S. L. (1972). *Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*. Foresman and Company, Illionis.
- Subandi, M. (2012). *Developing Islamic Economic Production*.

Sci., Tech. and Dev., 31 (4): 348-358.

Subandi, M. (2012a). The Effect of Fertilizers on the Growth and the Yield of Ramie (*Boehmeria nivea* L. Gaud). *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 2(2), pp. 126-135.

Sumber Informasi mengenai Toksikologi Produk-produk Komersial. <https://www.whatsinproducts.com>.

Suripin. (2004). *Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.

Susanti., Indah., Rosida., Laras, T., & Nani, C. 2014. Analisis Pengaruh Aerosol pada Awan di Indonesia (*Aerosol Impact on Cloud Over Indonesia*). *Jurnal Sains Dirgantara* Vol. 12 No.1 hal. 22-31. Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Atmosfer Lapan

Susanto, R. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Penerbit Kanisius: Yogyakarta.

Susilo, Y. Eko Budi. (2003). *Menuju keselarasan lingkungan : memahami sikap teologis manusia terhadap pencemaran lingkungan* (cet. 1). Malang: Averroes Press. Halaman 156.

Sutanto, R. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah Konsep dan Kenyataan*. Kanisius. Yogyakarta.

Sutrisno, Totok. 2010. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Rineka Cipta.

Suyasa, W. B. 2015. *Pencemaran Air dan Pengelolaan Air Limbah*. Bali: Udayana University press.

Teqoya. (2021). *Air Quality Day \_ all you need to know about air pollution*. Teqoya. <https://www.teqoya.com/day-quality-air-pollution/>

Treshow, M. 1989. *Plant Stress From Air Pollution*. John Wiley dan Sons Ltd. Britain Inggris. Halaman 113-157.

Tresna sastrawijaya. 2009. *Pencemaaan lingkungan*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta

UNEP,United Nations Enviromental Program,www.unep.org

University of California. (2021). *Primary Vs. Secondary Pollutants*. UNIVERSITY OF CALIFORNIA. [https://www.researchgate.net/profile/David\\_Gans/publication/40904893\\_Size\\_Matters\\_The\\_Impact\\_of\\_Physician\\_Practice\\_Size\\_on\\_Productivity/links/0f317533cca49e8d2f000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/David_Gans/publication/40904893_Size_Matters_The_Impact_of_Physician_Practice_Size_on_Productivity/links/0f317533cca49e8d2f000000.pdf)

Untari, T., & Kusnadi, J. (2015). Pemanfaatan Air Hujan Sebagai Air Layak Konsumsi di Kota Malang Dengan Metode Modifikasi Filtrasi Sederhana *Utilization Rainwater As A Viable Water Consumption In The Malang City With A Simple Filtration Modification Method*. 3(4), 1492-1502.

US EPA,US enviromental Program,www.epa.gov

Utami, S. N. H. dan Handayani, S. (2003) 'Sifat Kimia Entisol pada Sistem Pertanian Organik Chemical Properties in Organic and Conventional Farming System', Ilmu Pertanian, 10(2), pp. 63-69.

Utomo, M., Sudarsono., Bujang. R., Tengku. S., Jamalam. L, dan Wawan. 2016. *Ilmu Tanah*

Wardhana, W.A., 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan, Andi Offset Yogyakarta, Jakarta.

Williams, P., & Burson, J. (1985). *Industrial Toxicology*. Van Nostrand Reinhold, ed..New York.

Winarno, G. D., Hatma, & Soejoko, S. A. (2010). Buku Ajar Hidrologi Hutan. In *Universitas Lampung, Bandar Lampung*.

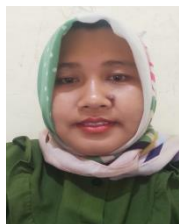
Winder C., & Stacey N. (2005). *Occupational Toxicology*. 2nd Edition. London: CRC Press.

Yamani , A .2010. Kajian Tingkat Kesuburan Tanah Pada

Hutan Lindung Gunung Sebatung di Kabupaten Kota Baru Kalimantan Selatan. *Jurnal Hujan Tropis* 11( 29): 32.

Yusuf, Y. 2017. *Kimia Lingkungan Berbasis masalah kekinian*. EduCenter Indonesia.

## BIOGRAFI PENULIS



**Baiq Inggar Linggarweni, SP.,M.Sc.** lahir di Selong, 18 oktober 1986 bertempat tinggal di KotaMataram, Nusa Tenggara Barat. Penulis adalah dosen swasta di Universitas Islam Al-azhar Mataram sejak 2016. Pendidikan formal sarjana di selesaikan di Universitas Mataram (Unram) jurusan Hama dan Penyakit Tanaman dan S2 diselesaikan di jurusan Kimia Lingkungan Universitas Gadjah Mada.



**Nurhajawarsi, S.Pd., M.Si.** lahir di Sungguminasa, Sulawesi Selatan pada tanggal 09 September 1990 menyelesaikan pendidikan Sarjana Pendidikan Kimia lulusan Universitas Negeri Makassar tahun 2012. Penulis melanjutkan Strata 2 di Jurusan Kimia Institut Pertanian Bogor pada tahun 2013. Sejak tahun 2019 hingga saat ini, penulis merupakan salah satu tenaga pendidik di Program Studi Analisis Kimia Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng. Penulis merupakan anggota Masyarakat Nano Indonesia (MNI) sejak 2015 dan sejak tahun 2021 menjadi asesor kompetensi di bidang Analisis Kimia.



**Mega Fia Lestari, S.Pd, M.Sc.** merupakan anak tunggal dari pasangan Abdul Kadir Said dan Mahasumah. Lahir pada 11 Juli 1993 di Kab. Maros, Sulawesi Selatan. Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah jenjang sarjana pada Program Studi Pendidikan

Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Makassar (2014) kemudian dilanjutkan jenjang magister pada Program Studi Ilmu Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada (2017) menggunakan beasiswa dari Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dengan raihan predikat *Cumlaude* pada tiap jenjang pendidikan. Sejak 2018 hingga saat ini, penulis aktif sebagai dosen di Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng yang merupakan salah satu sekolah vokasi di bawah naungan Kementerian Perindustrian yang berlokasi di Kab. Bantaeng, Sulawesi Selatan pada program studi Analisis Kimia. Matakuliah. Penulis tertarik dalam bidang riset yang berfokus pada bidang katalis, energi terbarukan, dan lingkungan. Buku ber-ISBN yang telah diterbitkan penulis adalah Biokimia Senyawa Utama dalam Metabolisme. Artikel ilmiah hasil penelitian penulis dapat diakses melalui ID SINTA 6715658, ID Google Scholar LfbcCEAAAAJ.



**Dr. Lieza Corsita, S.T., M.T.** Lahir di Jayapura, 30 November 1974 bertempat tinggal di kelurahan Hedam distrik Heram Kota Jayapura. Penulis adalah Dosen dan praktisi lingkungan dengan pengalaman mengajar lebih dari dua dekade di universitas Sains dan Teknologi Jayapura (USTJ) sejak tahun 1998 di Program studi Teknik Lingkungan S-1. Pendidikan formal sarjana ditempuh di Institut Teknologi Bandung, lulus tahun 1998 dan setahun kemudian melanjutkan magister teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan lulus ditahun 2002. Penulis mendapatkan Gelar Doktor ditempuh di Institut Teknologi Bandung tahun dan lulus di tahun 2015. Selama menjadi dosen, penulis banyak menerbitkan artikel dan publikasi

yang berkaitan dengan bidang ilmu Teknik Lingkungan yang berkaitan dengan penyediaan air bersih untuk air minum, pencemaran kualitas perairan, kajian limbah B3, teknologi tepat guna dan energi terbarukan.



**Rosita Dwityaningsih, S.Si., M.Eng.** Lahir 10 Maret 1984 di Surakarta. Saat ini bertugas sebagai dosen pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap. Penulis menempuh S1 pada Program Studi Kimia, Universitas Negeri Yogyakarta dan melanjutkan pendidikannya di Program Magister Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada. Beberapa mata kuliah yang pernah diampu oleh penulis adalah Kimia Umum dan Lingkungan 2, Kimia Analisis, Dasar-dasar Perancangan Proses, Pengelolaan Limbah Domestik dan Rumah Sakit, Bioremediasi dll. Buku ajar yang pernah dihasilkan adalah Buku Ajar Kimia Analisis Lingkungan yang diterbitkan oleh Penerbit Samudera Biru.



**Juwairiah, S.Pd., M.Si.** Lahir di Medan, 02 Juli 1990 bertempat tinggal di Helvetia Timur, Medan, Sumatera Utara. Penulis adalah dosen PNS di Politeknik Negeri Media Kreatif Kampus Medan sejak 2019. Pendidikan formal sarjana diselesaikan di Universitas Negeri Medan (UNIMED) Jurusan Pendidikan Kimia dan S2 diselesaikan di Universitas Sumatera Utara (USU) Jurusan Ilmu Kimia. Selama menjadi dosen penulis sudah menghasilkan satu buku bahan ajar berjudul Kimia Terapan, beberapa publikasi artikel yang berjudul Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Metode

Fitoremediasi Pada Kawasan Percetakan Di Kota Medan  
Upaya Peningkatan Hasil Belajar Pada Materi Pokok Larutan  
Penyangga Dengan Menggunakan Model Inkuiri Terbimbing  
Berbasis Literasi Sains, dan Pengabdian Kepada Masyarakat  
berjudul Sosialisasi Hand Hygiene Dan Pelatihan Pembuatan  
Hand Sanitizer Daun Sirih (Piper Betle).



**Halijah. S.Pd., M.Pd.** Lahir di Bulukumba Tahun 1987 20 Juli 1987 bertempat tinggal di Jalan pendidikan No. 1 Desa bajiminasa Kecamatan Rilau Ale kabupaten Bulukumba Penulis adalah Dosen Tetap di Kampus Universitas Muhammadiyah Bulukumba .

Pendidikan formal sarjana diselesaikan di Universitas Negeri Alauddin Makassar (UIN Alauddin Makassar) Tahun 2010 pada Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas tarbiah dan Keguruan dan S2 diselesaikan di Universitas Negeri Makassar (UNM) Jurusan Ilmu Pendidikan Biologi. Selama menjadi dosen penulis sudah menghasilkan satu buku bahan ajar berjudul Biologi Umum, beberapa publikasi Jurnal yang berjudul Pengaruh Perbandingan Total Mikroba Kombucha dengan variasi jenis Teh dan Lama Fermentasi, Uji Efektivitas Anti Bakteri Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) Terhadap Bakteri (*Escherichia coli*)"



**Dr. Herniwanti, S.Pd., Kim.M.S.** lahir di Payakumbuh – Sumbar 20 Nopember 1974 adalah Dosen Tetap dengan Sertifikasi Kesehatan Lingkungan Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Hang Tuah Pekanbaru pada Prodi S2-Magister Kesehatan Masyarakat. Pendidikan ditempuh pertama kali pada



Diploma-3 Analis Kimia ditempuh di Politeknik ATIP Padang 1998, SI - FKIP Kimia di UT Jakarta 2006, Magister PSDAL di Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin 2008, Pendidikan S3 ditempuh di Universitas Brawijaya Malang pada Program Doktor Kajian Lingkungan dan Pembangunan 2014. Beliau banyak melakukan penelitian dan publikasi ilmiah di bidang Kesehatan Lingkungan. Pengalaman kerja Profesional selama 20 tahun (1999-2020) sebagai kepala Laboratorium Pengujian Batubara dan Lingkungan ITMG Group Kalimantan Selatan, Project Manager Environmental Monitoring Chevron Project Sumatera dan Laboratory Manager Australian Laboratory Services Indonesia Cabang Pekanbaru. Kontak Penulis di Email: herniwanti\_h@yahoo.com.,  
Website: <https://www.researchgate.net/profile/Herniwanti-Herniwanti>.

# KIMIA LINGKUNGAN

Kimia lingkungan Merupakan studi ilmiah terhadap fenomena kimia dan biokimia yang terjadi di alam. Bidang ilmu ini dapat didefinisikan sebagai studi terhadap sumber, reaksi, transpor, efek, dan nasib zat kimia di lingkungan udara, tanah, dan air; serta efek aktivitas manusia terhadapnya. Kimia lingkungan adalah ilmu antardisiplin yang memasukkan ilmu kimia atmosfer, akuatik, dan tanah, dan juga sangat bergantung dengan kimia analitik, ilmu lingkungan, dan bidang-bidang ilmu lainnya.

Penulisan buku ini dilakukan secara bersama-sama dan merupakan hasil kolaborasi penulis dari kalangan akademisi dari berbagai instansi yang menuangkan tulisannya sesuai dengan bidang keilmuan. Dalam Buku Kimia Lingkungan ini dibahas tentang pengertian dan istilah-istilah yang sering ditemukan di dalam kimia lingkungan, sifat dan komposisi air, pencemaran air, pengolahan air minum dan pengolahan limbah cair, sifat dan komposisi atmosfer, pencemaran udara, pencemaran darat, dan toksikologi lingkungan. Pembahasan ditekankan pada hubungan senyawa kimia dengan pencemaran, terutama sumber pencemar, reaksi kimia, pengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan, serta upaya menguranginya.



**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia**  
**Pondok Karisma Residence**  
**Jalan Raflesia VI D.151**  
**Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009**

ISBN 978-623-5847-93-1 (PDF)

