



# BUKU AJAR KIMIA LINGKUNGAN

Berbasis Proyek untuk  
Meningkatkan Kreativitas dan  
Karakter Konservasi



## PENULIS

Murbangun Nuswowati

Cepi Kurniawan

Sri Kadarwati

Dimas Gilang Ramadhan.



# ENVIRONMENTAL CHEMISTRY TEXTBOOK

Project Based to Enhance  
Creativity and Conservation  
Character

## WRITER

Murbangun Nuswowati

Cepi Kurniawan

Sri Kadarwati

Dimas Gilang Ramadhani.

## **BAHAN AJAR**

# **Buku Ajar : Kimia Lingkungan Berbasis Proyek untuk meningkatkan kreativitas dan karakter konservasi**

### **Penulis**

Prof. Dr. Murbangun Nuswowati, M.Si  
Cepi Kurniawan, Ph.D  
Prof. Sri Kadarwati, M.Si.

### **Editor**

Dimas Gilang Ramadhani, S.Pd., M.Pd.

---

### **Penerbit**

**UNNES PRESS**

Jl. Kelud Raya No. 2 Semarang 50237  
Telp./Fax. (024) 8415032

---





## **TEACHING MATERIALS**

# **Textbook: Project-Based Environmental Chemistry to enhance creativity and conservation character**

### **Writer**

Prof. Dr. Murbangun Nuswowati,  
M.Si.

### **Editor**

Prof. Dr. Dimas Gilang Ramadhani,  
S.Pd., M.Pd.

---

### **Publisher**

**UNNES PRESS**

Jl. Kelud Raya No. 2 Semarang 50237  
Tel./Fax. (024) 8415032

---



Hak Cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang Penerbitan. Hak Penerbitan pada UNNES PRESS.  
Dicetak oleh UNNES Press.  
Jl. Kelud Raya No. 2 Semarang 50237 Telp./Tax. (024) 8415032.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari penerbit.

## **BUKU AJAR : KIMIA LINGKUNGAN BERBASIS PROYEK UNTUK MENINGKATKAN KREATIVITAS DAN KARAKTER KONSERVASI**

Penulis: Prof. Dr. Murbangun Nuswowati, M.Si.

Cepi Kurniawan, Ph.D

Prof. Sri Kadarwati, M.Si.

Editor: Dimas Gilang Ramadhan

Lay Out: 1. Tania Prastiwi

2. Nabila Hayu Prasetiyani

Desain Sampul: Ahsanu Amala Zulkarnain

Buku Ajar : Kimia Lingkungan Berbasis Proyek untuk meningkatkan kreativitas dan karakter konservasi/ Prof. Dr. Murbangun Nuswowati, M.Si. ; -Cet.1.-  
-illus.,-Semarang: UnnesPress, 2025;

X + hal. cm.

1. Pendidikan

I. Endah Fitriani Rahayu; II. Judul

ISBN

Sanksi Pelanggaran Pasal 72 Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barangsiapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 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).

2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual, kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,00 (lima puluh juta rupiah).



Copyright © to the author and protected by Publishing Law.  
Publishing Rights to UNNES PRESS.

Printed by UNNES Press.

Jl. Kelud Raya No. 2 Semarang 50237 Tel./Tax. (024) 8415032.

It is prohibited to quote part or all of the contents of this book in any form without permission from the publisher.

## **TEXTBOOK: PROJECT-BASED ENVIRONMENTAL CHEMISTRY TO ENHANCE CREATIVITY AND CONSERVATION CHARACTER**

**AUTHOR: PROF. DR. MURBANGUN NUSWOWATI, M.SC.  
CEPI KURNIAWAN, PH.D. PROF. SRI KADARWATI,  
M.SI.**

**EDITOR: DIMAS GILANG RAMADHAN**

**LAY OUT:** 1. Tania Prastiwi  
2. Nabila Hayu Prasetyiani

**COVER DESIGN: AHSANU AMALA ZULKARNAIN**

Textbook: Project-Based Environmental Chemistry to Enhance Creativity and Conservation Character/ Prof. Dr. Murbangun Nuswowitz, M.Si. ; -1st ed.-

-illus., -Semarang: UnnesPress, 2025;

X + hal. cm.

Education

1. I. Endah Fitriani Rahayu; II. Title ISBN

Sanctions for Violation of Article 72 of Law Number 19 of 2002 Concerning Copyright

Anyone who intentionally violates and without right carries out acts as referred to in Article 2 paragraph (1) or Article 49 paragraph (1) and paragraph (2) shall be punished with imprisonment of at least 1 (one) month and/or a fine of at least Rp. 1,000,000.00 (one million rupiah), or imprisonment of at most 7 (seven) years and/or a fine of at most Rp. 5,000,000,000.00 (five billion).

Anyone who intentionally broadcasts, exhibits, distributes or sells to the public a creation or goods resulting from a copyright infringement as referred to in paragraph (1) shall be punished with imprisonment for a maximum of 5 (five) years and/or a maximum fine of IDR 50,000,000.00 (fifty million rupiah).

# INSTRUCTIONS

## Indonesian and English

This book is designed to make it easier for readers to understand the material in two languages, with Indonesian presented on the left page and English on the right page. To maximize understanding, it is recommended to read both language versions side by side, so that the meaning and terms used can be understood more deeply.



## Learning Videos

The book comes with a scannable QR code to access the related learning video. Simply point your phone's camera at the QR code, and make sure your device is connected to the internet. This feature makes interactive and immersive learning easy.



<https://tinyurl.com/276tp3a>.

Gambar 2.2 Video Fakta Tentang Udara  
Sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=txTOS3gG8I0>

# PETUNJUK PENGGUNAAN

## Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris

Buku ini dirancang untuk memudahkan pembaca memahami materi dalam dua bahasa, dengan Bahasa Indonesia disajikan pada halaman kiri dan Bahasa Inggris pada halaman kanan. Untuk memaksimalkan pemahaman, disarankan membaca kedua versi bahasa secara berdampingan, sehingga makna dan istilah yang digunakan dapat dipahami secara lebih mendalam.



## Video Pembelajaran

Buku ini dilengkapi dengan kode QR yang dapat dipindai untuk mengakses video pembelajaran terkait. Cukup arahkan kamera ponsel ke kode QR, dan pastikan perangkat terhubung ke internet. Fitur ini memudahkan pembelajaran interaktif dan mendalam.

Video Fakta Tentang Udara



<https://tinyurl.com/276qtp3a>.



Gambar 2.2 Video Fakta Tentang Udara  
Sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=rzTOS3gG8I0>

# PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku dengan judul Buku Ajar Kimia Lingkungan Berbasis Proyek untuk Meningkatkan Kreativitas dan Karakter Konservasi ini dapat tersusun dan hadir di hadapan pembaca. Buku ini disusun dengan tujuan untuk memberikan panduan pembelajaran yang integratif dan aplikatif di bidang kimia lingkungan, yang tidak hanya berorientasi pada pemahaman konsep, tetapi juga pada pengembangan kreativitas serta karakter konservasi pada peserta didik.

Seiring dengan meningkatnya tantangan global dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, diperlukan pendekatan pendidikan yang inovatif untuk menanamkan kesadaran akan pentingnya konservasi lingkungan sejak dini. Oleh karena itu, buku ini dirancang dengan pendekatan berbasis proyek yang mendorong peserta didik untuk aktif berpartisipasi dalam kegiatan eksplorasi, penelitian, dan solusi nyata terhadap permasalahan lingkungan.

Kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan dan ruang untuk perbaikan. Oleh karena itu, kami sangat terbuka terhadap saran dan masukan konstruktif dari para pembaca untuk pengembangan buku ini di masa mendatang. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang maksimal, baik bagi pendidik, peserta didik, maupun masyarakat luas yang peduli terhadap kelestarian lingkungan.

Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Leading University Project for International Cooperation (LUPIC) yang didukung oleh National Research Foundation of Korea (NRF) dan didanai oleh Ministry of Education, Korea (NRF2023H1A7A2A02000090) atas dukungan dan kontribusi mereka yang sangat berharga dalam penerbitan buku ini.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat menjadi kontribusi kecil namun berarti dalam upaya menjaga keberlanjutan bumi kita.

Hormat kami,  
Penulis



# FOREWORD

All praise be to God Almighty, whose grace and blessings have enabled the completion of this book, Project-Based Environmental Chemistry Textbook to Enhance Creativity and Conservation Character. This book is designed to provide an integrative and applicable learning guide in the field of environmental chemistry, not only focusing on conceptual understanding but also fostering creativity and a conservation-oriented mindset among students.

As global challenges in environmental sustainability continue to rise, innovative educational approaches are needed to instill early awareness of the importance of environmental conservation. Therefore, this book adopts a project-based approach, encouraging students to actively participate in exploration, research, and real-world solutions to environmental issues.

We acknowledge that this book may have limitations and room for improvement. Therefore, we welcome constructive suggestions and feedback from readers for its future development. We hope this book will provide significant benefits to educators, students, and the wider community concerned with environmental sustainability.

The authors extend their deepest gratitude to the Leading University Project for International Cooperation (LUPIC), generously supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) and funded by the Ministry of Education, Korea (NRF2023H1A7A2A02000090), for their invaluable support and contribution to this publication.

Finally, we would like to express our heartfelt appreciation to all those who have provided support, both directly and indirectly, in the process of writing this book. May this book serve as a small yet meaningful contribution to the effort of preserving our planet's sustainability.

Sincerely,  
The Authors



# DAFTAR ISI

<b>PETUNJUK PENGGUNAAN.....</b>	i
<b>PRAKATA.....</b>	iii
<b>DAFTAR ISI.....</b>	v
<b>BAB 1</b>	
<b>ILMU LINGKUNGAN, KIMIA LINGKUNGAN, DALAM PENANAMAN KREATIFITAS.....</b>	1
1.1 Ilmu lingkungan.....	3
1.2 Kimia Lingkungan.....	15
1.3 Penanaman Kreatifitas dan Karakter Konservasi.....	25
Rangkuman.....	33
Evaluasi.....	35
Daftar pustaka.....	41
<b>BAB 2</b>	
<b>UDARA, ATMOSFER, DAN PENCEMARAN UDARA.....</b>	45
2.1 Udara.....	49
2.2 Atmosfer.....	61
2.3 Pencemaran udara.....	89
Rangkuman.....	107
Evaluasi.....	111
Daftar pustaka.....	119
<b>BAB 3</b>	
<b>TANAH, GEOSFER, DAN PENCEMARAN TANAH.....</b>	121
3.1 Unsur kimia pada tanah dan geosfer.....	123
3.2 Parameter Kimia Tanah.....	144
3.3 Pencemaran tanah.....	162
Rangkuman.....	202.
Evaluasi.....	204
Daftar pustaka.....	210



# CONTENTS

<b>INSTRUCTIONS.....</b>	<b>ii</b>
<b>PREFACE.....</b>	<b>iv</b>
<b>CONTENTS.....</b>	<b>vi</b>
<b>CHAPTER 1</b>	
<b>ENVIRONMENTAL SCIENCE, ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, IN CULTIVATION OF CREATIVITY.....</b>	<b>2</b>
1.1 Environmental Science.....	4
1.2 Environmental Chemistry.....	16
1.3 Cultivation of Creativity and Conservation Character.....	26
Summary.....	34
Evaluation.....	36
Bibliography.....	42
<b>CHAPTER 2</b>	
<b>AIR, ATMOSPHERE, AND AIR POLLUTION.....</b>	<b>46</b>
2.1 Air.....	50
2.2 Atmosphere.....	62
2.3 Air pollution.....	89
Summary.....	108
Evaluation.....	112
Bibliography.....	120
<b>CHAPTER 3</b>	
<b>SOIL, GEOSPHERE, AND SOIL POLLUTION.....</b>	<b>122</b>
3.1 Chemical elements in soil and geosphere.....	124
3.2 Soil Chemical Parameters.....	145
3.3 Soil pollution.....	163
Summary.....	203
Evaluation.....	205
Bibliography.....	210



# DAFTAR ISI

**BAB 4****REAKSI KIMIA DI PERAIRAN DAN SIKLUS****HIDROLOGI.....216**

4.1 Reaksi Kimia di Perairan.....	218
4.2 Jenis-Jenis Reaksi Kimia di Perairan.....	226
4.3 Parameter Kimia Standar Kualitas Air.....	236
4.4 Polutan Kimia di Perairan.....	254
4.5 Kimia Air dan Kesadahan.....	260
Rangkuman.....	298
Evaluasi.....	294
Daftar pustaka.....	300

**BAB 5****PENCEMARAN RUMAH TANGGA DAN****PESTISIDA.....310**

5.1 Pencemaran Rumah Tangga.....	314
5.2 Pestisida.....	326
5.3 Pencemaran Pestisida.....	334
5.3 Pestisida Nabati.....	354
Rangkuman.....	364
Evaluasi.....	366
Daftar pustaka.....	370

**BAB 6****REAKSI KIMIA SAMPAH****ORGANIK DAN ANORGANIK.....382**

6.1 Definisi Sampah Organik dan Sampah Anorganik....	384
6.2 Jenis-Jenis Sampah Organik dan Anorganik.....	388
6.3 Proses Biodegradasi.....	404
6.4 Daur ulang sampah anorganik.....	408
6.5 Reaksi kimia dalam pengolahan sampah anorganik..	412
6.6 Upaya Menanggulangi Sampah Organik dan Anorganik melalui Inovasi Biofoam.....	416
Rangkuman.....	418
Evaluasi.....	420
Daftar pustaka.....	426



# CONTENTS

## CHAPTER 4

### CHEMICAL REACTIONS IN WATER AND HYDROLOGICAL CYCLE.....217

4.1 Chemical Reactions in Waters.....	219
4.2 Types of Chemical Reactions in Waters.....	227
4.3 Chemical Parameters of Water Quality Standards.....	237
4.4 Chemical Pollutants in Waters.....	255
4.5 Water Chemistry and Hardness.....	261
Summary.....	299
Evaluation.....	295
Bibliography.....	301

## CHAPTER 5

### HOUSEHOLD POLLUTION AND PESTICIDES.....311

5.1 Household Pollution.....	315
5.2 Pesticide .....	327
5.3 Pesticide Pollution.....	335
5.3 Botanical Pesticides.....	355
Summary.....	365
Evaluation.....	367
Bibliography.....	371

## CHAPTER 6

### CHEMICAL REACTIONS OF WASTE

### ORGANIC AND INORGANIC.....383

6.1 Definition of Organic Waste and Inorganic Waste....	385
6.2 Types of Organic and Inorganic Waste.....	389
6.3 Biodegradation Process.....	405
6.4 Recycling of inorganic waste.....	409
6.5 Chemical reactions in inorganic waste processing....	413
6.6 Efforts to Tackle Organic Waste and Inorganic through Biofoam Innovation.....	417
Summary.....	419
Evaluation.....	421
Bibliography.....	426

# ILMU LINGKUNGAN, KIMIA LINGKUNGAN, DAN PENANAMAN KREATIVITAS



Gambar 1. 1 Ilustrasi tanaman  
Sumber : <https://sonaeauco.co.za/our-commitment-to-sustainable-business-practice/>

## Capaian Pembelajaran

1. Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dasar ilmu lingkungan.
2. Mahasiswa dapat memahami dan menerapkan prinsip-prinsip dasar pengetahuan lingkungan.
3. Mahasiswa mampu memahami perbedaan antara ilmu lingkungan dan ekologi.
4. Mahasiswa mampu mendefinisikan kimia lingkungan dan menjelaskan peran zat kimia, baik yang alami maupun buatan, dalam ekosistem serta dampaknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.
5. Mahasiswa dapat menganalisis peran penting kimia lingkungan dalam pengembangan teknologi yang ramah lingkungan.
6. Mahasiswa mampu menjelaskan konsep nilai, kreativitas, dan karakter konservasi.

# ENVIRONMENTAL SCIENCE, ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, AND CULTIVATING CREATIVITY

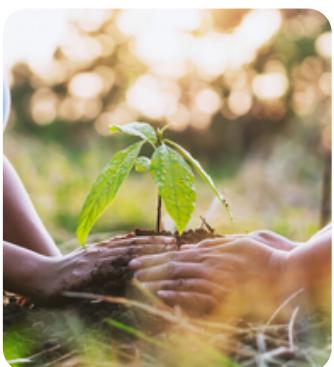


Figure 1. 1 Illustration of a plant  
Source : <https://sonaearauco.co.za/our-commitment-to-sustainable-business-practice/>

## Learning Outcomes

1. Students are able to explain the basic concepts of environmental science.
2. Students are able to understand and apply the basic principles of environmental knowledge.
3. Students are able to understand the difference between environmental science and ecology.
4. Students are able to define environmental chemistry and explain the role of chemicals, both natural and artificial, in ecosystems and their impact on human health and the environment.
5. Students are able to analyze the important role of environmental chemistry in the development of environmentally friendly technology.
6. Students are able to explain the concepts of value, creativity, and conservation character.

## Desripsi Singkat



Pada bab 1 ini akan dibahas mengenai definisi ilmu lingkungan, prinsip-prinsip pengetahuan lingkungan, perbedaan antara ilmu lingkungan dan ekologi, definisi kimia lingkungan, peran kimia lingkungan dalam mengatasi permasalahan lingkungan, definisi nilai, kreativitas, serta karakter konservasi. Materi disajikan secara jelas dan mudah dipahami.

Gambar 1. 2 Penanaman tanaman.

Sumber: biodiversidadepreservada.com.br

Pembahasan pada materi juga disertai berbagai sumber dari buku dan artikel jurnal ilmiah. Selain terdapat pembahasan materi, juga disajikan evaluasi berbentuk latihan soal yang mampu menambah pemahaman bagi mahasiswa. Dengan adanya materi ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami bagaimana ilmu lingkungan berperan penting dalam perkembangan zaman abad 21. Kemudian mahasiswa juga dapat memahami arti penting dari nilai, kreativitas dan karakter konservasi yang penting untuk diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

### 1.1 Ilmu Lingkungan

#### 1.1.1 Definisi Ilmu Lingkungan

Ilmu lingkungan merupakan ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan lingkungan sekitar. Pembahasan ilmu lingkungan lebih luas dibandingkan dengan ilmu ekologi. Ilmu lingkungan menggunakan prinsip-prinsip ekologi untuk memahami bagaimana ekosistem berfungsi, tetapi juga melibatkan disiplin lain untuk memecahkan masalah lingkungan yang kompleks, seperti perubahan iklim dan polusi. Mengutip dari (Longsiri et al., 2017; Rizki et al., 2019), bahwa ilmu lingkungan membahas terkait lingkungan dimana terdapat masalah lingkungan dan upaya untuk menyelesaikan masalah tersebut. Kemudian (Liang et al., 2018; Nunez et al., 2017), menyatakan bahwa ilmu lingkungan bertujuan untuk menyelesaikan fenomena-fenomena lingkungan yang terjadi di berbagai wilayah.

## Description -



In this chapter 1 will be discussed about the definition of environmental science, principles of environmental knowledge, differences between environmental science and ecology, definition of environmental chemistry, role of environmental chemistry in solving environmental problems, definition of values, creativity, and conservation character. The material is presented clearly and easy to understand.

Figure 1.2 Planting plants.

Source: biodiversidadepreservada.com.br

The discussion of the material is also accompanied by various sources from books and scientific journal articles. In addition to the discussion of the material, an evaluation in the form of practice questions is also presented which can increase students' understanding. With this material, students are expected to be able to understand how environmental science plays an important role in the development of the 21st century. Then students can also understand the importance of values, creativity and conservation characters that are important to apply in everyday life.

## 1.1 Environmental Science

### 1.1.1 Definition of Environmental Science

Environmental science is a science that studies the interaction between humans and the surrounding environment. The discussion of environmental science is broader than ecology. Environmental science uses ecological principles to understand how ecosystems function, but also involves other disciplines to solve complex environmental problems, such as climate change and pollution. Quoting from (Longsiri et al., 2017; Rizki et al., 2019), that environmental science discusses the environment where there are environmental problems and efforts to solve these problems. Then (Liang et al., 2018; Nunez et al., 2017), states that environmental science aims to resolve environmental phenomena that occur in various regions.

Hal ini disebabkan karena ilmu lingkungan juga mempelajari metodologi, asas lingkungan, manajemen lingkungan, masalah global, pembangunan berkelanjutan sampai pada upaya konservasi.

Ilmu lingkungan merupakan ilmu yang mendasari sebuah proses dan langkah untuk menjaga serta melestarikan lingkungan.

Dalam konteks yang lebih luas, ilmu lingkungan berperan sebagai jembatan antara pengetahuan ilmiah dan tindakan nyata untuk menciptakan masa depan yang lebih baik bagi bumi dan seluruh penghuninya. Ilmu lingkungan membantu kita mengidentifikasi dan menganalisis masalah-masalah lingkungan yang kompleks seperti perubahan iklim, polusi, kerusakan habitat, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Dengan memahami akar permasalahan, kita dapat mencari solusi yang tepat. Ilmu lingkungan menawarkan berbagai solusi inovatif untuk mengatasi masalah lingkungan. Misalnya, pengembangan teknologi ramah lingkungan, pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan, dan penerapan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan, dan penerapan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan.

Undang-undang di Indonesia yang mendasari ilmu lingkungan yaitu UU tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No.4 Tahun 1982 pasal 1: Kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan mempengaruhi kelangsungan perkehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya. Kemudian UU tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 23 Tahun 1997 pasal 1: Kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perkehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. Lingkungan Hidup pada UU Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 32 Tahun 2009 pasal 1: Kesatuan ruang dengan semua benda, daya keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perkehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain.



Gambar 1. 3. Konservasi Lingkungan  
Sumber: Image by jcomp on Freepik

This is because environmental science also studies methodology, environmental principles, environmental management, global issues, sustainable development to conservation efforts.

Environmental science is the science that underlies a process and steps to maintain and preserve the environment.



Figure 1. 3. Environmental Conservation  
Source: Image by jcomp on Freepik

In a broader context, environmental science acts as a bridge between scientific knowledge and concrete actions to create a better future for the earth and all its inhabitants. Environmental science helps us identify and analyze complex environmental problems such as climate change, pollution, habitat destruction and biodiversity loss. By understanding the root causes of these problems, we can find appropriate solutions. Environmental science offers various innovative solutions to address environmental problems. For example, the development of environmentally friendly technologies, sustainable management of natural resources, and the application of the principles of sustainable development, and the application of the principles of sustainable development.

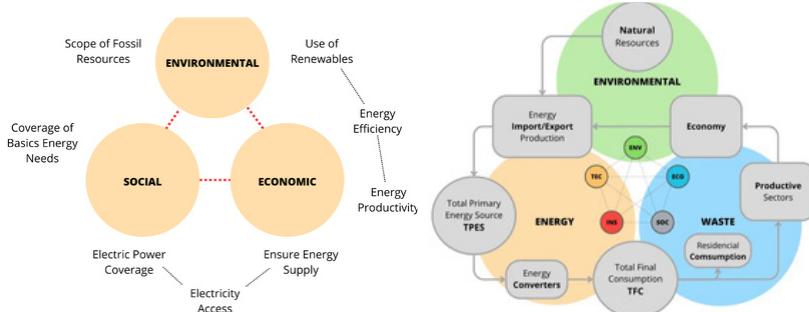
The laws in Indonesia that underlie environmental science are Law on Basic Provisions for Environmental Management No.4 of 1982 article 1: The unity of space with all objects, forces, conditions affecting the continuity of life and the welfare of humans and other living things. Then the Law on Environmental Management No. 23 of 1997 article 1: Unity of space with all objects, forces, conditions and living things, including humans and their behavior, which affect the continuity of life and the welfare of humans and other living things. Environment in the Environmental Protection and Management Law No. 32 of 2009 article 1: The unity of space with all objects, forces, conditions, and living things, including humans and their behavior, which affect nature itself, the continuity of life, and the welfare of humans and other living things. Thus, environmental science is a unity of space consisting of biotic, abiotic and cultural components including humans and their behavior that can affect nature, the survival and welfare of humans and other living things.

## 1.1.2. Prinsip-Prinsip Pengetahuan Lingkungan

Prinsip-prinsip pengetahuan lingkungan merupakan pedoman yang mendasari pembahasan tentang ilmu lingkungan dan pengetahuan lingkungan. Prinsip pengetahuan lingkungan ini dijadikan sebagai landasan untuk penerapan ilmu lingkungan secara global dalam mengatasi masalah lingkungan prinsip lingkungan meliputi keberlangsungan (sustainability), keanekaragaman hayati (biodiversity), interaksi manusia dan lingkungan (human-environment interaction), siklus alami (natural cycles), prinsip kehati-hatian (precautionary principle), pemahaman ekosistem (ecosystem understanding), pengelolaan sumber daya alam (natural resource management), serta pengurangan, pengembalian dan daur ulang (reduce, reuse, recycle). Secara rinci prinsip-prinsip pengetahuan lingkungan dijabarkan sebagai berikut:

### a. Prinsip Keberlangsungan (sustainability)

Prinsip keberlanjutan berisi tentang penjelasan akan pentingnya menjaga lingkungan dan keseimbangan antara kebutuhan manusia dengan kapasitas sumber daya alam yang memenuhinya. Prinsip keberlanjutan memiliki tujuan untuk meminimalisir penggunaan sumber daya alam secara berkelanjutan agar sumber daya alam tersebut tidak hilang atau punah sehingga dapat dinikmati hingga generasi mendatang.



Gambar 1.4 The Sustainability Concept  
Sumber : <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14049>

### b. Prinsip Keanekaragaman Hayati (biodiversity)

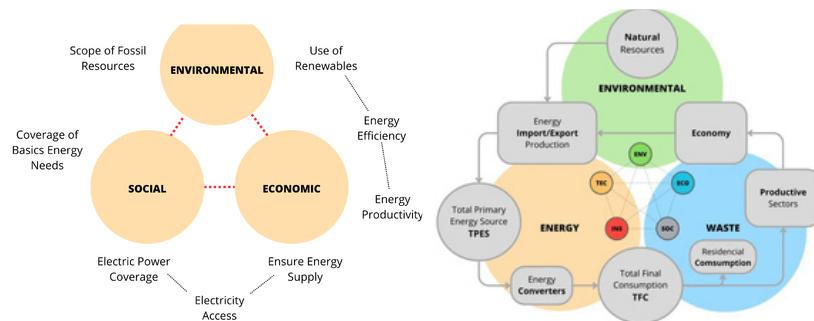
Prinsip keanekaragaman hayati berisi tentang keanekaragaman sumber daya alam yang ada di bumi meliputi sumber daya alam biotik (hewan dan tumbuhan), serta sumber daya alam abiotik (air, udara, dan tanah). Prinsip keanekaragaman hayati memiliki tujuan dan menegaskan akan pentingnya menjaga ekosistem dan lingkungan agar sumber daya yang ada di alam sekitar tetap terjaga keasliannya.

## 1.1.2. Principles of Environmental Knowledge

The principles of environmental knowledge are guidelines that underlie discussions about environmental science and environmental knowledge. These principles of environmental knowledge are used as a basis for the application of environmental science globally in addressing environmental problems. Environmental principles include sustainability, biodiversity, human-environment interaction, natural cycles, precautionary principle, ecosystem understanding, natural resource management, and reduce, reuse, recycle. In detail, the principles of environmental knowledge are described as follows:

### a. Principle of Sustainability

The principle of sustainability contains an explanation of the importance of preserving the environment and the balance between human needs and the capacity of natural resources to meet them. The principle of sustainability aims to minimize the use of natural resources sustainably so that these natural resources are not lost or extinct so that they can be enjoyed by future generations.



Gambar 1. 4 The Sustainability Concept  
Sumber : <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14049>

### b. Principle of Biodiversity

The principle of biodiversity contains the diversity of natural resources on earth including biotic natural resources (animals and plants), as well as abiotic natural resources (water, air, and soil). The principle of biodiversity has a purpose and emphasizes the importance of maintaining ecosystems and the environment so that the resources in the surrounding nature remain authentic.

### c. Prinsip Interaksi Manusia dan Lingkungan (human-environment interaction)

Prinsip interaksi manusia dan lingkungan berisi tentang penjelasan mengenai bagaimana aktivitas manusia terhadap lingkungan sekitar misalnya dalam bidang pertanian maupun industri. Prinsip ini bertujuan agar masyarakat bisa mengetahui pentingnya menjaga lingkungan dalam aktivitasnya, agar terhindar dari permasalahan lingkungan seperti pemanasan global, banjir, maupun tanah longsor



Gambar 1. 6 Tanah Longsor

Sumber: <https://www.pexels.com/id/foto/jalan-pohon-rusak-pecah-4558211/>

### d. Prinsip Siklus Alami (natural cycles)

Prinsip siklus alami ini menjelaskan tentang bagaimana siklus yang terjadi di alam misalnya siklus air, siklus karbon, dan siklus nitrogen. Hal ini sangat penting untuk memahami bagaimana komponen dalam lingkungan berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

### e. Prinsip Kehati-hatian (precautionary principle)

Prinsip kehati-hatian menjelaskan bagaimana kita mengambil langkah-langkah pencegahan untuk mencegah kerusakan lingkungan. Misalnya mengetahui bagaimana mencegah bencana banjir dan tanah longsor melalui beberapa cara seperti membuang sampah pada tempatnya dan mencegah pembakaran hutan. Prinsip kehati-hatian memiliki tujuan agar masyarakat menjadi paham dan melakukan pencegahan terhadap potensi negatif yang terjadi pada lingkungan.



Gambar 1.7. Tempat Sampah

Sumber: <https://www.pexels.com/id/foto/tempat-sampah-plastik-aneka-warna-2682683/>

### c. Principles of Human-Environment Interaction

The principle of human and environmental interaction contains an explanation of how human activities affect the surrounding environment, for example in the fields of agriculture and industry. This principle aims to enable society to know the importance of protecting the environment in its activities, in order to avoid environmental problems such as global warming, flooding, and landslides.



Figure 1. 6 Landslides

Source: <https://www.pexels.com/id-foto/jalan-pohon-rusak-pecah-4558211/>

### d. Principle of Natural Cycles

This natural cycle principle explains how cycles occur in nature, such as the water cycle, carbon cycle, and nitrogen cycle. This is very important to understand how components in the environment move from one place to another.

### e. Precautionary principle

The precautionary principle explains how we take preventive measures to prevent environmental damage. For example, knowing how to prevent floods and landslides through several methods such as disposing of garbage in its place and preventing forest fires. The precautionary principle aims for society to understand and take preventive measures against negative potentials that occur in the environment.



Figure 1.7. Trash Can

Source: <https://www.pexels.com/id-foto/tempat-sampah-plastik-aneka-warna-2682683/>

#### f. Prinsip Pemahaman Ekosistem (ecosystem understanding)

Prinsip pemahaman ekosistem menjelaskan tentang bagaimana komponen ekosistem saling bergantung satu sama lain. Prinsip pemahaman ekosistem juga menjelaskan tentang perubahan pada satu bagian dari ekosistem dapat mempengaruhi keseluruhan sistem lain. Dengan demikian pemahaman ekosistem menjadi suatu hal penting dalam langkah menjaga ekosistem dan sumber daya alam.



Gambar 1.8 Ekosistem

Sumber:

<https://australian.museum/learn/species-identification/ask-an-expert/what-is-an-ecosystem/>

#### g. Prinsip Pengelolaan Sumber Daya Alam (natural resource management)

Prinsip pengolahan sumber daya alam menjelaskan tentang pentingnya pengelolaan sumber daya alam, misalnya air, tanah, dan hutan, secara bijaksana. Dengan mengolah sumber daya alam tersebut, bertujuan untuk memastikan kelestarian dan ketersediaannya di masa depan.

#### h. Prinsip Pengurangan, Pengembalian dan Daur Ulang (reduce, reuse, recycle)

Prinsip pengurangan, pengembalian dan daur ulang menjelaskan bagaimana pentingnya mengurangi sampah atau limbah, menggunakan kembali bahan-bahan yang masih bisa digunakan, dan mendaur ulang bahan untuk mengurangi limbah pada lingkungan. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya peristiwa alam seperti pemanasan global akibat menumpuknya limbah logam pada tanah, kemudian terjadi wabah penyakit demam berdarah akibat sampah yang menumpuk dan tidak ditanggulangi. Prinsip pengurangan, pengembalian dan daur ulang sangat penting untuk mencegah peristiwa-peristiwa tersebut.



Gambar 1.9 Proses 3R Botol Plastik

Sumber :

<https://bijakberplastik.aqua.co.id/publikasi/edukasi/apa-itu-3r-reduce-reuse-recycle-pengertian-dan-contohnya/>

### f. Principles of Ecosystem Understanding

The principle of understanding the ecosystem explains how the components of the ecosystem depend on each other. The principle of understanding the ecosystem also explains how changes in one part of the ecosystem can affect the entire other system. Thus, understanding the ecosystem becomes an important thing in the steps to maintain the ecosystem and natural resources.



Figure 1.8 Ecosystem

Source:

<https://australian.museum/learn/species-identification/ask-an-expert/what-is-an-ecosystem/>

### g. Principles of Natural Resource Management

The principle of natural resource management explains the importance of managing natural resources, such as water, land, and forests, wisely. By managing these natural resources, it aims to ensure their sustainability and availability in the future.

### h. Principle of Reduction, Reuse, Recycle

The principle of reducing, returning and recycling explains how important it is to reduce waste, reuse materials that can still be used, and recycle materials to reduce waste in the environment. This aims to prevent natural events such as global warming due to the accumulation of metal waste on the ground, then an outbreak of dengue fever due to waste that is piled up and not handled. The principle of reducing, returning and recycling is very important to prevent these events.



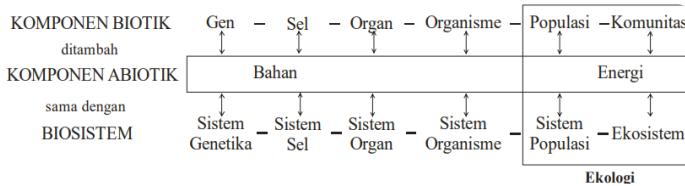
Figure 1.9 3R Process of Plastic Bottle

Source:

<https://bijakberplastik.aqua.co.id/publikasi/edukasi/apa-itu-3r-reduce-reuse-recycle-pengertian-dan-contohnya/>

### **1.1.3. Perbedaan Antara Ilmu Lingkungan & Ekologi**

Ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara organisme dengan lingkungan lainnya. Kata ekologi sendiri berasal dari dua kata dalam Bahasa Yunani, yaitu oikos (“habitat”) dan logos (“ilmu”). Ekologi adalah ilmu yang mempelajari apa yang membatasi kehidupan, bagaimana makhluk hidup memanfaatkan sumber daya alam seperti energi dan mineral, serta bagaimana makhluk hidup berinteraksi. Ekologi merupakan bidang keilmuan yang menjadi inti ilmu lingkungan. Konsep dasar yang ditemukan dalam penelitian ekologi diterapkan pada penelitian ilmu lingkungan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa ilmu lingkungan merupakan penerapan ekologi dalam pengelolaan lingkungan hidup.



Gambar 1.10. Batas Ekologi dalam Biologi (Odum, 1996)

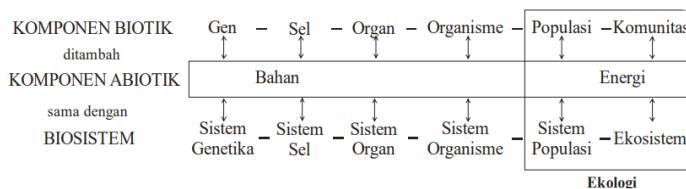
Sumber : <https://gel.geo.ugm.ac.id/>

Perbedaan ilmu lingkungan dan ekologi dapat dijelaskan berdasarkan ruang lingkup penelitiannya. Ilmu lingkungan adalah bidang yang lebih luas yang mempelajari interaksi manusia dengan lingkungan fisik, biologi, dan kimianya. Ini mencakup studi tentang dampak aktivitas manusia terhadap alam, dan penggunaan ilmu kimia, biologi, dan ekonomi untuk memahami dan mengatasi masalah lingkungan seperti perubahan iklim, polusi, dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan, hukum, sosiologi (Rahman, 2020).

Ekologi lebih spesifik dan terfokus pada interaksi antara organisme dan lingkungannya yang tidak melibatkan manusia secara langsung. Kajian utama dalam ekologi meliputi dinamika populasi, rantai makanan, siklus nutrisi, dan interaksi predator-mangsa di ekosistem alami (Cardinale et al., 2022). Ekologi memainkan peran penting dalam memahami bagaimana organisme dalam ekosistem berhubungan satu sama lain dan bagaimana perubahan keanekaragaman hayati mempengaruhi fungsi ekosistem.

### 1.1.3. Difference Between Environmental Science & Ecology

Ecology is the science that studies the interactions between organisms and their environment. The word ecology itself comes from two Greek words, namely oikos ("habitat") and logos ("science"). Ecology is the science that studies what limits life, how living things use natural resources such as energy and minerals, and how living things interact. Ecology is a scientific field that is at the heart of environmental science. The basic concepts found in ecological research are applied to environmental science research. Therefore, it can be said that environmental science is the application of ecology in environmental management.



Gambar 1.10. Batas Ekologi dalam Biologi (Odum, 1996)

Sumber : <https://gel.geo.ugm.ac.id/>

The differences between environmental science and ecology can be explained based on the scope of their research. Environmental science is a broader field that studies the interaction of humans with their physical, biological, and chemical environment. It includes the study of the impact of human activities on nature, and the use of chemistry, biology, and economics to understand and address environmental problems such as climate change, pollution, and sustainable management of natural resources, law, sociology (Rahman, 2020).

Ecology is more specific and focuses on the interactions between organisms and their environment that do not directly involve humans. The main studies in ecology include population dynamics, food chains, nutrient cycles, and predator-prey interactions in natural ecosystems (Cardinale et al., 2022). Ecology plays an important role in understanding how organisms in an ecosystem relate to each other and how changes in biodiversity affect ecosystem function.

## 1.2 Kimia Lingkungan

### 1.2.1 Definisi Kimia Lingkungan

Kimia lingkungan merupakan cabang ilmu kimia yang mempelajari fenomena kimia dan biokimia yang terjadi di alam, terutama yang berkaitan dengan bahan kimia di air, tanah, dan udara. Kimia lingkungan juga mempelajari dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Kimia lingkungan dapat didefinisikan sebagai studi tentang sumber, reaksi, transportasi, efek dan spesies kimia di lingkungan atmosfer, tanah dan air serta pengaruh aktivitas manusia dan biologis terhadapnya. Kimia lingkungan merupakan ilmu interdisipliner yang mencakup kimia udara, air, dan tanah, sangat bergantung pada kimia analitik, serta berkaitan dengan lingkungan hidup dan bidang keilmuan lainnya (Fathurahman, 2024).

Kimia lingkungan pertama kali mempelajari bagaimana cara kerja lingkungan yang tak terkontaminasi, zat kimia apa dan berapa konsentrasi yang ada secara alami, dan apa efeknya (Nuswowati et al., 2024). Latar Belakang Keberadaan kimia lingkungan dimulai pada tahun 1950an dan 1960an, ketika bahan kimia mulai digunakan dalam jumlah besar di sektor industri, pertanian, dan rumah tangga. Bahan kimia ini termasuk pestisida, deterjen berbahan dasar karet sintetis, poliester, dan banyak lagi. Akibat kejadian tersebut muncullah ilmu kimia lingkungan yang mempelajari bagaimana bahan kimia tersebut mempengaruhi kualitas udara, air, dan tanah. Kemudian, pada tahun 1970-an, ahli kimia lingkungan mulai mempelajari dampak klorofluorokarbon (CFC/klorofluorokarbon) pada lapisan ozon stratosfer. Klorofluorokarbon terdiri dari senyawa yang disebut klorin, tepung, dan karbon yang berasal dari produk rumah tangga seperti lemari es dan AC. Sejak tahun 1970-an, kimia lingkungan telah berkembang hingga mencakup bidang studi senyawa dalam air, tanah, dan sistem biologis.

## 1.2 Environmental Chemistry

### 1.2.1 Definition of Environmental Chemistry

Environmental chemistry is a branch of chemistry that studies chemical and biochemical phenomena that occur in nature, especially those related to chemicals in water, soil, and air. Environmental chemistry also studies the impact of human activities on the environment. Environmental chemistry can be defined as the study of the sources, reactions, transport, effects and species of chemicals in the atmosphere, soil and water environment and the influence of human and biological activities on them. Environmental chemistry is an interdisciplinary science that includes the chemistry of air, water and soil, relies heavily on analytical chemistry, and is related to the environment and other scientific fields (Fathurahman, 2024).

Environmental chemistry first studied how the uncontaminated environment works, what chemicals and in what concentrations are naturally present, and what their effects are (Nuswowati et al., 2024). Background The existence of environmental chemistry began in the 1950s and 1960s, when chemicals began to be used in large quantities in the industrial, agricultural, and household sectors. These chemicals included pesticides, synthetic rubber-based detergents, polyesters, and many more. As a result of this incident, environmental chemistry emerged, studying how these chemicals affect the quality of air, water, and soil. Then, in the 1970s, environmental chemists began studying the impact of chlorofluorocarbons (CFCs) on the stratospheric ozone layer. Chlorofluorocarbons consist of compounds called chlorine, starch, and carbon that come from household products such as refrigerators and air conditioners. Since the 1970s, environmental chemistry has expanded to include the study of compounds in water, soil, and biological systems.

## 1.2.2. Peran Kimia Lingkungan dalam Mengatasi Permasalahan Lingkungan

Kimia lingkungan berperan penting dalam mengatasi permasalahan lingkungan yang saat ini kerap terjadi. Kimia lingkungan berperan dalam mengatasi masalah lingkungan melalui cara-cara ilmiah dan langkah yang tepat untuk mengatasinya. Berikut beberapa peran kimia dalam mengatasi permasalahan lingkungan:



Gambar 1. 9. IPAL Laweyan Surakarta  
Sumber : <https://dimensinews.id/>

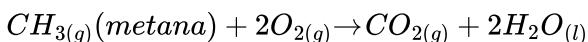


Gambar 1.10. Limbah Cair Laweyan  
Sumber : <https://pasangmata.detik.com/>

### a. Pencemaran Limbah

Menganalisis kebijakan pengelolaan sampah yang ada di berbagai negara memberikan wawasan tentang praktik pengelolaan sampah yang optimal. Di negara-negara Nordik, pendekatan holistik terhadap pengelolaan sampah yang melibatkan masyarakat telah mencapai hasil yang luar biasa. Beberapa negara, seperti Denmark dan Swedia, telah berhasil mengurangi sampah melalui program daur ulang yang komprehensif (Mazwan, 2024). Peran kimia lingkungan dalam pengolahan limbah, misalnya peran kimia lingkungan dalam pengolahan limbah industri tekstil dengan menggunakan koagulan dan flokulasi. Merawat limbah minyak bumi dengan adsorben. Tanah yang terkontaminasi hidrokarbon diremediasi secara biologis.

Pencemaran limbah cair yang terjadi di Indonesia salah satunya yaitu pencemaran limbah cair industri tekstil di kampung batik Laweyan, Surakarta (Lolo, 2020). Dalam mengatasi pencemaran limbah cair tersebut digunakan beberapa metode kimia misalnya metode oksidasi yang bertujuan untuk mengubah zat organik misalnya gas metana menjadi zat anorganik yang lebih stabil atau mengoksidasi zat-zat berbahaya. Proses oksidasi ini mengandung reaksi kimia sebagai berikut:



## 1.2.2. The Role of Environmental Chemistry in Addressing Environmental Problems

Environmental chemistry plays an important role in overcoming environmental problems that often occur today. Environmental chemistry plays a role in overcoming environmental problems through scientific methods and appropriate steps to overcome them. Here are some of the roles of chemistry in overcoming environmental problems:

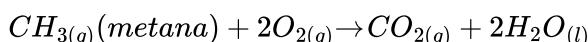


Figure 1.9. Surakarta Laweyan WWTP  
Source : <https://dimensnews.id/>



Figure 1.10. Laweyan Liquid Waste  
Source : <https://pasangmata.detik.com/>

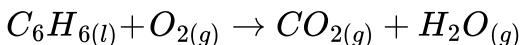
One of the liquid waste pollution that occurs in Indonesia is the liquid waste pollution of the textile industry in the Laweyan batik village, Surakarta (Lolo, 2020). In overcoming the liquid waste pollution, several chemical methods are used, for example the oxidation method which aims to convert organic substances such as methane gas into more stable inorganic substances or oxidize hazardous substances. This oxidation process contains the following chemical reactions:



### b. Pencemaran Tanah

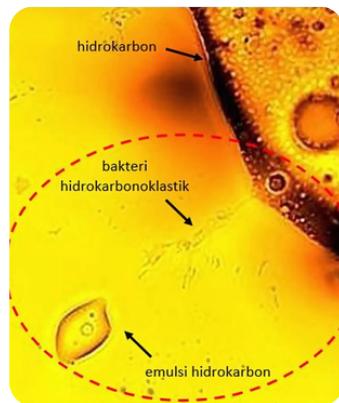
Kimia lingkungan berperan penting dalam mengatasi pencemaran tanah dengan menyediakan alat dan metode untuk mendeteksi, menganalisis, dan memitigasi kontaminan dalam tanah. Melalui pendekatan kimia lingkungan, berbagai teknik seperti fitoremediasi, bioremediasi, dan remediasi kimia telah dikembangkan untuk menetralkan atau mengurangi tingkat pencemaran. Misalnya saja penggunaan senyawa tertentu seperti bahan pengikat logam berat dapat mengurangi mobilitas dan toksitas logam berat pada tanah yang terkontaminasi (Ayangbenro & Babalola, 2020).

Selain itu, metode penghambatan katalis dan proses oksidasi lanjutan (AOPs) telah digunakan untuk mendegradasi senyawa organik berbahaya seperti pestisida dan hidrokarbon di dalam tanah (Aziz et al., 2021). Reaksi kimia yang dapat terjadi pada permukaan tanah yaitu biodegradasi. Pada reaksi ini, mikroorganisme tanah dapat memecah senyawa organik beracun, seperti hidrokarbon, melalui proses biodegradasi. Mikroba mengubah bahan pencemar menjadi produk yang lebih sederhana seperti air, karbon dioksida, atau asam organik. Contoh biodegradasi hidrokarbon yaitu:



Gambar 1. 11. *Thlaspi* sp. sebagai salah satu tumbuhan untuk teknik fitoremediasi

Sumber :  
<https://www.infoflora.ch/en/flora/thlaspi-montanum.html>



Gambar 1. 12. Bakteri hidrokarbonoklastik

Sumber :  
<http://blogs.discovermagazine.com>.

## b. Land Pollution

Environmental chemistry plays an important role in addressing soil pollution by providing tools and methods to detect, analyze, and mitigate contaminants in soil. Through the environmental chemistry approach, various techniques such as phytoremediation, bioremediation, and chemical remediation have been developed to neutralize or reduce the level of pollution. For example, the use of certain compounds such as heavy metal binders can reduce the mobility and toxicity of heavy metals in contaminated soil (Ayangbenro & Babalola, 2020).



Figure 1. 11. *Thlaspi* sp. as one of the plants for phytoremediation techniques

Source :  
<https://www.infoflora.ch/en/flora/thlaspi-montanum.html>

In addition, catalyst inhibition methods and advanced oxidation processes (AOPs) have been used to degrade hazardous organic compounds such as pesticides and hydrocarbons in the soil (Aziz et al., 2021). Chemical reactions that can occur on the soil surface are biodegradation. In this reaction, soil microorganisms can break down toxic organic compounds, such as hydrocarbons, through the biodegradation process. Microbes convert pollutants into simpler products such as water, carbon dioxide, or organic acids. Examples of hydrocarbon biodegradation are:

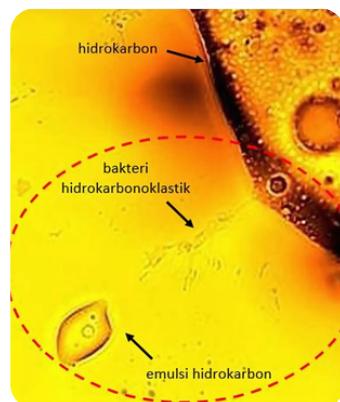
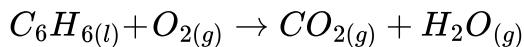


Figure 1. 12. Hydrocarbonoclastic bacteria

Source :  
<http://blogs.discovermagazine.com>.





Gambar 1. 13. Air Kali Jenes, Pasar Kliwon, Solo

Sumber : <https://solopos.espos.id/>



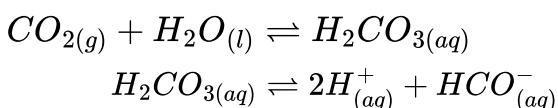
Gambar 1. 14. Petugas Dinas PUPR Kota  
Membersihkan Sungai Martapura

Sumber : <https://kalsel.antaranews.com/>

### c. Pencemaran Air

Pencemaran air terjadi ketika limbah industri dan domestik dibuang ke sungai tanpa pengolahan yang tepat. Limbah ini seringkali mengandung bahan kimia sintetis berbahaya yang dapat menyebabkan eutrofikasi. Kimia lingkungan adalah kunci untuk mengatasi masalah pencemaran air. Pemahaman mendalam tentang proses kimia yang terjadi di lingkungan perairan memungkinkan kita mengembangkan solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk menjaga kualitas air dan melindungi lingkungan. Kimia lingkungan dapat berperan dalam mengatasi pencemaran air dengan berbagai cara, terutama pemilihan koagulasi dan flokulasi yang tepat untuk mengendapkan partikel koloid dan polutan tersuspensi dalam air melalui proses flokulasi dan flokulasi berperan. Proses adsorpsi menggunakan bahan adsorben seperti karbon aktif untuk menyerap polutan organik yang mencemari air. Contoh pencemaran air di Indonesia adalah pencemaran air Sungai Martapura akibat pembuangan limbah industri (Rismawati, 2020).

Reaksi kimia yang sering terjadi di perairan salah satunya yaitu reaksi asam basa. Reaksi ini melibatkan ion hidrogen dan ion hidroksida. Reaksi asam basa ini dapat menjaga pH air tetap netral untuk keseimbangan ekosistem air. Jika pH berubah secara drastis, akibat bertambahnya  $CO_2$  yang larut dalam air akan membentuk asam karbonat ( $H_2CO_3$ ). Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:



### c. Water Pollution



Figure 1. 13. Jenes River, Pasar Kliwon,  
Solo

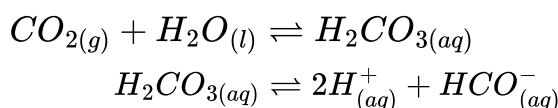
Source : <https://solopos.espos.id/>

Water pollution occurs when industrial and domestic waste is discharged into rivers without proper treatment. This waste often contains hazardous synthetic chemicals that can cause eutrophication. Environmental chemistry is key to addressing water pollution problems. A deep understanding of the chemical processes that occur in aquatic environments allows us to develop effective and sustainable solutions to maintain water quality and protect the environment. Environmental chemistry can play a role in addressing water pollution in various ways, especially the selection of the right coagulation and flocculation to precipitate colloidal particles and suspended pollutants in water through the flocculation process and flocculation plays a role. The adsorption process uses adsorbent materials such as activated carbon to absorb organic pollutants that pollute water. An example of water pollution in Indonesia is the pollution of the Martapura River due to industrial waste disposal (Rismawati, 2020).



Figure 1. 14. City PUPR Department  
Officer Cleans Martapura River  
Source : <https://kalsel.antaranews.com/>

One of the chemical reactions that often occur in water is the acid-base reaction. This reaction involves hydrogen ions and hydroxide ions. This acid-base reaction can keep the pH of the water neutral for the balance of the water ecosystem. If the pH changes drastically, the  $CO_2$  increase in dissolved in water will form carbonic acid ( $H_2CO_3$ ). The reactions that occur are as follows:



## d. Pemanasan Global

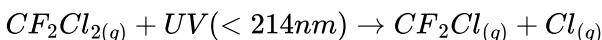
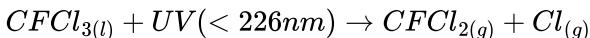
Ilmu kimia lingkungan memiliki peran yang penting dalam menjaga kelestarian ekosistem dan mengatasi permasalahan global. Peran ilmu kimia dalam mengatasi permasalahan global misalnya dengan pengembangan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (carbon capture and storage/CCS) meliputi proses absorben kimia dan mineral karbonisasi. Pemantauan udara dengan mengukur tingkat polutan udara seperti partikulat, gas rumah kaca, dan senyawa organik volatil. Permasalahan pemanasan global merupakan persoalan yang mempunyai dampak secara signifikan bagi kehidupan ekosistem. Dengan mencairnya es ini, mengakibatkan naiknya permukaan laut. Imbas naiknya permukaan air laut berakibat pada banyaknya daratan yang terkena bencana banjir (Mariana, 2023).



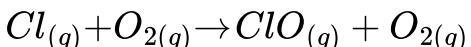
Gambar 1. 15. Ilustrasi pemutusan rantai ozon oleh molekul CFC

Sumber : <https://www.geeksforgeeks.org/ozone-layer-depletion/>

Contoh peristiwa pemanasan global yang kerap terjadi yaitu penipisan lapisan ozon. Penipisan lapisan ozon ini disebabkan oleh penggunaan aerosol dengan senyawa klorofluorokarbon (CFC). Contoh penyebab menipisnya lapisan ozon yaitu industri pertanian yang menggunakan pestisida secara berlebihan. Akibatnya zat kimia adiktif seperti methyl bromide yang terkandung dalam pestisida tersebut dapat menyebabkan penipisan lapisan ozon. Pada proses penipisan lapisan ozon terjadi reaksi sebagai berikut:



Atom klor yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan ozon melalui reaksi:



#### d. Global Warming

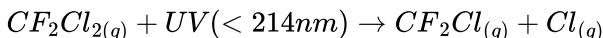
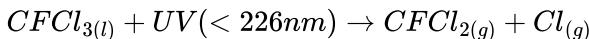
Environmental chemistry plays an important role in preserving ecosystems and addressing global problems. The role of chemistry in addressing global problems, for example, is through the development of carbon capture and storage (CCS) technology, including chemical absorbent processes and carbonized minerals. Air monitoring by measuring the levels of air pollutants such as particulates, greenhouse gases, and volatile organic compounds. The problem of global warming is a problem that has a significant impact on ecosystem life. With the melting of this ice, it causes sea levels to rise. The impact of rising sea levels has resulted in many lands being affected by flooding (Mariana, 2023).



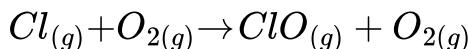
Figure 1.15 Illustration of ozone chain breakage by CFC molecules

Source : <https://www.geeksforgeeks.org/ozone-layer-depletion/>

An example of global warming that often occurs is the thinning of the ozone layer. This thinning of the ozone layer is caused by the use of aerosols with chlorofluorocarbon compounds (CFCs). An example of the cause of the thinning of the ozone layer is the agricultural industry that uses pesticides excessively. As a result, addictive chemicals such as methyl bromide contained in the pesticide can cause thinning of the ozone layer. In the process of thinning the ozone layer, the following reactions occur:



The resulting chlorine atoms then react with ozone through the reaction:



## 1.3. Penanaman Kreatifitas dan Karakter Konservasi

### 1.3.1. Pengertian Nilai dan Karakter Konservasi

Nilai merupakan keyakinan yang relatif stabil tentang model perilaku tertentu yang diinginkan dan keadaan akhir yang diinginkan oleh lingkungan. Nilai bersifat abstrak, namun dipahami dan dipahami oleh komunitas pengguna. Nilai adalah hal-hal yang menyempurnakan watak seseorang dan mempunyai bobot moral bila diintegrasikan ke dalam tindakan moral tertentu. Nilai tidak bisa dipisahkan dari karakter. Karakter menentukan pikiran dan tindakan seseorang. Karakter yang baik adalah adanya motivasi intrinsik untuk berbuat baik dalam segala situasi, sesuai dengan standar perilaku tertinggi. Karakter yang baik harus mempunyai tiga aspek: pengetahuan moral, perasaan moral, dan tindakan moral. Universitas Negeri Semarang UNNES telah merumuskan menjunjung tinggi nilai karakter yang meliputi nilai inspiratif, kemanusiaan, peduli, inovatif, kreatif, sporting dan nilai karakter integritas dan adil (Retnoningsih, 2023).

### 1.3.2. Pengertian Kreativitas

Kreativitas merupakan suatu kemampuan dalam melampaui ide-ide tradisional, aturan, pola, hubungan, atau sejenisnya, dan untuk menciptakan berbagai ide-ide baru yang bermakna, bentuk, metode, interpretasi, dan lain sebagainya. seseorang yang kreatif sering terlihat melamun atau merenung. Namun sebenarnya, lamunannya tersebut tidak kosong. Mereka sebenarnya sedang berpikir secara out of the box atau bisa dibilang sedang memikirkan apa yang kadang tidak terpikirkan oleh orang lain. Seseorang yang memiliki kreatifitas juga memiliki rasa ingin tahu yang besar serta cenderung terbuka pada informasi apa pun. Jadi, tidak heran apabila mereka kemudian mampu melihat suatu hal dengan cara pandang yang berbeda serta dapat menyelesaikan sesuatu dengan cara-cara yang unik. Meski mampu mendapatkan ide yang inovatif, tetapi seseorang kreatif memiliki sifat yang sangat terbuka dengan kritikan dan masukan orang lain. Seseorang yang kreatif cenderung menerima dengan baik kritikan serta masukan yang disampaikan oleh orang lain. Hal tersebut justru dapat menjadi bahan evaluasi atau sebagai informasi tambahan untuk kemudian menemukan ide kreatif lainnya. (wahy, 2021)

## 1.3. Cultivating Creativity and Conservation Character

### 1.3.1. Understanding Conservation Values and Characters

Values are relatively stable beliefs about certain desirable behavioral models and desired end states by the environment. Values are abstract, but are understood and understood by the user community. Values are things that perfect a person's character and have moral weight when integrated into certain moral actions. Values cannot be separated from character. Character determines a person's thoughts and actions. Good character is the existence of intrinsic motivation to do good in all situations, in accordance with the highest standards of behavior. Good character must have three aspects: moral knowledge, moral feelings, and moral actions. Semarang State University UNNES has formulated upholding character values which include inspirational values, humanity, caring, innovative, creative, sporting and character values of integrity and fairness (Retnoningsih, 2023).

### 1.3.2. Definition of Creativity

Creativity is the ability to go beyond traditional ideas, rules, patterns, relationships, or the like, and to create new, meaningful ideas, forms, methods, interpretations, and so on. A creative person is often seen daydreaming or contemplating. But actually, his daydreams are not empty. They are actually thinking out of the box or you could say they are thinking about what other people sometimes don't think of. Someone who is creative also has a great curiosity and tends to be open to any information. So, it is not surprising that they are then able to see something from a different perspective and can solve things in unique ways. Although able to get innovative ideas, a creative person has a very open nature to criticism and input from others. A creative person tends to accept criticism and input from others. This can actually be used as evaluation material or as additional information to then find other creative ideas. (wahy, 2021)

### 1.3.3. Proses Pengembangan Karakter Konservasi

Mengutip dari (Wahyunal, 2023) mengembangkan karakter konservasi dapat melalui langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengadakan kegiatan edukasi lingkungan hidup. Kegiatan ini bisa dilakukan dengan mengundang narasumber yang ahli di bidang lingkungan hidup atau mengadakan seminar, workshop, atau lokakarya tentang isu-isu lingkungan hidup.
2. Menanamkan pola hidup ramah lingkungan di sekolah. Pola hidup ramah lingkungan ini bisa meliputi hal-hal seperti menggunakan tas belanja daur ulang, menghemat air, dan memilah sampah dengan benar.
3. Melakukan kegiatan pengembangan taman bersih dan hijau. Kegiatan ini dapat dilakukan dengan cara menanam berbagai jenis tanaman yang tahan terhadap polusi dan membantu mengurangi emisi gas rumah kaca.
4. Mengadakan kegiatan sosialisasi tentang pentingnya pengelolaan lingkungan hidup kepada masyarakat sekitar sekolah. Kegiatan ini bisa dilakukan dengan mengadakan kegiatan bersih-bersih sekolah atau mengajak masyarakat untuk menanam pohon di sekitar sekolah.
5. Menggalakkan siswa untuk mengikuti kegiatan ekstrakurikuler yang berkaitan dengan lingkungan hidup. Contohnya, mengikuti kegiatan eksplorasi alam atau berkebun di sekolah.
6. Menyediakan buku-buku dan sumber-sumber belajar tentang lingkungan hidup di perpustakaan sekolah. Dengan demikian, siswa dapat memperoleh informasi yang lebih lengkap tentang isu-isu lingkungan hidup.



Kegiatan konservasi sangat prnting dilakukan, misalnya pengelolaan sumberdaya alam untuk menjamin pemanfaatannya secara bijaksana. Konservasi juga dapat dilakukan dengan tetap memelihara dan meningkatkan kualitas nilai serta keanekaragaman hayati yang ada di sekitar Kegiatan konservasi adalah upaya pelestarian lingkungan dengan tetap memerhatikan manfaat yang dapat diperoleh dari lingkungan.

Gambar 1. 16. Penanaman karakter konservasi

Sumber : Ulum, 2021

### 1.3.3. Conservation Character Development Process

Quoting from (Wahyunal, 2023), developing a conservation character can be done through the following steps:

1. Conducting environmental education activities. This activity can be done by inviting resource persons who are experts in the field of environment or holding seminars, workshops, or workshops on environmental issues.
2. Instilling an eco-friendly lifestyle in schools. This eco-friendly lifestyle can include things like using recycled shopping bags, conserving water, and sorting waste properly.
3. Conducting clean and green park development activities. This activity can be done by planting various types of plants that are resistant to pollution and help reduce greenhouse gas emissions.
4. Conducting socialization activities about the importance of environmental management to the community around the school. This activity can be done by holding school cleaning activities or inviting the community to plant trees around the school.
5. Encourage students to participate in extracurricular activities related to the environment. For example, participating in nature exploration or gardening activities at school.
6. Providing books and learning resources about the environment in the school library. Thus, students can obtain more complete information about environmental issues.



Conservation activities are very important to do, for example, natural resource management to ensure its wise use. Conservation can also be done by maintaining and improving the quality of values and biodiversity in the surrounding area. Conservation activities are efforts to preserve the environment while still paying attention to the benefits that can be obtained from the environment.

Figure 1. 16. Instilling conservation character  
Source: Ulum, 2021

Kegiatan konservasi ini harus dilaksanakan secara komprehensif, oleh pemerintah, lembaga pendidikan, masyarakat, swasta, serta lembaga swadaya masyarakat yang bersangkutan (Ulum, 2021). Hal ini menjadikan penanaman nilai, kreatifitas, dan karakter konservasi sangat penting dimiliki oleh generasi muda penerus bangsa untuk tetap mempertahankan keanekaragaman hayati serta melesetarikan sumber daya alam Indonesia yang melimpah.

### 1.3.4. Bentuk Pemecahan Masalah Lingkungan dalam Bentuk Karakter Konservasi

Bentuk pemecahan masalah lingkungan dalam bentuk karakter konservasi yaitu dengan inovasi produk briket arang dari limbah serbuk kayu. Briket berbahan dasar limbah kayu merupakan salah satu energi alternatif yang berpotensi menjadi solusi ramah lingkungan. Briket merupakan bahan bakar padat yang berasal dari biomassa seperti limbah kayu, serbuk gergaji dan limbah kayu lainnya. Alasan dipilihnya arang dari kayu bekas adalah karena sumber kayu bekas yang melimpah, sekaligus mengurangi dampak negatif penumpukan sampah dan tidak membakar udara sehingga menimbulkan emisi karbon yang tinggi. Selama produksi, limbah kayu dikeringkan, dipadatkan dan kemudian dikarbonisasi menjadi briket dengan kepadatan energi tinggi dan emisi lebih rendah dibandingkan kayu bakar konvensional.



Gambar 1.17 Produk briket arang minim asap  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Briket ini juga dapat mengurangi deforestasi karena menggantikan seluruh bahan bakar kayu. Contoh proyek serupa menunjukkan bahwa teknologi ini dapat menghasilkan energi dengan jejak karbon yang rendah. Sebuah penelitian menemukan bahwa penggunaan briket biomassa dari limbah

These conservation activities must be carried out comprehensively, by the government, educational institutions, communities, private sector, and relevant non-governmental organizations (Ulum, 2021). This makes instilling conservation values, creativity, and character very important for the younger generation of the nation's successors to continue to maintain biodiversity and preserve Indonesia's abundant natural resources.

### 1.3.4. Form of Environmental Problem Solving in the Form of Conservation Character

The form of solving environmental problems in the form of conservation character is through innovation of charcoal briquette products from sawdust waste. Briquettes made from wood waste are one of the alternative energies that have the potential to be an environmentally friendly solution. Briquettes are solid fuels derived from biomass such as wood waste, sawdust and other wood waste. The reason for choosing charcoal from used wood is because the source of used wood is abundant, while reducing the negative impact of waste accumulation and not burning air which causes high carbon emissions. During production, wood waste is dried, compacted and then carbonized into briquettes with high energy density and lower emissions than conventional firewood.



Figure 1.17 Smoke-free charcoal briquette product  
Source: Personal Documentation

These briquettes can also reduce deforestation because they replace all wood fuel. Examples of similar projects show that this technology can produce energy with a low carbon footprint. A study found that the use of biomass briquettes from waste

kayu berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 30% dibandingkan dengan bahan bakar fosil (briket limbah kayu dapat digolongkan sebagai teknologi industri yang ramah lingkungan karena mempunyai kemampuan dalam pemanfaatannya). limbah). sekaligus mengurangi dampak emisi karbon dari sumber energi).

Briket ini juga mampu mengurangi deforestasi karena menggantikan bahan bakar dari kayu utuh. Contoh produk serupa menunjukkan bahwa teknologi ini dapat menghasilkan energi dengan jejak karbon yang rendah. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh (Putra & Sari, 2021) menunjukkan bahwa pemanfaatan briket biomassa dari limbah kayu berhasil mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 30% dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Dengan demikian, proyek briket arang dari limbah kayu ini dapat dikategorikan sebagai teknologi ramah lingkungan, karena mampu memanfaatkan limbah sekaligus mengurangi dampak emisi karbon dari sumber energi. Manfaat beriket arang dari segi ekonomi, membantu masyarakat dalam meningkatkan perekonomian. Pengrajin briket arang dapat memperoleh keuntungan yang cukup besar karena bahan dasarnya berasal dari limbah organik. Selain itu, pembeli juga merasa puas dengan harga yang cukup murah dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

wood has successfully reduced greenhouse gas emissions by up to 30% compared to fossil fuels (wood waste briquettes can be classified as an environmentally friendly industrial technology because they have the ability to utilize waste). while reducing the impact of carbon emissions from energy sources).

These briquettes are also able to reduce deforestation because they replace fuel from whole wood. Examples of similar products show that this technology can produce energy with a low carbon footprint. A study conducted by (Putra & Sari, 2021) showed that the use of biomass briquettes from wood waste managed to reduce greenhouse gas emissions by 30% compared to fossil fuels. Thus, this charcoal briquette project from wood waste can be categorized as an environmentally friendly technology, because it is able to utilize waste while reducing the impact of carbon emissions from energy sources. The benefits of charcoal briquettes in terms of economy, help the community in improving the economy. Charcoal briquette craftsmen can get quite a large profit because the basic ingredients come from organic waste. In addition, buyers are also satisfied with the price which is quite cheap compared to fossil fuels.



## Rangkuman

1. Ilmu lingkungan merupakan ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan lingkungan sekitar. Pembahasan ilmu lingkungan lebih luas dibandingkan dengan ilmu ekologi.
2. Prinsip pengetahuan lingkungan ini dijadikan sebagai landasan untuk penerapan ilmu lingkungan secara global dalam mengatasi masalah lingkungan prinsip lingkungan meliputi keberlangsungan (sustainability), keanekaragaman hayati (biodiversity), interaksi manusia dan lingkungan (human-environment interaction), siklus alami (natural cycles), prinsip kehati-hatian (precautionary principle), pemahaman ekosistem (ecosystem understanding), pengelolaan sumber daya alam (natural resource management), serta pengurangan, pengembalian dan daur ulang (reduce, reuse, recycle).
3. Perbedaan ilmu lingkungan dan ekologi dapat dijelaskan berdasarkan ruang lingkup penelitiannya. Ilmu lingkungan adalah bidang yang lebih luas yang mempelajari interaksi manusia dengan lingkungan fisik, biologi, dan kimianya. Ini mencakup studi tentang dampak aktivitas manusia terhadap alam, dan penggunaan ilmu kimia, biologi, dan ekonomi
4. Kimia lingkungan merupakan cabang ilmu kimia yang mempelajari fenomena kimia dan biokimia yang terjadi di alam, terutama yang berkaitan dengan bahan kimia di air, tanah, dan udara. Kimia lingkungan juga mempelajari dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Kimia lingkungan dapat didefinisikan sebagai studi tentang sumber, reaksi, transportasi, efek dan spesies kimia di lingkungan atmosfer, tanah dan air serta pengaruh aktivitas manusia dan biologis terhadapnya.
5. Kimia lingkungan berperan penting dalam mengatasi permasalahan lingkungan yang saat ini kerap terjadi. Kimia lingkungan berperan dalam mengatasi masalah lingkungan melalui cara-cara ilmiah dan langkah yang tepat untuk mengatasinya. Peran kimia lingkungan misalnya untuk mengatasi pencemaran tanah, pencemaran air, pencemaran limbah, dan pemanasan global.
6. Nilai tidak bisa dipisahkan dari karakter. Karakter menentukan pikiran dan tindakan seseorang. Karakter yang baik adalah adanya motivasi intrinsik untuk berbuat baik dalam segala situasi, sesuai dengan standar perilaku tertinggi.
7. Kreativitas merupakan suatu kemampuan dalam melampaui ide-ide tradisional, aturan, pola, hubungan, atau sejenisnya, dan untuk menciptakan berbagai ide-ide baru yang bermakna, bentuk, metode, interpretasi.



## Summary

1. Environmental science is a science that studies the interaction between humans and the surrounding environment. The discussion of environmental science is broader than ecology.
2. This principle of environmental knowledge is used as a basis for the application of environmental science globally in addressing environmental problems. Environmental principles include sustainability, biodiversity, human-environment interaction, natural cycles, precautionary principle, ecosystem understanding, natural resource management, and reduce, reuse, recycle.
3. The difference between environmental science and ecology can be explained based on the scope of their research. Environmental science is a broader field that studies the interaction of humans with their physical, biological, and chemical environment. It includes the study of the impact of human activities on nature, and the use of chemistry, biology, and economics.
4. Environmental chemistry is a branch of chemistry that studies chemical and biochemical phenomena that occur in nature, especially those related to chemicals in water, soil, and air. Environmental chemistry also studies the impact of human activities on the environment. Environmental chemistry can be defined as the study of the sources, reactions, transport, effects and species of chemicals in the atmospheric, soil and aquatic environment and the influence of human and biological activities on them.
5. Environmental chemistry plays an important role in overcoming environmental problems that often occur today. Environmental chemistry plays a role in overcoming environmental problems through scientific methods and appropriate steps to overcome them. The role of environmental chemistry, for example, is to overcome soil pollution, water pollution, waste pollution, and global warming.
6. Values cannot be separated from character. Character determines a person's thoughts and actions. Good character is the intrinsic motivation to do good in all situations, according to the highest standards of behavior.
7. Creativity is the ability to go beyond traditional ideas, rules, patterns, relationships, or the like, and to create meaningful new ideas, forms, methods, interpretations.



## Evaluasi

1) Perhatikan wacana dibawah ini!

Di sebuah kota kecil, ada seorang warga bernama Budi yang sedang merencanakan renovasi taman kota. Dia ingin memastikan bahwa proyek renovasi tersebut memperhatikan prinsip-prinsip dasar pengetahuan lingkungan. Dalam pertemuan dengan kelompok lingkungan lokal, Budi meminta saran tentang bagaimana menjaga keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan. Salah satu anggota kelompok, Anita, memberikan saran dengan menjelaskan bahwa penting untuk mempertimbangkan bagaimana kegiatan manusia, seperti pembangunan taman, dapat mempengaruhi ekosistem di sekitar. Dia juga menyarankan untuk menggunakan prinsip pengurangan, penggunaan kembali, dan daur ulang dalam proses renovasi taman.

Apa saran Anita kepada Budi untuk memastikan proyek renovasi taman kota memperhatikan prinsip dasar pengetahuan lingkungan?

- a. Mempertimbangkan dampak pembangunan terhadap ekosistem di sekitar
- b. Menggunakan prinsip pengurangan, penggunaan kembali, dan daur ulang dalam renovasi
- c. Mengurangi jumlah spesies tanaman yang ditanam di taman
- d. Fokus pada penggunaan bahan-bahan baru dalam pembangunan
- e. Fokus pada rancangan pembangunan tanpa melihat dampaknya

2) Apa perbedaan utama antara istilah “Lingkungan” dan “Lingkungan Hidup” dalam konteks penggunaannya?

- a. “Lingkungan” hanya mencakup aspek fisik, sementara “Lingkungan Hidup” mencakup aspek kimia dan biologis
- b. “Lingkungan Hidup” sering kali digunakan untuk mengacu pada keseluruhan kondisi fisik, kimia, dan biologis, sedangkan “Lingkungan” bisa digunakan lebih spesifik
- c. “Lingkungan” lebih berfokus pada aspek biologis, sementara “Lingkungan Hidup” lebih berfokus pada aspek fisik
- d. “Lingkungan” dan “Lingkungan Hidup” memiliki makna yang berbeda dalam semua konteks
- e. “Lingkungan Hidup” hanya mencakup aspek manusia, sedangkan “Lingkungan” mencakup hewan dan tumbuhan



## Evaluation

1) Pay attention to the discourse below!

In a small town, a resident named Budi is planning to renovate a city park. He wants to make sure that the renovation project takes into account basic environmental principles. In a meeting with a local environmental group, Budi asked for advice on how to balance development with environmental preservation. One of the group members, Anita, provided advice by explaining that it is important to consider how human activities, such as park construction, can affect the surrounding ecosystem. She also suggested using the principles of reduce, reuse, and recycle in the park renovation process.

What is Anita's advice to Budi to ensure that the city park renovation project pays attention to the basic principles of environmental knowledge?

- a. Considering the impact of development on the surrounding ecosystem
- b. Using the principles of reduce, reuse, and recycle in renovation
- c. Reducing the number of plant species planted in the park
- d. Focusing on the use of new materials in construction
- e. Focusing on the design of development without considering its impact

2) What are the main differences between the terms “Environment” and “Living Environment” in the context of their use?

- a. “Environment” only covers physical aspects, while “Environment” covers chemical and biological aspects
- b. “Environment” is often used to refer to the entire physical, chemical, and biological conditions, while “Environment” can be used more specifically
- c. “Environment” focuses more on biological aspects, while “Environment” focuses more on physical aspects
- d. “Environment” and “Environment” have different meanings in all contexts
- e. “Environment” only covers human aspects, while “Environment” covers animals and plants

- 3) Manakah pernyataan berikut yang paling tepat menggambarkan pengertian kimia lingkungan?
- a.Kimia lingkungan adalah ilmu yang mempelajari reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam laboratorium untuk mengembangkan teknologi ramah lingkungan.
  - b.Kimia lingkungan adalah ilmu yang mempelajari peran bahan kimia dalam pembentukan dan pengolahan limbah industri.
  - c.Kimia lingkungan adalah ilmu yang mempelajari sumber, reaksi, transpor, efek, dan wujud zat kimia di lingkungan udara, air, dan tanah.
  - d.Kimia lingkungan adalah ilmu yang fokus pada pembuatan bahan kimia baru untuk aplikasi pertanian dan industri.
  - e.Kimia lingkungan adalah ilmu yang mengkaji dampak polusi dari bahan kimia terhadap kesehatan manusia dan ekosistem.
- 4) Seiring dengan meningkatnya penggunaan deterjen di masyarakat, banyak limbah deterjen yang dibuang ke sungai, menyebabkan pencemaran air dan kerusakan ekosistem akuatik. Bagaimana peran kimia lingkungan dalam mengatasi permasalahan ini?
- a.Mengembangkan formula deterjen baru yang lebih efisien dalam membersihkan tanpa memikirkan dampak lingkungan.
  - b.Menentukan cara terbaik untuk meningkatkan produksi deterjen dengan bahan kimia yang lebih kuat agar lebih cepat terurai di sungai.
  - c.Menganalisis senyawa kimia dalam deterjen yang sulit terurai dan merancang metode pengolahan limbah yang dapat meminimalkan dampaknya terhadap ekosistem air.
  - d.Mengabaikan pencemaran air yang disebabkan oleh deterjen karena dampaknya dianggap tidak signifikan dibandingkan dengan polutan lainnya.
  - e.Mengurangi biaya produksi dengan menggunakan bahan kimia murah tanpa memperhatikan potensi pencemaran.
- 5) Efek rumah kaca adalah salah satu masalah lingkungan global yang memerlukan berbagai strategi untuk mitigasi. Pernyataan yang tidak tepat untuk mengurangi efek rumah kaca adalah...
- a.Penerapan teknologi energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.
  - b.Penanaman pohon secara besar-besaran untuk meningkatkan penyerapan karbon dioksida dari atmosfer.
  - c.Penggunaan kendaraan berbasis bahan bakar fosil yang meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> dan polutan lainnya.

3) Which of the following statements best describes the concept of environmental chemistry?

- a. Environmental chemistry is the science that studies chemical reactions that occur in the laboratory to develop environmentally friendly technologies.
- b. Environmental chemistry is the science that studies the role of chemicals in the formation and processing of industrial waste.
- c. Environmental chemistry is the science that studies the sources, reactions, transport, effects, and forms of chemical substances in the air, water, and soil environments.
- d. Environmental chemistry is a science that focuses on the creation of new chemicals for agricultural and industrial applications.
- e. Environmental chemistry is the science that studies the impact of pollution from chemicals on human health and ecosystems.

4) As the use of detergents increases in society, a lot of detergent waste is dumped into rivers, causing water pollution and damage to aquatic ecosystems. What is the role of environmental chemistry in overcoming this problem?

- a. Developing new detergent formulas that are more efficient in cleaning without considering the environmental impact.
- b. Determine the best way to increase detergent production with stronger chemicals so that they decompose more quickly in rivers.
- c. Analyze chemical compounds in detergents that are difficult to decompose and design waste treatment methods that can minimize their impact on aquatic ecosystems.
- d. Ignoring water pollution caused by detergents because its impact is considered insignificant compared to other pollutants.
- e. Reducing production costs by using cheap chemicals without regard to potential pollution.

5) The greenhouse effect is one of the global environmental problems that requires various strategies for mitigation. The incorrect statement for reducing the greenhouse effect is...

- a. Implementation of renewable energy technologies such as solar and wind power to reduce greenhouse gas emissions.
- b. Large-scale tree planting to increase the absorption of carbon dioxide from the atmosphere.
- c. Use of fossil fuel-based vehicles which increases CO<sub>2</sub> emissions and other pollutants.

- d.Pengembangan dan penerapan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) untuk menangkap CO<sub>2</sub> dari sumber emisi.
- e.Meningkatkan efisiensi energi dalam sektor industri untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.
- 6) Pencemaran tanah akibat penggunaan herbisida dapat menimbulkan dampak negatif pada ekosistem tanah dan kesehatan manusia. Untuk mengatasi masalah ini, berbagai strategi kimia dan lingkungan digunakan.

Metode untuk mengatasi pencemaran tanah akibat herbisida:

- 1.Menggunakan bahan kimia chelating untuk mengikat herbisida dan mengurangi ketersediaannya di tanah.
- 2.Menerapkan sistem pertanian tanpa olah tanah untuk mengurangi peluruhan herbisida.
- 3.Memanfaatkan teknologi nano untuk mendeteksi dan menghilangkan herbisida dari tanah.
- 4.Menggunakan pupuk anorganik untuk menggantikan nutrisi yang hilang akibat herbisida.

Manakah dari pernyataan berikut ini yang tidak sesuai untuk mengatasi pencemaran tanah akibat herbisida?

- a. 1 dan 3
- b. 2 dan 4
- c. 1 dan 2
- d. 3 dan 4
- e. 2 dan 3

- d. Development and application of carbon capture and storage (CCS) technology to capture CO<sub>2</sub> from emission sources.
  - e. Increase energy efficiency in the industrial sector to reduce greenhouse gas emissions.
- 6) Soil pollution due to herbicide use can have negative impacts on soil ecosystems and human health. To overcome this problem, various chemical and environmental strategies are used.

Methods to overcome soil pollution due to herbicides:

- 1. Using chelating chemicals to bind herbicides and reduce their availability in the soil.
- 2. Implement a no-till farming system to reduce herbicide runoff.
- 3. Utilizing nanotechnology to detect and remove herbicides from the soil.
- 4. Use inorganic fertilizers to replace nutrients lost due to herbicides.

Which of the following statements is not appropriate for addressing soil contamination due to herbicides?

- a. 1 and 3
- b. 2 and 4
- c. 1 and 2
- d. 3 and 4
- e. 2 and 3



## Daftar Pustaka

- Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2020). A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1167. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031167>
- Aziz, H. A., Adlan, M. N., & Alias, S. S. (2021). Advanced oxidation processes (AOPs) for the removal of pesticides from soil and groundwater: An overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105598. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105598>
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., et al. (2022). Ecological impacts of biodiversity loss on ecosystem functioning. *Biodiversity and Conservation*, 31, 2022-2036. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02365-z>
- Dislhk. (2018, 6 11). Pencemaran Air di Indonesia. Retrieved from Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kabupaten Bandung: <https://dislhk.badungkab.go.id/artikel/17939-pencemaran-air-di-indonesia>
- Faradiba, N. (2021, 8 10). Cara Pengolahan Limbah Pabrik untuk Mencegah Pencemaran Lingkungan. Retrieved from Kompas.com: <https://www.kompas.com/sains/read/2021/10/08/184200223/cara-pengolahan-limbah-pabrik-untuk-mencegah-pencemaran-lingkungan>
- Fathurahman, F. H. (2024, 5 16). Kimia Lingkungan. Retrieved from Diklat Kerja Blog: <https://www.diklatkerja.com/blog/kimia-lingkungan>
- Kholida, Q. (2023, 9 14). Pengertian Pemanasan Global: Ciri, Penyebab, hingga Cara Mengatasinya. Retrieved from detikedu: <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-6931602/pengertian-pemanasan-global-ciri-penyebab-hingga-cara-mengatasinya>
- Liang, S. W., Fang, W. T., Yeh, S. C., Liu, S. Y., Tsai, H. M., Chou, J. Y., & Ng, E. (2018). A nationwide survey evaluating the environmental literacy of undergraduate students in Taiwan. *Sustainability (Switzerland)*, 10(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su10061730>
- Lolo, E. U., & Pambudi, Y. S. (2020). Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Tekstil Secara Koagulasi Flokulasi (Studi Kasus: IPAL Kampung Batik Laweyan, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia). *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3).

Longsiri, T., Vanitchung, S., Boonprakob, M., & Dahsah, C. (2017). The use of two-tier diagnostic test to explore environmental literacy. New Perspective in Science Education. <https://conference.pixel-online.net/NPSE/files/npse/ed0006/FP/3457-SERA2220-FPNPSE6.pdf>

Mariana, K. (2023). Peranan etika bisnis dalam menghadapi global warming di era globalisasi. Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 2(01), 30-35.

Mazwan, M., Mauliza, E., Sakdiah, H., Minarni, M., Amaluddin, A., & Wahidi, J. (2024). Peranan Kimia Lingkungan Dalam Pengembangan Kebijakan Geografi Berkelanjutan. Jurnal Agroristik, 7(2), 71-79.

Nouval. (2021). Kreativitas Adalah: Pengertian, Ciri, Contoh & Cara Meningkatkan! Retrieved from Gramedia Blog: <https://www.gramedia.com/literasi/kreativitas-adalah/#Pengertian Kreativitas>

Nunez, B. M., & Clores, M. B. (2017). Environmental Literacy of K-10 Student Completers. International Journal Of Environmental & Science Education, 12(5), 1195–1215.

Nurfajrina, A. (2023, 8 23). Konservasi Adalah? Ini Pengertian, Tujuan, Manfaat, Hingga Contohnya. Retrieved from deticedu: <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-6901823/konservasi-adalah-ini-pengertian-tujuan-manfaat-hingga-contohnya>

Nuswowati, M., Jabbar, A., & Taufiq, M. (2024). Buku Ajar Kimia Lingkungan: Terintegrasi Kompetensi Education for Sustainable Development (ESD). Penerbit NEM.

Pangesti, R. (2022, 2 18). 3 Dampak Pencemaran Tanah bagi Kehidupan, Apa Saja? Retrieved from deticedu: <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-5947150/3-dampak-pencemaran-tanah-bagi-kehidupan-apa-saja>

Putra, D. A., & Sari, A. (2021). Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Penggunaan Briket Biomassa dari Limbah Kayu. Jurnal Energi Terbarukan, 8(2), 45-53.

Rahman, I., Khan, M. T., & Ahmed, A. (2020). Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. *Environmental Pollution*, 110285. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.110285>

Retnoningsih, A. d., (2023). Pendidikan Konservasi. s.l.:s.n.

Rismawati, L., Priatmadi, B. J., Hidayat, A. S., & Indrayatie, E. R. (2020). Kajian Persepsi dan Perilaku Masyarakat Terhadap Pencemaran Air Sungai Martapura. *EnviroScientiae*, 16(3), 389-396.

Rizki, G. A. F., & Daniemiseno, A. G. (2019). Pengembangan model blended learning dengan pendekatan cooperative mata kuliah ilmu lingkungan. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 6(1), 42–55. <https://doi.org/10.21831/jitp.v6i1.15560>

Ulum, M. I. (2021, 2 11). Pendidikan Konservasi Magrove. Retrieved from MA HIDAYATUL MUBTADIIN: <https://mahmtm.sch.id/pendidikan-konservasi-magrove/>

Utami, M. A. (2023, 2 8). Kalender 2023 Hari Besar Lingkungan Hidup, Lengkap Contoh Visi Misi Acara Lingkungan Hidup. Retrieved from Tribun Pontianak: <https://pontianak.tribunnews.com/2023/02/08/kalender-2023-hari-besar-lingkungan-hidup-lengkap-contoh-visi-misi-acara-lingkungan-hidup?page=all>

Wahyunal, Y. (2023, 8 25). Bagaimana Cara Menanamkan Nilai-Nilai Konservasi kepada Siswa di Sekolah. Retrieved from Sematera Hijau Lestari: <https://yshl.or.id/bagaimana-cara-menanamkan-nilai-nilai-konservasi-kepada-siswa-di-sekolah/>

Wijaya, M. (2020). Kimia Lingkungan. Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.

Zhang, Q., Zhang, W., & Zhu, X. (2021). Environmental Policy and Green Innovation in the Context of Sustainable Development. *Environmental Science & Policy*, 124, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.015>

Rahman, I., Khan, M. T., & Ahmed, A. (2020). Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. *Environmental Pollution*, 110285. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.110285>

Retnoningsih, A. d., (2023). Pendidikan Konservasi. s.l.:s.n.

Rismawati, L., Priatmadi, B. J., Hidayat, A. S., & Indrayatie, E. R. (2020). Kajian Persepsi dan Perilaku Masyarakat Terhadap Pencemaran Air Sungai Martapura. *EnviroScientiae*, 16(3), 389-396.

Rizki, G. A. F., & Daniemiseno, A. G. (2019). Pengembangan model blended learning dengan pendekatan cooperative mata kuliah ilmu lingkungan. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 6(1), 42–55. <https://doi.org/10.21831/jitp.v6i1.15560>

Ulum, M. I. (2021, 2 11). Pendidikan Konservasi Magrove. Retrieved from MA HIDAYATUL MUBTADIIN: <https://mahmtm.sch.id/pendidikan-konservasi-magrove/>

Utami, M. A. (2023, 2 8). Kalender 2023 Hari Besar Lingkungan Hidup, Lengkap Contoh Visi Misi Acara Lingkungan Hidup. Retrieved from Tribun Pontianak: <https://pontianak.tribunnews.com/2023/02/08/kalender-2023-hari-besar-lingkungan-hidup-lengkap-contoh-visi-misi-acara-lingkungan-hidup?page=all>

Wahyunal, Y. (2023, 8 25). Bagaimana Cara Menanamkan Nilai-Nilai Konservasi kepada Siswa di Sekolah. Retrieved from Sematera Hijau Lestari: <https://yshl.or.id/bagaimana-cara-menanamkan-nilai-nilai-konservasi-kepada-siswa-di-sekolah/>

Wijaya, M. (2020). Kimia Lingkungan. Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.

Zhang, Q., Zhang, W., & Zhu, X. (2021). Environmental Policy and Green Innovation in the Context of Sustainable Development. *Environmental Science & Policy*, 124, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.015>

## UDARA, ATMOSFER, DAN PENCEMARAN UDARA



Gambar 2. 1 Kabut dan Pegunungan  
Sumber : Image by jcomp on Freepik

### Capaian Pembelajaran

1. Mahasiswa dapat mengkaji tentang analisis komposisi dan cemaran zat kimia yang ada di lingkungan dengan beberapa faktor yang dianalisis antara lain yang berasal dari udara, atmosfer, dan pencemaran udara, serta mengatasi dampak yang timbul akibat adanya suatu kegiatan ma  
Mahasiswa mampu menjelaskan komposisi, sifat, dan peran udara serta atmosfer dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung kehidupan di bumi dengan benar.
2. Mahasiswa mampu menganalisis berbagai fenomena pencemaran udara, termasuk sumber, dampak, dan mekanisme terjadinya, serta mengevaluasi strategi untuk pengendalian polusi udara sesuai dengan prinsip kimia lingkungan.

# AIR, ATMOSPHERE, AND AIR POLLUTION

2



Figure 2. 1 Fog and Mountains  
Source : Image by jcomp on Freepik

## Learning Outcomes

1. Students are able to examine the analysis of the composition and contamination of chemical substances in the environment with several factors analyzed, including those from the air, atmosphere, and air pollution, and overcome the impacts arising from an activity. Students are able to explain the composition, properties, and role of air and atmosphere in maintaining the balance of ecosystems and supporting life on earth correctly.
2. Students are able to analyze various phenomena of air pollution, including sources, impacts, and mechanisms of occurrence, and evaluate strategies for air pollution control in accordance with the principles of environmental chemistry.

## Capaian Pembelajaran

3. Mahasiswa mampu mengidentifikasi hubungan antara aktivitas manusia, perubahan atmosfer, dan dampaknya terhadap lingkungan global, seperti hujan asam, pemanasan global, dan penipisan ozon, serta mengusulkan solusi berbasis sains untuk mengatasi masalah tersebut.
4. Mahasiswa mampu menggunakan literatur ilmiah untuk mendukung argumen terkait isu udara, atmosfer, dan pencemaran udara serta menyampaikan solusi melalui presentasi atau laporan tertulis yang efektif.
5. Mahasiswa mampu menunjukkan kesadaran dan tanggung jawab terhadap pentingnya menjaga kualitas udara dalam kehidupan sehari-hari, baik melalui tindakan individu maupun kolektif, sebagai upaya pelestarian lingkungan dan keberlanjutan ekosistem.

## Deskripsi Singkat

Pada bab 2 ini, dibahas berbagai aspek terkait udara, atmosfer, dan pencemaran udara dalam konteks kimia lingkungan. Materi meliputi definisi udara, komposisi dan sifat-sifatnya, lapisan atmosfer, serta dampak pencemaran udara terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Penjelasan mencakup konsep teoritis, studi kasus, dan evaluasi berupa latihan soal untuk meningkatkan pemahaman pembaca. Dengan pendekatan yang sistematis dan sumber rujukan dari jurnal ilmiah, modul ini dirancang untuk mendukung pembelajaran yang relevan dan mendalam. Pembaca diharapkan dapat memahami pentingnya menjaga kualitas udara dan berkontribusi dalam upaya pelestarian lingkungan.

## Learning Outcomes

3. Students are able to identify the relationship between human activities, atmospheric changes, and their impacts on the global environment, such as acid rain, global warming, and ozone depletion, and propose science-based solutions to address these problems.
4. Students are able to use scientific literature to support arguments related to air, atmosphere and air pollution issues and convey solutions through effective presentations or written reports.
5. Students are able to demonstrate awareness and responsibility for the importance of maintaining air quality in everyday life, both through individual and collective actions, as an effort to preserve the environment and the sustainability of the ecosystem.

## Short Description

In this chapter 2, various aspects related to air, atmosphere, and air pollution in the context of environmental chemistry are discussed. The material includes the definition of air, its composition and properties, layers of the atmosphere, and the impact of air pollution on ecosystems and human health. The explanation includes theoretical concepts, case studies, and evaluations in the form of exercises to improve reader understanding. With a systematic approach and reference sources from scientific journals, this module is designed to support relevant and in-depth learning. Readers are expected to understand the importance of maintaining air quality and contributing to environmental conservation efforts.

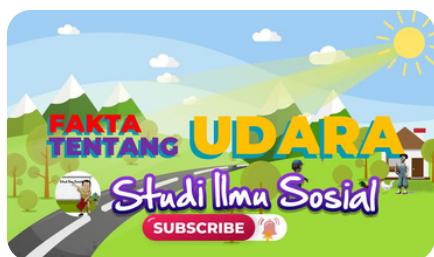
## 2.1 Udara

### 2.1.1 Pengertian Udara

Udara adalah komponen esensial bagi kehidupan di bumi, namun sering kali diabaikan karena keberadaannya yang dianggap sebagai hal biasa. Jika kita meneliti lebih jauh, udara bukanlah entitas sederhana, melainkan sistem kompleks yang terdiri dari berbagai gas yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Memahami sifat dan karakteristik udara sangat penting dalam ilmu lingkungan, atmosfer, dan berbagai disiplin ilmu lainnya, karena hal ini membantu kita memahami bagaimana udara berinteraksi dengan faktor lain di bumi dan mempengaruhi kehidupan.

Sebagai salah satu komponen lingkungan abiotik, udara sangat penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Manusia, hewan, dan tumbuhan semua bergantung pada udara untuk kelangsungan hidup mereka, terutama untuk proses pernapasan. Kualitas udara yang baik diperlukan untuk menjaga kesehatan manusia dan menciptakan lingkungan yang seimbang. Oleh karena itu, menjaga kualitas udara harus menjadi tanggung jawab bersama setiap individu di bumi agar keberlanjutan lingkungan dan kesehatan tetap terjaga.

### Video Fakta Tentang Udara



<https://tinyurl.com/276tp3a>



Gambar 2. 2 Video Fakta Tentang Udara

Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=rTO3EbG4Hc0>

## 2.1 Air

### 2.1.1 Definition of Air

Air is an essential component for life on earth, but it is often overlooked because its existence is considered ordinary. If we examine further, air is not a simple entity, but a complex system consisting of various gases that play an important role in maintaining the balance of the ecosystem. Understanding the nature and characteristics of air is essential in environmental science, atmospheric science, and various other disciplines, because it helps us understand how air interacts with other factors on earth and affects life.

As one of the abiotic environmental components, air is very important for human life and other living things. Humans, animals, and plants all depend on air for their survival, especially for the respiratory process. Good air quality is needed to maintain human health and create a balanced environment. Therefore, maintaining air quality must be a shared responsibility of every individual on earth so that environmental sustainability and health are maintained.

### Video Facts About Air



<https://tinyurl.com/276tp3a>



Figure 2. 2 Video Facts About Air

Source : <https://www.youtube.com/watch?v=rTO3EbG4Hc0>

## 2.1.2 Komposisi Udara

Menurut (Morin, 2022) macam-macam kandungan gas yang penyusun udara terdiri dari:

### a) Oksigen ( $O_2$ )

Selain fungsi utamanya dalam mendukung kehidupan, oksigen juga digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Salah satu contoh penggunaannya adalah dalam proses produksi baja dan pengelasan, di mana oksigen membantu meningkatkan efisiensi pembakaran. Ketika oksigen digunakan dalam sistem industri ini, ia meningkatkan suhu pembakaran sehingga memungkinkan peleburan logam yang lebih cepat dan lebih efisien.

Secara fisik, oksigen mengembun menjadi cairan pada suhu sekitar  $-182,95^{\circ}C$  dan membeku menjadi zat padat pada suhu  $-218,79^{\circ}C$ . Mengingat sifat reaktifnya, oksigen harus dijauhkan dari bahan yang mudah terbakar karena dapat mempercepat reaksi kimia, termasuk pembakaran. Kombinasi antara pentingnya oksigen dalam proses biologis dan aplikasinya dalam industri membuat unsur ini menjadi salah satu elemen paling vital di bumi.

### b) Nitrogen (N)

Nitrogen (N) adalah unsur kimia yang terletak di kelompok 15 dalam tabel periodik, dengan nomor atom 7 dan simbol N. Unsur ini biasanya ditemukan dalam bentuk gas diatomik yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak memiliki rasa. Salah satu sifat unik nitrogen adalah stabilitasnya yang tinggi, membuatnya sangat sulit bereaksi dengan unsur atau senyawa lain. Sekitar 78,08% dari atmosfer Bumi terdiri dari nitrogen, menjadikannya gas yang paling melimpah. Dalam kondisi tertentu, nitrogen dapat mengembun pada suhu 77 K ( $-196^{\circ}C$ ) dan membeku pada suhu 63 K ( $-210^{\circ}C$ ).

Salah satu aplikasi penting nitrogen adalah dalam pembuatan amonia ( $NH_3$ ), yang merupakan bahan baku untuk berbagai senyawa kimia lainnya. Amonia digunakan secara luas dalam industri untuk memproduksi pupuk, pewarna, bahan peledak, dan produk kimia lainnya. Dalam pembuatan pupuk, nitrogen berfungsi sebagai unsur penting yang mendukung pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan kesuburan tanah. Hal ini menunjukkan bahwa nitrogen tidak hanya vital bagi atmosfer, tetapi juga memiliki peran krusial dalam pertanian dan ketahanan pangan.

## 2.1.2 Air Composition

According to (Morin, 2022) the various gas contents that make up air consist of:

### a) Oxygen ( $O_2$ )

In addition to its primary function in supporting life, oxygen is also used in a variety of industrial applications. One example of its use is in the steelmaking and welding processes, where oxygen helps increase combustion efficiency. When oxygen is used in these industrial systems, it increases the combustion temperature, allowing for faster and more efficient melting of metals.

Physically, oxygen condenses into a liquid at about  $-182.95^{\circ}C$  and freezes into a solid at  $-218.79^{\circ}C$ . Due to its reactive nature, oxygen must be kept away from flammable materials because it can accelerate chemical reactions, including combustion. The combination of oxygen's importance in biological processes and its applications in industry make it one of the most vital elements on earth.

### b) Nitrogen (N)

Nitrogen (N) is a chemical element located in group 15 of the periodic table, with atomic number 7 and symbol N. This element is usually found as a colorless, odorless, and tasteless diatomic gas. One of the unique properties of nitrogen is its high stability, making it very difficult to react with other elements or compounds. Approximately 78.08% of the Earth's atmosphere consists of nitrogen, making it the most abundant gas. Under certain conditions, nitrogen can condense at a temperature of 77 K ( $-196^{\circ}C$ ) and freeze at a temperature of 63 K ( $-210^{\circ}C$ ).

One of the important applications of nitrogen is in the manufacture of ammonia ( $NH_3$ ), which is a raw material for various other chemical compounds. Ammonia is widely used in industry to produce fertilizers, dyes, explosives, and other chemical products. In the manufacture of fertilizers, nitrogen functions as an important element that supports plant growth by increasing soil fertility. This shows that nitrogen is not only vital for the atmosphere, but also has a crucial role in agriculture and food security.

### c) Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ )

Karbon dioksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu atom karbon yang terikat dengan dua atom oksigen melalui ikatan kovalen. Konsentrasi rata-rata karbon dioksida di atmosfer Bumi adalah sekitar 387 ppm, meskipun angka ini dapat bervariasi tergantung pada lokasi geografis dan waktu. Karbon dioksida dihasilkan melalui proses respirasi oleh semua organisme hidup, termasuk hewan, tumbuhan, fungi, dan mikroorganisme, dan sebaliknya, digunakan oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis untuk memproduksi oksigen dan glukosa.

Karbon dioksida juga memainkan peran penting dalam pernapasan manusia. Selama proses pernapasan, gas ini dihasilkan sebagai produk sampingan. Selain itu, saat membuka kemasan minuman bersoda, karbon dioksida memberikan suara mendesis yang khas akibat penguapan gas. Gas ini esensial untuk fotosintesis, di mana tumbuhan menggunakan gas untuk menghasilkan makanan. Karbon dioksida dalam atmosfer berfungsi sebagai gas rumah kaca yang menyimpan panas yang dipancarkan oleh Bumi. Tanpa keberadaan gas ini, suhu permukaan Bumi akan sangat dingin. Sebaliknya, jika konsentrasi karbon dioksida terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan pemanasan global dan dampak iklim yang signifikan.

### d) Argon (Ar)

Argon adalah unsur kimia yang tergolong dalam kelompok gas mulia dalam tabel periodik, ditandai dengan simbol Ar dan memiliki nomor atom 18. Sebagai gas mulia ketiga, argon terdapat pada periode 8 dalam tabel periodik. Meskipun tidak reaktif dan stabil, argon menyumbang sekitar 1% dari keseluruhan atmosfer Bumi, menjadikannya salah satu komponen penting dalam campuran gas yang kita hirup setiap hari. Keberadaan argon dalam atmosfer sebagian besar dihasilkan melalui proses peluruhan radioaktif kalium dan pemisahan dari gas lainnya dalam proses industri. Argon juga memiliki aplikasi yang sangat luas dalam berbagai bidang industri. Gas ini sering digunakan dalam pengelasan untuk melindungi logam cair dari kontaminasi oksigen dan nitrogen, yang dapat merusak kualitas sambungan las. Selain itu, argon digunakan dalam lampu pijar dan tabung neon untuk menciptakan cahaya.

### a) Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida adalah gas yang sangat berbahaya, tidak memiliki warna atau bau, dan memiliki berat jenis yang sedikit lebih ringan dibandingkan dengan udara.

### c) Carbon Dioxide ( $\text{CO}_2$ )

Carbon dioxide is a chemical compound consisting of one carbon atom bonded to two oxygen atoms by covalent bonds. The average concentration of carbon dioxide in the Earth's atmosphere is about 387 ppm, although this number can vary depending on geographic location and time. Carbon dioxide is produced through the process of respiration by all living organisms, including animals, plants, fungi, and microorganisms, and in turn, is used by plants in the process of photosynthesis to produce oxygen and glucose.

Carbon dioxide also plays an important role in human respiration. During the respiration process, this gas is produced as a by-product. In addition, when opening a package of carbonated drinks, carbon dioxide makes a distinctive hissing sound due to the evaporation of the gas. This gas is essential for photosynthesis, where plants use it to produce food. Carbon dioxide in the atmosphere functions as a greenhouse gas that stores heat emitted by the Earth. Without this gas, the Earth's surface temperature would be very cold. Conversely, if the concentration of carbon dioxide is too high, this can cause global warming and significant climate impacts.

### d) Argon (Ar)

Argon is a chemical element belonging to the noble gas group in the periodic table, marked with the symbol Ar and having the atomic number 18. As the third noble gas, argon is found in period 8 of the periodic table. Although unreactive and stable, argon contributes about 1% of the Earth's atmosphere, making it one of the important components in the mixture of gases that we breathe every day. The presence of argon in the atmosphere is mostly produced through the radioactive decay of potassium and its separation from other gases in industrial processes. Argon also has very wide applications in various industrial fields. This gas is often used in welding to protect molten metal from oxygen and nitrogen contamination, which can damage the quality of the weld joint. In addition, argon is used in incandescent lamps and neon tubes to create light.

### a) Carbon Monoxide (CO)

Carbon monoxide is a very dangerous gas, has no color or odor, and has a specific gravity slightly lighter than air.

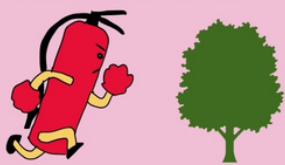
Gas ini cenderung menguap perlahan ke atmosfer, dan dalam kondisi tertentu, ia dapat membentuk CO<sub>2</sub> untuk mencapai stabilitas dalam fase gasnya. Karbon monoksida tidak stabil dan bersifat reaktif, sehingga dapat dengan mudah berinteraksi dengan berbagai unsur lain di sekitarnya. Kehadirannya di lingkungan sering kali disebabkan oleh proses pembakaran yang tidak sempurna, seperti yang terjadi pada kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, dan beberapa proses industri.

#### f) Gas Lain dalam Udara

Gas-gas seperti kripton (Kr), neon (Ne), dan xenon (Xe) termasuk dalam kategori gas mulia yang sangat stabil dan sulit bereaksi dengan unsur-unsur lain. Sifat ini membuat mereka ideal untuk berbagai aplikasi, salah satunya adalah pengisian bohlam, seperti lampu pijar, di mana neon dan argon sering digunakan untuk memberikan cahaya yang efisien dan tahan lama. Selain itu, gas helium (He) dan hidrogen (H) dikenal sebagai gas yang sangat ringan, sehingga cenderung berada di lapisan atmosfer yang lebih tinggi. Karena sifatnya yang ringan, gas-gas ini sering dimanfaatkan sebagai pengisi balon untuk memberikan daya apung.

### Video Komposisi Udara

Karbon dioksida



<https://tinyurl.com/55942jpv>



Gambar 2. 3 Video Komposisi Udara  
Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=RK62bmCQj9Q>

### 2.1.3 Jenis Udara

Udara, sebagai campuran berbagai gas, memiliki sifat yang dinamis dan terpengaruh oleh berbagai faktor lingkungan. Dalam konteks ini, udara dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama, yaitu udara ambien dan udara emisi. Masing-masing jenis udara ini memiliki karakteristik dan dampak yang berbeda terhadap kesehatan dan lingkungan. Pemahaman yang mendalam tentang kedua jenis udara ini sangat penting untuk menjaga kualitas udara dan mencegah pencemaran.

This gas tends to evaporate slowly into the atmosphere, and under certain conditions, it can form CO<sub>2</sub> to achieve stability in its gas phase. Carbon monoxide is unstable and reactive, so it can easily interact with various other elements around it. Its presence in the environment is often caused by incomplete combustion processes, such as those that occur in motor vehicles, fossil fuel combustion, and some industrial processes.

f) Other Gases in the Air Gases such as krypton (Kr), neon (Ne), and xenon (Xe) are included in the category of noble gases which are very stable and difficult to react with other elements. This property makes them ideal for various applications, one of which is filling light bulbs, such as incandescent lamps, where neon and argon are often used to provide efficient and long-lasting light. In addition, helium (He) and hydrogen (H) are known as very light gases, so they tend to be in the higher layers of the atmosphere. Because of their light nature, these gases are often used as balloon fillers to provide buoyancy.

### Air Composition Video

Karbon dioksida



<https://tinyurl.com/55942jpv>



Figure 2. 3 Air Composition Video  
Source : <https://www.youtube.com/watch?v=RK62bmCOj9Q>

### 2.1.3 Air Types

Air, as a mixture of various gases, has dynamic properties and is affected by various environmental factors. In this context, air can be categorized into two main types, namely ambient air and emission air. Each of these types of air has different characteristics and impacts on health and the environment. A thorough understanding of these two types of air is essential to maintain air quality and prevent pollution.

### a) Udara Ambien

Udara ambien adalah udara yang kita hirup setiap saat. Ini adalah udara bebas yang terdapat di permukaan bumi, dan dapat memengaruhi kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya. Menurut Arinto Yudi Ponco (2016), udara ambien dapat berdampak langsung maupun tidak langsung terhadap perubahan iklim global. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara ambien didefinisikan sebagai udara yang berada di lapisan troposfer dalam wilayah Republik Indonesia, yang diperlukan untuk kehidupan dan memiliki pengaruh terhadap kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya.

### b) Udara Emisi

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, udara emisi diartikan sebagai zat, energi, dan atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan masuk ke dalam udara ambien, baik yang memiliki potensi sebagai pencemar maupun yang tidak. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas manusia, baik industri maupun domestik, dapat memberikan kontribusi terhadap kualitas udara yang kita hirup, dan pentingnya pengelolaan emisi untuk menjaga kesehatan lingkungan dan masyarakat (Fitriana, 2022).

## 2.1.4 Sifat-sifat Udara

Udara adalah campuran gas yang mengisi ruang kosong di sekitar kita. Meskipun tidak terlihat, keberadaan udara dapat dirasakan dalam berbagai cara. Misalnya, saat seseorang berlari, ia merasakan gesekan dengan udara yang dilaluinya. Selain itu, saat bernapas, kita secara teratur menghirup udara dari luar dan menghembuskan udara dari dalam tubuh melalui sistem pernapasan. Meskipun tidak tampak secara kasat mata, udara memiliki massa dan berat, yang berarti ia dapat memberikan tekanan. Konsep dasar mengenai udara meliputi massa, massa jenis, aliran, dan tekanan udara, yang semuanya penting dalam memahami sifat-sifat udara tersebut (Palupi, 2014). Beberapa sifat utama udara antara lain:

1. Udara Memenuhi Ruang artinya udara selalu mengisi ruang di sekitarnya, termasuk ruangan, atmosfer, dan ruang terbuka. Ini menjadikannya komponen penting dalam lingkungan.
2. Udara Memiliki Massa artinya meskipun tidak dapat dilihat, udara memiliki massa, yang berarti ia memiliki berat dan dapat mempengaruhi benda-benda di sekitarnya.

### a) Ambient Air

Ambient air is the air we breathe all the time. It is free air found on the earth's surface, and can affect the health of humans and other living things. According to Arinto Yudi Ponco (2016), ambient air can have a direct or indirect impact on global climate change. Based on Government Regulation No. 41 of 1999 concerning Air Pollution Control, ambient air is defined as air in the troposphere in the territory of the Republic of Indonesia, which is necessary for life and has an impact on the health of humans and other living things.

### b) Air Emissions

According to Government Regulation of the Republic of Indonesia No. 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management, air emissions are defined as substances, energy, and/or other components produced from an activity and entering the ambient air, whether they have the potential to be pollutants or not. This shows that human activities, both industrial and domestic, can contribute to the quality of the air we breathe, and the importance of emission management to maintain environmental and public health (Fitriana, 2022).

## 2.1.4 Properties of Air

Air is a mixture of gases that fills the empty space around us. Although invisible, the presence of air can be felt in various ways. For example, when someone runs, they feel friction with the air they pass through. In addition, when breathing, we regularly inhale air from the outside and exhale air from inside the body through the respiratory system. Although invisible to the naked eye, air has mass and weight, which means it can exert pressure. Basic concepts about air include mass, density, flow, and air pressure, all of which are important in understanding the properties of air (Palupi, 2014). Some of the main properties of air include:

Air Fills Space means that air always fills the space around it, including rooms, atmosphere, and open spaces. This makes it an important component in the environment.

1. Air Has Mass means that even though it cannot be seen, air has mass, which means it has weight and can affect objects around it.

3. Udara Memiliki Tekanan artinya udara dapat menghasilkan tekanan, yang disebabkan oleh berat kolom udara di atasnya. Tekanan ini dapat diukur dan berpengaruh terhadap berbagai fenomena fisik, seperti cuaca dan iklim.
4. Udara Dapat Mengalir artinya udara tidak statis; ia dapat bergerak dan mengalir. Aliran udara ini penting untuk berbagai proses, termasuk transportasi panas dan kelembapan di atmosfer.

## 2.1.5 Manfaat Udara Bersih

Udara merupakan elemen vital yang dibutuhkan oleh semua makhluk hidup untuk bernapas. Kualitas udara yang kita hirup berpengaruh langsung terhadap kesehatan dan kualitas hidup. Udara yang bersih, yang bebas dari pencemaran seperti debu, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), dan berbagai gas berbahaya lainnya, sangat penting bagi kelangsungan hidup dan kesehatan manusia. Kehadiran udara bersih tidak hanya mendukung fungsi pernapasan yang sehat, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem serta mendukung keberlangsungan berbagai spesies di Bumi (Amalia et al., 2022). Berikut adalah beberapa manfaat dari udara bersih bagi kesehatan:

- a) Menjaga Kesehatan Saluran Pernapasan,
- b) Mengurangi Risiko Penyakit Kronis,
- c) Memperpanjang Usia,
- d) Meningkatkan Stamina dan Konsentrasi,
- e) Meningkatkan Suasana Hati

## 2.1.6 Kualitas Udara

Udara ambien merujuk pada udara yang terdapat di permukaan bumi dalam lapisan troposfer, yaitu lapisan atmosfer yang memiliki ketebalan sekitar 16 kilometer dari permukaan bumi. Udara ini sangat penting karena tidak hanya dibutuhkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya, tetapi juga berperan dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Kualitas udara ambien memiliki pengaruh signifikan terhadap kesehatan dan kenyamanan masyarakat. Oleh karena itu, pemerintah melalui Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 menetapkan Baku Mutu Udara Ambien Nasional sebagai standar batas maksimum untuk kualitas udara. Penetapan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran udara yang dapat merugikan kesehatan masyarakat.

3. Air Has Pressure means that air can produce pressure, which is caused by the weight of the column of air above it. This pressure can be measured and affects various physical phenomena, such as weather and climate.
4. Air Can Flow means that air is not static; it can move and flow. This air flow is important for many processes, including the transport of heat and moisture in the atmosphere.

## 2.1.5 Benefits of Clean Air

Air is a vital element needed by all living things to breathe. The quality of the air we breathe directly affects our health and quality of life. Clean air, which is free from pollution such as dust, carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), nitrogen dioxide ( $\text{NO}_2$ ), and various other harmful gases, is very important for human survival and health. The presence of clean air not only supports healthy respiratory function but also plays an important role in maintaining the balance of the ecosystem and supporting the sustainability of various species on Earth (Amalia et al., 2022). Here are some of the health benefits of clean air:

- a) Maintaining Respiratory Tract Health,
- b) Reducing the Risk of Chronic Diseases,
- c) Extending Life,
- d) Increasing Stamina and Concentration,
- e) Improving Mood

## 2.1.6 Air Quality

Ambient air refers to the air found on the earth's surface in the troposphere, which is a layer of the atmosphere that is about 16 kilometers thick from the earth's surface. This air is very important because it is not only needed by humans and other living things, but also plays a role in maintaining environmental balance. Ambient air quality has a significant impact on public health and comfort. Therefore, the government through Government Regulation No. 41 of 1999 stipulates the National Ambient Air Quality Standard as the maximum limit standard for air quality. This determination aims to prevent air pollution that can harm public health.

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien Nasional

Tingkat	Pengaruh	Konsentrasi Pencemar	Bpi
Merugikan	Iritasi Indera dan merusak tanaman	SO <sub>2</sub> Indeks H <sub>2</sub> S Pengoksida	1 0,15
Serius	Membahayakan fungsi tubuh	CO SO <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	120 5 5
Keadaan darurat	Sakit akut dan kematian	CO SO <sub>2</sub>	240 10

Sumber: Dinus, 2018

## 2.1.7 Meningkatkan Udara Bersih di Sekitar



Gambar 2. 4 Poster Himbauan untuk Menjaga Kualitas Udara

Sumber: Indonesiabaik.id

dalam menjaga kualitas udara agar tetap bersih. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan kualitas udara di sekitar kita.

Upaya untuk memperbaiki kualitas udara dapat dimulai dari diri kita sendiri, terutama dalam lingkup kecil seperti keluarga, dengan langkah-langkah yang mudah dan sederhana. Dengan melakukan tindakan-tindakan kecil ini, kita dapat berkontribusi

## 2.2 Atmosfer

### 2.2.1 Pengertian Atmosfer

Atmosfer adalah komponen vital yang memungkinkan kehidupan di Bumi terus berlangsung. Istilah "atmosfer" berasal dari dua kata Yunani: "atmos" yang berarti udara atau gas, dan "sphaira" yang berarti lapisan. Dengan demikian, atmosfer merupakan lapisan gas yang mengelilingi bumi, berfungsi sebagai pelindung dan mempertahankan kehidupan. Atmosfer ini disatukan oleh gaya gravitasi bumi, yang menjaga berbagai unsur gas tetap berada di sekitarnya. Fungsi utama atmosfer adalah melindungi planet kita dari kondisi luar angkasa yang kosong dan tidak memiliki kehidupan.

**Tabel 2.1** Baku Mutu Udara Ambien Nasional

Tingkat	Pengaruh	Konsentrasi Pencemar	Bpi
Merugikan	Iritasi Indera dan merusak tanaman	SO <sub>2</sub> Indeks H <sub>2</sub> S Pengoksida	1 0,15
Serius	Membahayakan fungsi tubuh	CO SO <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	120 5 5
Keadaan darurat	Sakit akut dan kematian	CO SO <sub>2</sub>	240 10

Sumber: Dinus, 2018

## 2.1.7 Improving Clean Air in the Surrounding Area



Figure 2.4 Appeal Posters to Maintain Air Quality

Source: Indonesiabaik.id

Efforts to improve air quality can start from ourselves, especially in small circles such as families, with easy and simple steps. By doing these small actions, we can contribute in maintaining clean air quality. Here are some steps that can be taken to improve the air quality around us.

## 2.2 Atmosphere

### 2.2.1 Definition of Atmosphere

The atmosphere is a vital component that allows life on Earth to continue. The term "atmosphere" comes from two Greek words: "atmos" meaning air or gas, and "sphaira" meaning layer. Thus, the atmosphere is a layer of gas that surrounds the earth, functioning as a protector and sustaining life. The atmosphere is held together by the earth's gravitational force, which keeps the various gas elements in place. The main function of the atmosphere is to protect our planet from the empty and lifeless conditions of outer space.

Ia juga mengatur dan menstabilkan kondisi lingkungan di bumi yang memungkinkan makhluk hidup, termasuk manusia, dapat beraktivitas dengan baik (Nadia & Fauzi, 2021).

Selain itu, keberadaan atmosfer menjadi faktor pembeda Bumi dengan benda langit lainnya, seperti bulan yang tidak memiliki atmosfer. Tanpa atmosfer, Bumi akan terkena radiasi matahari langsung dan tidak memiliki lapisan pelindung yang dapat mempertahankan suhu serta gas-gas penting bagi kehidupan. Suhu di atmosfer sendiri sangat bervariasi tergantung pada intensitas radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi. Oleh karena itu, suhu di berbagai wilayah di bumi dapat berubah secara signifikan sepanjang hari dan tahun, bergantung pada rotasi dan revolusi bumi terhadap matahari (Fadholi, 2013).

Kelembaban udara di atmosfer juga merupakan aspek yang penting. Kelembaban mengacu pada jumlah uap air yang terkandung dalam udara, yang sangat mempengaruhi proses pembentukan awan dan presipitasi. Presipitasi adalah proses di mana uap air di atmosfer mengkondensasi menjadi tetesan air atau kristal es, yang kemudian jatuh ke permukaan bumi sebagai hujan, salju, atau bentuk lainnya. Proses ini sangat penting bagi siklus hidrologi, yang mendistribusikan air ke berbagai ekosistem, termasuk yang mendukung kehidupan manusia (Susilowati & Sadad, 2015).

## 2.2.2 Komposisi Atmosfer

Atmosfer bumi terdiri dari berbagai bahan kimia yang berupa gas, uap air, dan partikel-partikel kecil yang dikenal sebagai aerosol. Ketiga unsur ini berperan penting dalam komposisi atmosfer dan keberadaan mereka di berbagai lapisan atmosfer bergantung pada massa masing-masing. Partikel yang lebih ringan cenderung berada di lapisan atas, sementara partikel yang lebih berat terkonsentrasi di lapisan yang lebih rendah. Hal ini menyebabkan atmosfer semakin padat ketika mendekati permukaan bumi. Peningkatan kerapatan partikel ini berhubungan langsung dengan gravitasi, yang menarik partikel lebih berat ke bawah.

Secara keseluruhan, atmosfer memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan kehidupan di bumi. Namun, aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan industrialisasi yang tidak terkendali dapat memengaruhi komposisi atmosfer dan mempercepat pencemaran.

It also regulates and stabilizes environmental conditions on earth which allow living things, including humans, to carry out their activities properly (Nadia & Fauzi, 2021).

In addition, the existence of the atmosphere is a differentiating factor for the Earth from other celestial bodies, such as the moon which does not have an atmosphere. Without an atmosphere, the Earth would be exposed to direct solar radiation and would not have a protective layer that could maintain the temperature and gases important for life. The temperature in the atmosphere itself varies greatly depending on the intensity of solar radiation received by the Earth's surface. Therefore, the temperature in various regions on Earth can change significantly throughout the day and year, depending on the rotation and revolution of the Earth around the Sun (Fadholi, 2013).

Humidity in the atmosphere is also an important aspect. Humidity refers to the amount of water vapor contained in the air, which greatly affects the process of cloud formation and precipitation. Precipitation is the process by which water vapor in the atmosphere condenses into water droplets or ice crystals, which then fall to the earth's surface as rain, snow, or other forms. This process is very important for the hydrological cycle, which distributes water to various ecosystems, including those that support human life (Susilowati & Sadad, 2015).

## 2.2.2 Composition of the Atmosphere

The Earth's atmosphere is composed of various chemicals in the form of gases, water vapor, and small particles known as aerosols. These three elements play an important role in the composition of the atmosphere and their presence in the various layers of the atmosphere depends on their respective masses. Lighter particles tend to be in the upper layers, while heavier particles are concentrated in the lower layers. This causes the atmosphere to become denser as it approaches the Earth's surface. This increase in particle density is directly related to gravity, which pulls the heavier particles downward.

Overall, the atmosphere plays a vital role in maintaining the balance of ecosystems and life on earth. However, human activities such as burning fossil fuels, deforestation, and uncontrolled industrialization can affect the composition of the atmosphere and accelerate pollution.

Oleh karena itu, penting untuk menjaga keseimbangan atmosfer dengan mengurangi emisi polutan dan mengimplementasikan teknologi ramah lingkungan.

Tabel 2.2 Komposisi Udara Kering

Komponen	Rumus Molekul	Konsentrasi (ppm)
Nitrogen	N <sub>2</sub>	780840
Oksigen	O <sub>2</sub>	209460
Argon	Ar	9340
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	340
Neon	Ne	18,2
Helium	He	5,2
Ozon	O <sub>3</sub>	0,06
Hidrogen	H <sub>2</sub>	0,5
Krypton	Kr	1,1
Metan	CH <sub>4</sub>	1,5
Xenon	Xe	0,09

Sumber: Nurmayanti & Purwoko, 2017

Tabel 2.3. Komposisi Rata Rata Udara Bersih (di Atas Permukaan Laut)

Komponen	Rumus Molekul	Konsentrasi (ppm)
Nitrogen	N <sub>2</sub>	780840
Oksigen	O <sub>2</sub>	209460
Argon	Ar	9340
Uap Air	H <sub>2</sub> O	10000-1000
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	340
Neon	Ne	18,2
Helium	He	5,2
Metana	CH <sub>4</sub>	2,0
Kripton	Kr	1,1
Hidrogen	H <sub>2</sub>	0,5
Nitrogen oksida*	N <sub>2</sub> O	0,5
Karbon monoksida*	CO	0,1
Xenon	Xe	0,09
Ozon*	O <sub>3</sub>	0,07-0,02
Ammonia*	NH <sub>3</sub>	0,01
Nitrogen dioksida*	NO <sub>2</sub>	0,001
Sulfur dioksida*	SO <sub>2</sub>	0,0002

Sumber: Nurmayanti & Purwoko, 2017

## 2.2.3 Sifat dan Susunan Atmosfer

Atmosfer juga memiliki sifat-sifat fisik yang membuatnya penting bagi kehidupan di bumi diantaranya sebagai berikut:

- a) Atmosfer tidak memiliki warna dan bau, serta hanya dapat dirasakan ketika bergerak dalam bentuk angin. Atmosfer bersifat dinamis, artinya dapat mengembang dan menyusut tergantung pada suhu dan tekanan,

Therefore, it is important to maintain the balance of the atmosphere by reducing pollutant emissions and implementing environmentally friendly technologies.

**Tabel 2.2 Komposisi Udara Kering**

Komponen	Rumus Molekul	Konsentrasi (ppm)
Nitrogen	N <sub>2</sub>	780840
Oksigen	O <sub>2</sub>	209460
Argon	Ar	9340
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	340
Neon	Ne	18,2
Helium	He	5,2
Ozon	O <sub>3</sub>	0,06
Hidrogen	H <sub>2</sub>	0,5
Krypton	Kr	1,1
Metan	CH <sub>4</sub>	1,5
Xenon	Xe	0,09

Sumber: Nurmayanti & Purwoko, 2017

**Tabel 2.3. Komposisi Rata Rata Udara Bersih (di Atas Permukaan Laut)**

Komponen	Rumus Molekul	Konsentrasi (ppm)
Nitrogen	N <sub>2</sub>	780840
Oksigen	O <sub>2</sub>	209460
Argon	Ar	9340
Uap Air	H <sub>2</sub> O	10000-1000
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	340
Neon	Ne	18,2
Helium	He	5,2
Metana	CH <sub>4</sub>	2,0
Kripton	Kr	1,1
Hidrogen	H <sub>2</sub>	0,5
Nitrogen oksida*	N <sub>2</sub> O	0,5
Karbon monoksida*	CO	0,1
Xenon	Xe	0,09
Ozon*	O <sub>3</sub>	0,07-0,02
Ammonia*	NH <sub>3</sub>	0,01
Nitrogen dioksida*	NO <sub>2</sub>	0,001
Sulfur dioksida*	SO <sub>2</sub>	0,0002

Sumber: Nurmayanti & Purwoko, 2017

## 2.2.3 Properties and Composition of the Atmosphere

The atmosphere also has physical properties that make it important for life on earth, including the following:

- a) The atmosphere has no color and odor, and can only be felt when it moves in the form of wind. The atmosphere is dynamic, meaning it can expand and contract depending on temperature and pressure,

serta dapat berpindah tempat sesuai dengan pola cuaca dan angin. Selain itu, atmosfer transparan terhadap berbagai jenis radiasi matahari, yang memungkinkan energi dari matahari mencapai permukaan bumi. Sifat atmosfer yang dinamis berarti bahwa atmosfer terus bergerak dan berubah. Perubahan ini mencakup variasi tekanan dan suhu pada berbagai ketinggian atau altitud. Di permukaan laut, tekanan atmosfer rata-rata adalah 1 atmosfer, namun ketika kita bergerak naik ke ketinggian yang lebih tinggi, tekanan atmosfer menurun secara drastis. Hal ini memengaruhi kerapatan udara, dengan partikel udara lebih padat di dekat permukaan bumi dan lebih jarang di ketinggian yang lebih tinggi.

b) Temperatur atmosfer juga sangat bervariasi tergantung pada ketinggian dan kondisi geografis. Suhu atmosfer bisa mencapai titik terendah sekitar  $-138^{\circ}\text{C}$  hingga setinggi  $1700^{\circ}\text{C}$ , tergantung pada lapisan atmosfer yang diukur. Perbedaan suhu ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti sinar matahari, waktu, dan garis lintang. Di daerah yang lebih dekat dengan kutub, suhu atmosfer cenderung lebih dingin, sedangkan di daerah tropis, suhu lebih hangat.

c) Selain itu, tekanan atmosfer menurun dengan cepat seiring dengan kenaikan altitud, yang berarti semakin tinggi kita dari permukaan laut, semakin rendah tekanan udara yang kita alami. Perbedaan tekanan ini menciptakan berbagai kondisi atmosfer yang berbeda, mulai dari cuaca di permukaan bumi hingga fenomena atmosferik yang lebih kompleks di lapisan atas atmosfer.

Karena sifat-sifatnya yang beragam, atmosfer berperan penting dalam berbagai aspek kehidupan di bumi, termasuk dalam menjaga iklim, mengatur cuaca, serta melindungi bumi dari radiasi berbahaya. Pemahaman tentang atmosfer sangat penting bagi bidang meteorologi, penerbangan, dan perlindungan lingkungan, karena membantu memprediksi pola cuaca, perubahan iklim, serta dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan.

## 2.2.4 Penipisan Lapisan Ozon

### a) Bagaimana ozon dikatakan menipis?

Penipisan lapisan ozon adalah fenomena di mana konsentrasi ozon di stratosfer mengalami penurunan akibat interaksi kimia dengan berbagai zat perusak, seperti klorin, nitrogen oksida, metil bromida, karbon tetraklorida, dan metil kloroform.

and can move according to weather and wind patterns. In addition, the atmosphere is transparent to various types of solar radiation, allowing energy from the sun to reach the Earth's surface. The dynamic nature of the atmosphere means that it is constantly moving and changing. These changes include variations in pressure and temperature at different heights or altitudes. At sea level, the average atmospheric pressure is 1 atmosphere, but as we move up to higher altitudes, the atmospheric pressure drops dramatically. This affects the density of the air, with air particles being denser near the Earth's surface and sparser at higher altitudes.

- b) Atmospheric temperatures also vary greatly depending on altitude and geographic conditions. Atmospheric temperatures can reach as low as -138°C to as high as 1700°C, depending on the atmospheric layer being measured. These temperature differences are greatly influenced by factors such as sunlight, time of day, and latitude. In areas closer to the poles, atmospheric temperatures tend to be cooler, while in tropical areas, temperatures are warmer.
- c) In addition, atmospheric pressure decreases rapidly with increasing altitude, meaning that the higher we are above sea level, the lower the air pressure we experience. These differences in pressure create a variety of different atmospheric conditions, from weather at the Earth's surface to more complex atmospheric phenomena in the upper atmosphere.

Due to its diverse properties, the atmosphere plays a vital role in many aspects of life on Earth, including maintaining climate, regulating weather, and protecting the Earth from harmful radiation. Understanding the atmosphere is essential for meteorology, aviation, and environmental protection, as it helps predict weather patterns, climate change, and the impact of human activities on the environment.

## 2.2.4 Ozone Layer Depletion

### a) How is ozone said to be thinning?

Ozone layer depletion is a phenomenon in which the concentration of ozone in the stratosphere decreases due to chemical interactions with various damaging substances, such as chlorine, nitrogen oxides, methyl bromide, carbon tetrachloride, and methyl chloroform.

Zat-zat kimia ini dilepaskan dari berbagai aktivitas manusia, termasuk penggunaan produk yang mengandung chlorofluorocarbons (CFCs) dan bahan kimia lainnya. Ketika ozon di lapisan stratosfer menipis, dampak utamanya adalah meningkatnya intensitas sinar ultraviolet (UV) yang mencapai permukaan bumi, yang berpotensi menyebabkan kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia, termasuk meningkatnya risiko kanker kulit dan penyakit mata seperti katarak.

Kerusakan ozon pertama kali ditemukan pada pertengahan 1970-an. Para peneliti dari British Antarctic Survey (BAS) menemukan bahwa lapisan ozon di atas Antarktika, tepatnya di Halley Bay, mengalami penurunan yang sangat drastis. Penelitian ini menunjukkan bahwa dalam kurun waktu sekitar satu dekade, lapisan ozon di wilayah tersebut telah menurun sebesar 30-40%. Penurunan signifikan ini membuat komunitas ilmiah mulai sadar akan adanya masalah lingkungan serius yang mengancam keseluruhan ekosistem bumi.

### b) Pencegahan Penipisan Lapisan Ozon

Berikut adalah beberapa pemcegahan yang dapat dilakukan dalam mencegah penipisan lapisan ozon :

#### 1) Penghapusan Bahan Perusak Ozon (BPO)

Indonesia berkomitmen untuk menghentikan penggunaan bahan-bahan yang merusak lapisan ozon, seperti gas freon, sejak tahun 2007. Upaya ini dilakukan sebagai bagian dari inisiatif global untuk melindungi atmosfer bumi dari dampak zat-zat berbahaya yang dapat mempercepat penipisan ozon, sesuai dengan kesepakatan internasional.

#### 2) Program Penghapusan CFC

Indonesia telah menjalankan berbagai program untuk mengurangi dan akhirnya menghapus penggunaan CFC (Chlorofluorocarbon). Program ini didukung oleh Dana Multilateral Montreal Protocol (MLF) dan dikelola oleh UNDP, yang membantu berbagai negara untuk mencapai target pengurangan zat perusak ozon, seperti CFC yang banyak digunakan dalam produk pendingin dan aerosol.

#### 3) Investasi di Sektor Industri

Pemerintah Indonesia telah melakukan 29 proyek di sektor busa dan 14 proyek di sektor pendingin sebagai bagian dari strategi pengurangan emisi BPO.

These chemicals are released from a variety of human activities, including the use of products containing chlorofluorocarbons (CFCs) and other chemicals. As stratospheric ozone thins, the primary impact is an increase in the amount of ultraviolet (UV) light reaching the Earth's surface, potentially causing environmental and human health damage, including increased risk of skin cancer and eye diseases such as cataracts.

Ozone depletion was first discovered in the mid-1970s. Researchers from the British Antarctic Survey (BAS) discovered that the ozone layer above Antarctica, specifically in Halley Bay, was experiencing a drastic decline. The study showed that in about a decade, the ozone layer in the region had decreased by 30-40%. This significant decline made the scientific community aware of a serious environmental problem that threatened the entire Earth's ecosystem.

### b) Prevention of Ozone Layer Depletion

Here are some preventive measures that can be taken to prevent the thinning of the ozone layer:

- 1) Phase Out of Ozone Depleting Substances (ODS) Indonesia is committed to stopping the use of substances that damage the ozone layer, such as freon gas, since 2007. This effort is carried out as part of a global initiative to protect the earth's atmosphere from the impact of hazardous substances that can accelerate ozone depletion, in accordance with international agreements.
- 2) CFC Phase-out Program Indonesia has implemented various programs to reduce and eventually eliminate the use of CFCs (Chlorofluorocarbons). This program is supported by the Montreal Protocol Multilateral Fund (MLF) and managed by UNDP, which helps various countries to achieve their targets for reducing ozone-depleting substances, such as CFCs that are widely used in refrigerants and aerosols.
- 3) Investment in the Industrial Sector The Indonesian government has undertaken 29 projects in the foam sector and 14 projects in the refrigeration sector as part of its ODS emission reduction strategy.

Investasi ini bertujuan untuk mengadopsi teknologi dan proses industri yang lebih ramah lingkungan, guna mengurangi dampak negatif terhadap lapisan ozon dan lingkungan secara keseluruhan.

#### 4) Penggunaan Teknologi Ramah Ozon

Pengenalan bahan dan teknologi yang tidak merusak lapisan ozon sangat penting. Teknologi ramah ozon ini mencakup penggunaan refrigeran alternatif yang lebih aman dan pengembangan produk industri yang tidak mengandalkan bahan-bahan perusak ozon, sehingga dapat membantu mengurangi dampak negatif pada lapisan atmosfer.

#### 5) Evaluasi Berkala

Pemantauan rutin terhadap kondisi lapisan ozon dilakukan oleh berbagai negara dan lembaga riset untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi. Evaluasi ini penting untuk mendeteksi dini adanya penipisan lapisan ozon dan mencegah potensi kerusakan lebih lanjut melalui tindakan preventif yang cepat dan efektif.

#### 6) Pengurangan Pemakaian Produk Ber-CFC

Salah satu cara langsung untuk melindungi lapisan ozon adalah dengan mengurangi atau bahkan menghentikan penggunaan produk rumah tangga yang mengandung CFC. Menghindari produk-produk seperti aerosol dan pendingin yang menggunakan CFC dapat membantu mengurangi emisi zat berbahaya yang merusak ozon.

#### 7) Kesadaran dan Partisipasi Masyarakat

Edukasi dan peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lapisan ozon sangat penting. Partisipasi aktif masyarakat dalam penggunaan produk yang ramah ozon serta pemahaman tentang dampak perilaku sehari-hari terhadap lingkungan dapat memainkan peran besar dalam melindungi ozon dan mendukung upaya global dalam hal ini.

### **2.2.5 Gas Atmosfer Bumi yang Bermanfaat bagi Kehidupan**

Atmosfer Bumi, sebuah lapisan gas yang menyelimuti planet kita, merupakan rumah bagi berbagai macam gas yang saling berinteraksi. Atmosfer bumi memiliki peran yang sangat krusial bagi keberlangsungan hidup di planet kita Oksigen yang kita hirup, nitrogen yang menyusun

This investment aims to adopt more environmentally friendly technologies and industrial processes, in order to reduce the negative impact on the ozone layer and the environment as a whole.

- 4) Use of Ozone-Friendly Technologies The introduction of materials and technologies that do not damage the ozone layer is essential. These ozone-friendly technologies include the use of safer alternative refrigerants and the development of industrial products that do not rely on ozone-depleting materials, which can help reduce the negative impact on the atmosphere.
- 5) Periodic Evaluation Routine monitoring of the condition of the ozone layer is carried out by various countries and research institutions to identify changes that occur. This evaluation is important for early detection of ozone layer depletion and preventing potential further damage through rapid and effective preventive actions.
- 6) Reducing the Use of CFC-Containing Products One direct way to protect the ozone layer is to reduce or even stop using household products that contain CFCs. Avoiding products such as aerosols and refrigerants that use CFCs can help reduce emissions of harmful substances that damage the ozone layer.
- 7) Public Awareness and Participation Public education and awareness raising about the importance of preserving the ozone layer are essential. Active public participation in the use of ozone-friendly products and understanding the impact of everyday behavior on the environment can play a major role in protecting the ozone and supporting global efforts in this regard.

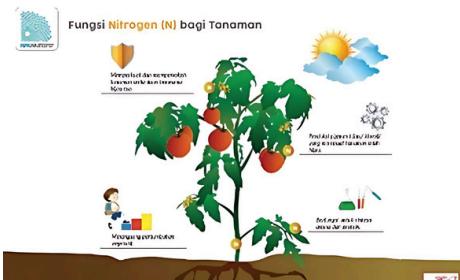
## **2.2.5 Earth's Atmospheric Gases That Are Beneficial for Life**

Earth's atmosphere, a layer of gases that surrounds our planet, is home to a variety of gases that interact with each other. Earth's atmosphere plays a crucial role in the survival of life on our planet. The oxygen we breathe, the nitrogen that makes up

sebagian besar udara, dan karbon dioksida yang berperan dalam fotosintesis adalah beberapa contoh gas penting yang menjaga keseimbangan ekosistem.

### a) Nitrogen

Nitrogen adalah salah satu unsur hara makro yang sangat penting bagi tanaman. Nitrogen berperan penting dalam pembentukan protein, klorofil, dan asam nukleat. Pemupukan nitrogen sangat penting untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Kekurangan nitrogen dapat menyebabkan tanaman tumbuh kerdil, daun menguning, dan hasil panen menurun. Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro yang sangat penting untuk kesehatan dan pertumbuhan tanaman. Unsur ini memiliki peran kunci dalam proses biokimia tanaman, termasuk dalam pembentukan protein, klorofil, dan asam nukleat. Protein yang terdiri dari asam amino memengaruhi berbagai fungsi dalam tanaman, seperti pertumbuhan, perkembangan, dan respon terhadap stres. Selain itu, klorofil yang terbentuk dari nitrogen penting dalam proses fotosintesis, yang memungkinkan tanaman untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia.



Gambar 2. 5 Fungsi Nitrogen bagi Tanaman

Sumber: Nurwahyudi, 2024

### b) Oksigen

Oksigen diperlukan sel untuk mengubah glukosa menjadi energi yang dibutuhkan untuk melakukan berbagai aktivitas, seperti aktivitas fisik, penyerapan makanan, membangun kekebalan tubuh, pemulihan kondisi tubuh, dan menghancurkan beberapa racun sisa metabolisme. Kekurangan oksigen dapat menyebabkan metabolisme berlangsung tidak sempurna. Akibatnya, tubuh terasa lelah, pegal-pegal, dan mudah terserang penyakit dan hasil panen menurun. Oksigen adalah unsur vital bagi sel-sel tubuh, karena diperlukan untuk mengubah glukosa menjadi energi. Proses ini sangat penting untuk menjalankan berbagai aktivitas harian, seperti aktivitas fisik, penyerapan nutrisi, dan pemeliharaan kesehatan tubuh. Energi yang dihasilkan melalui metabolisme oksidatif mendukung berbagai fungsi biologis, termasuk penguatan sistem kekebalan tubuh dan pemulihan setelah beraktivitas. Selain itu, oksigen juga berperan dalam menghancurkan racun yang dihasilkan dari sisa metabolisme, sehingga membantu menjaga kesehatan secara keseluruhan.

most of the air, and carbon dioxide which plays a role in photosynthesis are some examples of important gases that maintain the balance of the ecosystem.

### a) Nitrogen

Nitrogen is one of the macronutrients that is very important for plants. Nitrogen plays an important role in the formation of proteins, chlorophyll, and nucleic acids. Nitrogen fertilization is very important to increase plant productivity.

Nitrogen deficiency can cause plants stunted growth, yellowing leaves, and decreased yields. Nitrogen is one of the macronutrients that is very important for plant health and growth. This element plays a key role in plant biochemical processes, including the formation of proteins, chlorophyll, and nucleic acids. Proteins consisting of amino acids affect various functions in plants, such as growth, development, and stress response. In addition, chlorophyll formed from nitrogen is important in the process of photosynthesis, which allows plants to convert solar energy into chemical energy.

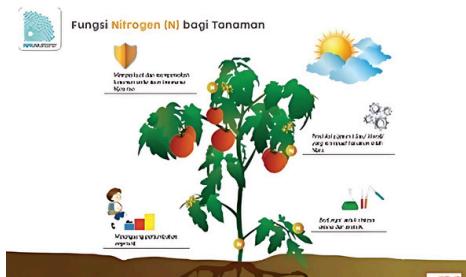


Figure 2. 5 Functions of Nitrogen for Plants Source:  
Nurwahyudi, 2024

### b) Oxygen

Oxygen is needed by cells to convert glucose into energy needed to perform various activities, such as physical activity, food absorption, building immunity, restoring body condition, and destroying some metabolic waste toxins. Lack of oxygen can cause metabolism to not take place perfectly. As a result, the body feels tired, sore, and susceptible to disease and crop yields decrease. Oxygen is a vital element for body cells, because it is needed to convert glucose into energy. This process is very important for carrying out various daily activities, such as physical activity, nutrient absorption, and maintaining body health. The energy produced through oxidative metabolism supports various biological functions, including strengthening the immune system and recovery after activity. In addition, oxygen also plays a role in destroying toxins produced from metabolic waste, thus helping to maintain overall health.

### c) Argon

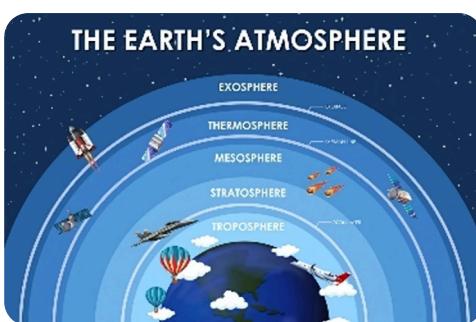
Gas argon memiliki banyak aplikasi dalam berbagai sektor industri dan komersial, terutama karena sifatnya yang tidak reaktif. Salah satu contoh penggunaannya yang paling umum adalah dalam bola lampu. Dalam bola lampu, argon berfungsi untuk menahan panas yang dihasilkan oleh cahaya, sehingga memperpanjang umur lampu dan meningkatkan efisiensinya. Sifat inert argon memungkinkan gas ini untuk bertahan dalam kondisi panas tanpa bereaksi dengan elemen lain, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi ini.

### d) Karbon dioksida

Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sering kali dianggap sebagai polutan, namun memiliki sejumlah manfaat yang signifikan, terutama dalam konteks biologis dan industri. Di sektor pertanian, karbon dioksida memainkan peran krusial dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Selama proses fotosintesis, tanaman menyerap karbon dioksida dari atmosfer, yang berkontribusi pada produksi zat karbohidrat. Zat ini tidak hanya disimpan dalam buah-buahan, tetapi juga di berbagai bagian tanaman lainnya seperti batang dan akar. Proses ini pada akhirnya mempercepat laju pertumbuhan dan meningkatkan produktivitas tanaman, menjadikan karbon dioksida sebagai elemen penting dalam pertanian modern.

## 2.2.6 Pembagian Wilayah Atmosfer

Sifat-sifat kimia dan reaksi-reaksi di dalamnya sangat ditentukan oleh karakteristik fisik atmosfer seperti suhu, tekanan. Terjadinya perbedaan tekanan dan suhu atmosfer disebabkan oleh adanya perbedaan altitude dan latitude. Hal ini yang menyebabkan adanya pembagian wilayah atmosfer bumi. (Samsuri, 1982).



Gambar 2. 6 Pembagian Lapisan di Atmosfer  
Sumber: Nadia dan Fauzi, 2021

### c) Argon

Argon gas has many applications in various industrial and commercial sectors, mainly due to its non-reactive nature. One of the most common examples of its use is in light bulbs. In light bulbs, argon serves to trap the heat generated by light, thereby extending the life of the bulb and increasing its efficiency. Argon's inert nature allows the gas to withstand hot conditions without reacting with other elements, making it an ideal choice for this application.

### d) Carbon dioxide

Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) is often considered a pollutant, but it has a number of significant benefits, especially in biological and industrial contexts. In the agricultural sector, carbon dioxide plays a crucial role in enhancing plant growth. During the process of photosynthesis, plants absorb carbon dioxide from the atmosphere, which contributes to the production of carbohydrates. These substances are not only stored in fruits, but also in various other parts of the plant such as stems and roots. This process ultimately accelerates the growth rate and increases plant productivity, making carbon dioxide an essential element in modern agriculture.

## 2.2.6 Division of Atmospheric Regions

The chemical properties and reactions within it are largely determined by the physical characteristics of the atmosphere such as temperature, pressure. The differences in atmospheric pressure and temperature are caused by differences in altitude and latitude. This is what causes the division of the earth's atmospheric regions. (Samsuri, 1982).



Figure 2. 6 Division of Layers in the Atmosphere  
Source: Nadia and Fauzi, 2021

Tabel 2.4. Tabel Pembagian Wilayah Atmosfer dan Karakteristiknya

Wilayah (Region)	Suhu (°C)	Altitude (Km)	Spesi Bahan Kimia
Troposfer	Sampai -56	0 sampai (10- 16)*	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Stratosfer	-56 sampai -2	(10-16) sampai 50	H <sub>2</sub> O
Mesosfer	-2 sampai -92	50 sampai 85	O <sub>2</sub> <sup>+</sup> , NO <sup>+</sup>
Thermosfer	-92 sampai 1200	85 sampai 500	O <sub>2</sub> <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , NO <sup>+</sup>

\*Batas troposfer dengan stratosfer bervariasi antara 10-16 Km

Berdasarkan kehomogenan komposisi dan kerapatan pada setiap ketinggian (altitude), atmosfer dibagi menjadi dua lapisan, yaitu :

a) Lapisan Homosfer

Lapisan homosfer adalah bagian bawah atmosfer yang terletak pada ketinggian kurang dari 80 km. Di dalam lapisan ini, sekitar 99,9% dari total massa atmosfer terdiri dari gas permanen, yang memiliki komposisi tertentu yang relatif stabil di setiap ketinggian. Dengan kata lain, pada ketinggian yang sama, komposisi kimia dan sifat fisik dari gas-gas yang ada di dalamnya bersifat homogen. Ini berarti bahwa lapisan homosfer tersusun atas komponen-komponen yang seragam hingga mencapai batas ketinggian yang ditentukan.

b) Lapisan Heterosfer

Lapisan heterosfer adalah bagian atmosfer yang terletak di atas lapisan homogen dan terdiri dari gas-gas yang lebih ringan, seperti hidrogen dan helium. Dalam lapisan ini, dominasi gas dapat bervariasi tergantung pada ketinggian, sehingga komposisi gas tidak tetap dan dapat berubah-ubah. Meskipun gas-gas di lapisan heterosfer hanya membentuk kurang dari 0,1% dari total massa atmosfer, volume ruang yang mereka isi sangat besar, dan tekanan yang ada di lapisan ini sangat rendah. Akibatnya, jarak antar molekul gas cukup jauh, sehingga interaksi antar gas relatif sedikit.

Atmosfer bumi dibagi menjadi 7 lapisan, yaitu :

**1) Troposfer**

Lapisan troposfer adalah bagian terendah dari atmosfer yang sangat penting untuk menopang kehidupan di Bumi. Troposfer berada pada ketinggian kurang dari 15 kilometer dari permukaan tanah, menjadikannya lapisan yang paling tipis dibandingkan lapisan atmosfer lainnya.

**Tabel 2.4.** Tabel Pembagian Wilayah Atmosfer dan Karakteristiknya

Wilayah (Region)	Suhu (°C)	Altitude (Km)	Spesi Bahan Kimia
Troposfer	Sampai -56	0 sampai (10- 16)*	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Stratosfer	-56 sampai -2	(10-16) sampai 50	H <sub>2</sub> O
Mesosfer	-2 sampai -92	50 sampai 85	O <sub>2</sub> <sup>+</sup> , NO <sup>+</sup>
Thermosfer	-92 sampai 1200	85 sampai 500	O <sub>2</sub> <sup>+</sup> , O <sup>+</sup> , NO <sup>+</sup>

\*Batas troposfer dengan stratosfer bervariasi antara 10-16 Km

Based on the homogeneity of composition and density at each altitude, the atmosphere is divided into two layers, namely:

a) Homosphere Layer The homosphere layer is the lower part of the atmosphere located at an altitude of less than 80 km. In this layer, about 99.9% of the total mass of the atmosphere consists of permanent gases, which have a certain composition that is relatively stable at each altitude. In other words, at the same altitude, the chemical composition and physical properties of the gases in it are homogeneous. This means that the homosphere layer is composed of uniform components until it reaches a certain altitude limit.

b) Heterosphere Layer The heterosphere layer is the part of the atmosphere located above the homogeneous layer and consists of lighter gases, such as hydrogen and helium. In this layer, the dominance of gas can vary depending on the height, so that the gas composition is not fixed and can change. Although the gases in the heterosphere layer only make up less than 0.1% of the total mass of the atmosphere, the volume of space they fill is very large, and the pressure in this layer is very low. As a result, the distance between gas molecules is quite far, so that the interaction between gases is relatively small.

The earth's atmosphere is divided into 7 layers, namely:

### 1) Troposphere

The troposphere is the lowest part of the atmosphere and is essential for sustaining life on Earth. The troposphere is less than 15 kilometers above the ground, making it the thinnest layer of the atmosphere.

Meskipun tipis, lapisan ini memiliki campuran gas yang paling ideal untuk mendukung kehidupan, melindungi makhluk hidup dari radiasi benda-benda langit lainnya. Salah satu fungsi utama troposfer adalah melindungi bumi dari radiasi berbahaya, terutama dari sinar ultraviolet dan sinar kosmik yang dapat merusak kehidupan.

Tabel 2.5 Tabel Komponen Renik dalam Lapisan Troposfer Normal

Senyawa	Rumus Molekul	Konsentrasi (mg/m <sup>3</sup> )
<b>Senyawa Karbon</b>		
Metana	CH <sub>4</sub>	900
Karbon Monoksida	CO	70-230
Terpen	(C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> )n	3-30
Formal dehid	CH <sub>2</sub> O	<12
<b>Senyawa Halogen</b>		
Karbon tetraklorida	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1
Freon 12	CCl <sub>4</sub>	0,6 - 1,6
Freon 11	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1
<b>Senyawa Oksigen</b>		
Ozon	O <sub>3</sub>	20-60
<b>Senyawa Nitrogen</b>		
Dinitrogen oksida	-	600
Ammonia	NH <sub>3</sub>	4-14
Asam Nitrat	HNO <sub>3</sub>	7,5
Nitrogen oksida	NO/NO <sub>2</sub>	1,6
<b>Senyawa Belerang</b>		
Belerang dioksida	SO <sub>2</sub>	3-11
Hidrogen sulfida	H <sub>2</sub> S	<0,3

## 2) Stratosfer

Perubahan dari troposfer ke stratosfer terjadi secara bertahap, dimulai pada ketinggian sekitar 11 km di atas permukaan bumi. Suhu di lapisan paling bawah stratosfer sangat stabil dan dingin, mencapai sekitar -57°C. Pada ketinggian ini, pola aliran angin cenderung kuat dan teratur, memberikan lingkungan yang ideal bagi penerbangan pesawat komersial. Walaupun lapisan ini stabil, awan cirrus yang tipis dan tinggi kadang-kadang muncul di bagian bawahnya. Namun, tidak ada pola cuaca signifikan yang terbentuk di stratosfer, berbeda dengan troposfer yang penuh dinamika cuaca sehari-hari.

## 3) Mesosfer

Sekitar 25 mil atau 40 km di atas permukaan bumi terdapat lapisan transisi yang mengarah ke mesosfer. Pada lapisan ini, suhu kembali menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian, hingga mencapai suhu sekitar -143°C di dekat bagian atas dari lapisan tersebut, yaitu pada ketinggian sekitar 81 km. Penurunan suhu yang sangat rendah ini memungkinkan terbentuknya awan noctilucent, yang merupakan awan yang terbentuk dari kristal-kristal es yang berbahaya dan dapat terlihat pada malam hari di wilayah kutub setelah matahari terbenam.

Although thin, this layer has the most ideal mixture of gases to support life, protecting living things from radiation from other celestial bodies. One of the main functions of the troposphere is to protect the earth from harmful radiation, especially from ultraviolet rays and cosmic rays that can damage life.

**Tabel 2.5** Tabel Komponen Renik dalam Lapisan Troposfer Normal

Senyawa	Rumus Molekul	Konsentrasi (mg/m <sup>3</sup> )
<b>Senyawa Karbon</b>		
Metana	CH <sub>4</sub>	900
Korbon Monoksida	CO	70-230
Terpen	(C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> )n	3-30
Formal dehid	CH <sub>2</sub> O	<12
<b>Senyawa Halogen</b>		
Karbon tetraklorida	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1
Freon 12	CCl <sub>4</sub>	0.6 - 1.6
Freon 11	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1
<b>Senyawa Oksigen</b>		
Ozon	O <sub>3</sub>	20-60
<b>Senyawa Nitrogen</b>		
Dinitrogen oksida	-	600
Ammonia	NH <sub>3</sub>	4-14
Asam Nitrat	HNO <sub>3</sub>	7,5
Nitrogen oksida	NO/NO <sub>2</sub>	1,6
<b>Senyawa Belerang</b>		
Belerang dioksida	SO <sub>2</sub>	3-11
Hidrogen sulfida	H <sub>2</sub> S	<0,3

## 2) Stratosphere

The transition from the troposphere to the stratosphere is gradual, starting at an altitude of about 11 km above the Earth's surface. The temperature at the bottom of the stratosphere is very stable and cold, reaching about -57°C. At this altitude, wind flow patterns tend to be strong and regular, providing an ideal environment for commercial aircraft flights. Although this layer is stable, thin, tall cirrus clouds sometimes appear in the lower part. However, no significant weather patterns form in the stratosphere, unlike the troposphere which is full of daily weather dynamics.

## 3) Mesosphere

About 25 miles or 40 km above the earth's surface is a transition layer that leads to the mesosphere. In this layer, the temperature drops again with increasing altitude, reaching a temperature of about -143°C near the top of the layer, which is at an altitude of about 81 km. This very low temperature drop allows the formation of noctilucent clouds, which are clouds made up of glowing ice crystals and can be seen at night in the polar regions after sunset.

#### 4) Termosfer

Transisi dari lapisan mesosfer ke termosfer dimulai pada ketinggian sekitar 81 km dari permukaan bumi. Lapisan termosfer dinamai demikian karena terdapat peningkatan suhu yang signifikan pada lapisan ini. Suhu di termosfer dapat mencapai hingga 1982°C, yang disebabkan oleh radiasi sinar ultraviolet dari matahari. Radiasi ini diserap oleh partikel-partikel di lapisan termosfer dan menyebabkan reaksi kimia yang menghasilkan ionisasi.

#### 5) Eksosfer

Eksosfer adalah lapisan atmosfer paling luar yang berfungsi sebagai batas antara atmosfer bumi dan ruang angkasa. Dimulai sekitar 500 hingga 1.000 kilometer di atas permukaan bumi dan memanjang hingga sekitar 10.000 kilometer, eksosfer adalah tempat di mana molekul gas sangat jarang dan terpisah jauh satu sama lain. Karena kerapatan gas yang sangat rendah, partikel-partikel di eksosfer dapat menempuh jarak yang sangat jauh tanpa bertabrakan. Di lapisan ini, molekul gas, seperti hidrogen dan helium, memiliki cukup energi untuk melarikan diri dari gravitasi bumi dan menuju ruang angkasa.

#### 6) Ionomosfer

Lapisan ionosfer juga berperan dalam fenomena aurora, yang terjadi akibat interaksi antara partikel bermuatan dari matahari dengan medan magnet bumi. Ketika partikel ini berinteraksi dengan ion di ionosfer, energi dilepaskan dalam bentuk cahaya, menciptakan aurora yang indah di langit kutub. Karena ionisasi tinggi, lapisan ini sangat dinamis dan terus berubah, tergantung pada aktivitas matahari dan waktu tertentu dalam sehari.

#### 7) Magnetosfer

Magnetosfer juga memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas lingkungan luar angkasa dekat bumi. Interaksi antara medan magnet bumi dan angin matahari menciptakan fenomena seperti aurora, yang terlihat di daerah kutub. Ketika partikel bermuatan dari angin matahari mencapai magnetosfer, mereka dipercepat dan diarahkan ke kutub bumi, menghasilkan cahaya yang indah di langit malam. Oleh karena itu, magnetosfer tidak hanya melindungi bumi dari radiasi berbahaya, tetapi juga bertanggung jawab atas beberapa fenomena alam spektakuler yang dapat diamati dari bumi (Dinus, 2018).

#### 4) Thermosphere

The transition from the mesosphere to the thermosphere begins at an altitude of about 81 km from the earth's surface. The thermosphere is so named because there is a significant increase in temperature in this layer. Temperatures in the thermosphere can reach up to 1982°C, which is caused by ultraviolet radiation from the sun. This radiation is absorbed by particles in the thermosphere and causes chemical reactions that produce ionization.

#### 5) Exosphere

The exosphere is the outermost layer of the atmosphere, which acts as a boundary between Earth's atmosphere and space. Starting about 500 to 1,000 kilometers above Earth's surface and extending to about 10,000 kilometers, the exosphere is where gas molecules are very sparse and far apart. Because of the extremely low density of gases, particles in the exosphere can travel very long distances without colliding. In this layer, gas molecules, such as hydrogen and helium, have enough energy to escape Earth's gravity and head into space.

#### 6) Ionosphere

The ionosphere layer also plays a role in the aurora phenomenon, which occurs due to the interaction of charged particles from the sun with the Earth's magnetic field. When these particles interact with ions in the ionosphere, energy is released in the form of light, creating beautiful auroras in the polar sky. Due to its high ionization, this layer is very dynamic and constantly changing, depending on solar activity and the time of day.

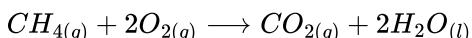
#### 7) Magnetosfer

The magnetosphere also plays an important role in maintaining the stability of the near-earth space environment. The interaction between the Earth's magnetic field and the solar wind creates phenomena such as the aurora, which are visible in the polar regions. When charged particles from the solar wind reach the magnetosphere, they are accelerated and directed towards the Earth's poles, producing beautiful lights in the night sky. Therefore, the magnetosphere not only protects the Earth from harmful radiation, but is also responsible for some spectacular natural phenomena that can be observed from Earth (Dinus, 2018).

## 2.2.7 Reaksi Kimia pada Atmosfer

### a) Reaksi Oksigen di Atmosfer

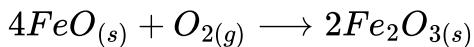
Oksigen di troposfer memainkan peran krusial dalam banyak proses yang terjadi di permukaan bumi. Salah satunya adalah reaksi pembakaran bahan bakar fosil, seperti metana ( $\text{CH}_4$ ). Reaksi ini merupakan contoh sederhana dari pembakaran sempurna, di mana metana bereaksi dengan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan menghasilkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) serta air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sebagai produk akhirnya. Reaksi kimia yang terjadi adalah:



Dalam reaksi ini, oksigen berperan sebagai oksidator, yang memungkinkan terjadinya pembakaran metana dan menghasilkan energi. Proses pembakaran ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor kehidupan, seperti transportasi, industri, dan pembangkit listrik, di mana bahan bakar fosil digunakan sebagai sumber energi utama.

Namun, pembakaran bahan bakar fosil juga menghasilkan emisi karbon dioksida yang berkontribusi terhadap peningkatan efek rumah kaca dan perubahan iklim global. Oleh karena itu, penting untuk memahami peran oksigen tidak hanya dalam reaksi pembakaran tetapi juga dalam konteks dampak lingkungan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Pengelolaan oksigen di atmosfer dan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil menjadi kunci dalam upaya menjaga keseimbangan lingkungan.

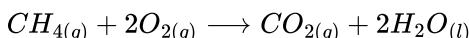
Oksigen di atmosfer juga memiliki peran penting dalam siklus biogeokimia, di mana ia digunakan oleh organisme aerobik untuk mendegradasi bahan-bahan organik dalam proses respirasi. Organisme seperti tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme membutuhkan oksigen untuk mengubah molekul organik menjadi energi yang dapat digunakan. Proses ini mengeluarkan karbon dioksida dan air sebagai hasil sampingan, sekaligus mendukung keberlangsungan kehidupan di bumi. Selain digunakan dalam proses biologis, oksigen juga terlibat dalam reaksi oksidatif atau pelapukan bahan-bahan anorganik, seperti dalam reaksi berikut:



## 2.2.7 Chemical Reactions in the Atmosphere

### a) Oxygen Reaction in the Atmosphere

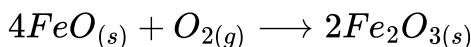
Oxygen in the troposphere plays a crucial role in many processes that occur on the Earth's surface. One of them is the combustion reaction of fossil fuels, such as methane ( $\text{CH}_4$ ). This reaction is a simple example of perfect combustion, where methane reacts with oxygen ( $\text{O}_2$ ) and produces carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) as the end products. The chemical reactions that occur are:



In this reaction, oxygen acts as an oxidizer, allowing methane to burn and produce energy. This combustion process is widely used in various sectors of life, such as transportation, industry, and power plants, where fossil fuels are used as the main source of energy.

However, the combustion of fossil fuels also produces carbon dioxide emissions that contribute to the increasing greenhouse effect and global climate change. Therefore, it is important to understand the role of oxygen not only in combustion reactions but also in the context of the environmental impacts of human activities. Managing atmospheric oxygen and reducing the use of fossil fuels are key to maintaining environmental balance.

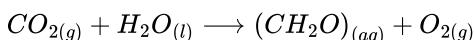
Oxygen in the atmosphere also plays an important role in the biogeochemical cycle, where it is used by aerobic organisms to degrade organic matter in the process of respiration. Organisms such as plants, animals, and microorganisms require oxygen to convert organic molecules into usable energy. This process releases carbon dioxide and water as byproducts, while supporting the continuation of life on earth. In addition to being used in biological processes, oxygen is also involved in oxidative reactions or the weathering of inorganic materials, such as in the following reactions:



Dalam reaksi ini, oksigen bereaksi dengan besi oksida ( $\text{FeO}$ ) dan mengubahnya menjadi besi oksida lainnya ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), yang lebih dikenal sebagai karat. Proses oksidasi ini adalah contoh pelapukan kimia, di mana oksigen atmosfer mempengaruhi komposisi dan struktur bahan-bahan mineral di permukaan bumi. Pelapukan ini terjadi secara alami dan berperan dalam pembentukan tanah serta perubahan geologi lainnya.

Reaksi oksidasi ini juga penting dalam berbagai industri, seperti pembuatan logam dan pengolahan mineral. Namun, pelapukan oleh oksigen juga dapat menjadi masalah karena dapat menyebabkan kerusakan pada struktur logam, bangunan, dan infrastruktur, sehingga memerlukan tindakan perlindungan seperti pengecatan atau pelapisan untuk mencegah korosi lebih lanjut.

Oksigen dikembalikan ke atmosfer melalui proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan, alga, dan beberapa jenis bakteri. Proses ini melibatkan reaksi antara karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dengan bantuan energi cahaya matahari. Dalam fotosintesis, tumbuhan menyerap karbon dioksida dari udara dan air dari tanah, kemudian melalui reaksi kimia, mengubahnya menjadi gula sederhana (karbohidrat) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Reaksi kimia yang menggambarkan fotosintesis secara sederhana adalah:



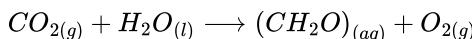
Dalam reaksi ini, karbon dioksida dan air dikonversi menjadi molekul karbohidrat ( $(\text{CH}_2\text{O})$ , yang mewakili gula sederhana) dan oksigen. Oksigen kemudian dilepaskan kembali ke atmosfer sebagai produk sampingan. Proses ini sangat penting karena menghasilkan oksigen yang diperlukan oleh makhluk hidup untuk respirasi, sekaligus mengurangi jumlah karbon dioksida di atmosfer yang berperan dalam pengendalian efek rumah kaca.

Fotosintesis juga berfungsi sebagai fondasi bagi rantai makanan di bumi. Energi yang dihasilkan dalam bentuk karbohidrat oleh tumbuhan kemudian digunakan oleh hewan herbivora, dan akhirnya oleh karnivora di puncak rantai makanan. Proses ini, yang melibatkan daur ulang oksigen dan karbon di atmosfer, sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem di bumi. Fotosintesis bukan hanya penting bagi keberlangsungan hidup makhluk di bumi, tetapi juga berkontribusi dalam regulasi komposisi atmosfer, menjaga kadar oksigen yang konstan dan mengurangi konsentrasi

In this reaction, oxygen reacts with iron oxide ( $\text{FeO}$ ) and converts it into another iron oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), more commonly known as rust. This oxidation process is an example of chemical weathering, in which atmospheric oxygen affects the composition and structure of mineral materials on the Earth's surface. This weathering occurs naturally and plays a role in soil formation and other geological changes.

This oxidation reaction is also important in various industries, such as metal manufacturing and mineral processing. However, oxygen weathering can also be a problem because it can cause damage to metal structures, buildings, and infrastructure, requiring protective measures such as painting or coating to prevent further corrosion.

Oxygen is returned to the atmosphere through the process of photosynthesis carried out by plants, algae, and some types of bacteria. This process involves a reaction between carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) with the help of sunlight energy. In photosynthesis, plants absorb carbon dioxide from the air and water from the soil, then through chemical reactions, convert them into simple sugars (carbohydrates) and oxygen ( $\text{O}_2$ ). The chemical reaction that describes photosynthesis in simple terms is:

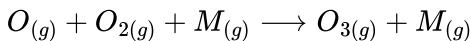


In this reaction, carbon dioxide and water are converted into carbohydrate molecules ( $(\text{CH}_2\text{O})$ , which represents simple sugars) and oxygen. Oxygen is then released back into the atmosphere as a byproduct. This process is very important because it produces oxygen which is needed by living things for respiration, while also reducing the amount of carbon dioxide in the atmosphere which plays a role in controlling the greenhouse effect.

Photosynthesis also serves as the foundation for the food chain on earth. The energy produced in the form of carbohydrates by plants is then used by herbivorous animals, and finally by carnivores at the top of the food chain. This process, which involves the recycling of oxygen and carbon in the atmosphere, is essential for maintaining the balance of the earth's ecosystem. Photosynthesis is not only essential for the survival of life on earth, but also contributes to the regulation of the composition of the atmosphere, maintaining constant oxygen levels and reducing the concentration of

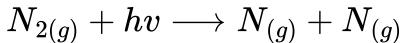
karbon dioksida yang berlebihan akibat aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil.

Ozon ( $O_3$ ) adalah molekul triatomik yang tersusun atas tiga atom oksigen. 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.

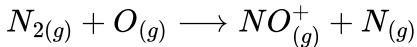


### b) Reaksi Nitrogen di Atmosfer

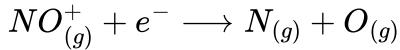
Tidak seperti oksigen, nitrogen ( $N_2$ ) lebih sulit bereaksi dengan radiasi UV karena ikatan rangkap tiga yang kuat antara atom nitrogen. Namun, pada ketinggian sekitar 100 km, nitrogen molekuler dapat dipecah menjadi atom nitrogen melalui proses fotokimia, seperti pada reaksi berikut:



Artinya, sinar UV berenergi tinggi ( $h\nu$ ) memecah molekul nitrogen menjadi dua atom nitrogen bebas. Atom nitrogen bebas yang dihasilkan dapat mengalami reaksi lebih lanjut, seperti:



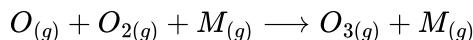
Di mana nitrogen bereaksi dengan atom oksigen untuk membentuk ion nitrogen monoksida ( $NO^+$ ) dan atom nitrogen.



Ion nitrogen monoksida mengalami reduksi dengan elektron ( $e^-$ ) menghasilkan nitrogen dan oksigen bebas.

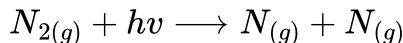
excessive carbon dioxide due to human activities, such as burning fossil fuels.

Ozone ( $O_3$ ) is a triatomic molecule composed of three oxygen atoms. Its existence is very important because the ozone layer (ozonosphere) absorbs ultraviolet radiation that can harm living things on earth. Ozone absorbs UV light in the wavelength area of 220-330 nm. Ozone increases and decreases in quantity through natural processes. Ozone is formed from the recombination reaction between oxygen atoms and oxygen molecules. In this reaction, M (third body) is needed to carry the released energy.

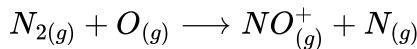


### b) Nitrogen Reactions in the Atmosphere

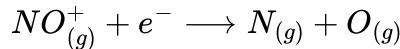
Unlike oxygen, nitrogen ( $N_2$ ) is less reactive with UV radiation due to the strong triple bonds between nitrogen atoms. However, at an altitude of about 100 km, molecular nitrogen can be broken down into atomic nitrogen through photochemical processes, as in the following reaction:



That is, high-energy UV light ( $h\nu$ ) breaks down a nitrogen molecule into two free nitrogen atoms. The resulting free nitrogen atoms can undergo further reactions, such as:



Where nitrogen reacts with oxygen atoms to form nitrogen monoxide ions ( $NO^+$ ) and nitrogen atoms.



Nitrogen monoxide ions undergo reduction with electrons ( $e^-$ ) to produce free nitrogen and oxygen.

## 2.3 Pencemaran Udara

### 2.3.1 Definisi Pencemaran Udara

Pencemaran udara, sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup RI No. KEP-03/MENKLH/II/1991, adalah masuknya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara, baik akibat aktivitas manusia maupun proses alam, yang menyebabkan penurunan kualitas udara hingga pada tingkat tertentu sehingga tidak dapat memenuhi fungsinya sesuai peruntukannya (Nurhaedah Hasan, 2020). Ini biasa dikenal dengan polusi udara, yaitu kondisi di mana terdapat zat fisik, biologi, atau kimia di atmosfer dalam jumlah yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Siburian & Mar, 2020).

Polusi udara telah menjadi salah satu masalah lingkungan serius di banyak negara karena kualitas udara terus menurun akibat masuknya zat-zat berbahaya. Zat-zat beracun seperti karbon monoksida, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, hidrokarbon, klorofluorokarbon, serta partikel padat dikenal sebagai polutan atau bahan pencemar udara (Yasir, 2021). Kontaminan ini tidak hanya mempengaruhi kesehatan manusia tetapi juga dapat merusak tumbuhan, hewan, serta benda mati, dengan dampak luas terhadap kelangsungan organisme (Asyhar & Minarni, 2023).

Pencemaran udara dapat dibedakan menjadi pencemar primer dan sekunder. Pencemar primer adalah zat yang dilepaskan langsung dari sumbernya, seperti karbon monoksida yang dihasilkan dari pembakaran kendaraan bermotor. Sementara itu, pencemar sekunder terbentuk dari reaksi kimia di atmosfer antara pencemar primer, misalnya ozon yang terbentuk melalui reaksi fotokimia dengan sinar matahari (Susilawaty et al., 2021).

### 2.3.2 Sumber dan Penyebab Pencemaran Udara

Daerah atau tingkatan wilayah di mana pencemaran udara terjadi dapat dibagi menjadi tiga kategori, berdasarkan cakupan wilayahnya dari yang paling kecil hingga yang lebih luas. Hal ini memungkinkan untuk lebih memahami bagaimana polusi udara berdampak pada berbagai skala geografis (Sylvia, et al., 2022). Berikut adalah tiga jenis tingkatan wilayah tersebut:

#### a) Tingkat Lokal

Pada tingkatan pencemaran udara lokal, penurunan kualitas udara terjadi dalam area yang relatif kecil, biasanya dalam radius beberapa kilometer.

## 2.3 Air Pollution

### 2.3.1 Definition of Air Pollution

Air pollution, according to the Decree of the Minister of State for Population and Environment of the Republic of Indonesia No. KEP-03/MENKLH/II/1991, is the entry of substances, energy, and/or other components into the air, either due to human activities or natural processes, which causes a decrease in air quality to a certain level so that it cannot fulfill its function according to its designation (Nurhaedah Hasan, 2020). This is commonly known as air pollution, which is a condition in which there are physical, biological, or chemical substances in the atmosphere in amounts that are harmful to human health and other living things (Siburian & Mar, 2020).

Air pollution has become one of the serious environmental problems in many countries because air quality continues to decline due to the entry of hazardous substances. Toxic substances such as carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, hydrocarbons, chlorofluorocarbons, and solid particles are known as air pollutants (Yasir, 2021). These contaminants not only affect human health but can also damage plants, animals, and inanimate objects, with broad impacts on the survival of organisms (Asyhar & Minarni, 2023).

Air pollution can be divided into primary and secondary pollutants. Primary pollutants are substances released directly from their source, such as carbon monoxide produced from the combustion of motor vehicles. Meanwhile, secondary pollutants are formed from chemical reactions in the atmosphere between primary pollutants, for example ozone which is formed through photochemical reactions with sunlight (Susilawaty et al., 2021).

### 2.3.2 Sources and Causes of Air Pollution

The areas or levels of areas where air pollution occurs can be divided into three categories, based on their coverage from the smallest to the largest. This allows for a better understanding of how air pollution impacts different geographic scales (Sylvia, et al., 2022). The following are the three types of levels of areas:

#### a) Local Level

At the local air pollution level, the decline in air quality occurs in a relatively small area, usually within a radius of several kilometers.

Di wilayah ini, polusi umumnya dihasilkan oleh sumber-sumber lokal, seperti emisi kendaraan bermotor, pembakaran domestik (seperti kayu atau sampah), serta aktivitas industri kecil. Wilayah ini sering kali meliputi lingkungan perkotaan atau pedesaan yang padat penduduk. Dampak langsung dari pencemaran lokal ini dapat dirasakan oleh masyarakat sekitar, seperti peningkatan masalah pernapasan dan iritasi mata.

**b) Tingkat Regional**

Pada tingkat regional, pencemaran udara memiliki dampak yang jauh lebih luas, meluas hingga ratusan bahkan ribuan kilometer dari sumber polusi. Fenomena seperti hujan asam adalah salah satu dampak signifikan yang terjadi akibat emisi sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan nitrogen oksida ( $\text{NOx}$ ) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama dari pembangkit listrik, kendaraan bermotor, dan industri berat. Kedua polutan ini bereaksi dengan uap air di atmosfer, membentuk asam sulfat dan asam nitrat yang kemudian jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk hujan, mengakibatkan penurunan pH air hujan.

**c) Tingkat Global**

Pada skala global, pencemaran udara memiliki dampak yang jauh lebih luas dan serius. Salah satu masalah utama yang terkait dengan pencemaran udara global adalah emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), dan dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Gas-gas ini berperan besar dalam pemanasan global dan perubahan iklim. Ketika gas-gas ini terakumulasi di atmosfer, mereka memperangkap panas dari matahari, menyebabkan suhu bumi meningkat secara bertahap, yang dikenal sebagai efek rumah kaca. Pemanasan global mengakibatkan perubahan drastis dalam pola cuaca, mencairnya es di kutub, dan naiknya permukaan laut, yang berdampak pada lingkungan, ekosistem, serta kehidupan manusia.

### 2.3.3 Sumber Pencemaran Udara

Sumber utama pencemaran udara berasal dari berbagai aktivitas manusia dan alam. Polutan ini berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara dan berdampak buruk pada kesehatan manusia dan lingkungan. Sumber utama pencemaran udara diantaranya terdapat empat jenis yakni:

**a) Sumber Bergerak (Mobile Sources)**

Sumber bergerak adalah penyumbang utama pencemaran udara yang berasal dari kendaraan bermotor. Kendaraan seperti mobil, bus, truk, pesawat, dan kereta api melepaskan emisi gas buang yang mengandung

In these areas, pollution is generally generated by local sources, such as motor vehicle emissions, domestic burning (such as wood or garbage), and small industrial activities. These areas often include densely populated urban or rural environments. The direct impacts of this local pollution can be felt by the surrounding community, such as increased respiratory problems and eye irritation.

#### b) Regional Level

At the regional level, air pollution has a much broader impact, extending hundreds or even thousands of kilometers from the source of pollution. Phenomena such as acid rain are one of the significant impacts that occur due to emissions of sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) and nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ) produced from the combustion of fossil fuels, especially from power plants, motor vehicles, and heavy industry. These two pollutants react with water vapor in the atmosphere, forming sulfuric acid and nitric acid which then fall to the earth's surface as rain, resulting in a decrease in the pH of rainwater.

#### c) Global Level

On a global scale, air pollution has a much broader and more serious impact. One of the major problems associated with global air pollution is the emission of greenhouse gases, such as carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), methane ( $\text{CH}_4$ ), and nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ). These gases play a major role in global warming and climate change. As these gases accumulate in the atmosphere, they trap heat from the sun, causing the Earth's temperature to gradually increase, known as the greenhouse effect. Global warming results in drastic changes in weather patterns, melting polar ice caps, and rising sea levels, all of which have impacts on the environment, ecosystems, and human life.

### 2.3.3 Sources of Air Pollution

The main sources of air pollution come from various human and natural activities. These pollutants contribute to the decline in air quality and have a negative impact on human health and the environment. The main sources of air pollution include four types, namely:

#### a) Mobile Sources

Mobile sources are the main contributors to air pollution from motor vehicles. Vehicles such as cars, buses, trucks, planes, and trains release exhaust emissions containing

bahan berbahaya seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), hidrokarbon (HC), dan partikel-partikel halus lainnya. Emisi ini berkontribusi signifikan terhadap penurunan kualitas udara, terutama di wilayah perkotaan yang padat lalu lintas. Polusi dari sumber bergerak ini seringkali berdampak langsung pada kesehatan manusia, menyebabkan penyakit pernapasan dan memperburuk kondisi seperti asma dan bronkitis.

**b) Sumber Diam (Stationary Sources)**

Sumber polusi diam merujuk pada sumber-sumber pencemaran yang tidak bergerak dan tetap berada di lokasi tertentu, seperti pembangkit listrik, kilang minyak, fasilitas industri, dan pabrik. Sumber-sumber ini memainkan peran yang sangat signifikan dalam menciptakan dan memperburuk pencemaran udara. Dengan proses operasional yang berlangsung terus menerus, polusi yang dihasilkan dari sumber-sumber ini dapat menumpuk dan berdampak serius terhadap kualitas udara di sekitarnya.

**c) Sumber Wilayah (Area Sources)**

Sumber wilayah merujuk pada area tertentu yang menjadi tempat beragam aktivitas manusia, seperti pertanian, perkotaan, dan penggunaan perapian kayu bakar. Meskipun masing-masing sumber ini mungkin terlihat kecil dan tidak terlalu mencolok, kontribusinya terhadap pencemaran udara secara keseluruhan tidak dapat diabaikan. Aktivitas-aktivitas ini sering kali menghasilkan emisi yang berbeda, termasuk partikel debu, asap, dan gas berbahaya, yang dapat memengaruhi kualitas udara di wilayah sekitarnya.

**d) Sumber Alam (Natural Sources)**

Sumber alam merupakan faktor pencemaran yang berasal dari fenomena alami, seperti debu yang terbawa oleh angin, kebakaran hutan, dan letusan gunung berapi. Meskipun sumber-sumber ini adalah bagian dari ekosistem, mereka dapat menyebabkan pencemaran udara yang signifikan dalam waktu tertentu. Debu yang terangkat oleh angin dari permukaan tanah atau daerah gurun, misalnya, dapat menyebar ke area yang luas dan mempengaruhi kualitas udara, terutama di daerah yang terpapar langsung oleh angin kencang.

hazardous materials such as carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), hydrocarbons (HC), and other fine particles. These emissions contribute significantly to the degradation of air quality, especially in densely trafficked urban areas. Pollution from these mobile sources often has a direct impact on human health, causing respiratory diseases and exacerbating conditions such as asthma and bronchitis.

#### **b) Stationary Sources**

Stationary sources of pollution refer to sources of pollution that are stationary and fixed in a particular location, such as power plants, oil refineries, industrial facilities, and factories. These sources play a very significant role in creating and worsening air pollution. With continuous operational processes, the pollution produced by these sources can accumulate and have a serious impact on the surrounding air quality.

#### **c) Area Sources**

Area sources refer to specific areas where various human activities occur, such as agriculture, urbanization, and the use of wood-burning fireplaces. While each of these sources may seem small and inconspicuous, their contribution to overall air pollution cannot be ignored. These activities often produce different emissions, including dust particles, smoke, and hazardous gases, which can affect the air quality of the surrounding area.

#### **d) Natural Sources**

Natural sources are pollution factors that originate from natural phenomena, such as dust carried by the wind, forest fires, and volcanic eruptions. Although these sources are part of the ecosystem, they can cause significant air pollution over time. Dust lifted by the wind from the ground or desert areas, for example, can spread over large areas and affect air quality, especially in areas directly exposed to strong winds.

## 2.3.4 Bahan Pencemar Udara

Pencemaran udara terdiri dari berbagai jenis polutan yang dapat dikategorikan menjadi beberapa kelompok, termasuk partikel-partikel, gas-gas, dan bentuk energi. Partikel-partikel seperti debu jatuh, timbal hitam, dan aerosol merupakan salah satu bentuk pencemaran yang umum dijumpai. Debu jatuh dapat berasal dari aktivitas konstruksi, lalu lintas, atau sumber alami, sementara timbal hitam sering kali berasal dari emisi kendaraan bermotor. Aerosol, yang merupakan partikel halus yang tersuspensi di udara, dapat terbentuk dari berbagai sumber, termasuk pembakaran bahan bakar dan proses industri.

Polutan seperti debu, CO, Pb, CO<sub>2</sub>, hidrokarbon, NOx, dan H<sub>2</sub>S memiliki potensi bahaya yang besar, baik secara individual maupun jika terakumulasi bersama-sama. Kombinasi dari polutan ini dapat menimbulkan efek sinergis yang lebih berbahaya daripada efek masing-masing polutan secara terpisah. Dampaknya tidak hanya terbatas pada kesehatan manusia, tetapi juga dapat merusak kesehatan hewan, tumbuhan, dan bahkan material seperti bangunan dan logam. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian pencemaran udara menjadi sangat penting untuk melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat (Wijaya, 2020).

### a) Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang sering disebut sebagai zat asam arang, adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu atom karbon yang terikat secara kovalen dengan dua atom oksigen. Dalam kondisi suhu dan tekanan standar, CO<sub>2</sub> muncul dalam bentuk gas dan terdapat secara alami di atmosfer Bumi. Gas ini memiliki peran penting dalam berbagai proses biokimia dan fisik yang terjadi di lingkungan kita.

### b) Belerang Oksida (SO<sub>x</sub>)

Belerang oksida mencakup dua jenis gas utama, yaitu belerang dioksida (SO<sub>2</sub>) dan belerang trioksida (SO<sub>3</sub>). Belerang dioksida adalah gas tidak berwarna yang memiliki bau menyengat dan dikenal sebagai salah satu emisi industri yang dapat menimbulkan dampak lingkungan yang serius. Gas ini bersifat beracun dan dapat membahayakan kesehatan manusia, menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, mata, dan kulit. Oleh karena itu, paparan belerang dioksida harus dihindari untuk menjaga kesehatan individu, terutama bagi mereka yang memiliki masalah pernapasan.

## 2.3.4 Air Pollutants

Air pollution consists of various types of pollutants that can be categorized into several groups, including particles, gases, and energy forms. Particles such as dust fall, lead, and aerosols are some of the most common forms of pollution. Dust fall can come from construction activities, traffic, or natural sources, while lead often comes from motor vehicle emissions. Aerosols, which are fine particles suspended in the air, can be formed from a variety of sources, including fuel combustion and industrial processes.

Pollutants such as dust, CO, Pb, CO<sub>2</sub>, hydrocarbons, NO<sub>x</sub>, and H<sub>2</sub>S have great potential hazards, both individually and when accumulated together. The combination of these pollutants can cause synergistic effects that are more dangerous than the effects of each pollutant separately. The impact is not only limited to human health, but can also damage the health of animals, plants, and even materials such as buildings and metals. Therefore, monitoring and controlling air pollution is very important to protect the environment and public health (Wijaya, 2020).

### a) Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), often referred to as carbonic acid, is a chemical compound consisting of one carbon atom covalently bonded to two oxygen atoms. Under standard temperature and pressure conditions, CO<sub>2</sub> exists as a gas and occurs naturally in the Earth's atmosphere. This gas plays an important role in many biochemical and physical processes that occur in our environment.

### b) Sulfur Oxide (SO<sub>x</sub>)

Sulfur oxides include two main types of gases, namely sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and sulfur trioxide (SO<sub>3</sub>). Sulfur dioxide is a colorless gas with a pungent odor and is known as one of the industrial emissions that can cause serious environmental impacts. This gas is toxic and can be harmful to human health, causing irritation to the respiratory tract, eyes, and skin. Therefore, exposure to sulfur dioxide should be avoided to maintain the health of individuals, especially those with respiratory problems.

### c) Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas berbahaya yang tidak memiliki warna, bau, atau rasa, sehingga sering kali sulit terdeteksi tanpa alat pengukur. Gas ini dihasilkan melalui proses pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna, yang terjadi pada berbagai sumber, termasuk kendaraan bermotor, industri, dan pembangkit listrik. Ketika bahan bakar seperti bensin, diesel, atau gas alami terbakar secara tidak efisien, karbon monoksida dapat terbentuk dan terlepas ke atmosfer, menciptakan risiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

### d) Partikulat

Partikulat adalah partikel padat yang terjebak dalam udara dan mencakup berbagai jenis, seperti asap, debu, jelaga, dan abu. Ukuran partikulat dapat bervariasi, mulai dari beberapa sentimeter hingga ukuran yang jauh lebih kecil, dengan diameter yang biasanya diukur dalam mikrometer. Partikulat berperan penting dalam proses kondensasi, karena dapat bertindak sebagai inti untuk pembentukan tetesan air di atmosfer. Selain itu, partikulat juga memiliki kemampuan untuk menyerap dan memantulkan cahaya, yang dapat memengaruhi kualitas udara dan kondisi lingkungan. Nuswowati et al. (2024) menyebutkan partikel-partikel pencemaran udara dapat berupa sebagai berikut:

1. Aerosol (partikel) yang terhambur dan melayang di udara
2. Fog (kabut) yang merupakan aerosol berupa butiran 2 di udara.
3. Dust (debu) atau aerosol yang berupa butiran padat yang melayang di udara karena tiupan angin.
4. Smoke (asap) yang merupakan aerosol campuran antara butiran padat dan cair yang melayang di udara.
5. Mist (mirip kabut), berupa butiran zat cair, terhambur dan melayang di udara.
6. Plume, asap dari cerobong pabrik.
7. Smog, campuran smoke dan fog.
8. Fume, aerosol dari kondensasi uap logam.

### e) Asap Rokok

Rokok mengandung lebih dari 4.000 zat organik yang dapat ditemukan baik dalam bentuk gas maupun partikel, yang berasal dari daun tembakau dan asap rokok. Banyak dari zat-zat ini memiliki sifat toksik dan karsinogenik, dengan beberapa di antaranya juga bersifat radioaktif dan adiktif. Keragaman komponen dalam rokok mencerminkan kompleksitasnya sebagai produk yang dapat memengaruhi kesehatan secara signifikan.

### c) Carbon Monoxide (CO)

Carbon monoxide (CO) is a dangerous gas that has no color, odor, or taste, making it often difficult to detect without a measuring device. It is produced through the incomplete combustion of fuel, which occurs in a variety of sources, including motor vehicles, industry, and power plants. When fuels such as gasoline, diesel, or natural gas burn inefficiently, carbon monoxide can form and be released into the atmosphere, creating risks to human health and the environment.

### d) Particulates

Particulates are solid particles trapped in the air and include various types, such as smoke, dust, soot, and ash. The size of particulates can vary, from a few centimeters to much smaller sizes, with diameters usually measured in micrometers. Particulates play an important role in the condensation process, as they can act as nuclei for the formation of water droplets in the atmosphere. In addition, particulates also have the ability to absorb and reflect light, which can affect air quality and environmental conditions. Nusnowati et al. (2024) stated that air pollution particles can be as follows:

1. Aerosols (particles) that are dispersed and floating in the air
2. Fog (mist) which is an aerosol in the form of 2 particles in the air.
3. Dust or aerosols are solid particles that float in the air due to the wind.
4. Smoke is an aerosol mixture of solid and liquid particles that float in the air.
5. Mist (similar to fog), in the form of liquid droplets, scattered and floating in the air.
6. Plume, smoke from factory chimneys.
7. Smog, a mixture of smoke and fog.
8. Fume, an aerosol from the condensation of metal vapors.

### e) Cigarette Smoke

Cigarettes contain more than 4,000 organic substances that can be found in both gas and particle form, originating from tobacco leaves and cigarette smoke. Many of these substances have toxic and carcinogenic properties, with some also being radioactive and addictive. The diversity of components in cigarettes reflects its complexity as a product that can significantly affect health.

## 2.3.5 Dampak Pencemaran Udara

Salah satu aspek berbahaya dari polusi udara adalah bahwa partikel sulfur dioksida dan nitrogen oksida dapat berinteraksi dengan air dan oksigen di atmosfer, menghasilkan hujan asam. Polutan ini sebagian besar berasal dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara dan emisi kendaraan bermotor. Ketika hujan asam jatuh ke bumi, ia dapat merusak tanaman dengan mengubah komposisi tanah dan menurunkan kualitas air di sungai, danau, dan aliran lainnya. Dampak ini menciptakan siklus kerusakan yang dapat mempengaruhi kesehatan tanah, tanaman, dan bahkan bangunan serta monumen.

Secara keseluruhan, pencemaran udara berkontribusi terhadap penurunan kualitas lingkungan, yang mencakup pengurangan jarak pandang, pembentukan kabut, pemanasan global, hujan asam, dan penipisan lapisan ozon. Semua ini memiliki dampak jangka panjang yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan mempengaruhi kehidupan di Bumi. Oleh karena itu, tindakan yang tepat perlu diambil untuk mengurangi emisi polutan dan melindungi kualitas udara demi keberlanjutan ekosistem dan kesehatan masyarakat (Sonwani & Maury, 2018).

### 1) Hujan Asam

Hujan asam, atau yang dikenal sebagai deposisi asam, merupakan salah satu bentuk pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari transformasi gas-gas belerang dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) yang dilepaskan ke atmosfer dari berbagai sumber. Proses ini dimulai ketika emisi gas  $\text{SO}_2$ , yang berasal dari kegiatan pembakaran bahan bakar fosil dan peleburan logam, serta  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan dari kendaraan bermotor, sumber industri, dan pembangkit listrik, terlepas ke udara. Gas-gas ini kemudian berinteraksi dengan uap air di atmosfer, membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) yang kemudian jatuh kembali ke bumi dalam bentuk presipitasi.

### 2) Pemanasan Global

Pemanasan global adalah fenomena lingkungan yang diakibatkan oleh polusi udara dan aktivitas manusia, yang ditandai dengan kenaikan suhu rata-rata bumi—baik di atmosfer, laut, maupun daratan. Kenaikan suhu ini disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca di atmosfer yang menjebak panas dan mencegah pelepasan panas ke luar angkasa. Faktor utama yang memicu pemanasan global adalah efek rumah kaca yang lebih kuat dari kondisi normal di atmosfer. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca telah

## 2.3.5 Impact of Air Pollution

One of the dangerous aspects of air pollution is that sulfur dioxide and nitrogen oxide particles can interact with water and oxygen in the atmosphere, producing acid rain. These pollutants mostly come from coal-fired power plants and motor vehicle emissions. When acid rain falls to the ground, it can damage plants by changing the composition of the soil and reducing the quality of water in rivers, lakes, and other streams. This creates a cycle of damage that can affect the health of soil, plants, and even buildings and monuments.

Overall, air pollution contributes to environmental degradation, including reduced visibility, haze formation, global warming, acid rain, and ozone layer depletion. All of these have long-term impacts that can disrupt the balance of the ecosystem and affect life on Earth. Therefore, appropriate measures need to be taken to reduce pollutant emissions and protect air quality for the sustainability of the ecosystem and public health (Sonwani & Maury, 2018).

### 1) Acid Rain

Acid rain, also known as acid deposition, is a form of environmental pollution resulting from the transformation of sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) and nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ) gases released into the atmosphere from various sources. This process begins when  $\text{SO}_2$  gas emissions, which come from fossil fuel combustion and metal smelting activities, and  $\text{NO}_x$  produced by motor vehicles, industrial sources, and power plants, are released into the air. These gases then interact with water vapor in the atmosphere, forming sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) and nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) which then fall back to earth as precipitation.

### 2) Global Warming

Global warming is an environmental phenomenon caused by air pollution and human activities, characterized by an increase in the average temperature of the earth—both in the atmosphere, ocean, and land. This increase in temperature is caused by an increase in greenhouse gases in the atmosphere that trap heat and prevent the release of heat into space. The main factor that triggers global warming is the greenhouse effect which is stronger than normal conditions in the atmosphere. The increase in greenhouse gas concentrations has

menyebabkan suhu udara dan lautan meningkat, yang berdampak besar pada keseimbangan ekosistem bumi.

### 3) Kabut Asap

Kabut asap adalah salah satu masalah utama yang sering dialami oleh negara-negara maju sebagai dampak dari industrialisasi dan urbanisasi yang pesat. Kabut asap terbentuk ketika polutan dari pabrik, kendaraan bermotor, dan sumber industri lainnya bereaksi dengan sinar matahari, menghasilkan partikel dan gas yang berbahaya di atmosfer. Fenomena ini biasanya lebih parah di daerah perkotaan yang padat dengan aktivitas industri. Proses industrialisasi yang terus berlanjut di banyak negara maju menyebabkan pelepasan emisi dalam jumlah besar, yang berkontribusi langsung pada terbentuknya kabut asap di atmosfer.

### 4) Penipisan Lapisan Ozon

Lapisan ozon yang terdapat di stratosfer memiliki fungsi penting sebagai pelindung alami bumi. Lapisan ini berperan dalam menyaring sinar radiasi ultraviolet (UV) yang dipancarkan oleh matahari, mencegah sinar UV-B yang berbahaya mencapai permukaan bumi dalam jumlah besar. Jika lapisan ozon berfungsi dengan baik, radiasi yang terserap akan membantu melindungi makhluk hidup dari efek buruk sinar UV, seperti kanker kulit, kerusakan mata, dan gangguan pada sistem kekebalan tubuh manusia.

Untuk mengatasi masalah ini, langkah-langkah global telah diambil, salah satunya adalah Protokol Montreal yang ditandatangani pada tahun 1987. Protokol ini bertujuan untuk mengurangi dan menghapus penggunaan bahan kimia yang merusak ozon, termasuk CFC dan HCFC. Sejak protokol ini diberlakukan, terdapat kemajuan signifikan dalam pemulihian lapisan ozon, meskipun proses pemulihannya masih lambat. Namun, dengan upaya terus-menerus dari komunitas internasional, ada harapan bahwa lapisan ozon akan kembali ke tingkat yang lebih stabil dalam beberapa dekade mendatang. Dampak pencemaran udara dapat menyebabkan berbagai efek kesehatan pada manusia, yang dapat dibagi menjadi dua kategori:

#### 1. Pencemaran Jangka Pendek

Pencemaran udara memiliki efek jangka pendek yang dapat dirasakan segera setelah terpapar, meskipun sifatnya sementara. Salah satu dampaknya adalah terjadinya penyakit pernapasan seperti pneumonia atau bronkitis. Penyakit ini muncul akibat masuknya polutan berbahaya ke dalam sistem pernapasan, yang kemudian mengganggu fungsi paru-paru dan saluran pernapasan. Selain penyakit pernapasan, pencemaran udara

causing air and ocean temperatures to rise, which has a major impact on the balance of the earth's ecosystem.

### 3) Smog

Smog is one of the major problems often experienced by developed countries as a result of rapid industrialization and urbanization. Smog is formed when pollutants from factories, motor vehicles, and other industrial sources react with sunlight, producing harmful particles and gases in the atmosphere. This phenomenon is usually more severe in urban areas that are dense with industrial activity. The ongoing industrialization process in many developed countries has led to the release of large amounts of emissions, which directly contribute to the formation of smog in the atmosphere.

### 4) Ozone Layer Depletion

The ozone layer in the stratosphere has an important function as a natural protector of the earth. This layer plays a role in filtering ultraviolet (UV) radiation emitted by the sun, preventing harmful UV-B rays from reaching the earth's surface in large quantities. If the ozone layer functions properly, the absorbed radiation will help protect living things from the adverse effects of UV rays, such as skin cancer, eye damage, and disorders of the human immune system.

To address this issue, global measures have been taken, one of which is the Montreal Protocol signed in 1987. This protocol aims to reduce and phase out the use of chemicals that deplete the ozone layer, including CFCs and HCFCs. Since this protocol came into effect, there has been significant progress in restoring the ozone layer, although the recovery process is still slow. However, with continued efforts from the international community, there is hope that the ozone layer will return to a more stable level in the coming decades. The impact of air pollution can cause various health effects on humans, which can be divided into two categories:

#### 1. Short-Term Pollution

Air pollution has short-term effects that can be felt immediately after exposure, although it is temporary. One of the impacts is the occurrence of respiratory diseases such as pneumonia or bronchitis. This disease occurs due to the entry of dangerous pollutants into the respiratory system, which then disrupts the function of the lungs and respiratory tract. In addition to respiratory diseases, air pollution

juga dapat menyebabkan ketidaknyamanan yang mengganggu aktivitas sehari-hari. Misalnya, iritasi pada bagian tubuh seperti hidung, tenggorokan, mata, atau kulit. Gejala lain yang mungkin muncul meliputi sakit kepala, pusing, dan mual akibat paparan bahan kimia atau gas beracun yang ada di udara.

## 2. Pencemaran Jangka Panjang

Efek jangka panjang dari pencemaran udara bisa berlangsung selama bertahun-tahun atau seumur hidup, dan bahkan dapat berakibat fatal. Dampak kesehatan jangka panjang dari pencemaran udara termasuk penyakit jantung, kanker paru-paru, dan gangguan pernapasan seperti emfisema. Pencemaran udara juga dapat menyebabkan kerusakan permanen pada saraf, otak, ginjal, hati, dan organ tubuh lainnya. Beberapa ilmuwan juga mengaitkan pencemaran udara dengan cacat lahir. Setiap tahun, hampir 2,5 juta orang di seluruh dunia meninggal akibat dampak pencemaran udara, baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan (National Geographic, 2021).

### 2.3.6 Upaya Pengendalian Pencemaran Udara

#### a) Pencegahan Pencemaran Udara

Langkah pertama dalam mencegah pencemaran udara adalah melalui penerapan peraturan perundang-undangan. Contohnya, Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 yang berfokus pada pengendalian pencemaran udara. Peraturan ini mengatur berbagai upaya untuk mencegah, membatasi, dan mengurangi pencemaran udara, termasuk pengendalian kebisingan. Peraturan tersebut meliputi penetapan standar kualitas udara ambien, batas emisi untuk sumber tidak bergerak, serta batas emisi gas buang dan kebisingan kendaraan bermotor

Penanggulangan pencemaran udara dapat dilakukan dengan mematuhi standar kualitas udara ambien dan emisi yang telah ditetapkan, terutama di industri-industri yang menjadi sumber polusi. Selain itu, pengelolaan emisi dari kendaraan bermotor dan penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, seperti gas alam untuk angkutan umum dan kendaraan operasional pemerintah daerah, merupakan langkah penting dalam penanggulangan ini. Di sisi lain, pengelolaan kualitas udara dalam ruangan juga penting untuk menjaga kesehatan, terutama di area yang rentan terpapar polusi.

can also cause discomfort that interferes with daily activities. For example, irritation to body parts such as the nose, throat, eyes, or skin. Other symptoms that may appear include headaches, dizziness, and nausea due to exposure to chemicals or toxic gases in the air.

2. Long-Term Pollution The long-term effects of air pollution can last for years or a lifetime, and can even be fatal. Long-term health effects of air pollution include heart disease, lung cancer, and respiratory disorders such as emphysema. Air pollution can also cause permanent damage to the nerves, brain, kidneys, liver, and other organs. Some scientists have also linked air pollution to birth defects. Every year, nearly 2.5 million people worldwide die from the effects of air pollution, both outdoors and indoors (National Geographic, 2021).

### 2.3.6 Air Pollution Control Efforts

#### a) Prevention of Air Pollution

The first step in preventing air pollution is through the implementation of laws and regulations. For example, the Indonesian Government has issued Government Regulation No. 41 of 1999 which focuses on controlling air pollution. This regulation regulates various efforts to prevent, limit, and reduce air pollution, including noise control. The regulation includes the establishment of ambient air quality standards, emission limits for stationary sources, and exhaust emission limits and noise from motor vehicles

Air pollution control can be done by complying with the established ambient air quality and emission standards, especially in industries that are sources of pollution. In addition, managing emissions from motor vehicles and using more environmentally friendly fuels, such as natural gas for public transportation and local government operational vehicles, are important steps in this control. On the other hand, managing indoor air quality is also important for maintaining health, especially in areas that are vulnerable to pollution.

### b) Dampak dari Pengembangan RTH

RTH tidak hanya membantu memperbaiki kualitas udara tetapi juga berperan dalam menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan seimbang. Dengan kehadiran RTH yang cukup, suhu kota dapat dikurangi, dan polusi udara dapat disaring oleh pepohonan. Di sisi lain, RTH juga meningkatkan estetika kota dan menyediakan area rekreasi, yang secara tidak langsung meningkatkan kualitas hidup warga perkotaan.

## 2.3.7 Studi Kasus

### Studi Kasus: Penipisan Lapisan Ozon dan Bukti Ilmiahnya

#### Latar Belakang

Lapisan ozon, yang melindungi Bumi dari radiasi ultraviolet (UV) berbahaya, mulai menipis di akhir abad ke-20, terutama di wilayah kutub selatan. Pada 1985, ilmuwan dari British Antarctic Survey menemukan adanya "lubang ozon" di atas Antartika, dengan penurunan ozon hingga 60%.

#### Penyebab

Penipisan ozon ini disebabkan oleh senyawa buatan manusia, khususnya klorofluorokarbon (CFC), yang banyak digunakan dalam produk seperti refrigeran dan aerosol. Ketika CFC mencapai stratosfer, sinar UV memecahnya, melepaskan atom klorin yang menghancurkan molekul ozon dalam reaksi berantai.

#### Bukti Ilmiah

Pengamatan satelit, seperti yang dilakukan oleh NASA, menunjukkan lubang ozon meluas hingga 25 juta km<sup>2</sup> pada puncaknya setiap tahun. Selain Antartika, penipisan juga terjadi di Arktik dan lintang tengah.

#### Tanggapan Global

Pada 1987, Protokol Montreal disepakati oleh hampir semua negara untuk mengurangi produksi dan penggunaan CFC. Ini dianggap sebagai kesuksesan global dalam diplomasi lingkungan.

### b) Impact of Green Open Space Development

Green open space not only helps improve air quality but also plays a role in creating a healthier and more balanced environment. With the presence of sufficient green open space, the temperature of the city can be reduced, and air pollution can be filtered by trees. On the other hand, green open space also improves the aesthetics of the city and provides recreational areas, which indirectly improves the quality of life of urban residents.

### 2.3.7 Case Study

## Case Study: Ozone Layer Depletion and Its Scientific Evidence

### Background

The ozone layer, which protects the Earth from harmful ultraviolet (UV) radiation, began to thin in the late 20th century, especially in the southern polar region. In 1985, scientists from the British Antarctic Survey discovered an "ozone hole" over Antarctica, with a decrease in ozone of up to 60%.

### Reason

This ozone depletion is caused by man-made compounds, particularly chlorofluorocarbons (CFCs), which are widely used in products such as refrigerants and aerosols. When CFCs reach the stratosphere, UV light breaks them down, releasing chlorine atoms that destroy ozone molecules in a chain reaction.

### Scientific Evidence

Satellite observations, such as those by NASA, show the ozone hole expanding by up to 25 million km<sup>2</sup> at its peak each year. In addition to Antarctica, thinning is also occurring in the Arctic and mid-latitudes.

### Global Response

In 1987, the Montreal Protocol was agreed by almost all countries to reduce the production and use of CFCs. This was considered a global success in environmental diplomacy.



## Rangkuman

Udara adalah komponen esensial bagi kehidupan yang terdiri dari berbagai gas seperti oksigen ( $O_2$ ), nitrogen ( $N_2$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), serta gas mulia lainnya. Udara berperan penting dalam berbagai proses biologis dan kimia di bumi. Udara ambien adalah udara yang kita hirup sehari-hari, sedangkan udara emisi mengandung polutan yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Secara geografis, udara terbagi menjadi empat golongan: ekuatorial, tropika, polaris, dan arktris, dengan masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda. Udara bersih sangat penting untuk kesehatan manusia dan kelangsungan hidup ekosistem, serta memiliki sifat-sifat seperti massa, tekanan, dan kemampuannya untuk mengalir.

Atmosfer adalah lapisan gas yang menyelubungi bumi dan terdiri dari berbagai unsur kimia yang dipertahankan oleh gravitasi. Gas-gas penyusun atmosfer dibagi menjadi gas dengan konsentrasi tetap seperti nitrogen dan oksigen, serta gas dengan konsentrasi variabel seperti karbon dioksida dan uap air. Atmosfer berperan besar dalam melindungi kehidupan di bumi dengan menyerap radiasi berbahaya dan membantu menjaga suhu yang layak untuk kehidupan. Atmosfer juga memiliki sifat-sifat seperti elastisitas dan transparansi, yang memungkinkan terjadinya berbagai fenomena alam seperti angin dan cuaca.

Lapisan atmosfer dapat dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain troposfer, stratosfer, dan mesosfer. Troposfer adalah lapisan terdekat dengan permukaan bumi di mana hampir semua fenomena cuaca terjadi. Di atasnya, stratosfer mengandung lapisan ozon yang melindungi bumi dari sinar ultraviolet berbahaya. Sementara itu, mesosfer adalah lapisan di mana meteor terbakar saat masuk ke atmosfer bumi. Setiap lapisan atmosfer memiliki karakteristik unik yang memainkan peran penting dalam sistem bumi secara keseluruhan.

Pencemaran udara adalah fenomena di mana zat-zat berbahaya, baik fisik, biologi, atau kimia, masuk ke atmosfer dalam jumlah yang berbahaya. Zat-zat ini, yang disebut polutan, dapat berasal dari kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, atau dari fenomena alam seperti letusan gunung berapi. Pencemar primer, seperti karbon monoksida, dihasilkan langsung dari sumber pencemaran, sementara pencemar sekunder, seperti ozon, terbentuk melalui reaksi kimia di-



## Summary

Air is an essential component for life consisting of various gases such as oxygen ( $O_2$ ), nitrogen ( $N_2$ ), carbon dioxide ( $CO_2$ ), and other noble gases. Air plays an important role in various biological and chemical processes on earth. Ambient air is the air we breathe every day, while emission air contains pollutants produced by human activities. Geographically, air is divided into four groups: equatorial, tropical, polar, and arctic, each with different characteristics. Clean air is essential for human health and the survival of ecosystems, and has properties such as mass, pressure, and ability to flow.

The atmosphere is a layer of gases that surrounds the earth and consists of various chemical elements that are held together by gravity. The gases that make up the atmosphere are divided into gases with fixed concentrations such as nitrogen and oxygen, and gases with variable concentrations such as carbon dioxide and water vapor. The atmosphere plays a major role in protecting life on earth by absorbing harmful radiation and helping to maintain temperatures suitable for life. The atmosphere also has properties such as elasticity and transparency, which allow for various natural phenomena such as wind and weather.

The layers of the atmosphere can be divided into several parts, including the troposphere, stratosphere, and mesosphere. The troposphere is the layer closest to the earth's surface where almost all weather phenomena occur. Above it, the stratosphere contains the ozone layer that protects the earth from harmful ultraviolet rays. Meanwhile, the mesosphere is the layer where meteors burn up as they enter the earth's atmosphere. Each layer of the atmosphere has unique characteristics that play an important role in the earth's system as a whole.

Air pollution is a phenomenon in which harmful substances, whether physical, biological, or chemical, enter the atmosphere in dangerous quantities. These substances, called pollutants, can come from human activities such as the burning of fossil fuels, or from natural phenomena such as volcanic eruptions. Primary pollutants, such as carbon monoxide, are produced directly from the source of pollution, while secondary pollutants, such as ozone, are formed through chemical reactions in-



## Rangkuman

atmosfer. Pencemaran udara berdampak langsung pada kesehatan manusia, menyebabkan penyakit pernapasan, kanker, dan masalah lingkungan.

Sumber pencemaran udara dapat dibagi menjadi beberapa kategori, termasuk sumber bergerak seperti kendaraan bermotor, sumber tetap seperti pabrik industri, dan sumber alami seperti kebakaran hutan dan letusan gunung berapi. Polusi udara dari kendaraan bermotor dan industri berkontribusi signifikan terhadap penurunan kualitas udara, terutama di daerah perkotaan. Selain itu, pencemaran udara global, seperti emisi gas rumah kaca, berkontribusi terhadap perubahan iklim global dan pemanasan global.

Upaya pengendalian pencemaran udara melibatkan regulasi yang ketat, seperti Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang baku mutu udara ambien nasional. Langkah-langkah ini diperlukan untuk mengurangi dampak pencemaran udara terhadap kesehatan dan lingkungan. Pengawasan dan pemantauan kualitas udara juga penting dalam menentukan tindakan preventif dan korektif. Pengurangan emisi dari sumber pencemaran, serta peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya udara bersih, adalah langkah kunci dalam menjaga kualitas udara yang sehat dan aman bagi semua makhluk hidup.



## Summary

atmosphere. Air pollution has a direct impact on human health, causing respiratory diseases, cancer, and environmental problems.

Air pollution sources can be divided into several categories, including mobile sources such as motor vehicles, fixed sources such as industrial plants, and natural sources such as forest fires and volcanic eruptions. Air pollution from motor vehicles and industry contributes significantly to the decline in air quality, especially in urban areas. In addition, global air pollution, such as greenhouse gas emissions, contributes to global climate change and global warming.

Air pollution control efforts involve strict regulations, such as Government Regulation No. 41 of 1999 concerning national ambient air quality standards. These steps are necessary to reduce the impact of air pollution on health and the environment. Air quality monitoring and supervision are also important in determining preventive and corrective actions. Reducing emissions from pollution sources, as well as increasing public awareness of the importance of clean air, are key steps in maintaining healthy and safe air quality for all living things.



## Evaluasi

1. Sebuah pabrik menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama untuk produksinya. Pabrik ini menghasilkan sejumlah besar sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) sebagai polutan udara. Apa potensi dampak lingkungan dari emisi sulfur dioksida ini, dan tindakan apa yang dapat diambil untuk mengurangi dampaknya?
  - a. Sulfur dioksida hanya mempengaruhi tanaman, tidak perlu tindakan
  - b. Sulfur dioksida dapat menyebabkan hujan asam, sehingga diperlukan
  - c. Sulfur dioksida meningkatkan kesuburan tanah, sehingga tidak ada
  - d. Sulfur dioksida memperbaiki kualitas udara secara keseluruhan,
  - e. Sulfur dioksida hanya berbahaya bagi manusia, sehingga cukup khusus.
2. Dalam upaya mengurangi dampak buruk pencemaran udara di kota besar, pemerintah merencanakan program penghijauan kota dengan menanam lebih banyak pohon. Bagaimana penanaman pohon dapat berkontribusi dalam mengurangi pencemaran udara?
  - a. Pohon tidak berkontribusi pada pengurangan polusi udara, hanya meningkatkan keindahan kota
  - b. Pohon hanya berfungsi sebagai tempat tinggal bagi satwa, tidak ada dampak terhadap polusi udara.
  - c. Pohon dapat menyerap karbon dioksida dan polutan lainnya dari udara, serta menghasilkan oksigen, yang dapat memperbaiki kualitas udara.
  - d. Pohon menurunkan suhu kota, tetapi tidak mempengaruhi tingkat polusi udara.
  - e. Pohon meningkatkan kelembaban udara, yang justru memperparah polusi udara
3. Kota A sedang berusaha mengurangi tingkat polusi udaranya. Salah satu langkah yang mereka lakukan adalah mengurangi penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil. Mengapa pengurangan ini penting dalam konteks pemanasan global dan kesehatan penduduk?
  - a. Karena kendaraan berbahan bakar fosil menghasilkan polutan yang mempercepat penipisan lapisan ozon.
  - b. Karena kendaraan berbahan bakar fosil tidak berkontribusi terhadap pemanasan global.
  - c. Karena kendaraan berbahan bakar fosil menghasilkan polutan yang dapat menyebabkan hujan asam, meningkatkan pemanasan global, dan membahayakan kesehatan penduduk.



## Evaluation

1. A factory uses coal as the main fuel for its production. The factory produces large amounts of sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) as an air pollutant. What are the potential environmental impacts of these sulfur dioxide emissions, and what actions can be taken to reduce their impact?
- a. Sulfur dioxide only affects plants, no action is needed
  - b. Sulfur dioxide can cause acid rain, so it is needed
  - c. Sulfur dioxide increases soil fertility, so there is no
  - d. Sulfur dioxide improves overall air quality,
  - e. Sulfur dioxide is only harmful to humans, so it is quite specific.
2. In an effort to reduce the negative impacts of air pollution in big cities, the government is planning a city greening program by planting more trees. How can tree planting contribute to reducing air pollution?
- a. Trees do not contribute to reducing air pollution, they only increase the beauty of the city.
  - b. Trees only function as a place to live for animals, they have no impact on air pollution.
  - c. Trees can absorb carbon dioxide and other pollutants from the air, and produce oxygen, which can improve air quality.
  - d. Trees lower city temperatures, but do not affect air pollution levels.
  - e. Trees increase air humidity, which actually worsens air pollution.
3. City A is trying to reduce its air pollution levels. One of the steps they are taking is to reduce the use of fossil fuel-powered vehicles. Why is this reduction important in the context of global warming and public health?
- a. Because fossil fuel vehicles produce pollutants that accelerate the depletion of the ozone layer.
  - b. Because fossil fuel vehicles do not contribute to global warming.
  - c. Because fossil fuel vehicles produce pollutants that can cause acid rain, increase global warming, and endanger people's health.

- d.Karena kendaraan berbahan bakar fosil menghasilkan karbon dioksida yang hanya mempengaruhi kualitas air.
- e.Karena kendaraan berbahan bakar fosil hanya mempengaruhi jarak pandang, bukan kesehatan atau iklim.
- 4.Dalam skenario global, banyak negara menandatangani perjanjian internasional untuk mengurangi emisi gas rumah kaca guna memerangi pemanasan global. Bagaimana langkah individu dalam kehidupan sehari-hari dapat mendukung upaya global ini?
- a.Menggunakan lebih banyak alat elektronik untuk mempercepat aktivitas harian.
  - b.Memakai kendaraan pribadi untuk mengurangi waktu perjalanan.
  - c.Meningkatkan penggunaan energi terbarukan di rumah dan mengurangi penggunaan energi fosil.
  - d.Mengkonsumsi lebih banyak produk impor untuk mendukung mengurangi penggunaan energi fosil.
  - e.Mengabaikan masalah polusi dan lebih fokus pada pengembangan ekonomi.
5. Polusi udara sering terjadi akibat aktivitas manusia, seperti penggunaan kendaraan bermotor. Jika sebuah kota mengalami peningkatan penggunaan kendaraan bermotor yang signifikan, dampak apa yang kemungkinan besar akan terjadi pada kualitas udara dan kesehatan penduduk kota tersebut?
- a.Polusi udara akan meningkat, yang dapat menyebabkan lebih banyak penyakit pernapasan pada penduduk.
  - b.Polusi udara akan menurun karena peningkatan kendaraan memperbaiki infrastruktur.
  - c.Kualitas udara akan membaik karena lebih banyak kendaraan berarti lebih banyak orang yang bergerak.
  - d.Tidak ada dampak signifikan karena teknologi kendaraan modern sudah ramah lingkungan.
  - e.Kualitas udara akan tetap sama, tetapi jumlah kendaraan meningkat.
- 6.Mengapa penipisan lapisan ozon berbahaya bagi kesehatan manusia dan tanaman, dan tindakan apa yang dapat diambil untuk mengurangi masalah ini?
- a.Penipisan lapisan ozon menyebabkan peningkatan radiasi UV yang merusak DNA tanaman dan menyebabkan penyakit kulit pada manusia. Untuk mengurangi masalah ini, penggunaan bahan kimia pengganti CFC harus ditingkatkan.

- d. Because fossil fuel vehicles produce carbon dioxide which only affects water quality.
- e. Because fossil fuel vehicles only affect visibility, not health or climate.
4. In the global scenario, many countries have signed international agreements to reduce greenhouse gas emissions to combat global warming. How can individual steps in everyday life support this global effort?
- a. Using more electronic devices to speed up daily activities.
  - b. Using private vehicles to reduce travel time.
  - c. Increase the use of renewable energy at home and reduce the use of fossil energy.
  - d. Consume more imported products to support reducing the use of fossil fuels.
  - e. Ignore pollution problems and focus more on economic development.
5. Air pollution often occurs due to human activities, such as the use of motor vehicles. If a city experiences a significant increase in the use of motor vehicles, what impacts are likely to occur on the air quality and health of the city's residents?
- a. Air pollution will increase, which may lead to more respiratory diseases in the population.
  - b. Air pollution will decrease as increased vehicles improve infrastructure.
  - c. Air quality will improve because more vehicles mean more people moving around.
  - d. There is no significant impact because modern vehicle technology is environmentally friendly.
  - e. Air quality will remain the same, but the number of vehicles will increase.
6. Why is ozone layer depletion harmful to human and plant health, and what measures can be taken to reduce this problem?
- a. Ozone layer depletion causes increased UV radiation that damages plant DNA and causes skin diseases in humans. To reduce this problem, the use of CFC replacement chemicals must be increased.

- b. Penipisan lapisan ozon menyebabkan penurunan suhu yang bermanfaat bagi kesehatan tanaman dan manusia. Untuk mengatasi masalah ini, lebih banyak bahan bakar fosil harus digunakan.
- c. Penipisan lapisan ozon meningkatkan kualitas sinar matahari yang mempercepat pertumbuhan tanaman. Masyarakat harus memperbanyak penggunaan bahan kimia berbahaya untuk mengatasi masalah ini.
- d. Penipisan lapisan ozon menyebabkan penurunan sinar UV yang membantu fotosintesis tanaman. Masyarakat harus memperbanyak konsumsi daging merah untuk mengatasi masalah ini.
- e. Penipisan lapisan ozon mengurangi penyakit kulit manusia dan tidak mempengaruhi tanaman. Untuk mengurangi masalah ini, masyarakat harus meningkatkan pembakaran sampah plastik.
7. Bagaimana cara pencemaran udara yang berasal dari sumber alami, seperti letusan gunung berapi, berbeda dari pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas manusia, dan apa solusi untuk mengurangi pencemaran dari kedua sumber ini?
- a. Pencemaran dari sumber alami dapat dikurangi dengan menurunkan suhu global. Solusi untuk pencemaran dari aktivitas manusia termasuk mengurangi penggunaan produk berbasis plastik.
- b. Pencemaran dari sumber alami lebih berbahaya karena sulit untuk dikendalikan. Solusi termasuk penggunaan filter udara pada kendaraan dan industri.
- c. Pencemaran dari sumber manusia biasanya lebih teratur dan dapat dikendalikan dengan teknologi. Solusi termasuk penanaman pohon dan pengelolaan limbah industri dengan baik.
- d. Pencemaran dari sumber alami tidak dapat dikendalikan sama sekali, sementara pencemaran dari aktivitas manusia dapat dikurangi dengan mengurangi pembakaran bahan bakar fosil dan meningkatkan efisiensi energi.
- e. Pencemaran dari sumber manusia memiliki dampak jangka panjang yang lebih rendah dibandingkan dengan pencemaran alami. Solusi termasuk perbaikan infrastruktur dan penggunaan bahan bakar alternatif.
8. Seorang petani melihat bahwa tanamannya menjadi lebih rentan terhadap penyakit dan pertumbuhannya terhambat setelah sering terjadi hujan asam di daerahnya. Berdasarkan pengetahuan Anda tentang polusi udara, bagaimana hujan asam dapat memengaruhi kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman?

- b. The depletion of the ozone layer causes a decrease in temperature which is beneficial for the health of plants and humans. To overcome this problem, more fossil fuels must be used.
- c. Ozone layer depletion increases the quality of sunlight which accelerates plant growth. Society must increase the use of hazardous chemicals to overcome this problem.
- d. Ozone layer depletion causes a decrease in UV rays that help plant photosynthesis. People should increase their consumption of red meat to overcome this problem.
- e. Ozone layer depletion reduces human skin diseases and does not affect plants. To reduce this problem, people should increase the burning of plastic waste.
7. How is air pollution from natural sources, such as volcanic eruptions, different from air pollution caused by human activities, and what are solutions to reduce pollution from both of these sources?
- a. Pollution from natural sources can be reduced by lowering global temperatures. Solutions to pollution from human activities include reducing the use of plastic-based products.
- b. Pollution from natural sources is more dangerous because it is difficult to control. Solutions include the use of air filters in vehicles and industry.
- c. Pollution from human sources is usually more regulated and can be controlled with technology. Solutions include tree planting and proper management of industrial waste.
- d. Pollution from natural sources cannot be controlled at all, while pollution from human activities can be reduced by reducing the burning of fossil fuels and increasing energy efficiency.
- e. Pollution from human sources has lower long-term impacts than natural pollution. Solutions include improving infrastructure and using alternative fuels.
8. A farmer notices that his crops are becoming more susceptible to disease and their growth is stunted after frequent acid rain occurs in his area. Based on your knowledge of air pollution, how can acid rain affect soil fertility and plant growth?

- a.Hujan asam hanya memengaruhi air, bukan tanah atau tanaman.
- b.Hujan asam meningkatkan pH tanah, yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman.
- c.Hujan asam memperkaya tanah dengan mineral, sehingga tanaman tumbuh lebih baik.
- d.Hujan asam tidak berpengaruh pada kesuburan tanah tetapi umbuh lebih baik.
- e.Hujan asam menghilangkan mineral penting dari tanah, sehingga tanaman sulit tumbuh dengan baik.

- a. Acid rain only affects water, not soil or plants.
- b. Acid rain increases soil pH, which is beneficial for plant growth.
- c. Acid rain enriches the soil with minerals, so plants grow better.
- d. Acid rain does not affect soil fertility but it does make plants grow better.
- e. Acid rain removes important minerals from the soil, making it difficult for plants to grow well.



## Daftar Pustaka

Fadholi, A. (2013). Study Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara Terhadap Operasi Penerbangan di Bandara H.A.S. Hananjoeddin Buluh Tumbang Belitung Periode 1980-2010. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 3(1), 1-10.

Hasan, H. (2023). Peran Kimia Lingkungan dalam Konservasi Sumber Daya Alam. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Amsir*, 2(1), 243–248.

Indonesiabatik.(2022). Turut Jaga Kualitas Udara. Diakses pada 07 September. <https://indonesiabaik.id/infografis/turut-jaga-kualitas-udara>

Morin, J. V., & Darma, S. (2022). Kimia Lingkungan. Penerbit Cv.Eureka Media Aksara.

Nadia, & Fauzi, R. (2021). Augmented Reality Pengenalan Geografi Atmosfer Berbasis Android. *Jurnal Cosmic*, 4(3). 29-38.

National Geographic. (2021). Air Pollution. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/air-pollution/>

Nurhaedah Hasan, I. F. R. (2020). Analisis Pencemaran Udara Akibat Pabrik Aspal Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 199 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Madani Legal Review*, 49 (2), 108-123. <https://doi.org/10.31850/MALREV.V4I2.681>

Nurmayanti, D., & Purwoko, D. (2017). Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan Kimia Lingkungan. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan: Badan Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan

Nurwahyudi, M. R. BKD Genap 2024.

Nuswowati, M., Jabbar, A., & Taufiq, M. (2024). Buku Ajar Kimia Lingkungan: Terintegrasi Kompetensi Education for Sustainable Development (ESD). Penerbit NEM.

Palupi, M. R. (2014). Pembuatan Modul Eksperimen Sains Bilingual untuk Siswa Sekolah Dasar Pokok Bahasan Udara, Listrik, Energi dan Perubahannya. *Magister Scientiae*, (36), 123-131.

Samsuri. (1982). Kimia Lingkungan. Malang.

Sonwani, S., & Maurya, V. (2018). Impact of air pollution environment and economy

Susilawaty. (2021). Ilmu Lingkungan.

Susilowati, & Sadad, I. (2015). Analisa Karakteristik Curah Hujan di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Konstruksia*, 7(1), 13-26.

Sylvia, D., Linggarweni, B. I., Nurhajawarsi, Lestari, M. F., Corsita, L., Dwityaningsih, R., Sholehah, H., Juairiah, Halijah, Herniwanti. (2022). Kimia Lingkungan. Tasikmalaya: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia.

Wijaya, M. (2020). Kimia Lingkungan. Makasar: Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.

Yasir, M. (2021). Pencemaran Udara Di Perkotaan Berdampak Bahaya Bagi Manusia, Hewan, Tumbuhan dan Bangunan.

# 3

## TANAH, GEOSFER, DAN PENCEMARAN TANAH



Gambar 3. 1

Sumber : <https://mesin.uma.ac.id/wp-content/uploads/2020/10/pencemaran-tanah1.jpg>

### Capaian Pembelajaran

1. Mahasiswa dapat mengkaji tentang analisis komposisi dan cemaran zat kimia yang ada di lingkungan dengan beberapa faktor yang dianalisis antara lain yang berasal dari air, tanah, dan udara, serta mengatasi dampak yang timbul akibat adanya suatu kegiatan manusia.
2. Menjelaskan unsur, parameter, dan proses kimia di tanah, geosfer, dan pencemaran tanah.

# **SOIL, GEOSPHERE, AND SOIL POLLUTION**

**3**



Figure 3. 1

Source: <https://mesin.uma.ac.id/wp-content/uploads/2020/10/pencemaran-tanah1.jpg>

## **Learning Outcomes**

1. Students can study the analysis of the composition and contamination of chemical substances in the environment with several factors analyzed, including those originating from water, soil and air, as well as dealing with impacts arising from human activities.
2. Explain the elements, parameters and chemical processes in soil, geosphere and soil pollution.

## Deskripsi Singkat

Pada bab ini dibahas tentang tanah, geosfer, dan pencemaran tanah serta cara mengatasinya. Tanah dijelaskan sebagai komponen penting dalam ekosistem, yang menyediakan habitat, mendukung pertumbuhan tanaman, dan menjadi media siklus unsur hara. Geosfer mencakup komponen padat bumi yang meliputi inti, mantel, dan kerak, serta berinteraksi dengan atmosfer, hidrosfer, dan biosfer dalam proses-proses geologis. Selain itu, pembahasan mencakup pencemaran tanah akibat aktivitas manusia seperti penggunaan pestisida, limbah industri, dan pertambangan, beserta upaya remediasi untuk memulihkan kualitas tanah. Materi disajikan dengan teori dari berbagai sumber, dilengkapi dengan latihan soal untuk memperkuat pemahaman. Diharapkan mahasiswa mampu memahami pentingnya menjaga kualitas tanah dan lingkungan untuk keberlanjutan ekosistem.



Gambar 3. 2 Pencemaran tanah.  
Sumber: cleanipedia

### 3.1 Unsur Kimia pada Tanah dan Geosfer

#### 3.1.1 Definisi Tanah dan Geosfer

Tanah merupakan salah satu komponen lahan yang memiliki peran sangat penting dalam pertumbuhan dan produksi tanaman. Tanah berfungsi sebagai media tumbuh bagi tanaman, di mana akar tanaman dapat berkembang dan mendapatkan dukungan fisik. Tanpa keberadaan tanah yang subur, tanaman akan kesulitan untuk tumbuh optimal karena tanah juga berperan sebagai penahan dan penyedia air yang sangat dibutuhkan oleh tanaman dalam proses pertumbuhannya (Gunawan & Nurheni, W., 2019).

## Description

This chapter discusses land, the geosphere, and land pollution and how to deal with it. Soil is described as an important component in the ecosystem, which provides habitat, supports plant growth, and is a medium for nutrient cycling. The geosphere includes the solid components of the earth which include the core, mantle and crust, and interacts with the atmosphere, hydrosphere and biosphere in geological processes. In addition, the discussion includes soil pollution due to human activities such as the use of pesticides, industrial waste and mining, along with remediation efforts to restore soil quality. The material is presented with theory from various sources, equipped with practice questions to strengthen understanding. It is hoped that students will be able to understand the importance of maintaining soil and environmental quality for ecosystem sustainability.



Figure 3.2 Soil pollution.  
Source:Cleanipedia

## 3.1 Chemical Elements in Soil and Geosphere

### 3.1.1 Definition of Soil and Geosphere

Soil is one of the land components that has a very important role in plant growth and production. Soil functions as a growing medium for plants, where plant roots can develop and receive physical support. Without the presence of fertile soil, plants will have difficulty growing optimally because soil also acts as a barrier and provider of water which is really needed by plants in their growth process (Gunawan & Nurheni, W., 2019).

Secara fisik, tanah berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya akar tanaman. Akar tanaman membutuhkan ruang yang cukup untuk berkembang, dan tanah memberikan struktur yang memungkinkan akar tumbuh secara tegak dan kokoh. Tanah juga berperan dalam menyediakan air dan udara yang dibutuhkan oleh tanaman, di mana air yang tersimpan di dalam tanah dapat diakses oleh akar untuk memenuhi kebutuhan hidrasi tanaman (Gunawan & Nurheni, W., 2019).

Secara kimia, tanah menjadi tempat penyimpanan dan penyuplai unsur hara penting bagi tanaman. Unsur hara tersebut meliputi senyawa organik, anorganik sederhana, serta unsur esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), dan berbagai unsur mikro lainnya seperti tembaga (Cu), seng (Zn), besi (Fe), mangan (Mn), boron (B), dan klorin (Cl). Semua unsur ini berperan dalam berbagai fungsi metabolisme yang mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Gunawan & Nurheni, W., 2019).

Secara biologis, tanah juga berfungsi sebagai habitat bagi biota tanah, seperti mikroorganisme dan fauna tanah, yang berperan aktif dalam siklus unsur hara. Organisme-organisme ini membantu dekomposisi bahan organik dan menyediakan zat tambahan atau zat aditif yang bermanfaat bagi tanaman, seperti pemacu tumbuh dan proteksi alami terhadap penyakit. Oleh karena itu, tanah memiliki peran yang sangat vital dalam mendukung pertumbuhan tanaman, dan sifat fisik, kimia, serta biologis tanah yang berbeda akan mempengaruhi respons tanaman yang berbeda pula (Hermita P. et al., 2019).

**Geosfer** adalah keseluruhan lapisan bumi yang mencakup semua unsur fisik dan non-fisik yang ada di bumi. Secara umum, geosfer mencakup semua elemen yang membentuk struktur bumi, baik yang terlihat di permukaan maupun yang berada jauh di dalam bumi. Unsur fisik geosfer mencakup material-material seperti bebatuan, mineral, air, udara, dan tanah, sementara unsur non-fisik meliputi berbagai fenomena dan proses yang mempengaruhi elemen-elemen tersebut (Atillah, R. & Gischa, S., 2023).

Fenomena geosfer adalah berbagai peristiwa yang terjadi di dalam lapisan geologis bumi. Fenomena ini dapat terjadi di bawah permukaan bumi, seperti gempa bumi atau aktivitas vulkanik, di permukaan bumi, seperti erosi atau pengendapan, dan di atas permukaan bumi, seperti fenomena atmosfer atau perubahan iklim. Fenomena-fenomena ini mempengaruhi kehidupan seluruh makhluk hidup di bumi karena memengaruhi kondisi lingkungan dan ekosistem tempat mereka hidup (Atillah, R. & Gischa, S., 2023).

Physically, soil functions as a place for plant roots to grow and develop. Plant roots need sufficient space to develop, and soil provides the structure that allows roots to grow upright and sturdy. Soil also plays a role in providing the water and air needed by plants, where water stored in the soil can be accessed by roots to meet plant hydration needs (Gunawan & Nurheni, W., 2019).

Chemically, soil is a storage place and supplier of important nutrients for plants. These nutrients include organic compounds, simple inorganics, as well as essential elements such as nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), and various other micro elements such as copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe), manganese (Mn), boron (B), and chlorine (Cl). All of these elements play a role in various metabolic functions that support plant growth and productivity (Gunawan & Nurheni, W., 2019).

Biologically, soil also functions as a habitat for soil biota, such as microorganisms and soil fauna, which play an active role in the nutrient cycle. These organisms assist in the decomposition of organic matter and provide beneficial substances or additives for plants, such as growth promoters and natural protection against disease. Therefore, soil has a very vital role in supporting plant growth, and different physical, chemical and biological properties of soil will influence different plant responses (Hermita P. et al., 2019).

The geosphere is the entire layer of the earth which includes all physical and non-physical elements on earth. In general, the geosphere includes all the elements that form the structure of the earth, both those visible on the surface and those deep within the earth. The physical elements of the geosphere include materials such as rocks, minerals, water, air and soil, while the non-physical elements include various phenomena and processes that influence these elements (Atillah, R. & Gischa, S., 2023).

Geosphere phenomena are various events that occur within the geological layers of the earth. These phenomena can occur below the earth's surface, such as earthquakes or volcanic activity, on the earth's surface, such as erosion or deposition, and above the earth's surface, such as atmospheric phenomena or climate change. These phenomena affect the lives of all living creatures on earth because they affect the environmental conditions and ecosystems in which they live (Atillah, R. & Gischa, S., 2023).

## 3.1.2 Identifikasi Unsur Kimia pada Tanah dan Geosfer

### 1) Unsur Kimia Tanah

Sifat kimia tanah menggambarkan karakteristik bahan kimia yang terdapat dalam tanah serta bagaimana mereka berperan dalam lingkungan. Karakteristik kimia tanah sangat penting karena menentukan interaksi antara berbagai unsur dan senyawa kimia di dalam tanah yang berdampak langsung pada kesuburan dan produktivitas tanaman. Sifat kimia ini berhubungan dengan keseimbangan ion dalam tanah, termasuk kemampuan tanah untuk mempertahankan atau melepaskan nutrisi bagi tanaman. Memahami sifat kimia tanah sangat krusial dalam pertanian karena membantu petani memprediksi bagaimana tanah akan mendukung pertumbuhan tanaman dan mengidentifikasi kebutuhan akan pupuk atau perbaikan lainnya (Mautuka et al., 2022).

#### a) pH Tanah

pH tanah merupakan salah satu sifat kimia tanah yang sangat penting karena menentukan tingkat keasaman atau kebasaan tanah. Nilai pH tanah berkisar dari 0 hingga 14, dengan pH netral berada di angka 7. Tanah yang memiliki pH di bawah 7 dikategorikan sebagai tanah asam, sedangkan tanah dengan pH di atas 7 dianggap sebagai tanah basa. Tanah dengan pH terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman, sehingga penting untuk menjaga pH tanah dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan tanaman, yaitu sekitar 6-7 bagi sebagian besar tanaman pertanian.

Tabel 3.1 Pengelompokan pH tanah  
(Sumber: Purnomo, N. H., 2016)

No.	Asam Basa	Nilai pH Tanah
1	Sangat masam	<4,5
2	Masam	4,5 s/d 5,5
3	Agak Masam	5,6 s/d 6,5
4	Netral	6,6 s/d 7,5
5	Agak Alkalies (basa)	7,6 s/d 8,5
6	Alkalies (basa)	>8,5

## 3.1.2 Identification of Chemical Elements in Soil and Geosphere

### 1) Soil Chemical Elements

Soil chemical properties describe the characteristics of chemicals found in soil and how they play a role in the environment. Soil chemical characteristics are very important because they determine the interactions between various chemical elements and compounds in the soil which have a direct impact on plant fertility and productivity. These chemical properties are related to the ion balance in the soil, including the soil's ability to retain or release nutrients for plants. Understanding the chemical properties of soil is crucial in agriculture because it helps farmers predict how the soil will support plant growth and identify the need for fertilizer or other improvements (Mautuka et al., 2022).

#### a) Soil pH

Soil pH is one of the most important chemical properties of soil because it determines the level of acidity or alkalinity of the soil. Soil pH values range from 0 to 14, with neutral pH being 7. Soil with a pH below 7 is categorized as acidic soil, while soil with a pH above 7 is considered alkaline soil. Soil with a pH that is too low or too high can affect the availability of nutrients for plants, so it is important to maintain soil pH in the optimal range for plant growth, which is around 6-7 for most agricultural plants.

Table 3.1 Soil pH grouping  
(Source: Purnomo, N.H., 2016)

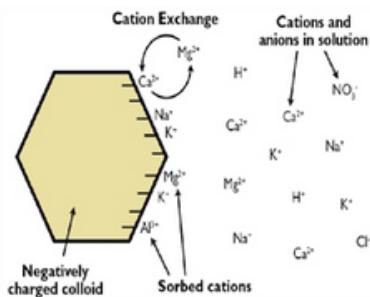
No.	Acid Base	Soil pH Value
1	Very sour	<4,5
2	Sour	4,5 s/d 5,5
3	A bit sour	5,6 s/d 6,5
4	Neutral	6,6 s/d 7,5
5	Slightly Alkaline (basic)	7,6 s/d 8,5
6	Alkalies (base)	>8,5

### b) C-Organik dan N-Total

C-organik (karbon organik) dan nitrogen-total (N-total) merupakan dua komponen penting dalam sifat kimia tanah yang berasal dari bahan organik sisa tanaman dan berbagai sumber organik lainnya yang dimasukkan ke dalam sistem pertanian. Kedua komponen ini berperan signifikan dalam menentukan kesuburan tanah dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. C-organik adalah bahan dasar dari bahan organik tanah yang mempengaruhi struktur tanah, retensi air, serta kapasitas tanah untuk menahan dan melepaskan unsur hara. Sementara itu, N-total adalah ukuran dari total kandungan nitrogen dalam tanah, baik dalam bentuk organik maupun anorganik, yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman karena nitrogen merupakan salah satu unsur hara utama yang diperlukan oleh tanaman untuk membentuk protein, enzim, dan klorofil.

### c) Kapasitas Tukar Kation (KTK) atau Kapasitas Pertukaran Kation (KPK)

Kapasitas Tukar Kation (KTK) atau Kapasitas Pertukaran Kation (KPK) merupakan salah satu sifat kimia penting dalam tanah yang berkaitan dengan kemampuan tanah untuk menyerap, mempertahankan, dan menukar ion-ion bermuatan positif (cation) yang diperlukan bagi tanaman. KTK tanah diukur berdasarkan jumlah total kation yang dapat ditukar dan tersedia untuk diserap oleh akar tanaman. Beberapa kation penting yang mempengaruhi kesuburan tanah antara lain kalium ( $K^+$ ), kalsium ( $Ca^{2+}$ ), magnesium ( $Mg^{2+}$ ), dan amonium ( $NH_4^+$ ). Kemampuan tanah untuk menukar kation ini sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik dan kimia tanah, termasuk kandungan mineral tanah dan bahan organik.



Gambar 3.3 Koloid tanah bermuatan negatif menyerap dan menukarkan kation (+) serta anion (-) di dalam larutan tanah.

(Sumber: Purnomo, N. H., 2016)

### b) C-Organic and N-Total

C-organic (organic carbon) and total nitrogen (N-total) are two important components in the chemical properties of soil derived from organic matter of plant residues and various other organic sources that are included in the agricultural system. These two components play a significant role in determining soil fertility and the availability of nutrients for plants. C-organic is the basic material of soil organic matter that affects soil structure, water retention, and the capacity of the soil to hold and release nutrients. Meanwhile, N-total is a measure of the total nitrogen content in the soil, both in organic and inorganic forms, which is very important for plant growth because nitrogen is one of the main nutrients needed by plants to form proteins, enzymes, and chlorophyll.

### c) Cation Exchange Capacity (CEC) or Cation Exchange Capacity (CEC)

Cation Exchange Capacity (CEC) or Cation Exchange Capacity (CEC) is one of the important chemical properties in soil related to the ability of the soil to absorb, retain, and exchange positively charged ions (cations) needed by plants. Soil CEC is measured based on the total amount of cations that can be exchanged and are available for absorption by plant roots. Some important cations that affect soil fertility include potassium ( $K^+$ ), calcium ( $Ca^{2+}$ ), magnesium ( $Mg^{2+}$ ), and ammonium ( $NH_4^+$ ). The ability of the soil to exchange these cations is greatly influenced by the physical and chemical properties of the soil, including the content of soil minerals and organic matter.

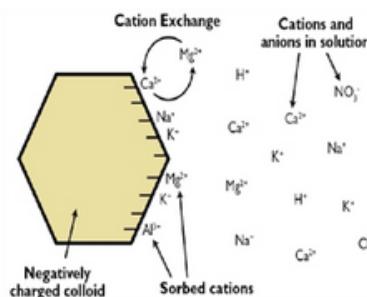
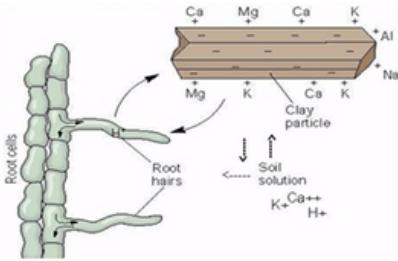


Figure 3.3 Negatively charged soil colloids absorb and exchange cations (+) and anions (-) in the soil solution.

(Source: Purnomo, N. H., 2016)



Gambar 3.4 Koloid tanah bermuatan negatif yang menjerap dan menukar kation (+), dijerap dan dipertukarkan oleh ion H pada rambut akar.

(Sumber: Purnomo, N. H., 2016)

#### d) Unsur Hara Makro

Unsur hara makro adalah nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah besar untuk mendukung berbagai proses fisiologis dan pertumbuhan. Unsur-unsur ini memiliki peran yang sangat penting dalam metabolisme dan perkembangan struktur tanaman. Beberapa unsur hara yang tergolong sebagai unsur makro antara lain nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S). Kebutuhan tanaman akan unsur hara makro jauh lebih besar dibandingkan dengan unsur hara mikro, yang diperlukan dalam jumlah sedikit namun tetap penting bagi pertumbuhan tanaman.

Komposisi dan perilaku kimia tanah sangat bergantung pada berbagai faktor, seperti jenis tanah, tingkat keasaman (pH), kadar bahan organik, serta kandungan mineralnya. Setiap jenis tanah memiliki sifat kimia yang unik, yang menentukan seberapa baik tanah tersebut dalam mempertahankan dan menyediakan unsur hara bagi tanaman. Pemahaman mendalam mengenai sifat kimia tanah ini penting bagi pengelolaan tanah yang efektif, karena dengan menyesuaikan pupuk atau bahan pemberi yang tepat, produktivitas lahan pertanian dapat ditingkatkan (Purnomo, N. H., 2016).



Gambar 3.5 Proses yang membentuk karakteristik kimia tanah  
(Sumber: Purnomo, N. H., 2016)

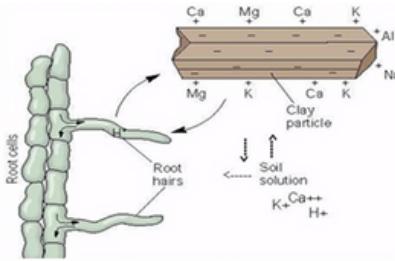


Figure 3.4 Negatively charged soil colloids that adsorb and exchange cations (+), are adsorbed and exchanged by H ions in root hairs.

(Source: Purnomo, N. H., 2016)

#### d) Macro Nutrients

Macronutrients are nutrients that are needed by plants in large quantities to support various physiological processes and growth. These elements play a very important role in the metabolism and development of plant structures. Some nutrients that are classified as macronutrients include nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), and sulfur (S). Plants' need for macronutrients is much greater than for micronutrients, which are needed in small amounts but are still important for plant growth.

The chemical composition and behavior of soil are highly dependent on various factors, such as soil type, acidity level (pH), organic matter content, and mineral content. Each type of soil has unique chemical properties, which determine how well the soil retains and supplies nutrients to plants. A thorough understanding of these chemical properties of soil is essential for effective soil management, because by adjusting the right fertilizer or amendment, agricultural land productivity can be increased (Purnomo, N. H., 2016).

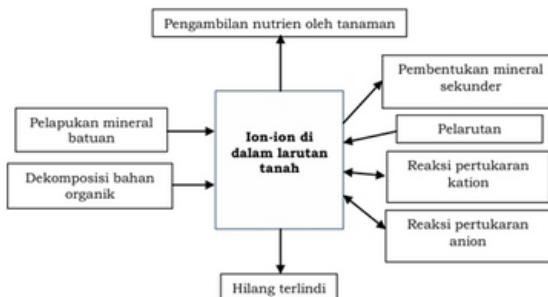


Figure 3.5 Processes that form soil chemical characteristics

(Source: Purnomo, N. H., 2016)

Tabel 3.2 Susunan kimia permukaan tanah (topsoil)  
(Sumber: Purnomo, N. H., 2016)

	<b>Tanah mineral (BO &lt; 20 % total tanah)</b>	<b>Tanah organik (BO &gt; 20 % total tanah)</b>
Bahan organik	4,00	80,00
Nitrogen (N)	0,15	2,50
Phosfor (P)	0,04	0,09
Kalium (K)	1,70	0,08
Kalsium (Ca)	0,40	2,80
Magnesium (Mg)	0,30	0,30

### e) Bahan Organik

Bahan organik dalam tanah berasal dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang terurai, termasuk daun, akar, batang, sisa pembakaran, kotoran hewan, bangkai, dan sisa-sisa kehidupan lainnya. Komponen-komponen ini mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah, sehingga menghasilkan bahan organik yang berperan penting dalam menjaga kualitas tanah. Bahan organik ini umumnya ditemukan di lapisan atas tanah dan keberadaannya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti iklim, sifat fisik dan kimia tanah, jenis vegetasi yang tumbuh, serta rasio antara tanah dan air. Setiap faktor tersebut berkontribusi terhadap jumlah dan kualitas bahan organik yang ada di tanah.



Gambar 3.6 Humus, merupakan kondisi stabil dekomposisi bahan organik  
(Sumber: Purnomo, N. H., 2016)

### f) Ion Tanah

Sebuah atom netral yang kehilangan elektron akan mengalami perubahan muatan, menjadi positif, dan dikenal sebagai kation. Proses ini terjadi karena elektron yang bermuatan negatif dilepaskan, sehingga meninggalkan kelebihan proton bermuatan positif di dalam atom tersebut. Sebaliknya, ketika sebuah atom memperoleh tambahan elektron, atom tersebut menjadi bermuatan negatif dan disebut sebagai anion. Penambahan elektron menyebabkan atom tersebut memiliki lebih banyak muatan negatif daripada positif, yang mengubah sifat elektrisnya.

Table 3.2 Chemical composition of the soil surface (topsoil)  
 (Source: Purnomo, N. H., 2016)

	<b>Tanah mineral (BO &lt; 20 % total tanah)</b>	<b>Tanah organik (BO &gt; 20 % total tanah)</b>
Bahan organik	4,00	80,00
Nitrogen (N)	0,15	2,50
Phosfor (P)	0,04	0,09
Kalium (K)	1,70	0,08
Kalsium (Ca)	0,40	2,80
Magnesium (Mg)	0,30	0,30

### e) Organic Matter

Organic matter in the soil comes from decomposed plant and animal remains, including leaves, roots, stems, combustion residues, animal waste, carcasses, and other remains of life. These components undergo a decomposition process by soil microorganisms, resulting in organic matter that plays an important role in maintaining soil quality. This organic matter is generally found in the topsoil and its presence is influenced by several factors such as climate, physical and chemical properties of the soil, the type of vegetation that grows, and the ratio between soil and water. Each of these factors contributes to the amount and quality of organic matter in the soil.



Figure 3.6 Humus, is a stable condition of organic material decomposition  
 (Source: Purnomo, N. H., 2016)

### f) Earth Ions

A neutral atom that loses an electron will experience a change in charge, becoming positive, and is known as a cation. This process occurs because a negatively charged electron is removed, leaving an excess of positively charged protons in the atom. Conversely, when an atom gains an electron, it becomes negatively charged and is called an anion. The addition of electrons causes the atom to have more negative charge than positive, which changes its electrical properties.

## 2) Unsur Kimia Geosfer

Menurut Harris, M. (2020), geosfer terdiri dari 5 lapisan, yaitu:

### a) Atmosfer

Atmosfer adalah lapisan gas yang menyelimuti planet, termasuk Bumi, dan membentang dari permukaan hingga jauh ke ruang angkasa. Di Bumi, atmosfer dimulai dari ketinggian 0 km di atas permukaan tanah dan membentang hingga sekitar 560 km. Semakin tinggi dari permukaan, kepadatan atmosfer menurun, dan gas-gas menjadi semakin tipis. Atmosfer Bumi terdiri dari berbagai gas, termasuk nitrogen, oksigen, karbon dioksida, serta partikel kecil yang disebut aerosol, seperti debu, jelaga, dan bahan kimia yang tersuspensi di udara. Kehadiran atmosfer sangat penting karena melindungi kehidupan di Bumi dari radiasi berbahaya dan membantu menjaga suhu planet.

### Video Fenomena Atmosfer



Gambar 3.7 Fenomena Atmosfer  
(Sumber: Namira, 2024)



<https://youtu.be/hm7N4uQV8Fw?si=t8uD-bpYZbYUUKBY>

### b) Litosfer

Litosfer adalah lapisan terluar dari Bumi yang paling padat dan keras. Meskipun demikian, litosfer tetap memiliki sifat elastis, namun tidak sefleksibel atau seplastis lapisan di bawahnya. Dibandingkan dengan astenosfer, lapisan yang berada di bawah litosfer, litosfer lebih rapuh dan cenderung mudah retak. Elastisitas dan plastisitas litosfer sangat bergantung pada beberapa faktor seperti suhu, tekanan, serta kelengkungan bumi. Sifat-sifat ini membuat litosfer cukup kaku, meskipun tetap mampu menyesuaikan diri dengan beberapa perubahan geologis yang terjadi di dalam bumi.

## 2) Chemical Elements of the Geosphere

According to Harris, M. (2020), the geosphere consists of 5 layers, namely:

### a) Atmosphere

The atmosphere is a layer of gases that surrounds a planet, including Earth, and extends from the surface far into space. On Earth, the atmosphere begins at an altitude of 0 km above the ground and extends to about 560 km. As you get higher above the surface, the atmosphere becomes less dense and the gases become thinner. Earth's atmosphere is made up of a variety of gases, including nitrogen, oxygen, carbon dioxide, as well as tiny particles called aerosols, such as dust, soot, and chemicals suspended in the air. The atmosphere is essential because it protects life on Earth from harmful radiation and helps maintain the planet's temperature.

### Atmospheric Phenomena Video



Figure 3.7 Atmospheric Phenomena  
(Source: Namira, 2024)



<https://youtu.be/hm7N4uQV8Fw?si=t8uD-bpYZbYUUKBY>

### b) Lithosphere

The lithosphere is the outermost layer of the Earth that is the most solid and hard. However, the lithosphere still has elastic properties, but is not as flexible or plastic as the layers below it. Compared to the asthenosphere, the layer below the lithosphere, the lithosphere is more fragile and tends to crack easily. The elasticity and plasticity of the lithosphere are highly dependent on several factors such as temperature, pressure, and the curvature of the earth. These properties make the lithosphere quite rigid, although it is still able to adapt to several geological changes that occur inside the earth.



Gambar 3.8 Fenomena Litosfer  
(Sumber: Khatulistiwa Studio, 2024)

[https://youtu.be/6Sju3Ek\\_0OY? si=65J6ZPE4d7cgpvZ0](https://youtu.be/6Sju3Ek_0OY?si=65J6ZPE4d7cgpvZ0)

### c) Hidrosfer

Hidrosfer adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan keseluruhan air yang ada di Bumi, baik yang berada di permukaan, di bawah tanah, maupun di atmosfer. Ini mencakup air dalam berbagai bentuk, yaitu cairan, uap, dan es. Hidrosfer memainkan peran yang sangat penting dalam ekosistem Bumi karena air merupakan elemen dasar yang mendukung kehidupan. Air dalam bentuk cair menutupi sekitar 71% permukaan Bumi, sebagian besar dalam bentuk lautan, yang menjadi bagian utama dari hidrosfer. Selain itu, hidrosfer juga mencakup danau, sungai, es di kutub, serta uap air di atmosfer yang terus bergerak melalui siklus air.



Gambar 3.9 Fenomena Hidrosfer  
(Sumber: Yusuf, 2023)

[https://youtu.be/kVdE-6l7\\_CA? si=l0eNc4DVSPS6E\\_Iq](https://youtu.be/kVdE-6l7_CA?si=l0eNc4DVSPS6E_Iq)



Figure 3.8 Lithosphere Phenomena  
(Source: Khatulistiwa Studio, 2024)

[https://youtu.be/6Sju3Ek\\_0OY? si=65J6ZPE4d7cgpvZ0](https://youtu.be/6Sju3Ek_0OY?si=65J6ZPE4d7cgpvZ0)

### c) Hydrosphere

Hydrosphere is a term used to describe all the water on Earth, whether on the surface, underground, or in the atmosphere. It includes water in various forms, namely liquid, vapor, and ice. The hydrosphere plays a very important role in the Earth's ecosystem because water is a basic element that supports life. Liquid water covers about 71% of the Earth's surface, mostly in the form of oceans, which are the main part of the hydrosphere. In addition, the hydrosphere also includes lakes, rivers, polar ice, and water vapor in the atmosphere that continues to move through the water cycle.



Figure 3.9 Hydrosphere Phenomena  
(Source: Yusuf, 2023)

[https://youtu.be/kVdE-6l7\\_CA? si=l0eNc4DVSPS6E\\_Iq](https://youtu.be/kVdE-6l7_CA?si=l0eNc4DVSPS6E_Iq)

#### d) Biosfer

Biosfer adalah lapisan Bumi tempat kehidupan berlangsung, mencakup wilayah yang mencapai hingga sekitar 10 kilometer di atas permukaan laut. Di dalam biosfer, berbagai bentuk kehidupan, mulai dari tumbuhan, hewan, hingga mikroorganisme, hidup dan berinteraksi satu sama lain dalam ekosistem yang saling bergantung. Kehidupan di biosfer sangat dipengaruhi oleh energi matahari, yang menjadi sumber utama bagi proses-proses biologis di Bumi. Tumbuhan, beberapa bakteri, dan protozoa menggunakan energi matahari untuk melakukan fotosintesis, di mana karbon dioksida diubah menjadi senyawa organik seperti gula, yang kemudian menghasilkan oksigen sebagai produk sampingan.



Gambar 3.10 Fenomena Biosfer  
(Sumber: Sumber: Khatulistiwa Studio, 2024)

[https://youtu.be/ZI3z9okAnrU? si=k\\_odqs62TsKNu4bU](https://youtu.be/ZI3z9okAnrU?si=k_odqs62TsKNu4bU)

#### e) Antroposfer

Antroposfer adalah lapisan Bumi yang secara langsung dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Nama antroposfer berasal dari kata "anthropos," yang berarti manusia, dan "sfera," yang berarti lapisan. Oleh karena itu, antroposfer merujuk pada wilayah tempat manusia tinggal dan berinteraksi dengan lingkungan. Ini mencakup berbagai aspek kehidupan manusia, seperti pemukiman, pertanian, infrastruktur, serta berbagai kegiatan ekonomi dan industri yang memengaruhi alam dan ekosistem. Kehidupan manusia di antroposfer berlangsung dalam interaksi yang kompleks dengan komponen alam lainnya.

#### d) Biosphere

The biosphere is the layer of the Earth where life occurs, covering an area that reaches up to about 10 kilometers above sea level. In the biosphere, various forms of life, from plants, animals, to microorganisms, live and interact with each other in an interdependent ecosystem. Life in the biosphere is greatly influenced by solar energy, which is the main source for biological processes on Earth. Plants, some bacteria, and protozoa use solar energy to carry out photosynthesis, in which carbon dioxide is converted into organic compounds such as sugars, which then produce oxygen as a by-product.



Figure 3.10 Biosphere Phenomenon  
(Source: Khatulistiwa Studio, 2024)

[https://youtu.be/ZI3z9okAnrU? si=k\\_odqs62TsKNu4bU](https://youtu.be/ZI3z9okAnrU?si=k_odqs62TsKNu4bU)

#### e) Anthroposphere

The anthroposphere is the layer of the Earth that is directly affected by human activities. The name anthroposphere comes from the words "anthropos," meaning human, and "sfera," meaning layer. Therefore, the anthroposphere refers to the area where humans live and interact with the environment. It includes various aspects of human life, such as settlements, agriculture, infrastructure, as well as various economic and industrial activities that affect nature and ecosystems. Human life in the anthroposphere takes place in complex interactions with other components of nature.



Gambar 3.11 Fenomena Antroposfer  
(Sumber: Rabbani, 2023)

[https://youtu.be/8GeRlzTmdHI? si=fhivs88tmwyPBi0M](https://youtu.be/8GeRlzTmdHI?si=fhivs88tmwyPBi0M)

### 3.1.3 Proses Pembentukan dan Distribusi Unsur Kimia di Geosfer

Proses pembentukan unsur kimia di geosfer dimulai sejak awal terbentuknya bumi, melalui peristiwa besar seperti pembentukan tata surya dan reaksi nuklir di dalam bintang. Reaksi-reaksi nuklir tersebut menghasilkan unsur-unsur dasar yang kemudian tersebar ke seluruh alam semesta. Setelah bumi terbentuk dari awan gas dan debu kosmik, unsur-unsur kimia mulai terkonsentrasi dan terbagi ke dalam berbagai lapisan bumi, seperti kerak, mantel, dan inti bumi, yang masing-masing memiliki komposisi kimia yang berbeda. Proses ini melibatkan akresi materi dan diferensiasi gravitasi yang menyebabkan unsur berat seperti besi tenggelam ke inti, sementara unsur-unsur yang lebih ringan tetap berada di kerak bumi.

#### 1) Pengaruh Aktivitas Manusia



Gambar 3.12 Pertambangan yang merupakan salah satu contoh aktivitas manusia yang mempengaruhi distribusi geosfer  
(Sumber: Syarif, 2024)



Figure 3.11 Anthroposphere Phenomenon  
(Source: Rabbani, 2023)

[https://youtu.be/8GeRlzTmdHI? si=fhivs88tmwyPBi0M](https://youtu.be/8GeRlzTmdHI?si=fhivs88tmwyPBi0M)

### 3.1.3 The Process of Formation and Distribution of Chemical Elements in the Geosphere

The process of chemical element formation in the geosphere began since the beginning of the earth's formation, through major events such as the formation of the solar system and nuclear reactions in stars. These nuclear reactions produced basic elements which were then spread throughout the universe. After the earth was formed from a cloud of cosmic gas and dust, chemical elements began to concentrate and divide into various layers of the earth, such as the crust, mantle, and core, each of which has a different chemical composition. This process involves material accretion and gravitational differentiation which causes heavy elements such as iron to sink to the core, while lighter elements remain in the earth's crust.

#### 1) Influence of Human Activities



Figure 3.12 Mining is an example of human activity  
that affects the distribution of the geosphere  
(Source: Syarif, 2024)

### 3.1.4 Pengaruh Unsur Kimia terhadap Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah adalah kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, yang sangat bergantung pada kandungan unsur hara dan faktor fisik lainnya. Menurut Camila et al., (2023), kesuburan tanah didefinisikan sebagai kapasitas tanah untuk menghasilkan tanaman sesuai dengan komoditas yang ditanam, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti iklim, bahan induk, topografi, organisme, waktu, dan kandungan unsur hara di dalam tanah. Faktor-faktor ini bekerja secara sinergis untuk menentukan kualitas tanah dan seberapa baik tanah tersebut dapat mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif. Dalam hal ini, unsur-unsur kimia di tanah memainkan peran yang sangat penting, karena mereka berfungsi sebagai nutrisi utama yang diperlukan oleh tanaman untuk menjalankan berbagai proses fisiologis, mulai dari perkembangan hingga pembentukan buah.

## 3.2 Parameter Kimia Tanah

### 3.2.1 Definisi Parameter Tanah

Parameter kimia tanah mengacu pada sifat-sifat tanah yang berkaitan dengan kandungan berbagai unsur kimia yang berperan penting dalam kesuburan dan kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Menurut Isir et al., (2022), parameter ini mencakup pH tanah, kandungan C-organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan kandungan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).

### 3.2.2 Pengukuran pH dan Ketersediaan Unsur Hara Tanah

Pengukuran pH tanah merupakan proses yang penting untuk menentukan tingkat keasaman atau kebasaan tanah, yang sangat mempengaruhi kesuburan dan jenis tanaman yang dapat tumbuh dengan baik di suatu lahan. Menurut Juliansyah et al. (2022), pH tanah mengukur perbandingan antara konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) dan ion hidroksida ( $OH^-$ ) dalam tanah. Nilai pH tersebut berkisar dari 1 hingga 14, dengan angka yang lebih rendah menunjukkan tanah yang asam dan angka yang lebih tinggi menunjukkan tanah yang basa. Tanah dengan pH antara 6 dan 7 dianggap netral, kondisi yang ideal untuk sebagian besar tanaman.

### 3.1.4 Effect of Chemical Elements on Soil Fertility

Soil fertility is the ability of the soil to support optimal plant growth, which is highly dependent on nutrient content and other physical factors. According to Camila et al., (2023), soil fertility is defined as the capacity of the soil to produce plants according to the commodities planted, which are influenced by various factors such as climate, parent material, topography, organisms, time, and nutrient content in the soil. These factors work synergistically to determine the quality of the soil and how well the soil can support healthy and productive plant growth. In this case, the chemical elements in the soil play a very important role, because they function as the main nutrients needed by plants to carry out various physiological processes, from germination to fruit formation.

## 3.2 Soil Chemical Parameters

### 3.2.1 Definition of Soil Parameters

Soil chemical parameters refer to soil properties related to the content of various chemical elements that play an important role in soil fertility and the ability of the soil to support plant growth. According to Isir et al., (2022), these parameters include soil pH, organic C content, cation exchange capacity (CEC), and nutrient content such as nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K).

### 3.2.2 Measurement of pH and Availability of Soil Nutrients

Measuring soil pH is an important process to determine the level of acidity or alkalinity of the soil, which greatly affects the fertility and types of plants that can grow well in a land. According to Juliansyah et al. (2022), soil pH measures the ratio between the concentration of hydrogen ions ( $H^+$ ) and hydroxide ions ( $OH^-$ ) in the soil. The pH value ranges from 1 to 14, with lower numbers indicating acidic soil and higher numbers indicating alkaline soil. Soil with a pH between 6 and 7 is considered neutral, an ideal condition for most plants.

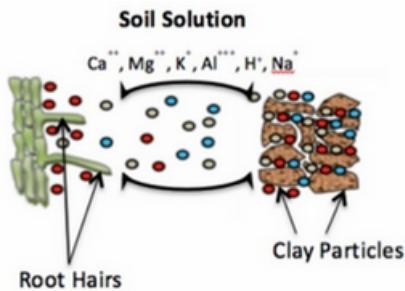


Gambar 3.13 Pengukuran pH pada tanah  
(Sumber: Amarudin, 2023)

### 3.2.3 Cation Exchange Capacity (CEC) dan Kesuburan

#### 1) Cation Exchange Capacity (CEC)

Cation Exchange Capacity (CEC) merupakan ukuran total muatan negatif dalam tanah yang dapat menyerap kation nutrisi penting bagi tanaman, seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), dan kalium ( $\text{K}^+$ ). CEC ini adalah salah satu sifat kimia tanah yang penting karena mencerminkan kemampuan tanah untuk mempertahankan dan menyediakan kation-kation tersebut ke dalam larutan tanah, sehingga bisa diserap oleh akar tanaman. Dengan CEC yang tinggi, tanah mampu menyimpan lebih banyak nutrisi, yang berarti tanah tersebut lebih subur dan mendukung pertumbuhan tanaman lebih baik. Sebaliknya, tanah dengan CEC rendah cenderung miskin nutrisi, sehingga memerlukan tambahan pupuk atau amandemen tanah (S et al., 2022).



Gambar 3.14 Diagram skematis pertukaran kation antara permukaan tanah dan larutan tanah, serta pergerakan kation ini dari larutan tanah ke akar (rizosfer) untuk diserap.  
(Sumber: Leticia, 2022)



Gambar 3.13 Pengukuran pH pada tanah  
(Sumber: Amarudin, 2023)

### 3.2.3 Cation Exchange Capacity (CEC) and Fertility

#### 1) Cation Exchange Capacity (CEC)

Cation Exchange Capacity (CEC) is a measure of the total negative charge in the soil that can absorb essential nutrient cations for plants, such as calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), and potassium ( $\text{K}^+$ ). CEC is one of the important chemical properties of the soil because it reflects the ability of the soil to retain and provide these cations into the soil solution, so that they can be absorbed by plant roots. With a high CEC, the soil is able to store more nutrients, which means the soil is more fertile and supports better plant growth. Conversely, soil with a low CEC tends to be poor in nutrients, so it requires additional fertilizer or soil amendments (S et al., 2022).

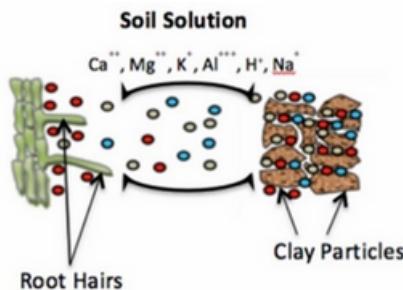


Figure 3.14 Schematic diagram of cation exchange between the soil surface and soil solution, and the movement of these cations from the soil solution to the roots (rhizosphere) for absorption.  
(Source: Leticia, 2022)

## 2) Faktor yang Mempengaruhi CEC

Ada tiga faktor utama yang mempengaruhi CEC: kandungan lempung, bahan organik, dan pH tanah (Amina, 2019):

### a) Kandungan Lempung

Kandungan lempung dalam tanah berperan penting karena partikel lempung memiliki muatan negatif, yang memungkinkan mereka menarik dan menahan kation bermuatan positif, seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), dan kalium ( $\text{K}^+$ ). Proses ini sangat penting untuk menjaga ketersediaan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Setiap jenis lempung ketersediaan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Setiap jenis lempung memiliki nilai kapasitas tukar kation (CEC) yang berbeda, sehingga mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap dan melepaskan nutrisi.

### b) Bahan Organik

Bahan organik dalam tanah juga memiliki muatan negatif yang berperan penting dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (CEC). Semakin tinggi kandungan bahan organik dalam tanah, semakin besar kemampuan tanah untuk menahan kation seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), dan kalium ( $\text{K}^+$ ). Hal ini membantu memastikan bahwa nutrisi esensial tetap tersedia bagi tanaman untuk diserap melalui akarnya.

### c) pH Tanah

CEC (Cation Exchange Capacity) meningkat seiring dengan kenaikan pH tanah. Pada kondisi tanah yang lebih basa, muatan negatif pada partikel lempung dan bahan organik bertambah, memungkinkan tanah menahan lebih banyak kation seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{K}^+$ . Hal ini memperkuat kemampuan tanah dalam menyediakan nutrisi esensial bagi tanaman. Peningkatan CEC pada pH yang lebih tinggi memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman karena lebih banyak unsur hara yang tersedia di dalam tanah.

Sebaliknya, pada pH rendah atau kondisi tanah yang asam, ion  $\text{H}^+$  mendominasi muatan di permukaan partikel tanah. Hal ini mengurangi kemampuan tanah untuk menukar kation, sehingga menurunkan CEC. Kondisi ini membatasi ketersediaan nutrisi penting bagi tanaman, yang bisa berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman dan kesuburan tanah secara keseluruhan.

## 2) Factors Affecting CEC

There are three main factors that affect CEC: clay content, organic matter, and soil pH (Amina, 2019):

### a) Clay Content

The clay content in the soil plays an important role because clay particles have a negative charge, which allows them to attract and hold positively charged cations, such as calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), and potassium ( $\text{K}^+$ ). This process is very important to maintain the availability of nutrients needed by plants. Each type of clay has a different cation exchange capacity (CEC) value, thus affecting the soil's ability to absorb and release nutrients.

### b) Organic Matter

Organic matter in the soil also has a negative charge which plays an important role in increasing the cation exchange capacity (CEC). The higher the organic matter content in the soil, the greater the ability of the soil to retain cations such as calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), and potassium ( $\text{K}^+$ ). This helps ensure that essential nutrients remain available for plants to absorb through their roots.

### c) Soil pH

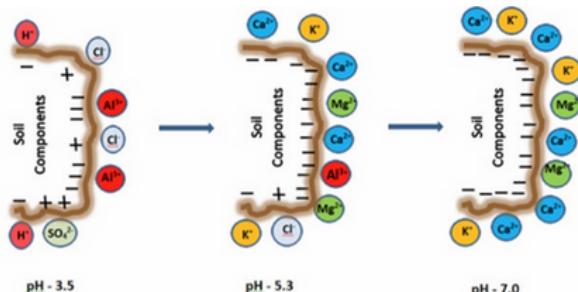
CEC (Cation Exchange Capacity) increases with increasing soil pH. In more alkaline soil conditions, the negative charge on clay particles and organic matter increases, allowing the soil to retain more cations such as  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , and  $\text{K}^+$ . This strengthens the soil's ability to provide essential nutrients to plants. Increased CEC at higher pH is beneficial for plant growth because more nutrients are available in the soil.

Conversely, at low pH or acidic soil conditions,  $\text{H}^+$  ions dominate the charge on the surface of soil particles. This reduces the soil's ability to exchange cations, thereby lowering CEC. This condition limits the availability of essential nutrients to plants, which can negatively impact plant growth and overall soil fertility.

### 3) Bagaimana CEC Berubah dengan pH Tanah

CEC (Kapasitas Tukar Kation) dari bahan organik tanah dan beberapa jenis mineral tanah liat bersifat dinamis dan dapat berubah sesuai dengan pH tanah. Pada kondisi tanah yang sangat asam, dengan pH antara 3,5 hingga 4,0, CEC berada pada tingkat terendah. Hal ini disebabkan oleh dominasi ion H<sup>+</sup> yang mengurangi muatan negatif pada permukaan partikel tanah, sehingga mengurangi kemampuan tanah untuk menukar kation.

Namun, CEC akan meningkat seiring dengan kenaikan pH, terutama setelah dilakukan pengapuran pada tanah asam. Pengapuran meningkatkan pH tanah, mengurangi ion H<sup>+</sup>, dan menambah jumlah muatan negatif pada partikel tanah dan bahan organik. Dengan demikian, tanah menjadi lebih mampu menahan dan menukar kation yang dibutuhkan tanaman, seperti kalsium (Ca<sup>2+</sup>), magnesium (Mg<sup>2+</sup>), dan kalium (K<sup>+</sup>), yang berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah.



Gambar 3.15 Pengaruh pH terhadap muatan permukaan tanah dan komponennya.  
(Sumber: Leticia, 2022)

Kapasitas tukar kation (CEC) merupakan parameter penting dalam ilmu tanah yang mengukur kemampuan tanah untuk menyimpan dan melepaskan kation. Nilai CEC dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada pH tanah. Untuk memastikan konsistensi dan akurasi dalam pengukuran, CEC biasanya diukur pada pH 7,0, yang dianggap sebagai kondisi netral. Dengan menggunakan pH netral sebagai standar, penelitian tentang CEC dapat dilakukan dengan lebih mudah dan hasilnya dapat dibandingkan dengan lebih baik antara berbagai jenis tanah.

### 3) How CEC Changes with Soil pH

CEC (Cation Exchange Capacity) of soil organic matter and some types of clay minerals is dynamic and can change according to soil pH. In very acidic soil conditions, with a pH between 3.5 and 4.0, CEC is at its lowest level. This is due to the dominance of  $H^+$  ions which reduce the negative charge on the surface of soil particles, thereby reducing the soil's ability to exchange cations.

However, CEC will increase with increasing pH, especially after liming acidic soils. Liming increases soil pH, reduces  $H^+$  ions, and increases the number of negative charges on soil particles and organic matter. Thus, the soil becomes more able to hold and exchange cations needed by plants, such as calcium ( $Ca^{2+}$ ), magnesium ( $Mg^{2+}$ ), and potassium ( $K^+$ ), which play an important role in increasing soil fertility.

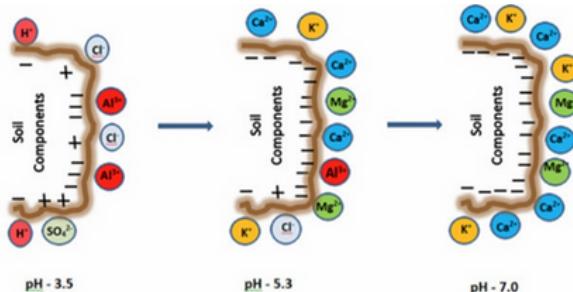


Figure 3.15 Effect of pH on soil surface charge and its components.  
(Source: Leticia, 2022)

Cation exchange capacity (CEC) is an important parameter in soil science that measures the ability of soil to store and release cations. CEC values can vary significantly depending on soil pH. To ensure consistency and accuracy in measurements, CEC is usually measured at pH 7.0, which is considered a neutral condition. By using neutral pH as a standard, CEC research can be conducted more easily and results can be better compared between different soil types.

Namun, perlu diperhatikan bahwa pada pH rendah, kondisi tanah dapat berubah secara signifikan. Pada pH yang lebih asam, beberapa mineral tanah tertentu dapat menunjukkan muatan positif pada permukaannya. Muatan positif ini dihasilkan dari adanya ion hidrogen yang tinggi dalam tanah asam, yang dapat mempengaruhi interaksi ion dengan tanah. Oleh karena itu, pemahaman tentang hubungan antara pH dan muatan permukaan mineral sangat penting untuk memahami bagaimana tanah dapat berfungsi sebagai penyimpan nutrisi bagi tanaman.

Muatan positif yang muncul pada tanah dengan pH rendah berfungsi untuk menahan anion-anion, yaitu ion bermuatan negatif, seperti klorida ( $\text{Cl}^-$ ) dan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Ini berarti bahwa di tanah yang asam, anion yang penting bagi pertumbuhan tanaman dapat terikat dengan lebih baik, meskipun ketersediaan kation mungkin lebih rendah. Dengan demikian, pH tanah tidak hanya memengaruhi ketersediaan kation, tetapi juga dapat memengaruhi interaksi dengan anion yang penting bagi tanaman.

Nilai CEC yang diperoleh dari laporan laboratorium uji tanah biasanya dihitung dengan cara menjumlahkan konsentrasi kation-kation yang terdapat dalam tanah. Kation yang umum diukur meliputi kalium, magnesium, kalsium, natrium, dan hidrogen. Konsentrasi kation tersebut dinyatakan dalam mili-ekuivalen muatan per 100 gram tanah, yang memberikan gambaran tentang seberapa banyak kation yang dapat ditukar oleh tanah. Proses ini sangat penting dalam menentukan kualitas tanah dan kemampuannya untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Untuk mendapatkan nilai CEC yang akurat, metode ekstraksi yang sesuai harus digunakan. Metode ini harus mampu mengekstraksi kation dari tanah secara efisien dan mempertahankan integritas hasil. Dengan melakukan pengukuran yang tepat dan memahami faktor-faktor yang memengaruhi CEC, para ilmuwan dan petani dapat mengelola tanah dengan lebih baik, meningkatkan kesuburan, dan mendukung keberhasilan pertanian. Hal ini menjadi sangat penting dalam konteks peningkatan produktivitas pertanian dan keberlanjutan penggunaan sumber daya tanah.

However, it should be noted that at low pH, soil conditions can change significantly. At more acidic pH, certain soil minerals can exhibit positive charges on their surfaces. This positive charge results from the high hydrogen ion content in acidic soils, which can affect the interaction of ions with the soil. Therefore, understanding the relationship between pH and mineral surface charge is essential to understanding how soils can function as nutrient reservoirs for plants.

The positive charge that occurs in soils with low pH serves to retain anions, which are negatively charged ions, such as chloride ( $\text{Cl}^-$ ) and sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). This means that in acidic soils, anions that are important for plant growth can be better bound, although the availability of cations may be lower. Thus, soil pH not only affects the availability of cations, but can also affect the interaction with anions that are important for plants.

The CEC value obtained from a soil test laboratory report is usually calculated by summing the concentrations of the cations present in the soil. Commonly measured cations include potassium, magnesium, calcium, sodium, and hydrogen. The concentration of cations is expressed in milli-equivalents of charge per 100 grams of soil, which gives an idea of how many cations the soil can exchange. This process is critical in determining soil quality and its ability to support plant growth.

To obtain accurate CEC values, an appropriate extraction method must be used. This method must be able to extract cations from the soil efficiently and maintain the integrity of the results. By making accurate measurements and understanding the factors that influence CEC, scientists and farmers can better manage soils, improve fertility, and support agricultural success. This is especially important in the context of increasing agricultural productivity and sustainable use of soil resources.

#### 4) CEC Mempengaruhi Kesuburan Tanah

Kapasitas Tukar Kation (CEC) memiliki peran penting dalam menentukan kesuburan tanah karena CEC mempengaruhi kemampuan tanah untuk menahan, melepaskan, dan menyediakan kation nutrisi yang diperlukan bagi tanaman (Hermansyah et al., 2024). Berikut adalah cara CEC memengaruhi kesuburan tanah:

##### a) Penahanan Nutrisi

Tanah dengan kapasitas tukar kation (CEC) yang tinggi memiliki kemampuan lebih besar untuk menahan kation nutrisi penting bagi tanaman, seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), dan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Kation-kation ini sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena mereka berperan dalam berbagai proses fisiologis, seperti pembentukan dinding sel, sintesis protein, serta menjaga keseimbangan air dan pH dalam sel tanaman. Dengan kemampuan menahan kation lebih tinggi, tanah dengan CEC tinggi dapat menyediakan cadangan nutrisi yang lebih stabil dan lebih lama bagi tanaman.

Selain itu, tanah dengan CEC yang tinggi juga cenderung lebih tahan terhadap perubahan pH dan pencucian nutrisi, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi. Hal ini penting dalam manajemen kesuburan tanah karena nutrisi yang terlarut dalam air hujan dapat dengan mudah tersapu dan hilang dari tanah yang memiliki CEC rendah. Oleh karena itu, memahami CEC tanah membantu petani dalam memilih strategi pemupukan yang tepat, guna memastikan ketersediaan nutrisi yang optimal bagi tanaman sepanjang musim tanam.

##### b) Penyediaan Nutrisi

Tanah dengan kapasitas tukar kation (CEC) yang tinggi memiliki kemampuan untuk menyimpan dan menyediakan lebih banyak kation nutrisi bagi tanaman. Hal ini membuat tanah tersebut menjadi sumber cadangan nutrisi yang lebih efektif, memudahkan tanaman dalam menyerap unsur-unsur penting seperti kalsium, magnesium, kalium, dan amonium yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan optimal.

Dengan CEC yang tinggi, tanah dapat menjaga keseimbangan nutrisi dalam jangka waktu lebih lama, sehingga nutrisi lebih tersedia saat tanaman membutuhkannya. Ini sangat bermanfaat dalam menjaga produktivitas lahan pertanian dan memastikan tanaman mendapatkan pasokan nutrisi yang cukup secara berkelanjutan.

## 4) CEC Affects Soil Fertility

Cation Exchange Capacity (CEC) plays an important role in determining soil fertility because CEC affects the soil's ability to hold, release, and provide nutrient cations needed by plants (Hermansyah et al., 2024). Here's how CEC affects soil fertility:

### a) Nutrient Retention

Soil with a high cation exchange capacity (CEC) has a greater ability to hold essential nutrient cations for plants, such as calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potassium ( $\text{K}^+$ ), and ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). These cations are essential for plant growth and development because they play a role in various physiological processes, such as cell wall formation, protein synthesis, and maintaining water and pH balance in plant cells. With a higher cation holding capacity, soil with high CEC can provide more stable and longer nutrient reserves for plants.

In addition, soils with high CEC also tend to be more resistant to pH changes and nutrient leaching, especially in areas with high rainfall. This is important in soil fertility management because nutrients dissolved in rainwater can easily be washed away and lost from soils with low CEC. Therefore, understanding soil CEC helps farmers choose the right fertilization strategy, to ensure optimal nutrient availability for plants throughout the growing season.

### b) Nutrient Provision

Soils with high cation exchange capacity (CEC) have the ability to store and provide more nutrient cations for plants. This makes the soil a more effective source of nutrient reserves, making it easier for plants to absorb important elements such as calcium, magnesium, potassium, and ammonium which are essential for optimal growth.

With high CEC, the soil can maintain nutrient balance for a longer period of time, so that nutrients are more available when plants need them. This is very useful in maintaining agricultural land productivity and ensuring that plants get a sufficient supply of nutrients continuously.

### c) Peran Bahan Organik dan Mineral Liat

Tanah yang kaya akan bahan organik dan lempung cenderung memiliki kapasitas tukar kation (CEC) yang lebih tinggi karena kandungan muatan negatifnya lebih banyak. Muatan negatif ini memungkinkan tanah untuk menahan lebih banyak kation nutrisi seperti kalsium, magnesium, dan kalium, yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Akibatnya, tanah dengan CEC tinggi biasanya lebih subur karena dapat menyediakan nutrisi dengan lebih efisien.

Tanah berlempung dan yang kaya bahan organik tidak hanya mampu menahan nutrisi lebih baik, tetapi juga membantu menjaga keseimbangan air dan meningkatkan struktur tanah. Hal ini mendukung akar tanaman dalam menyerap air dan nutrisi secara optimal, sehingga meningkatkan kesuburan tanah dan hasil tanaman. Oleh karena itu, tanah dengan CEC tinggi dianggap lebih ideal untuk pertanian dan kegiatan bercocok tanam.

### d) Hubungan dengan pH Tanah

Kapabilitas tukar kation (CEC) cenderung meningkat seiring dengan naiknya pH tanah menuju kondisi yang lebih basa. Pada pH yang lebih tinggi, tanah memiliki kemampuan lebih besar untuk menahan kation-kation nutrisi penting, seperti kalsium, magnesium, dan kalium. Dengan peningkatan CEC pada tanah basa, nutrisi ini dapat disimpan lebih lama dan tersedia bagi tanaman dalam jangka waktu yang lebih panjang, mendukung pertumbuhan optimal.

Sebaliknya, pada tanah yang bersifat asam, CEC cenderung lebih rendah, sehingga tanah tersebut kurang mampu menahan kation. Akibatnya, nutrisi penting lebih mudah tercuci atau hilang, terutama pada kondisi hujan atau irigasi yang berlebihan. Tanah asam dengan CEC rendah sering kali memerlukan manajemen yang lebih hati-hati, seperti penambahan kapur, untuk meningkatkan pH dan CEC, sehingga ketersediaan nutrisi bagi tanaman dapat diperbaiki.

### e) Manajemen Pupuk

Dalam manajemen pupuk, tanah dengan kapasitas tukar kation (CEC) tinggi memerlukan aplikasi pupuk awal dalam jumlah yang lebih banyak karena mampu menahan dan menyimpan nutrisi lebih lama. Kation nutrisi seperti kalium, magnesium, dan kalsium akan terserap dengan baik oleh tanah, sehingga

### c) The Role of Organic Matter and Clay Minerals

Soils rich in organic matter and clay tend to have a higher cation exchange capacity (CEC) because they contain more negative charges. This negative charge allows the soil to hold more nutrient cations such as calcium, magnesium, and potassium, which are essential for plant growth. As a result, soils with high CEC are usually more fertile because they can provide nutrients more efficiently.

Loamy soils and soils rich in organic matter are not only able to hold nutrients better, but also help maintain water balance and improve soil structure. This supports plant roots in absorbing water and nutrients optimally, thereby increasing soil fertility and crop yields. Therefore, soils with high CEC are considered more ideal for agriculture and farming activities.

### d) Relationship with Soil pH

Cation exchange capacity (CEC) tends to increase as soil pH increases towards more alkaline conditions. At higher pH, the soil has a greater ability to hold essential nutrient cations, such as calcium, magnesium, and potassium. By increasing CEC in alkaline soils, these nutrients can be stored longer and available to plants over a longer period of time, supporting optimal growth.

On the other hand, in acidic soil, CEC tends to be lower, so the soil is less able to retain cations. As a result, important nutrients are more easily leached or lost, especially in conditions of rain or excessive irrigation. Acid soils with low CEC often require more careful management, such as adding lime, to increase pH and CEC, so that nutrient availability to plants can be improved.

### e) Fertilizer Management

In fertilizer management, soil with a high cation exchange capacity (CEC) requires initial fertilizer applications in greater quantities because it is able to hold and store nutrients for longer. Nutrient cations such as potassium, magnesium and calcium will be well absorbed by the soil, so that

ketersediaan nutrisi tetap terjaga selama periode pertumbuhan tanaman. Hal ini membuat pemberian pupuk tidak perlu dilakukan terlalu sering, karena tanah dengan CEC tinggi mampu mempertahankan nutrisi untuk jangka waktu lebih lama.

Sebaliknya, tanah dengan CEC rendah membutuhkan aplikasi pupuk yang lebih sering dalam jumlah yang lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh kemampuan tanah yang terbatas dalam menahan kation, sehingga nutrisi lebih mudah hilang atau tercuci. Pemberian pupuk yang lebih teratur dalam jumlah kecil membantu menjaga pasokan nutrisi yang stabil bagi tanaman, meskipun tanah tersebut kurang mampu menyimpan nutrisi dalam jangka panjang.

### 3.2.4 Pengaruh Bahan Organik terhadap Parameter Kimia

Pengaruh bahan organik terhadap parameter kimia tanah sangat penting dalam meningkatkan kualitas dan kesuburan tanah, terutama pada tanah yang tergolong marginal seperti Ultisol. Bahan organik berperan dalam memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah.(Rizky Masni & Marpaung, 2015) Berikut ini adalah beberapa pengaruh bahan organik terhadap parameter kimia tanah:

#### 1) Peningkatan Kandungan C-Organik

Peningkatan kandungan karbon organik (C-organik) dalam tanah dapat dicapai dengan menambahkan bahan organik seperti kompos. Penambahan ini secara bertahap meningkatkan jumlah karbon organik dalam tanah, yang berperan penting dalam memperbaiki struktur tanah dan kemampuannya untuk menahan air serta nutrisi. Meski dampak langsung dari peningkatan C-organik tidak selalu terlihat dalam jangka pendek, perubahan ini secara perlahan membantu meningkatkan kesuburan tanah.

Seiring waktu, kandungan C-organik yang lebih tinggi akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah dan memperbaiki kapasitas tukar kation (CEC). Ini akan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan dan menyediakan nutrisi bagi tanaman, menjadikannya lebih subur dan produktif. Oleh karena itu, meskipun efeknya bertahap, penambahan bahan organik tetap merupakan langkah penting dalam manajemen kesuburan tanah jangka panjang.

availability of nutrients is maintained during the growth period of the plant. This makes it unnecessary to apply fertilizer too often, because soil with high CEC is able to retain nutrients for a longer period of time.

In contrast, soil with low CEC requires more frequent application of fertilizer in smaller amounts. This is due to the limited ability of the soil to retain cations, so nutrients are more easily lost or washed away. More regular application of fertilizer in small amounts helps maintain a stable supply of nutrients for plants, even though the soil is less able to store nutrients in the long term.

### **3.2.4 Effect of Organic Materials on Chemical Parameters**

The effect of organic matter on soil chemical parameters is very important in improving soil quality and fertility, especially on marginal soils such as Ultisols. Organic matter plays a role in improving the physical, chemical, and biological properties of the soil. (Rizky Masni & Marpaung, 2015) The following are some of the effects of organic matter on soil chemical parameters:

#### **1) Increasing C-Organic Content**

Increasing the content of organic carbon (C-organic) in the soil can be achieved by adding organic matter such as compost. This addition gradually increases the amount of organic carbon in the soil, which plays an important role in improving soil structure and its ability to retain water and nutrients. Although the direct impact of increasing C-organic is not always visible in the short term, these changes slowly help improve soil fertility.

Over time, higher C-organic content will increase the activity of soil microorganisms and improve cation exchange capacity (CEC). This will increase the soil's ability to store and provide nutrients to plants, making it more fertile and productive. Therefore, although the effects are gradual, the addition of organic matter remains an important step in long-term soil fertility management.

## 2) Peningkatan pH Tanah

Bahan organik memiliki kemampuan untuk meningkatkan pH tanah masam, seperti tanah Ultisol, yang umumnya dikenal memiliki tingkat keasaman tinggi dan kandungan nutrisi rendah. Penambahan bahan organik dapat membantu menetralkan keasaman tanah secara bertahap, sehingga meningkatkan kesuburnya. Proses ini terjadi karena bahan organik melepaskan ion-ion yang dapat mengikat ion hidrogen penyebab keasaman, sehingga pH tanah menjadi lebih netral.

Kombinasi bahan organik dengan mineral seperti semen portland, atau penggunaan bahan organik yang bersifat alkalis seperti kompos dari kulit durian yang dicampur dengan yogurt, dapat lebih efektif dalam menurunkan keasaman tanah. Bahan-bahan ini bekerja dengan cara menetralsir ion asam dalam tanah, menjadikannya lebih ramah bagi pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, pengelolaan tanah masam melalui metode ini membantu meningkatkan ketersediaan nutrisi dan mendukung produktivitas pertanian.

## 3) Peningkatan Ketersediaan Nutrisi

Bahan organik kaya akan nutrisi penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Penambahan bahan organik ke dalam tanah tidak hanya menyediakan nutrisi tersebut, tetapi juga membantu memperbaiki ketersediaan nutrisi dalam jangka panjang. Nutrisi dalam bahan organik dilepaskan secara perlahan melalui proses dekomposisi, sehingga dapat diserap oleh tanaman secara berkelanjutan.

Selain itu, bahan organik juga berperan penting dalam mencegah pencucian unsur hara, terutama di tanah berpasir atau tanah dengan CEC rendah. Bahan organik meningkatkan struktur tanah, memperbaiki daya ikat air dan kemampuan tanah untuk menahan nutrisi. Dengan demikian, penambahan bahan organik membantu menjaga ketersediaan unsur hara di dalam tanah, mengurangi risiko hilangnya nutrisi akibat hujan atau irigasi berlebih, serta meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan.

## 4) Perbaikan Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Bahan organik memiliki peran penting dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah, yang memungkinkan tanah untuk menahan dan menyediakan kation-kation esensial seperti kalium ( $K^+$ ), kalsium ( $Ca^{2+}$ ), dan

## 2) Increasing Soil pH

Organic materials have the ability to increase the pH of acidic soils, such as Ultisol soils, which are generally known to have high acidity levels and low nutrient content. The addition of organic materials can help neutralize soil acidity gradually, thereby increasing its fertility. This process occurs because organic materials release ions that can bind hydrogen ions that cause acidity, so that the soil pH becomes more neutral.

The combination of organic materials with minerals such as Portland cement, or the use of alkaline organic materials such as durian skin compost mixed with yogurt, can be more effective in reducing soil acidity. These materials work by neutralizing acid ions in the soil, making it more friendly to plant growth. Thus, managing acidic soil through this method helps increase nutrient availability and supports agricultural productivity.

## 3) Increasing Nutrient Availability

Organic materials are rich in essential nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K), which are essential for plant growth. The addition of organic materials to the soil not only provides these nutrients, but also helps improve nutrient availability in the long term. Nutrients in organic matter are released slowly through the decomposition process, so that they can be absorbed by plants sustainably.

In addition, organic matter also plays an important role in preventing nutrient leaching, especially in sandy soils or soils with low CEC. Organic matter improves soil structure, improves water holding capacity and the soil's ability to retain nutrients. Thus, the addition of organic matter helps maintain the availability of nutrients in the soil, reduces the risk of nutrient loss due to excessive rain or irrigation, and increases overall soil fertility.

## 4) Improvement of Cation Exchange Capacity (CEC)

Organic matter plays an important role in increasing the soil's cation exchange capacity (CEC), which allows the soil to retain and provide essential cations such as potassium ( $K^+$ ), calcium ( $Ca^{2+}$ ), and

magnesium ( $Mg^{2+}$ ) bagi tanaman. Peningkatan KTK melalui penambahan bahan organik memperkuat kemampuan tanah dalam menyimpan nutrisi, sehingga nutrisi tersebut lebih tersedia untuk diserap oleh tanaman dalam jangka waktu yang lebih lama.

Dengan kapasitas tukar kation yang lebih tinggi, tanah mampu mempertahankan pasokan hara yang lebih stabil, yang berdampak positif pada pertumbuhan tanaman. Ini membantu mencegah kekurangan nutrisi yang dapat terjadi di tanah dengan KTK rendah, serta meningkatkan efektivitas pemupukan. Secara keseluruhan, penambahan bahan organik tidak hanya memperbaiki struktur tanah, tetapi juga memperkuat kapasitas tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan lebih baik.

### 3.3 Pencemaran Tanah

#### 3.3.1 Definisi Pencemaran Tanah

Berdasarkan Pasal 1 angka 14 Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran lingkungan hidup didefinisikan sebagai masuknya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam lingkungan akibat aktivitas manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan. Ini menunjukkan bahwa tindakan manusia yang tidak terkendali dapat berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan, termasuk air, udara, dan tanah, jika melewati ambang batas yang ditetapkan.

Selain itu, dalam Surat Keputusan Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 02/MENKLH/1988, pencemaran lingkungan dijelaskan lebih lanjut sebagai perubahan komposisi air, udara, atau lingkungan yang disebabkan oleh masuknya zat, makhluk hidup, atau energi, sehingga kualitas lingkungan tersebut tidak lagi sesuai dengan fungsinya. Perubahan ini dapat merugikan kehidupan manusia, hewan, dan tanaman karena lingkungan yang tercemar tidak dapat mendukung kebutuhan biologis dan ekologis dengan baik.

Aktivitas manusia yang semakin intensif, baik di sektor industri, pertanian, maupun pemukiman, telah menjadi faktor utama dalam peningkatan zat pencemar yang merusak kesuburan tanah. Pencemaran tanah bisa berupa penumpukan limbah kimia, pestisida, serta bahan-bahan berbahaya lainnya yang berasal dari kegiatan manusia. Akumulasi zat-zat ini mengurangi kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan menyebabkan degradasi tanah dalam jangka panjang

magnesium ( $Mg^{2+}$ ) for plants. Increasing CEC through the addition of organic matter strengthens the soil's ability to store nutrients, making these nutrients more available for plants to absorb over a longer period of time.

With a higher cation exchange capacity, the soil is able to maintain a more stable supply of nutrients, which has a positive impact on plant growth. This helps prevent nutrient deficiencies that can occur in soils with low CEC, as well as increasing the effectiveness of fertilization. Overall, the addition of organic matter not only improves soil structure, but also strengthens the soil's capacity to better support plant growth.

## 3.3 Land Pollution

### 3.3.1 Definition of Land Pollution

Based on Article 1 number 14 of Law No. 32 of 2009 concerning Environmental Protection and Management, environmental pollution is defined as the entry of living things, substances, energy, or other components into the environment due to human activities so that it exceeds environmental quality standards. This shows that uncontrolled human actions can have a negative impact on environmental quality, including water, air, and soil, if they exceed the established threshold.

In addition, in the Decree of the Minister of Population and Environment No. 02/MENKLH/1988, environmental pollution is further explained as a change in the composition of water, air, or the environment caused by the entry of substances, living things, or energy, so that the quality of the environment is no longer in accordance with its function. This change can be detrimental to human life, animals, and plants because the polluted environment cannot support biological and ecological needs properly.

Increasingly intensive human activities, both in the industrial, agricultural, and residential sectors, have become the main factor in increasing pollutants that damage soil fertility. Soil pollution can be in the form of accumulation of chemical waste, pesticides, and other hazardous materials originating from human activities. The accumulation of these substances reduces the ability of the soil to support plant growth and causes long-term soil degradation.

Padahal, tanah memiliki fungsi sosial yang sangat penting, yakni sebagai sumber kehidupan dan tempat berlangsungnya aktivitas manusia. Tanah harus dijaga agar tetap subur dan bebas dari kerusakan, karena kerusakan tanah tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga pada ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, pemeliharaan tanah yang baik sangat diperlukan agar fungsi tanah tetap optimal untuk berbagai peruntukannya.

Hal ini ditegaskan dalam Pasal 15 Undang-Undang No. 5 Tahun 1960 tentang Pokok-Pokok Agraria, yang wajibkan setiap orang atau badan hukum yang memiliki hubungan hukum dengan tanah untuk memelihara tanah tersebut dan mencegah kerusakannya. Undang-undang ini menekankan pentingnya tanggung jawab semua pihak yang berkepentingan dengan tanah untuk menjaga kualitas tanah, sehingga tanah tetap dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.

Ketentuan lebih lanjut terkait pemeliharaan dan tata guna tanah juga diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2004 tentang Tata Guna Tanah. Peraturan ini memberikan pedoman bagi pengelolaan tanah agar tidak hanya digunakan sesuai dengan peruntukannya, tetapi juga diupayakan agar tidak terjadi kerusakan lingkungan akibat penggunaan yang tidak bertanggung jawab. Regulasi ini menyoroti pentingnya pengelolaan tanah yang berkelanjutan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan kesejahteraan manusia.



Gambar 3.16 Ilustrasi Pencemaran Tanah  
(Sumber: Dislhk Bandung, 2018)

In fact, land has a very important social function, namely as a source of life and a place for human activities. Land must be maintained to remain fertile and free from damage, because land damage not only impacts the environment, but also food security and community welfare. Therefore, good land maintenance is very necessary so that the function of the land remains optimal for its various uses.

This is emphasized in Article 15 of Law No. 5 of 1960 concerning Agrarian Principles, which requires every person or legal entity that has a legal relationship with the land to maintain the land and prevent its damage. This law emphasizes the importance of the responsibility of all parties interested in the land to maintain the quality of the land, so that the land can continue to be used sustainably.

Further provisions related to land maintenance and use are also regulated in Government Regulation No. 16 of 2004 concerning Land Use. This regulation provides guidelines for land management so that it is not only used according to its intended use, but also efforts are made to prevent environmental damage due to irresponsible use. This regulation highlights the importance of sustainable land management to maintain ecosystem balance and human well-being.



Figure 3.16 Illustration of Soil Pollution  
(Source: Dislhk Bandung, 2018)

Pencemaran tanah adalah kondisi di mana bahan pencemar, termasuk bahan kimia buatan manusia, zat lain, dan makhluk hidup, masuk ke dalam tanah, sehingga mengubah kondisi lingkungan tanah alami (Gusti, 2022). Menurut Ramadhan (2018: 98), pencemaran tanah terjadi ketika bahan kimia buatan manusia mengubah lingkungan tanah alami. Pencemaran ini sering kali disebabkan oleh kebocoran limbah cair dari industri, penggunaan pestisida secara berlebihan, serta limbah dari fasilitas komersial yang tidak dikelola dengan baik.

Sumber-sumber pencemaran tanah juga mencakup masuknya air permukaan yang tercemar ke dalam lapisan sub-permukaan, kecelakaan kendaraan pengangkut minyak atau zat kimia, serta pembuangan limbah industri secara ilegal. Ketika zat-zat berbahaya ini mencemari permukaan tanah, mereka dapat menguap, terbawa air hujan, atau masuk ke dalam tanah. Proses ini menyebabkan pencemaran yang berkelanjutan, di mana zat kimia beracun akan terendap di dalam tanah, mengubah sifat fisik dan kimia tanah yang awalnya sehat.

Zat beracun yang terakumulasi dalam tanah dapat memberikan dampak serius bagi kesehatan manusia, baik melalui kontak langsung maupun pencemaran air tanah dan udara di atasnya. Ketika manusia bersentuhan dengan tanah yang terkontaminasi atau mengonsumsi air tanah yang tercemar, risiko paparan terhadap zat berbahaya meningkat. Oleh karena itu, penting untuk mengambil langkah-langkah pencegahan dan pengelolaan yang tepat untuk mengurangi pencemaran tanah dan melindungi kesehatan masyarakat serta lingkungan.

### 3.3.2 Sumber Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung, dengan penyebab yang bervariasi. Pencemaran langsung pada tanah umumnya disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal mengacu pada pencemaran yang disebabkan oleh peristiwa alam, seperti banjir dan letusan gunung berapi. Bencana alam ini dapat membawa material atau zat pencemar alami ke dalam tanah, yang kemudian mengubah komposisi dan kualitas tanah secara signifikan.

Land pollution is a condition in which pollutants, including man-made chemicals, other substances, and living things, enter the soil, thereby changing the natural soil environment (Gusti, 2022). According to Ramadhan (2018: 98), land pollution occurs when man-made chemicals change the natural soil environment. This pollution is often caused by leakage of liquid waste from industry, excessive use of pesticides, and waste from commercial facilities that are not properly managed.

Sources of land pollution also include the entry of polluted surface water into the sub-surface layer, accidents involving vehicles transporting oil or chemicals, and illegal dumping of industrial waste. When these hazardous substances contaminate the soil surface, they can evaporate, be carried away by rainwater, or enter the soil. This process causes ongoing pollution, where toxic chemicals will settle in the soil, changing the physical and chemical properties of the initially healthy soil.

Toxic substances that accumulate in the soil can have serious impacts on human health, both through direct contact and contamination of groundwater and the air above it. When humans come into contact with contaminated soil or consume contaminated groundwater, the risk of exposure to hazardous substances increases. Therefore, it is important to take appropriate preventive and management measures to reduce soil contamination and protect public health and the environment.

### **3.3.2 Sources of Soil Pollution**

Soil pollution can occur both directly and indirectly, with various causes. Direct pollution of soil is generally caused by two main factors, namely internal factors and external factors. Internal factors refer to pollution caused by natural events, such as floods and volcanic eruptions. These natural disasters can bring natural pollutant materials or substances into the soil, which then significantly change the composition and quality of the soil.

Di sisi lain, faktor eksternal merupakan pencemaran tanah yang diakibatkan oleh aktivitas manusia. Aktivitas seperti pembuangan limbah industri, penggunaan pestisida berlebihan dalam pertanian, dan illegal dumping bahan kimia berbahaya menjadi penyebab utama pencemaran tanah dari faktor eksternal. Aktivitas manusia ini sering kali memperburuk kualitas tanah, menyebabkan tanah kehilangan kesuburnannya dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan serta kesehatan manusia.

Dengan demikian, pencemaran tanah baik yang berasal dari faktor internal maupun eksternal memerlukan perhatian serius. Peristiwa alam mungkin sulit dicegah, tetapi dampaknya dapat diminimalisir melalui manajemen tanah yang baik. Sementara itu, pencemaran akibat aktivitas manusia dapat dikendalikan dengan regulasi yang ketat dan penerapan teknologi ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap tanah dan lingkungan sekitarnya.

### 1) Bencana Alam

Saat terjadi bencana alam seperti banjir, lapisan unsur hara tanah akan terbawa arus air, menyebabkan hilangnya nutrisi penting yang ada di dalam tanah dan membuat tanah tercemar. Kehilangan lapisan hara ini berdampak buruk terhadap kesuburan tanah, sehingga kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman menurun secara signifikan.

Sebaliknya, saat terjadi letusan gunung berapi, tanah akan tertutup oleh abu vulkanik, pasir, dan material lainnya yang awalnya membuat tanah menjadi kering dan tidak produktif. Namun, setelah keadaan kembali normal dan material vulkanik mulai terurai, tanah tersebut justru dapat menjadi lebih subur. Material vulkanik yang mengendap di tanah mengandung mineral yang bermanfaat bagi tanaman, sehingga tanah yang awalnya kering dapat pulih dan menjadi lahan yang subur untuk pertanian.



Gambar 3.17 Erosi Tanah  
(Sumber: Panda, 2023)

On the other hand, external factors are soil pollution caused by human activities. Activities such as industrial waste disposal, excessive use of pesticides in agriculture, and illegal dumping of hazardous chemicals are the main causes of soil pollution from external factors. These human activities often worsen soil quality, causing the soil to lose its fertility and potentially causing negative impacts on the environment and human health.

Thus, soil pollution from both internal and external factors requires serious attention. Natural events may be difficult to prevent, but their impacts can be minimized through good soil management. Meanwhile, pollution from human activities can be controlled with strict regulations and the application of environmentally friendly technologies to reduce its negative impacts on the soil and the surrounding environment.

### 1) Natural Disasters

When a natural disaster such as a flood occurs, the soil nutrient layer will be carried away by the water current, causing the loss of important nutrients in the soil and making the soil polluted. The loss of this nutrient layer has a negative impact on soil fertility, so that the soil's ability to support plant growth decreases significantly.

Conversely, when a volcanic eruption occurs, the soil will be covered by volcanic ash, sand, and other materials that initially make the soil dry and unproductive. However, once conditions return to normal and volcanic material begins to decompose, the land can actually become more fertile. Volcanic material that settles in the soil contains minerals that are beneficial to plants, so that the initially dry land can recover and become fertile land for agriculture.



Figure 3.17 Soil Erosion  
(Source: Panda, 2023)

## 2) Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan tidak hanya menyebabkan pencemaran udara dan air, tetapi juga berdampak signifikan pada pencemaran tanah. Ketika hutan terbakar, lapisan tanah yang semula subur akan kehilangan unsur-unsur penting seperti karbon, nitrogen, dan mineral lainnya yang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Proses pembakaran ini juga menghilangkan bahan organik yang biasanya berfungsi menjaga kelembaban dan struktur tanah.



Gambar 3.18 Kebakaran Hutan  
(Sumber: Dlh Semarang Kota, 2020)

## 3) Limbah Organik

Limbah organik umumnya berasal dari aktivitas rumah tangga dan industri kecil, seperti sisa makanan, daun, dan produk organik lainnya. Meskipun limbah ini bersifat alami dan dapat terurai dengan cepat oleh mikroorganisme, dalam jumlah yang besar, limbah organik dapat menimbulkan masalah lingkungan yang serius. Proses penguraian yang cepat memang merupakan kelebihan limbah organik, tetapi bila limbah ini menumpuk tanpa pengelolaan yang baik, tanah dapat tercemar oleh senyawa organik yang berlebihan.

## 4) Limbah Anorganik

Limbah anorganik merupakan jenis limbah yang tidak dapat mengalami proses penguraian secara cepat, sehingga berpotensi mencemari tanah dalam jangka waktu yang lama. Limbah ini berasal dari bahan-bahan yang sulit bahkan tidak dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme, seperti plastik, logam, kaca, dan bahan sintetis lainnya. Akibatnya, limbah anorganik dapat bertahan di lingkungan selama bertahun-tahun atau bahkan berabad-abad.

## 5) Limbah Industri

Limbah industri berasal dari aktivitas berbagai jenis pabrik dan industri masyarakat, yang menghasilkan volume limbah yang sangat besar. Limbah ini

## 2) Forest Fires

Forest fires not only cause air and water pollution, but also have a significant impact on soil pollution. When forests burn, the previously fertile soil layer will lose important elements such as carbon, nitrogen, and other minerals needed to support plant growth. This burning process also removes organic matter that usually functions to maintain soil moisture and structure.



Figure 3.18 Forest Fires  
(Source: Dlh Semarang City, 2020)

## 3) Organic Waste

Organic waste generally comes from household activities and small industries, such as food scraps, leaves, and other organic products. Although this waste is natural and can be decomposed quickly by microorganisms, in large quantities, organic waste can cause serious environmental problems. The rapid decomposition process is indeed an advantage of organic waste, but if this waste accumulates without proper management, the soil can be contaminated by excessive organic compounds.

## 4) Inorganic Waste

Inorganic waste is a type of waste that cannot undergo a rapid decomposition process, so it has the potential to pollute the soil for a long time. This waste comes from materials that are difficult or even impossible to decompose naturally by microorganisms, such as plastic, metal, glass, and other synthetic materials. As a result, inorganic waste can persist in the environment for years or even centuries.

## 5) Industrial Waste

Industrial waste comes from the activities of various types of factories and community industries, which produce very large volumes of waste. This waste

dapat berupa sisa-sisa produksi, bahan kimia yang tidak terpakai, atau bahkan limbah padat dan cair yang dihasilkan selama proses manufaktur. Keberadaan limbah industri yang melimpah ini menjadi masalah serius bagi lingkungan, terutama karena sifatnya yang berbahaya dan dampak jangka panjang yang ditimbulkannya.

#### **6) Limbah Pertambangan**

Kegiatan pertambangan seringkali menjadi salah satu penyebab utama pencemaran udara dan tanah. Proses ekstraksi mineral dapat menghasilkan limbah yang berbahaya, seperti limbah logam dan banjir lumpur. Limbah logam yang dihasilkan dari pertambangan mengandung berbagai zat beracun yang dapat mencemari tanah dan udara. Ketika limbah ini terpapar pada lingkungan, partikel-partikel berbahaya dapat terlepas ke atmosfer, menyebabkan pencemaran udara yang berpotensi merusak kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.

#### **7) Limbah Pertanian**

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia secara berlebihan dapat menjadi salah satu penyebab utama pencemaran tanah. Pestisida yang digunakan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman sering kali mengandung bahan kimia berbahaya yang dapat meresap ke dalam tanah. Begitu pula dengan pupuk kimia, meskipun dirancang untuk meningkatkan kesuburan tanah, jika digunakan secara berlebihan, pupuk ini dapat menimbulkan masalah yang lebih besar. Akumulasi bahan kimia ini dalam tanah dapat merusak keseimbangan ekosistem tanah dan mempengaruhi kualitas tanah secara keseluruhan.



Gambar 3.19 Penggunaan Pestisida  
(Sumber: Pertanian UMA, 2023)

can be in the form of production residues, unused chemicals, or even solid and liquid waste produced during the manufacturing process. The existence of this abundant industrial waste is a serious problem for the environment, especially because of its hazardous nature and the long-term impacts it causes.

## 6) Mining Waste

Mining activities are often one of the main causes of air and soil pollution. The mineral extraction process can produce hazardous waste, such as metal waste and mud floods. Metal waste produced from mining contains various toxic substances that can pollute the soil and air. When this waste is exposed to the environment, hazardous particles can be released into the atmosphere, causing air pollution that has the potential to damage the health of humans and other living things.

## 7) Agricultural Waste

Excessive use of pesticides and chemical fertilizers can be one of the main causes of soil pollution. Pesticides used to control pests and plant diseases often contain hazardous chemicals that can seep into the soil. Likewise with chemical fertilizers, although designed to increase soil fertility, if used excessively, these fertilizers can cause bigger problems. The accumulation of these chemicals in the soil can disrupt the balance of the soil ecosystem and affect the overall quality of the soil.



Figure 3.19 Pesticide Use  
(Source: UMA Agriculture, 2023)

## 8) Limbah Rumah Tangga

Limbah rumah tangga menjadi salah satu penyebab utama pencemaran tanah jika tidak dikelola dengan baik. Setiap hari, masyarakat menghasilkan berbagai jenis limbah dari aktivitas sehari-hari, termasuk sisa makanan, kemasan plastik, dan produk pembersih. Limbah-limbah ini sering kali dibuang sembarangan, tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah tersebut dapat mencemari tanah, mengubah sifat fisik dan kimia tanah, serta mengganggu ekosistem yang ada.



Gambar 3.20 Limbah Rumah Tangga  
(Sumber: Dislhk Bandung, 2018)

### 3.3.3 Proses Degradasi dan Remediasi Tanah

#### 1) Degradasi Tanah

Degradasi tanah adalah proses penurunan kualitas dan kuantitas tanah yang disebabkan oleh berbagai faktor, baik alami maupun akibat aktivitas manusia. Proses ini dapat berakibat pada penurunan produktivitas tanah, yang berdampak negatif terhadap sektor pertanian dan ketahanan pangan. Dengan menurunnya kesuburan tanah, hasil pertanian menjadi berkurang, yang pada gilirannya dapat memicu masalah ketahanan pangan di suatu wilayah. Masalah ini sangat serius, terutama di tengah meningkatnya populasi global yang membutuhkan lebih banyak sumber daya pangan.



Gambar 3.21 Erosi Tanah  
(Sumber: Panda, 2023)

## 8) Household Waste

Household waste is one of the main causes of soil pollution if not managed properly. Every day, people produce various types of waste from daily activities, including food waste, plastic packaging, and cleaning products. This waste is often disposed of carelessly, without considering its impact on the environment. If not managed properly, this waste can pollute the soil, change the physical and chemical properties of the soil, and disrupt the existing ecosystem.



Figure 3.20 Household Waste  
(Source: Dislhk Bandung, 2018)

### 3.3.3 Soil Degradation and Remediation Process

#### 1) Land Degradation

Land degradation is the process of decreasing the quality and quantity of land caused by various factors, both natural and due to human activities. This process can result in decreased soil productivity, which has a negative impact on the agricultural sector and food security. With decreasing soil fertility, agricultural yields are reduced, which in turn can trigger food security problems in a region. This problem is very serious, especially amidst the increasing global population that requires more food resources.



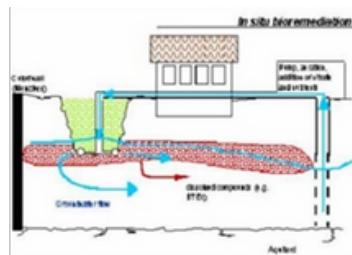
Figure 3.21 Soil Erosion  
(Source: Panda, 2023)

## 2) Remediasi Tanah

Remediasi tanah merupakan rangkaian proses yang dilakukan dengan tujuan untuk menetralkan tanah dari kontaminasi dan mengembalikan kualitas tanah (Zhang et al., 2022). Kontaminan yang ada di tanah dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk aktivitas industri, pertanian, dan pembuangan limbah yang tidak sesuai. Proses remediasi sangat penting untuk menjaga kesehatan lingkungan dan memulihkan fungsi ekosistem yang terganggu akibat pencemaran tanah.

### a) Remediasi In-Situ

Remediasi in-situ dilakukan langsung di lokasi kontaminasi tanpa memindahkan tanah yang tercemar. Metode ini umumnya lebih ekonomis dan meminimalisasi gangguan terhadap lingkungan sekitar. Dengan pendekatan ini, proses perbaikan tanah dapat dilakukan tanpa memerlukan transportasi, yang bisa menambah biaya dan risiko pencemaran lebih lanjut. Contoh dari teknik remediasi in-situ antara lain fitoremediasi dan soil vapor extraction (Melati, 2020).



Gambar 3.22 Remediasi In-Situ (Gambar 3.8 Remediasi In-Situ  
(Sumber: Ensiklopedia Dunia, 2020)

### b) Remediasi Ex-Situ

Remediasi ex-situ melibatkan pemindahan tanah yang tercemar dari lokasi kontaminasi ke tempat lain untuk diolah (Rahayu, 2022). Metode ini seringkali lebih efektif untuk mengatasi kontaminasi yang sangat parah atau ketika remediasi in-situ tidak memungkinkan. Dengan memindahkan tanah yang terkontaminasi, proses remediasi dapat dilakukan dalam kondisi yang lebih terkontrol, yang memungkinkan penggunaan teknik dan teknologi yang lebih canggih untuk membersihkan tanah dari kontaminan.

## 2) Soil Remediation

Soil remediation is a series of processes carried out with the aim of neutralizing soil from contamination and restoring soil quality (Zhang et al., 2022). Contaminants in the soil can come from various sources, including industrial activities, agriculture, and improper waste disposal. The remediation process is very important to maintain environmental health and restore ecosystem functions that are disrupted by soil pollution.

### a) In-Situ Remediation

In-situ remediation is carried out directly at the contamination site without moving the contaminated soil. This method is generally more economical and minimizes disturbance to the surrounding environment. With this approach, the soil improvement process can be carried out without the need for transportation, which can increase costs and the risk of further pollution. Examples of in-situ remediation techniques include phytoremediation and soil vapor extraction (Melati, 2020).

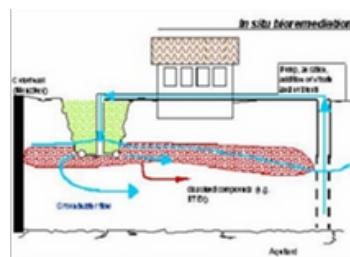
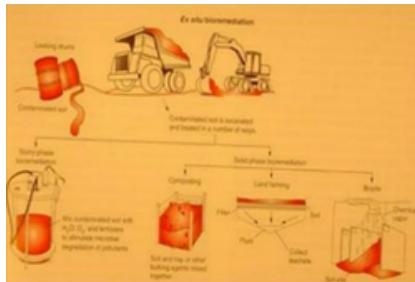


Figure 3.22 In-Situ Remediation (Figure 3.8 In-Situ Remediation  
(Source: World Encyclopedia, 2020)

### b) Ex-Situ Remediation

Ex-situ remediation involves moving contaminated soil from the contamination site to another location for treatment (Rahayu, 2022). This method is often more effective for dealing with very severe contamination or when in-situ remediation is not possible. By moving the contaminated soil, the remediation process can be carried out under more controlled conditions, allowing for the use of more sophisticated techniques and technologies to clean the soil of contaminants.



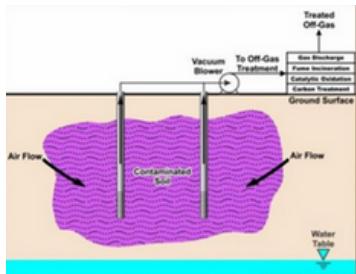
Gambar 3.23 Remediasi Ex-Situ  
(Sumber: Ensiklopedia Dunia, 2020)

## METODE REMEDIASI FISIKA

Metode remediasi fisika adalah teknik yang memanfaatkan prinsip-prinsip fisika untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan dalam tanah. Teknik ini sering dipilih karena kecepatan dan efektivitasnya dalam menangani berbagai jenis kontaminasi, terutama yang disebabkan oleh zat kimia yang mudah menguap atau bisa dipisahkan secara mekanis. Contoh metode remediasi fisika meliputi pemompaan dan pengolahan air tanah (pump and treat), ventilasi tanah (soil vapor extraction), serta ekstraksi air permukaan. Metode ini efektif untuk kontaminan yang tidak terikat kuat pada partikel tanah dan dapat berpindah atau terurai melalui proses fisik seperti penguapan atau pemisahan

### 1. Soil Vapor Extraction (SVE)

Soil Vapor Extraction (SVE) adalah metode remediasi fisika yang digunakan untuk menghilangkan senyawa organik mudah menguap (volatile organic compounds, VOCs) dari tanah yang tercemar. Teknik ini bekerja dengan memompa udara melalui tanah, yang menyebabkan VOCs menguap. Uap ini kemudian dikumpulkan dan diolah melalui sistem kontrol emisi untuk menghindari pelepasan kontaminan ke atmosfer (Guo et al., 2020).



Gambar 3.24 Sistem Soil Vapor Extraction (SVE)  
(Sumber: <https://frtr.gov/matrix/Soil-Vapor-Extraction/>)

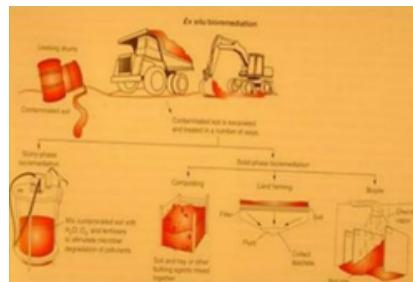


Figure 3.23 Ex-Situ Remediation  
(Source: World Encyclopedia, 2020)

## PHYSICAL REMEDIATION METHODS

Physical remediation methods are techniques that utilize the principles of physics to remove or reduce contaminants in soil. This technique is often chosen because of its speed and effectiveness in dealing with various types of contamination, especially those caused by volatile chemicals or those that can be separated mechanically. Examples of physical remediation methods include pump and treat groundwater, soil vapor extraction, and surface water extraction. This method is effective for contaminants that are not tightly bound to soil particles and can be moved or decomposed through physical processes such as evaporation or separation.

### 1. Soil Vapor Extraction (SVE)

Soil Vapor Extraction (SVE) is a physical remediation method used to remove volatile organic compounds (VOCs) from contaminated soil. This technique works by pumping air through the soil, which causes the VOCs to evaporate. This vapor is then collected and treated through an emission control system to avoid releasing contaminants into the atmosphere (Guo et al., 2020).

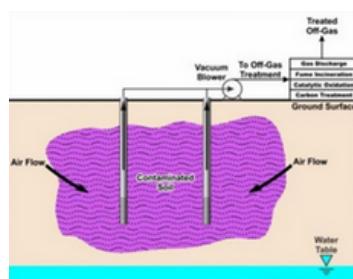
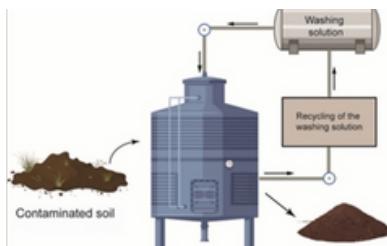


Figure 3.24 Soil Vapor Extraction (SVE) System  
(Source: <https://frtr.gov/matrix/Soil-Vapor-Extraction/>)

## 2. Soil Washing

Soil Washing adalah metode remediasi fisika yang digunakan untuk membersihkan tanah yang tercemar dengan cara mencucinya menggunakan air atau cairan pencuci lainnya. Tujuan dari metode ini adalah untuk memisahkan kontaminan, seperti logam berat dan senyawa organik, dari partikel tanah (Istiqmah, 2023). Proses ini melibatkan beberapa tahap, di antaranya pemisahan partikel berdasarkan ukuran, pencucian menggunakan agen pembersih khusus, dan pengolahan air limbah yang dihasilkan selama proses pencucian.



Gambar 3.25 Diagram Skema Soil Washing  
(Sumber: Souza et al., 2020)

## METODE REMEDIASI KIMIA

Metode remediasi kimia adalah teknik yang memanfaatkan reaksi kimia untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan dalam tanah. Metode ini bekerja dengan menambahkan bahan kimia tertentu ke tanah yang terkontaminasi untuk mengubah sifat kimia kontaminan, sehingga mengurangi toksisitasnya, meningkatkan kelarutannya, atau mengubahnya menjadi bentuk yang lebih mudah ditangani atau dihilangkan. Remediasi kimia umumnya digunakan untuk menangani kontaminan organik maupun anorganik, seperti logam berat, senyawa organik beracun, atau bahan kimia berbahaya lainnya. Contoh metode ini meliputi oksidasi kimia in situ, stabilisasi/solidifikasi, dan penggunaan agen chelating untuk mengikat logam berat.

### 1. Oksidasi Kimia

Oksidasi kimia adalah metode remediasi yang menggunakan oksidator kuat untuk mengubah kontaminan organik berbahaya menjadi produk yang kurang berbahaya. Beberapa oksidator yang umum digunakan dalam metode ini adalah persulfat, peroksida, dan ozon. Teknik ini sangat efektif untuk menangani senyawa organik yang sulit terurai, seperti hidrokarbon dan pestisida.

Persulfat, misalnya, bekerja melalui proses oksidasi yang sangat kuat, yang mampu memecah senyawa organik menjadi produk yang lebih aman.

## 2. Soil Washing

Soil Washing is a physical remediation method used to clean contaminated soil by washing it with water or other cleaning fluids. The purpose of this method is to separate contaminants, such as heavy metals and organic compounds, from soil particles (Istiqmah, 2023). This process involves several stages, including separating particles by size, washing using special cleaning agents, and treating wastewater generated during the washing process.

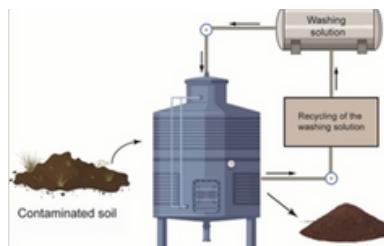


Figure 3.25 Schematic Diagram of Soil Washing  
(Source: Souza et al., 2020)

## CHEMICAL REMEDIATION METHODS

Chemical remediation methods are techniques that utilize chemical reactions to remove or reduce contaminants in soil. This method works by adding certain chemicals to contaminated soil to change the chemical properties of the contaminant, thereby reducing its toxicity, increasing its solubility, or changing it into a form that is easier to handle or remove. Chemical remediation is generally used to handle organic and inorganic contaminants, such as heavy metals, toxic organic compounds, or other hazardous chemicals. Examples of this method include in situ chemical oxidation, stabilization/solidification, and the use of chelating agents to bind heavy metals.

### 1. Chemical Oxidation

Chemical oxidation is a remediation method that uses strong oxidizers to convert hazardous organic contaminants into less hazardous products. Some common oxidizers used in this method are persulfate, peroxide, and ozone. This technique is very effective for handling organic compounds that are difficult to decompose, such as hydrocarbons and pesticides.

Persulfate, for example, works through a very strong oxidation process, which is able to break down organic compounds into safer products.

Sementara itu, peroksida menghasilkan radikal bebas, yang memiliki kemampuan untuk menghancurkan kontaminan melalui serangkaian reaksi kimia (Priana, 2024). Oksidasi kimia sering diterapkan pada situasi di mana kontaminasi organik bersifat persisten dan tidak dapat ditangani secara efektif oleh metode lain.

- **Persulfat**

Persulfat ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ) adalah oksidator kuat yang sering digunakan dalam metode remediasi oksidasi kimia. Reaksi persulfat di dalam tanah melibatkan oksidasi kontaminan organik, yang menyebabkan senyawa organik tersebut terpecah menjadi produk yang lebih sederhana dan kurang berbahaya.

Dalam reaksinya, ion persulfat ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ) dapat diaktifasi menjadi radikal sulfat ( $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ), yang merupakan oksidator sangat reaktif. Radikal ini mampu menghancurkan ikatan kimia dalam senyawa organik yang sulit terurai, seperti hidrokarbon, senyawa aromatik, dan pestisida. Produk akhir dari reaksi ini biasanya berupa air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), atau senyawa organik yang lebih mudah terurai di lingkungan.

Reaksi ini sangat efektif pada kontaminasi tanah yang melibatkan senyawa organik berbahaya dan memungkinkan pengurangan risiko pencemaran secara signifikan. Reaksi umum untuk oksidasi dengan persulfat adalah sebagai berikut:



Di sini,  $\text{R} - \text{CH}_3$  adalah kontaminan organik (seperti hidrokarbon), dan  $\text{SO}_4^{2-}$  adalah produk sampingan yang tidak berbahaya. Peroksida: Hidrogen.

- **Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )**

Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) sering digunakan dalam reaksi oksidasi kimia untuk memecah kontaminan organik di tanah atau air.  $\text{H}_2\text{O}_2$  bekerja dengan menghasilkan radikal hidroksil ( $\text{OH}^{\cdot}$ ) melalui proses dekomposisi yang dipicu oleh katalis, seperti logam transisi (misalnya  $\text{Fe}^{2+}$  dalam reaksi Fenton) atau sinar UV. Radikal hidroksil ini merupakan oksidator yang sangat kuat dan reaktif, yang dapat menghancurkan berbagai senyawa organik berbahaya.

Dalam prosesnya, radikal hidroksil menyerang ikatan kimia dalam molekul kontaminan organik, memecahnya menjadi produk yang lebih sederhana, seperti air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), atau senyawa organik yang kurang berbahaya. Metode ini sangat efektif untuk senyawa yang sulit diuraikan secara alami, seperti hidrokarbon, pestisida, atau senyawa organik halogen.

Meanwhile, peroxide produces free radicals, which have the ability to destroy contaminants through a series of chemical reactions (Priana, 2024). Chemical oxidation is often applied in situations where organic contamination is persistent and cannot be effectively handled by other methods.

- **Persulfate**

Persulfate ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ) is a strong oxidizer that is often used in chemical oxidation remediation methods. The persulfate reaction in the soil involves the oxidation of organic contaminants, causing the organic compounds to break down into simpler and less hazardous products.

In the reaction, the persulfate ion ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ) can be activated into sulfate radicals ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), which are highly reactive oxidizers. This radical is capable of destroying chemical bonds in organic compounds that are difficult to decompose, such as hydrocarbons, aromatic compounds, and pesticides. The end products of this reaction are usually water ( $\text{H}_2\text{O}$ ), carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), or organic compounds that are more easily decomposed in the environment.

This reaction is very effective in soil contamination involving hazardous organic compounds and allows for significant reduction in the risk of contamination. The general reaction for oxidation with persulfate is as follows:



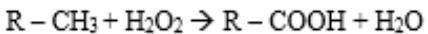
Here,  $\text{R} - \text{CH}_3$  is an organic contaminant (such as a hydrocarbon), and  $\text{SO}_4^{2-}$  is a harmless byproduct. Peroxide: Hydrogen.

- **Peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )**

Peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) is often used in chemical oxidation reactions to break down organic contaminants in soil or water.  $\text{H}_2\text{O}_2$  works by producing hydroxyl radicals ( $\text{OH}$ ) through a decomposition process triggered by a catalyst, such as a transition metal (e.g.  $\text{Fe}^{2+}$  in the Fenton reaction) or UV light. These hydroxyl radicals are very strong and reactive oxidants, which can destroy a wide range of harmful organic compounds.

In the process, the hydroxyl radicals attack the chemical bonds in the organic contaminant molecules, breaking them down into simpler products, such as water ( $\text{H}_2\text{O}$ ), carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), or less harmful organic compounds. This method is especially effective for compounds that are difficult to break down naturally, such as hydrocarbons, pesticides, or halogenated organic compounds.

Penggunaan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dalam remediasi kimia memungkinkan penguraian cepat kontaminan, tetapi kontrol yang hati-hati diperlukan untuk memastikan bahwa kondisi reaksi tetap optimal dan tidak menyebabkan kerusakan lingkungan yang lebih lanjut. Reaksi umum adalah:



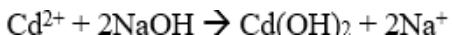
Di sini,  $\text{R} - \text{CH}_3$  adalah kontaminan organik yang teroksidasi menjadi asam karboksilat  $\text{R}-\text{COOH}$  dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

## 2. Stabilisasi dan Solidifikasi

### • Stabilisasi

Stabilisasi adalah metode remediasi kimia yang bertujuan untuk mengurangi bahaya kontaminan tanpa mengubah sifat fisiknya. Teknik ini bekerja dengan menurunkan kelarutan, mobilitas, dan toksitas kontaminan, sehingga memperlambat atau mencegah perpindahan zat berbahaya ke lingkungan. Dalam proses stabilisasi, bahan kimia tertentu ditambahkan ke limbah atau tanah yang tercemar untuk mengikat kontaminan dan menjadikannya kurang reaktif atau berbahaya.

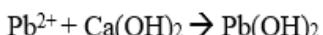
Contoh bahan kimia yang sering digunakan dalam proses ini adalah  $\text{NaOH}$  dan  $\text{CaO}$ , yang dapat berfungsi untuk menstabilkan logam berat seperti timbal, merkuri, atau kadmium. Penambahan zat ini membantu membentuk senyawa yang lebih stabil dan kurang larut, sehingga kontaminan tersebut tidak mudah menyebar melalui air tanah atau udara. Dengan cara ini, stabilisasi mampu meminimalkan risiko pencemaran lebih lanjut tanpa mengubah bentuk fisik limbah itu sendiri. Adapun reaksi kimia yang terbentuk dari Cd dan  $\text{NaOH}$  sebagai berikut :



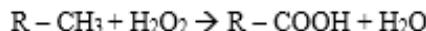
Reaksi kimia yang terbentuk dari bercampurnya Cd dan  $\text{CaO}$  sebagai berikut:



Timbal (Pb), sering digunakan reaksi dengan bahan kimia seperti kalsium hidroksida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  untuk membentuk senyawa yang kurang larut. Reaksi ini dapat digambarkan sebagai:



The use of  $\text{H}_2\text{O}_2$  in chemical oxidation remediation allows for rapid decomposition of contaminants, but careful control is required to ensure that reaction conditions remain optimal and do not cause further environmental damage. The general reaction is:



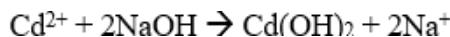
Here,  $\text{R}-\text{CH}_3$  is an organic contaminant that is oxidized to the carboxylic acid  $\text{R}-\text{COOH}$  and water ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

## 2. Stabilization and Solidification

- **Stabilization**

Stabilization is a chemical remediation method that aims to reduce the hazards of contaminants without changing their physical properties. This technique works by reducing the solubility, mobility, and toxicity of contaminants, thereby slowing or preventing the transfer of hazardous substances into the environment. In the stabilization process, certain chemicals are added to contaminated waste or soil to bind contaminants and make them less reactive or hazardous.

Examples of chemicals often used in this process are  $\text{NaOH}$  and  $\text{CaO}$ , which can function to stabilize heavy metals such as lead, mercury, or cadmium. The addition of these substances helps form more stable and less soluble compounds, so that these contaminants do not easily spread through groundwater or air. In this way, stabilization can minimize the risk of further pollution without changing the physical form of the waste itself. The chemical reactions formed from Cd and  $\text{NaOH}$  are as follows:



The chemical reactions formed from mixing Cd and  $\text{CaO}$  are as follows:



Lead (Pb), often used in reactions with chemicals such as calcium hydroxide  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  to form less soluble compounds. This reaction can be described as:



- **Solidifikasi**

Solidifikasi adalah proses penambahan zat aditif atau senyawa lain yang bertujuan untuk memadatkan limbah, sehingga mengurangi kemungkinan kontaminan berinteraksi dengan lingkungan. Proses ini mengikat kontaminan dalam bentuk padatan, sehingga limbah menjadi tidak dapat berinteraksi dengan reagen solidifikasi dan lebih stabil secara fisik (Azzara, 2022).

- **Fenton Reaction**

Fenton Reaction adalah metode yang memanfaatkan reaksi antara hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) dan ion besi ( $Fe^{2+}$ ) untuk menghasilkan radikal hidroksil ( $\cdot OH$ ), yang merupakan oksidator sangat reaktif (Rais & Setiawan, 2024). Radikal hidroksil ini mampu menyerang dan memecah kontaminan organik dalam tanah menjadi produk yang lebih sederhana dan kurang berbahaya.

## **METODE REMEDIASI BIOLOGI**

Metode remediasi biologi adalah teknik yang memanfaatkan proses biologis untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminan dalam tanah. Metode ini melibatkan penggunaan mikroorganisme, tanaman, atau kombinasi keduanya untuk memecah kontaminan menjadi bentuk yang tidak berbahaya atau memindahkannya dari lingkungan.

### **1.Bioremediasi**

Bioremediasi berasal dari dua akar kata, yaitu bio (organisme) dan remediasi (peremajaan). Bioremediasi merupakan pengembangan di bidang bioteknologi lingkungan yang memanfaatkan proses biologis untuk mengendalikan pencemaran dan mengatasi kontaminan di lingkungan.

### **2.Fitoremediasi**

Fitoremediasi berasal dari kata Yunani *phyton*, yang berarti tumbuhan, dan remediare dari Bahasa Latin, yang berarti memperbaiki, menyembuhkan, atau membersihkan sesuatu (Utami et al., 2022). Dengan kata lain, fitoremediasi adalah upaya penggunaan tanaman dan bagian-bagiannya untuk dekontaminasi limbah serta mengatasi masalah pencemaran lingkungan.

### **3.3.4 Dampak Pencemaran Tanah terhadap Kesehatan dan Lingkungan**

Pencemaran tanah dapat menyebabkan gangguan yang serius terhadap kesehatan manusia. Dampak kesehatan yang ditimbulkan oleh pencemaran ini merupakan

- **Solidification**

Solidification is the process of adding additives or other compounds that aim to compact waste, thereby reducing the possibility of contaminants interacting with the environment. This process binds contaminants in solid form, so that the waste cannot interact with the solidification reagent and is more physically stable (Azzara, 2022).

- **Fenton Reaction**

Fenton Reaction is a method that utilizes the reaction between hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) and iron ions ( $\text{Fe}^{2+}$ ) to produce hydroxyl radicals ( $\cdot\text{OH}$ ), which are highly reactive oxidants (Rais & Setiawan, 2024). These hydroxyl radicals are able to attack and break down organic contaminants in the soil into simpler and less hazardous products.

## BIOLOGICAL REMEDIATION METHODS

Biological remediation methods are techniques that utilize biological processes to reduce or eliminate contaminants in the soil. This method involves the use of microorganisms, plants, or a combination of both to break down contaminants into harmless forms or remove them from the environment.

### 1. Bioremediation

Bioremediation comes from two root words, namely bio (organism) and remediation (rejuvenation). Bioremediation is a development in the field of environmental biotechnology that utilizes biological processes to control pollution and overcome contaminants in the environment.

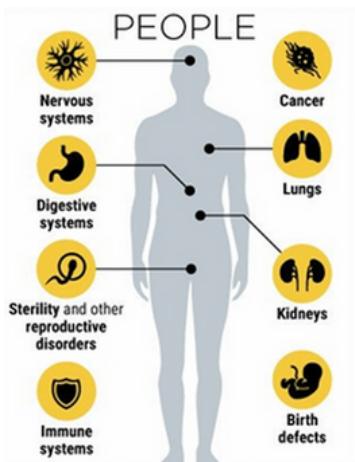
### 2. Phytoremediation

Phytoremediation comes from the Greek word phyton, which means plant, and remediare from Latin, which means to repair, cure, or clean something (Utami et al., 2022). In other words, phytoremediation is an effort to use plants and their parts to decontaminate waste and overcome environmental pollution problems.

### 3.3.4 Impact of Soil Pollution on Health and Environment

Soil pollution can cause serious disruption to human health. The health impacts caused by this pollution are:

salah satu efek paling berbahaya. Banyak permasalahan kesehatan yang diakibatkan oleh kontaminasi tanah, salah satunya adalah penghirupan gas beracun. Gas-gas ini dapat berasal dari tanah yang terkontaminasi dan bergerak perlahan ke atas atau melalui aktivitas manusia yang mengangkut bahan berbahaya ke udara.



Gambar 3.26 Dampak pencemaran tanah bagi kesehatan  
(Sumber: Hijau Indonesia, 2023)

Sedangkan penyakit jangka panjang yang dapat disebabkan oleh pencemaran tanah yaitu :

- **Kanker** terutama leukemia, dapat disebabkan oleh kontaminasi dengan senyawa berbahaya seperti benzena. Benzena adalah zat kimia yang ditemukan dalam berbagai produk industri, termasuk bahan bakar, pelarut, dan beberapa produk rumah tangga.
- **Kerusakan sistem saraf** dapat disebabkan oleh paparan terhadap senyawa kimia berbahaya seperti organofosfat dan karbamat.
- **Kerusakan ginjal** dapat disebabkan oleh paparan terhadap senyawa berbahaya seperti merkuri dan siklodiena. Merkuri adalah logam berat yang dapat terakumulasi dalam tubuh, terutama melalui konsumsi ikan yang terkontaminasi. Ketika merkuri masuk ke dalam aliran darah, ia dapat merusak sel-sel ginjal dan mengganggu fungsi organ ini.
- **Kerusakan hati** dapat disebabkan oleh paparan terhadap klorin, yang merupakan zat kimia berbahaya dan sering digunakan dalam industri serta dalam proses pemurnian air. Ketika klorin terpapar dalam jumlah yang tinggi, baik melalui inhalasi, konsumsi, atau kontak kulit, zat ini dapat menyebabkan stres oksidatif yang merusak sel-sel hati.

one of the most dangerous effects. Many health problems are caused by soil contamination, one of which is the inhalation of toxic gases. These gases can come from contaminated soil and move slowly upwards or through human activities that transport hazardous materials into the air.

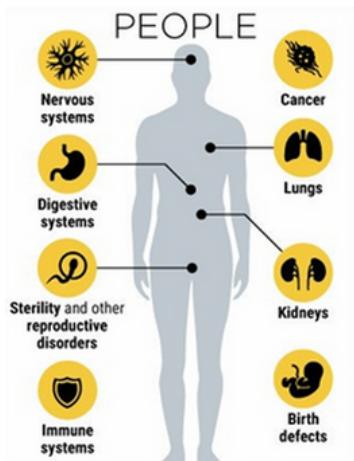


Figure 3.26 Impact of soil pollution on health  
(Source: Hijau Indonesia, 2023)

While long-term diseases that can be caused by soil pollution are:

- **Cancer** especially leukemia, can be caused by contamination with hazardous compounds such as benzene. Benzene is a chemical found in a variety of industrial products, including fuels, solvents, and some household products.
- **Nervous system damage** can be caused by exposure to hazardous chemical compounds such as organophosphates and carbamates.
- **Kidney damage** can be caused by exposure to hazardous compounds such as mercury and cyclodiene. Mercury is a heavy metal that can accumulate in the body, especially through the consumption of contaminated fish. When mercury enters the bloodstream, it can damage kidney cells and interfere with the function of this organ.
- **Liver damage** can be caused by exposure to chlorine, a hazardous chemical often used in industry and in water purification processes. When chlorine is exposed in high amounts, either through inhalation, ingestion, or skin contact, it can cause oxidative stress that damages liver cells.

## 2) Dampak Terhadap Lingkungan

Dampak pencemaran tanah terhadap ekosistem lingkungan sangat signifikan. Pencemaran tanah, terutama akibat limbah deterjen, dapat merusak ekosistem tanah dengan mengganggu mikroorganisme yang penting untuk kesuburan tanah. Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi berperan dalam proses dekomposisi dan penguraian bahan organik, yang mendukung kesuburan tanah. Ketika mikroorganisme ini terganggu, proses alami tersebut akan terhambat, mengakibatkan penurunan kesuburan dan kualitas tanah. Hal ini dapat mengancam habitat alami, mengancam keberlangsungan hidup flora dan fauna, serta mengurangi keanekaragaman hayati (Utami et al., 2023).



Gambar 3.27 Dampak pencemaran tanah bagi ekosistem lingkungan  
(Sumber: Hijau Indonesia, 2023)

Sebagai langkah preventif, masyarakat perlu diberikan edukasi tentang dampak limbah deterjen dan cara mengelola limbah dengan lebih baik. Program pengelolaan limbah yang baik dan penggunaan produk ramah lingkungan dapat membantu mengurangi pencemaran tanah. Kerjasama antara pemerintah, masyarakat, dan sektor industri juga sangat penting dalam upaya perlindungan lingkungan. Dengan meningkatkan kesadaran dan melakukan tindakan yang tepat, kita dapat melindungi tanah dan ekosistem yang mendukung kehidupan di Bumi.



Gambar 3.28 Tanah retak dan kurang subur  
(Sumber: BioProtection Portal, 2024)

## 2) Impact on the Environment

The impact of soil pollution on the environmental ecosystem is very significant. Soil pollution, especially due to detergent waste, can damage the soil ecosystem by disrupting microorganisms that are important for soil fertility. Microorganisms such as bacteria and fungi play a role in the decomposition and decomposition of organic matter, which supports soil fertility. When these microorganisms are disturbed, these natural processes will be hampered, resulting in decreased soil fertility and quality. This can threaten natural habitats, threaten the survival of flora and fauna, and reduce biodiversity (Utami et al., 2023).

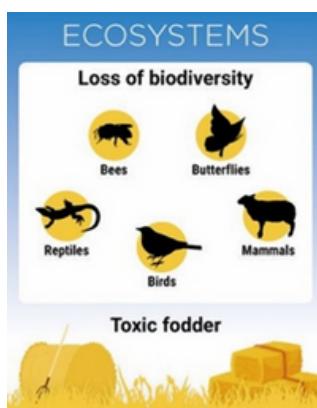


Figure 3.27 Impact of soil pollution on environmental ecosystems  
(Source: Hijau Indonesia, 2023)

As a preventive measure, the public needs to be educated about the impact of detergent waste and how to manage waste better. Good waste management programs and the use of environmentally friendly products can help reduce soil pollution. Cooperation between the government, the community, and the industrial sector is also very important in environmental protection efforts. By raising awareness and taking appropriate actions, we can protect the soil and ecosystems that support life on Earth.



Figure 3.28 Cracked and less fertile soil  
(Source: BioProtection Portal, 2024)

### 3.3.5 Penanganan Dampak Pencemaran Tanah

Penanganan dampak pencemaran tanah dilakukan melalui dua langkah, yaitu langkah pencegahan dan penanggulangan. Langkah pencegahan sangat penting untuk diutamakan sebelum pencemaran terjadi, bertujuan untuk mengurangi risiko dan kemungkinan terjadinya pencemaran. Tindakan ini dapat meliputi pengawasan terhadap penggunaan bahan kimia, penerapan praktik pertanian berkelanjutan, serta edukasi masyarakat tentang dampak pencemaran tanah. Dengan meningkatkan kesadaran dan pengetahuan, masyarakat dapat lebih berhati-hati dalam menggunakan bahan kimia dan limbah, sehingga dapat mencegah pencemaran sejak dini.

Langkah tindakan dan penanggulangan terhadap pencegahan antara lain dapat dilakukan sebagai berikut:

#### 1) Langkah Pencegahan

Secara umum, upaya pencegahan ini bertujuan untuk menghindari terjadinya pencemaran dan mengurangi timbulnya polutan. Langkah pencegahan dapat dilakukan dengan menyesuaikan jenis-jenis polutannya (Muslimah, 2015).

a) **Sampah organik** adalah bahan yang mudah membusuk atau diuraikan oleh mikroorganisme, dan pengelolaannya sangat penting untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

#### ECOENZYM

Ecoenzym adalah produk fermentasi yang dihasilkan dari limbah organik, khususnya limbah buah dan sayuran, yang diolah dengan menambahkan gula dan air. Proses ini menghasilkan larutan kaya enzim yang memiliki berbagai manfaat, seperti bahan pembersih alami, pupuk, dan bahkan disinfektan. Ecoenzym sangat bermanfaat karena dapat mengurangi limbah organik, sambil memberikan solusi ramah lingkungan untuk kebutuhan rumah tangga dan pertanian.

#### b) Sampah Anorganik



Gambar 3.29 Sampah organik & anorganik Dsn. Bukaan Kab. Kediri  
(Sumber: BioProtection Portal, 2024)

### 3.3.5 Handling the Impact of Land Pollution

Handling the impact of soil pollution is carried out through two steps, namely prevention and mitigation. Prevention is very important to prioritize before pollution occurs, aiming to reduce the risk and possibility of pollution. This action can include monitoring the use of chemicals, implementing sustainable agricultural practices, and educating the public about the impact of soil pollution. By increasing awareness and knowledge, the public can be more careful in using chemicals and waste, so that pollution can be prevented early on.

Action and mitigation steps for prevention include the following:

#### 1) Prevention Steps

In general, these prevention efforts aim to avoid pollution and reduce the occurrence of pollutants. Prevention steps can be taken by adjusting the types of pollutants (Muslimah, 2015).

**a) Organic waste** is material that is easily decomposed or decomposed by microorganisms, and its management is very important to reduce negative impacts on the environment.

#### ECOENZYME

Ecoenzyme is a fermentation product produced from organic waste, especially fruit and vegetable waste, which is processed by adding sugar and water. This process produces an enzyme-rich solution that has a variety of uses, such as natural cleaning agents, fertilizers, and even disinfectants. Ecoenzymes are very useful because they can reduce organic waste, while providing an environmentally friendly solution for household and agricultural needs.

#### b) Inorganic Waste



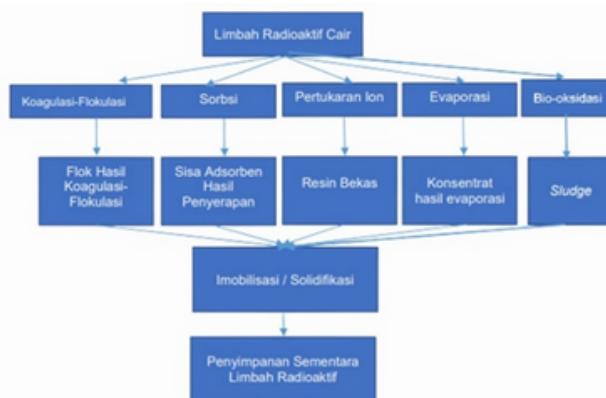
Figure 3.29 Organic & inorganic waste in Bukaan Village, Kediri Regency  
(Source: BioProtection Portal, 2024)

Sampah anorganik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme secara alami memerlukan penanganan khusus. Salah satu cara yang umum digunakan adalah membakar sampah-sampah yang mudah terbakar, seperti plastik dan serat. Proses pembakaran ini sebaiknya dilakukan di tempat yang jauh dari pemukiman untuk mengurangi risiko pencemaran udara yang bisa membahayakan kesehatan warga sekitar.

### c) Limbah Industri

Limbah industri yang mengandung logam berat dan berpotensi mencemari tanah harus melalui proses pemurnian terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai atau lokasi pembuangan lainnya. Proses pemurnian ini bertujuan untuk mengurangi kandungan logam berat yang berbahaya, sehingga dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan. Tanpa pemurnian, logam berat dalam limbah dapat terakumulasi di tanah dan air, merusak ekosistem serta membahayakan kesehatan manusia dan hewan yang terpapar (Nursidiq et al., 2021).

### d) Limbah Zat Radioaktif



Gambar 3.30 Diagram pengolahan limbah radioaktif cair  
(Sumber: Meilasari & Sutrisno, 2019)

Limbah zat radioaktif perlu disimpan terlebih dahulu dalam sumur atau tangki khusus untuk jangka waktu yang cukup panjang hingga tingkat radioaktivitasnya berkurang. Penyimpanan ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan radioaktif tidak menimbulkan risiko segera terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Proses ini disebut sebagai isolasi sementara, yang dapat berlangsung bertahun-tahun atau bahkan berabad-abad, tergantung pada jenis zat radioaktif yang terlibat (Meilasari & Sutrisno, 2019).

Inorganic waste that cannot be decomposed by microorganisms naturally requires special handling. One common method is to burn flammable waste, such as plastic and fiber. This burning process should be carried out in a place far from residential areas to reduce the risk of air pollution that can endanger the health of local residents.

### c) Industrial Waste

Industrial waste that contains heavy metals and has the potential to pollute the soil must go through a purification process before being disposed of in rivers or other disposal locations. This purification process aims to reduce the content of hazardous heavy metals, so that negative impacts on the environment can be minimized. Without purification, heavy metals in waste can accumulate in soil and water, damaging ecosystems and endangering the health of humans and animals exposed to them (Nursidiq et al., 2021).

### d) Radioactive Waste

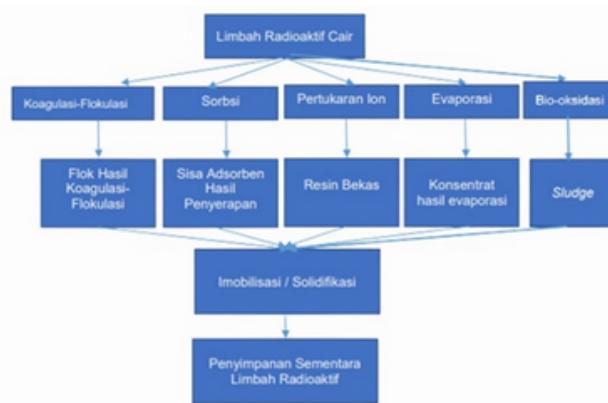
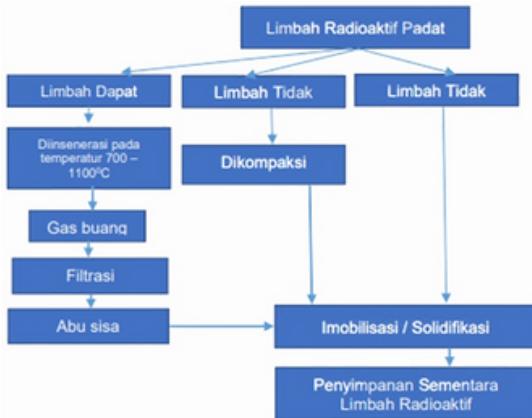


Figure 3.30 Diagram of liquid radioactive waste processing  
(Source: Meilasari & Sutrisno, 2019)

Radioactive waste must first be stored in a special well or tank for a long enough period of time until the level of radioactivity decreases. This storage aims to ensure that radioactive materials do not pose an immediate risk to the environment and human health. This process is called temporary isolation, which can last for years or even centuries, depending on the type of radioactive substance involved (Meilasari & Sutrisno, 2019).



Gambar 3.31 Diagram pengolahan limbah radioaktif padat

(Sumber: Meilasari & Sutrisno, 2019)

## 2) Langkah Penanganan

Penanganan khusus terhadap limbah domestik yang besar diperlukan untuk mencegah pencemaran tanah. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah memisahkan sampah menjadi dua kategori: sampah organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme (biodegradable) dan sampah anorganik yang tidak dapat diuraikan (non-biodegradable). Pemisahan ini memungkinkan pengelolaan sampah yang lebih efisien dan ramah lingkungan, di mana sampah organik dapat diolah menjadi kompos, sedangkan sampah anorganik dapat didaur ulang atau dibuang dengan cara yang aman (Muslimah, 2015).

### 3.3.6 Kebijakan Pemerintah dalam Mengurangi Pencemaran Tanah

Di Indonesia, masalah pencemaran tanah telah diakui sebagai salah satu isu lingkungan yang penting, terutama dalam konteks pertanian, industri, dan urbanisasi. Menurut Akhmaddhian & Hanipah (2021), beberapa kebijakan pemerintah dalam upaya mengurangi pencemaran tanah antara lain:

#### 1) Undang-Undang No. 5 Tahun 1984 tentang Perindustrian

Limbah industri merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan yang signifikan, terutama dari limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi. Limbah ini mencakup berbagai jenis bahan berbahaya, termasuk logam berat seperti merkuri (Hg), seng (Zn), timbal (Pb), dan kadmium (Cd). Limbah ini dapat mencemari lingkungan, terutama tanah, jika tidak dikelola dengan benar. Ketika zat-zat beracun ini masuk ke dalam tanah, mereka dapat mempengaruhi mikroorganisme yang sangat penting bagi kesuburan tanah.

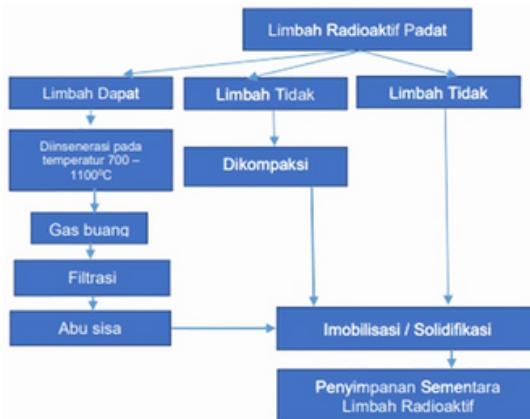


Figure 3.31 Diagram of solid radioactive waste processing  
(Source: Meilasari & Sutrisno, 2019)

## 2) Handling Steps

Special handling of large domestic waste is needed to prevent soil pollution. The first step that must be taken is to separate the waste into two categories: organic waste that can be decomposed by microorganisms (biodegradable) and inorganic waste that cannot be decomposed (non-biodegradable). This separation allows for more efficient and environmentally friendly waste management, where organic waste can be processed into compost, while inorganic waste can be recycled or disposed of in a safe manner (Muslimah, 2015).

### 3.3.6 Government Policy in Reducing Land Pollution

In Indonesia, the problem of soil pollution has been recognized as one of the important environmental issues, especially in the context of agriculture, industry, and urbanization. According to Akhmaddhian & Hanipah (2021), several government policies in an effort to reduce soil pollution include:

#### 1) Law No. 5 of 1984 concerning Industry

Industrial waste is a significant source of environmental pollution, especially from liquid waste produced during the production process. This waste includes various types of hazardous materials, including heavy metals such as mercury (Hg), zinc (Zn), lead (Pb), and cadmium (Cd). This waste can pollute the environment, especially the soil, if not managed properly. When these toxic substances enter the soil, they can affect microorganisms that are very important for soil fertility.

## 2) Peraturan emerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

Pada Pasal 38 ayat (1) dan (2), setiap penanggung jawab usaha dan atau kegiatan yang membuang air limbah ke air atau sumber air wajib mentaati persyaratan yang telah ditetapkan, antara lain:

1. Kewajiban untuk mengolah limbah;
2. Persyaratan mutu dan kuantitas air limbah yang boleh dibuang ke media lingkungan;
3. Persyaratan cara pembuangan air limbah;
4. Persyaratan untuk mengadakan sarana dan prosedur penanggulangan keadaan darurat;
5. Persyaratan untuk melakukan pemantauan mutu dan debit air limbah;
6. Persyaratan lain yang ditentukan oleh hasil pemeriksaan analisis mengenai dampak lingkungan yang erat kaitannya dengan pengendalian pencemaran air bagi usaha dan atau kegiatan yang wajib melaksanakan analisis mengenai dampak lingkungan;
7. Larangan pembuangan secara sekaligus dalam satu saat atau pelepasan dadakan;
8. Larangan untuk melakukan pengenceran air limbah dalam upaya penaatan batas kadar yang dipersyaratkan;
9. Kewajiban melakukan swapantau dan kewajiban untuk melaporkan hasil swapantau.

## 3) Undang-Undang No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Undang-Undang No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun memiliki peranan penting dalam menjaga kelestarian lingkungan hidup. UU ini ditujukan untuk memastikan bahwa limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas, terutama industri, dikelola dengan cara yang aman dan bertanggung jawab. Dengan pelaksanaan pengelolaan limbah yang baik, diharapkan dampak negatif dari limbah berbahaya dan beracun terhadap lingkungan dapat diminimalkan, sehingga pembangunan berkelanjutan dapat terwujud.



Gambar 3.32 Simbol Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun  
(Sumber: DLH Kulonprogo)

## 2) Government Regulation No. 82 of 2001 concerning Water Quality Management and Water Pollution Control

In Article 38 paragraph (1) and (2), every person responsible for a business and/or activity that discharges wastewater into water or water sources is required to comply with the requirements that have been set, including:

1. Obligation to process waste;
2. Requirements for the quality and quantity of wastewater that may be discharged into the environment;
3. Requirements for wastewater disposal methods;
4. Requirements for providing emergency response facilities and procedures;
5. Requirements for monitoring the quality and discharge of wastewater;
6. Other requirements determined by the results of environmental impact analysis examinations that are closely related to water pollution control for businesses and/or activities that are required to carry out environmental impact analysis;
7. Prohibition on simultaneous discharge at one time or sudden release;
8. Prohibition on diluting wastewater in an effort to comply with the required level limits;
9. Obligation to conduct self-monitoring and obligation to report self-monitoring results.

## 3) Law No. 18 of 1999 concerning Management of Hazardous and Toxic Waste

Law No. 18 of 1999 concerning Management of Hazardous and Toxic Waste plays an important role in preserving the environment. This law is intended to ensure that waste generated from various activities, especially industry, is managed in a safe and responsible manner. With the implementation of good waste management, it is hoped that the negative impacts of hazardous and toxic waste on the environment can be minimized, so that sustainable development can be realized.



Figure 3.32 Symbols of Hazardous and Toxic Waste  
(Source: Kulonprogo DLH)

## i.Undang-Undang No. 32 Tahun 2009

Peraturan UU lingkungan hidup telah melewati 3 perubahan, antara lain:

- UU No. 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan Pokok Lingkungan Hidup.
- UU No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan.
- UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

## b. Sustainable Development Goals (SDGs)

Tanah mengalami penurunan kualitas seiring dengan dinamika pertumbuhan penduduk dan pesatnya pembangunan. Pertumbuhan penduduk yang cepat dan ekspansi infrastruktur sering kali menyebabkan overexploitation sumber daya tanah, serta kurangnya ruang terbuka hijau. Akibatnya, kualitas tanah menurun, yang dapat memengaruhi kesuburan, biodiversitas, dan kesehatan ekosistem. Oleh karena itu, sangat penting untuk menerapkan pengelolaan pertanahan yang efektif, efisien, dan berkelanjutan, agar tanah dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa merusak kualitasnya.



Gambar 3.33 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

(Sumber: Bappenas, 2018)

Sustainable Development Goals (SDGs), yang diluncurkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015, merupakan agenda global yang bertujuan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan pada tahun 2030. Dengan adanya 17 tujuan utama, SDGs dirancang untuk mengatasi berbagai tantangan global, mulai dari pengentasan kemiskinan hingga perlindungan lingkungan. Salah satu tujuan yang sangat krusial adalah tujuan ke-15 (Life on Land), yang secara khusus berfokus pada pelestarian ekosistem daratan dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

## i. Law No. 32 of 2009

The environmental law regulations have undergone 3 changes, including:

- Law No. 4 of 1982 concerning Basic Provisions of the Environment.
- Law No. 23 of 1997 concerning Environmental Management.
- Law No. 32 of 2009 concerning Environmental Protection and Management.

## b. Sustainable Development Goals (SDGs)

Land quality has decreased along with the dynamics of population growth and rapid development. Rapid population growth and infrastructure expansion often lead to overexploitation of land resources, as well as reduced green open spaces. As a result, soil quality decreases, which can affect fertility, biodiversity, and ecosystem health. Therefore, it is very important to implement effective, efficient, and sustainable land management, so that land can be utilized optimally without damaging its quality.



Figure 3.33 Sustainable Development Goals (SDGs)  
(Source: Bappenas, 2018)

The Sustainable Development Goals (SDGs), launched by the United Nations (UN) in 2015, are a global agenda that aims to achieve sustainable development by 2030. With 17 main goals, the SDGs are designed to address a range of global challenges, from poverty alleviation to environmental protection. One of the most crucial goals is goal 15 (Life on Land), which specifically focuses on preserving terrestrial ecosystems and sustainably managing natural resources.



## Rangkuman

Tanah memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman karena fungsinya sebagai media tumbuh, penyedia air, dan sumber nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Unsur kimia tanah seperti pH, C-Organik, dan kapasitas tukar kation (CEC) sangat memengaruhi kesuburan tanah serta kemampuan tanah menyediakan nutrisi secara stabil bagi tanaman. Selain itu, geosfer yang mencakup unsur fisik dan non-fisik seperti atmosfer, litosfer, hidrosfer, biosfer, dan atroposfer, juga turut memengaruhi kondisi tanah dan kehidupan di bumi.

Pencemaran tanah merupakan masalah serius yang disebabkan oleh masuknya zat pencemar seperti bahan kimia buatan manusia ke dalam tanah. Pencemaran ini bisa terjadi secara langsung akibat bencana alam atau aktivitas manusia, seperti penggunaan bahan kimia berbahaya. Jika dibiarkan, pencemaran tanah dapat merusak kualitas tanah dan mengancam kesehatan ekosistem, tanaman, serta manusia.

Degradasi tanah, atau penurunan kualitas dan kuantitas tanah, juga merupakan ancaman besar yang dapat disebabkan oleh erosi, pencemaran, dan aktivitas manusia. Untuk mengatasi masalah ini, remediasi tanah diperlukan guna menghilangkan atau menetralisir zat pencemar dan memulihkan kualitas tanah. Proses ini bertujuan untuk memastikan tanah tetap produktif dan aman bagi kehidupan.

Pengelolaan tanah yang baik menjadi sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah dan keberlanjutan ekosistem. Pengukuran pH tanah serta peningkatan CEC melalui penambahan bahan organik dapat memperbaiki kapasitas tanah dalam menahan dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Tanah dengan CEC yang tinggi mampu mengurangi risiko pencucian nutrisi dan menyediakan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan tanaman.

Bahan organik juga berperan penting dalam memperbaiki kualitas tanah secara keseluruhan. Dengan menambahkan bahan organik ke tanah, karbon organik meningkat, pH tanah diperbaiki, dan kemampuan tanah untuk menahan kation meningkat. Hal ini mendukung pertumbuhan tanaman yang berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis, menciptakan sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan.



## Summary

Soil plays an important role in supporting plant growth because it functions as a growing medium, water provider, and source of nutrients needed by plants. Soil chemical elements such as pH, C-Organic, and cation exchange capacity (CEC) greatly affect soil fertility and the ability of the soil to provide nutrients stably for plants. In addition, the geosphere, which includes physical and non-physical elements such as the atmosphere, lithosphere, hydrosphere, biosphere, and astroposphere, also affects soil conditions and life on earth.

Soil pollution is a serious problem caused by the entry of pollutants such as man-made chemicals into the soil. This pollution can occur directly due to natural disasters or human activities, such as the use of hazardous chemicals. If left unchecked, soil pollution can damage soil quality and threaten the health of ecosystems, plants, and humans.

Soil degradation, or a decrease in the quality and quantity of soil, is also a major threat that can be caused by erosion, pollution, and human activities. To overcome this problem, soil remediation is needed to remove or neutralize pollutants and restore soil quality. This process aims to ensure that the soil remains productive and safe for life.

Good soil management is very important to maintain soil fertility and ecosystem sustainability. Measuring soil pH and increasing CEC through the addition of organic matter can improve the soil's capacity to hold and provide nutrients for plants. Soil with high CEC can reduce the risk of nutrient leaching and provide optimal conditions for plant growth.

Organic matter also plays an important role in improving overall soil quality. By adding organic matter to the soil, organic carbon increases, soil pH is improved, and the soil's ability to retain cations increases. This supports sustainable plant growth and reduces dependence on synthetic fertilizers, creating a more environmentally friendly agricultural system.



## Evaluasi

1. Apa fungsi utama tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman?
  - a. Menyediakan cahaya bagi tanaman
  - b. Menahan dan menyediakan air serta unsur hara bagi tanaman
  - c. Meningkatkan suhu lingkungan
  - d. Menghasilkan oksigen untuk fotosintesis
  - e. Menyerap karbon dioksida dari udara
2. Mengapa pH tanah yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan tanaman?
  - a. pH yang ekstrem mengurangi oksigen di tanah
  - b. pH yang ekstrem mengurangi ketersediaan unsur hara yang penting bagi tanaman
  - c. pH yang ekstrem meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah
  - d. pH yang ekstrem menurunkan suhu tanah
  - e. pH yang ekstrem meningkatkan jumlah air di dalam tanah
3. Sebuah lahan pertanian memiliki pH tanah 8,5. Langkah-langkah yang bisa dilakukan untuk menurunkan pH agar tanaman dapat tumbuh optimal adalah...
  - a. Menambah kapur pertanian untuk meningkatkan pH lebih tinggi
  - b. Menggunakan pupuk organik untuk menyeimbangkan pH tanah dan menambah bahan organik
  - c. Menambahkan pupuk berbasis nitrogen untuk meningkatkan kesuburan tanah
  - d. Mengurangi penyiraman dan meningkatkan drainase tanah
  - e. Menambahkan sulfur untuk menurunkan pH tanah
4. Jika unsur geosfer litosfer mengalami kerusakan seperti erosi tanah, bagaimana dampaknya terhadap ekosistem sekitarnya?
  - a. Tanah akan mengalami pengayaan mineral yang tinggi
  - b. Tumbuhan tidak akan mengalami pengaruh apapun
  - c. Erosi tanah akan mengurangi kesuburan tanah, menurunkan produktivitas tanaman, dan merusak habitat alami
  - d. Erosi hanya mempengaruhi area pertanian, tetapi tidak berdampak pada ekosistem alami
  - e. Erosi tanah akan meningkatkan kadar bahan organic



## Evaluation

1. What is the main function of soil in supporting plant growth?
  - a. Providing light for plants
  - b. Holding and providing water and nutrients for plants
  - c. Increasing environmental temperature
  - d. Producing oxygen for photosynthesis
  - e. Absorbing carbon dioxide from the air
  
2. Why can soil pH that is too low or too high inhibit plant growth?
  - a. Extreme pH reduces oxygen in the soil
  - b. Extreme pH reduces the availability of nutrients that are important for plants
  - c. Extreme pH increases the activity of soil microorganisms
  - d. Extreme pH lowers soil temperature
  - e. Extreme pH increases the amount of water in the soil
  
3. A farmland has a soil pH of 8.5. The steps that can be taken to lower the pH so that plants can grow optimally are...
  - a. Adding agricultural lime to increase the pH higher
  - b. Using organic fertilizers to balance soil pH and add organic matter
  - c. Adding nitrogen-based fertilizers to increase soil fertility
  - d. Reducing watering and increasing soil drainage
  - e. Adding sulfur to lower soil pH
  
4. If the elements of the lithosphere geosphere experience damage such as soil erosion, how will it affect the surrounding ecosystem?
  - a. The soil will experience high mineral enrichment
  - b. Plants will not experience any effects
  - c. Soil erosion will reduce soil fertility, reduce plant productivity, and damage natural habitats
  - d. Erosion only affects agricultural areas, but does not affect natural ecosystems
  - e. Soil erosion will increase organic matter levels



## Evaluasi

5. Bagaimana hubungan antara unsur geosfer atmosfer dengan pertumbuhan tanaman di dalam tanah?
  - a. Atmosfer mengatur suhu lingkungan yang mendukung aktivitas mikroorganisme dalam tanah
  - b. Atmosfer tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman karena hanya memengaruhi cuaca
  - c. Atmosfer hanya berfungsi untuk menyaring sinar matahari, tanpa pengaruh langsung ke tanah
  - d. Atmosfer menambah unsur hara langsung ke dalam tanah
  - e. Atmosfer berperan dalam distribusi gas penting seperti CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang memengaruhi proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman
6. Apabila hasil analisis tanah menunjukkan bahwa tanah memiliki kandungan kation basa yang tinggi, maka tindakan yang tepat adalah...
  - a. Menambahkan pupuk organik.
  - b. Menambahkan kapur pertanian.
  - c. Menambahkan pupuk nitrogen.
  - d. Mengeringkan tanah.
  - e. Menyiram tanah dengan air asam.
7. Mengapa tanah yang kaya akan bahan organik umumnya memiliki pH yang lebih stabil?
  - a. Bahan organik membantu menstabilkan pH tanah.
  - b. Bahan organik membuat tanah menjadi lebih asam.
  - c. Bahan organik membuat tanah menjadi lebih basa.
  - d. Bahan organik tidak mempengaruhi pH tanah.
  - e. Bahan organik hanya mempengaruhi pH tanah pada tanah berpasir
8. Bagaimana pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan unsur hara dalam tanah?
  - a. Bahan organik mengurangi ketersediaan unsur hara.
  - b. Bahan organik meningkatkan ketersediaan unsur hara.
  - c. Bahan organik tidak mempengaruhi ketersediaan unsur hara.
  - d. Hanya bahan organik tertentu yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara.
  - e. Bahan organik hanya mempengaruhi ketersediaan unsur hara nitrogen.



## Evaluation

5. How is the relationship between the elements of the atmospheric geosphere and plant growth in the soil?
  - a. The atmosphere regulates the environmental temperature that supports the activity of microorganisms in the soil
  - b. The atmosphere does not affect plant growth because it only affects the weather
  - c. The atmosphere only functions to filter sunlight, without direct influence on the soil
  - d. The atmosphere adds nutrients directly to the soil
  - e. The atmosphere plays a role in the distribution of important gases such as CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> which affect the process of photosynthesis and plant growth
6. If the results of soil analysis show that the soil has a high base cation content, then the right action is...
  - a. Add organic fertilizer.
  - b. Add agricultural lime.
  - c. Add nitrogen fertilizer.
  - d. Dry the soil.
  - e. Water the soil with acidic water.
7. Why does soil that is rich in organic matter generally have a more stable pH?
  - a. Organic matter helps stabilize soil pH.
  - b. Organic matter makes the soil more acidic.
  - c. Organic matter makes the soil more alkaline.
  - d. Organic matter does not affect soil pH.
  - e. Organic matter only affects soil pH in sandy soils
8. How does organic matter affect the availability of nutrients in the soil?
  - a. Organic matter reduces the availability of nutrients.
  - b. Organic matter increases the availability of nutrients.
  - c. Organic matter does not affect the availability of nutrients.
  - d. Only certain organic matter affects the availability of nutrients.
  - e. Organic matter only affects the availability of nitrogen nutrients.



## Evaluasi

9. Bagaimana cara meningkatkan KTK tanah selain dengan penambahan bahan organik?
- a. Menurunkan pH tanah.
  - b. Meningkatkan salinitas tanah.
  - c. Menggunakan pupuk fosfat.
  - d. Menambahkan mineral lempung.
  - e. Mengeringkan tanah
10. Manakah faktor yang paling berpengaruh terhadap KTK tanah?
- a. Kandungan pasir
  - b. Kandungan bahan organik
  - c. Kandungan air
  - d. Suhu tanah
  - e. pH tanah



## Evaluation

9. How can I increase the CEC of soil apart from adding organic material?
  - a. Lowers soil pH.
  - b. Increases soil salinity.
  - c. Using phosphate fertilizer.
  - d. Adding clay minerals.
  - e. Drying the soil
  
10. Which factor has the most influence on the CEC of land?
  - a. Sand content
  - b. Organic material content
  - c. Water content
  - d. Soil temperature
  - e. Soil pH



## Daftar Pustaka

- Ali, A. (2021). Eco-enzyme: Cleaner Production Approach to Waste Management. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125014
- Atillah, R., & Gischa, S. (2023). Pengertian Fenomena Geosfer dan Contohnya. Jakarta: Kompas.com.
- Azzara, A. K. (2022). Pengolahan Limbah B3 Logam Berat Cadmium (Cd) Di Laboratorium Kualitas Lingkungan Menggunakan Metode Stabilisasi/Solidifikasi.
- Basir, M., & Hasanah, U. (2022). Status Hara Nitrogen, Fosfor, Kalium dan Tingkat Kesuburan Tanah pada Tiga Penggunaan Lahan Berbeda di Kecamatan Dolo Kabupaten Sigi Nutrient Status of Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Soil Fertility Levels in Three Different Land Uses in Dolo District, Sigi Regency. *Mitra Sains*, 19(1), 23–32. <https://doi.org/10.22487/ms26866579.2022.v1i1.pp.23-32>
- Budhiawan, A., Susanti, A., & Hazizah, S. (2022). Analisis Dampak Pencemaran Lingkungan Terhadap Faktor Sosial dan Ekonomi pada Wilayah Pesisir di Desa Bagan Kuala Kecamatan Tanjung Beringin Kabupaten Serdang Bedagai. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 240–249.
- Camila, A. N., Siswoyo, H., & Hendrawan, A. P. (2023). Penentuan Tingkat Kesuburan Tanah Pada Lahan Pertanian di Kelurahan Bandulan Kecamatan Sukun Kota Malang Berdasarkan Parameter Kimia. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(1), 28-33.
- Dewi, A. P. (2020). Efektivitas Ecoenzym sebagai Pembersih Ramah Lingkungan di Rumah Tangga. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 215-223.
- Dewi, R. D. (2022). Edukasi Terkait Pengolahan dan Pemasaran Limbah Pertanian Pada Kelompok Tani Karisma di Banjarsengon Kecamatan Patrang, Jember, Jawa Timur. *JURNAL PENGABDIAN ILMU KESEHATAN*, 2(3): 81-93.
- Ernawati, N. M. L. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk P Dan K Dengan Dosis Yang Berbeda Terhadap Kualitas Buah Melon (*Cucumis melo L.*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 1(1), 48-56.



## Daftar Pustaka

- Gunawan, Nurheni Wijayanto, S. W. B. R. (2019). Karakteristik Sifat Kimia Tanah Dan Status Kesuburan Tanah Pada Agroforestri Tanaman Sayuran Berbasis Eucalyptus Sp. Jurnal Silvikultur Tropika, 10(2), 63–69.
- Gusti, W., Noviana, N., Sartika, R., Anggraini, L., Pradipta, A., & Johan, H. (2022). Studi Pencemaran Tanah Sebagai Bahan Pengayaan Topik Teknologi Ramah Lingkungan untuk Siswa SMP. Jurnal Pendidikan MIPA, 12(4); 1252-1258.
- Guo, H., Qian, Y., Yuan, G. X., & Wang, C. X. (2020). Research Progress on the Soil Vapor Extraction.
- Hartati, S., Minardi, S., & Ariyanto, D. (2013). Muatan Titik Nol Berbagai Bahan Organik, Pengaruhnya Terhadap Kapasitas Tukar Kation Di Lahan Terdegradasi (Zero Point Charge of Various Organic Fertilizer : The Effect on Soil Cation Exchange Capacity in Degraded Lands).
- Hermansyah, A. D., Partoyo, P., & Virgawati, S. (2024). Status Kesuburan Tanah pada Lahan Sawah Dilindungi yang Beralih Fungsi di Kapanewon Seyegan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan, 11(1), 205–214.  
<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.1.22>
- Hermita Putri, O., Rahayu Utami, S., & Kurniawan, S. (2019). Soil Chemical Properties in Various Land Uses of UB Forest. Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan, 06(01), 1075-1081.
- Isir, S., Tamod, Z. E., & Supit, J. M. (2022). Identifikasi Sifat Kimia Tanah pada Lahan tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum*, L.) di Desa Talikuran Kecamatan Remboken Kabupaten Minahasa. Soil Environmental, 22(1), 6-11.
- Istiqmah, N. (2023). Pengolahan Soil Washing Residue Menggunakan Biochar Kulit Kopi Pada Fixed Bed Column (Doctoral dissertation, Universitas Batanghari Jambi).



## Daftar Pustaka

- Juliansyah, H., Khairisma, K., Andriyani, D., Bakar, J. A., & Yurina, Y. (2022). Pelatihan Pengukuran PH Tanah (Mitra Desa Blang Gurah). *Jurnal Pengabdian Kreativitas (JPeK)*, 1(1), 24–28.
- Lasaiba, M. A. (2022). Fenomena Geosfer dalam Perspektif Geografi Telaah Substansi dan Kompleksitasi. *Jendela Pengetahuan*, Vol. 15, No. 1, 1-14.
- Mateus, R., Kantur, D., & Moy, D. A. N. L. M. (2017). Pemanfaatan Biochar Limbah Pertanian sebagai Pemberah Tanah untuk Perbaikan Kualitas Tanah dan Hasil Jagung di Lahan Kering. *Utilization of Agricultural Biochar Waste as Soil Conditioner for Improved Agrotrop*, 7(2), 99–108.
- Mautuka, Z., Maifa, A., & Karbeka, M. (2022). Pemanfaatan Biochar Tongkol Jagung Guna Perbaikan Sifat Kimia Tanah Lahan Kering. *Jurnah Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(1), 201–208.
- Marzuki, I., Syahrir, M., Ramli, M., Harimuswarah, M. R., Artawan, I. P., & Iqbal, M. (2022). Operasi dan Remediasi Lingkungan. Tohar Media. (Vol. 1).
- Meilasari, F. & Sutrisno, H. (2019). Pengolahan Limbah Radioaktif Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir, 281-289.
- Melati, I. (2020, June). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan dan Prospek Riset. In Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan (Vol. 8, No. 1).
- Mishra, S. K. (2020). Study on Eco-Enzyme and its Efficiency in Waste Management. *International Journal of Environmental Science and Development*, 11(6), 295-299.
- Muslimah. (2015). Dampak Pencemaran Tanah Dan Langkah Pencegahan. *AGRISAMUDRA, Jurnal Penelitian*, 2(1): 11-20.



## Daftar Pustaka

- Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., & Vargas, R. (2016). World's soils are under threat. *Soil*, 2(1), 79-82.
- Naufal, B. (2024). Analisis Dampak Pencemaran Tanah Akibat Limbah Deterjen Terhadap Lingkungan Hidup Masyarakat Di Daerah Pedesaan. *Student Research Journal*, 2(3): 231-235.
- Nursidiq, M., Hadi, M., Lubis, M., & Riza, F. (2021). Pengelolaan Limbah Industri Sebagai Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan Pada Masyarakat Kelurahan Tangkahan Di Kawasan Industri Modern Medan. *Ihsan: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1): 90-102.
- Putri, V. I., & Mukhlis, B. H. (2017). Pemberian Beberapa Jenis Biochar Untuk Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol Dan Pertumbuhan Tanaman Jagung. *Agroekoteknologi*, 5(4), 824–828.
- Oktafiani, S. (2022). Remediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Limbah Oli Dengan Perpaduan Metoda Soil Washing Menggunakan Surfaktan Non-Ionik Dan Biostimulasi Dengan Feses Kambing (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry).
- Priana, I. S. E. (2024). Pengolahan Air Limbah. Pengantar Teknik Lingkungan, 36.
- Purba, T., et al. (2021). Tanah dan Nutrisi Tanaman. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Purnomo, N. H. (2016). Geografi Tanah. Surabaya: Unesa University Press.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Rais, D. R., & Setiawan, O. (2024). Pengolahan Limbah Industri Sarung dengan Metode Fenton. *Jurnal Integrasi Proses dan Lingkungan*, 1(2).



## Daftar Pustaka

- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo, S. (2022). Kajian Bioaugmentasi Untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat Di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri Di Sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), F15-F22.
- Rahmi, A., & Biantary, M. P. (2014). Karakteristik Sifat Kimia Tanah dan Status Kesuburan Tanah Lahan Pekarangan dan Lahan Usaha Tani Beberapa Kampung di Kabupaten Kutai Barat. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 39(1), 30-36.
- Ramadhan, N. (2018). Pengaturan Tindak Pidana Pencemaran Lingkungan di Indonesia : Studi Pencemaran Tanah di Brebes. *Logika : Journal of Multidisciplinary Studies*, 9(6): 96-102.
- Rizky Masni, E., & Marpaung, P. (2015). Pengaruh Interaksi Bahan Mineral dan Bahan Organik Terhadap Sifat Kimia Ultisol dan Produksi Tanaman Sawi. *3(4)*, 1489–1494.
- Rudnick, R. L., & Gao, S. (2014). Composition of the Continental Crust. In *Treatise on Geochemistry* (Vol. 4, pp. 1-51).
- Elsevier. Setiawan, R. (2023). Fitoremediasi Mangrove dalam Penurunan Kadar Logam Pb, Hg dan Cu.
- Sholeha, N. W. (2024). 5 Faktor Pembentukan Tanah dan Jenis Tanah. Jakarta: detikEdu.
- Siswanto, B. (2019). Sebaran unsur hara N, P, K dan pH dalam tanah. *Buana Sains*, 18(2), 109-124.
- Syarif, M. (2024). Izin Tambang untuk Ormas Keagamaan: Lebih Banyak Manfaat atau Mudarat?. Jakarta: The Conversation.
- S, L., Kissel, D., & Saha, U. (2022). Exchange Capacity and Base Saturation What are Cation Exchange and Cation Exchange Capacity.



## Daftar Pustaka

Taisa, R., et al. (2021). Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan. Medan: Yayasan Kita Menulis.

Tenrisau, A. (2021). Landasan Pengelolaan Pertanahan Dalam Sistem Penataan Agraria Berkelanjutan. Jurnal Pertanahan, 11(2).

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1984 tentang Perindustrian

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Utami, A., Pane, N., & Hasibuan, A. (2023). Analisis Dampak Limbah/Sampah Rumah Tangga Terhadap Pencemaran Lingkungan Hidup. Cross Border, 6(2): 1107-1112.

Wang, Y., Li, S., & Zhang, X. (2023). Advances in Nanotechnology for Soil Remediation: A Review. Environmental Science & Technology, 57(5), 2501-2514

Wibowo, R. S. (2019). Alat Pengukur Warna Dari Tabel Indikator Universal pH Yang Diperbesar Berbasis Mikrokontroler Arduino. Jurnal Edukasi Elektro, 3(2)

Zhang, Q., Liu, H., & Zhou, J. (2022). Phytoremediation of Contaminated Soils: Recent Advances and Future Prospects. Journal of Environmental Management, 324, 116263.

# 4

## REAKSI KIMIA DI PERAIRAN DAN SIKLUS HIDROLOGI



Gambar 4. 1 Sungai Phang Nga Bay Thailand

Sumber : Image by tawatchai07 on Freepik

### Capaian Pembelajaran

1. Mahasiswa mampu menjelaskan pengertian air, hidrosfer, sifat-sifat air, dan pentingnya dalam ekosistem perairan..
2. Mahasiswa dapat menjelaskan berbagai jenis reaksi kimia yang terjadi di perairan dan mampu menganalisis parameter kimia standar kualitas air.
3. Mahasiswa dapat menjelaskan peran reaksi kimia dalam pengelolaan kualitas air dan keseimbangan ekosistem perairan.
4. Mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan proses siklus hidrologi, tahapan-tahapannya, dan dampaknya terhadap ketersediaan serta distribusi air di Bumi.
5. Mahasiswa dapat mengevaluasi dampak aktivitas manusia terhadap kualitas air dan ekosistem, serta merumuskan solusi untuk pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.
6. Mahasiswa mampu menjelaskan interaksi kimia dalam siklus hidrologi dan peran air sebagai pelarut universal dalam proses kimia.

# **CHEMICAL REACTIONS IN WATER AND THE HYDROLOGICAL CYCLE**

**4**



Figure 4.1 Phang Nga Bay River Thailand  
Source : Image by tawatchai07 on Freepik

## **Learning Outcomes**

1. Students are able to explain the meaning of water, hydrosphere, properties of water, and its importance in aquatic ecosystems.
2. Students can explain various types of chemical reactions that occur in water and are able to analyze standard chemical parameters of water quality.
3. Students can explain the role of chemical reactions in managing water quality and the balance of aquatic ecosystems.
4. Students are able to understand and explain the hydrological cycle process, its stages, and its impact on the availability and distribution of water on Earth.
5. Students can evaluate the impact of human activities on water quality and ecosystems, and formulate solutions for sustainable environmental management.
6. Students are able to explain chemical interactions in the hydrological cycle and the role of water as a universal solvent in chemical processes.

## Deskripsi Singkat

Bab ini membahas reaksi kimia yang terjadi di perairan, siklus hidrologi, serta dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem akuatik. Fokus utama meliputi sifat fisik dan kimia air, jenis-jenis reaksi kimia seperti redoks, presipitasi, dan asam-basa, hingga pengaruh polutan kimia dalam menjaga kualitas air. Selain itu, siklus hidrologi dijelaskan secara rinci untuk memahami peran air dalam keseimbangan lingkungan dan keberlanjutan ekosistem.

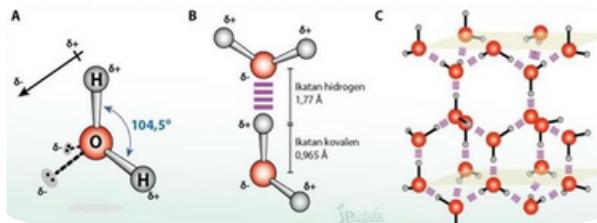


Gambar 4. 2 Salah satu sungai di Indonesia  
Sumber: <https://www.freepik.com/free-photo/>

## 4.1 Reaksi Kimia di Perairan

### 4.1.1 Pengantar Reaksi Kimia di Perairan Pengertian Air, Hidrosfer, dan Sifat Air

Air merupakan komponen vital dalam kehidupan di Bumi, baik sebagai pelarut universal maupun elemen esensial dalam berbagai proses biokimia. Polaritas molekul air memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen, yang menghasilkan berbagai sifat unik, seperti tegangan permukaan tinggi, kapasitas panas yang besar, dan kapilaritas. Sifat-sifat ini memungkinkan air untuk mengatur suhu lingkungan, mendukung kehidupan organisme, dan memainkan peran kunci dalam siklus hidrologi.



Gambar 4. 3 Struktur air (H<sub>2</sub>O).

- Struktur (H<sub>2</sub>O) dengan sudut H-O-H sebesar 104,5°.
- Dua molekul air berikatan satu sama lain melalui ikatan hidrogen.
- Susunan molekul air pada balok es

Sumber: Pranoto & Heraldy, 2022

## Description

This chapter discusses the chemical reactions that occur in water, the hydrological cycle, and the impact of human activities on aquatic ecosystems. The main focus includes the physical and chemical properties of water, types of chemical reactions such as redox, precipitation, and acid-base, to the effects of chemical pollutants in maintaining water quality. In addition, the hydrological cycle is explained in detail to understand the role of water in environmental balance and ecosystem sustainability.



Figure 4. 2 One of the rivers in Indonesia  
Source: <https://www.freepik.com/free-photo/>

## 4.1 Chemical Reactions in Water

### 4.1.1 Introduction to Chemical Reactions in Waters Definition of Water, Hydrosphere, and Water Properties

Water is a vital component of life on Earth, both as a universal solvent and an essential element in many biochemical processes. The polarity of water molecules allows hydrogen bonds to form, resulting in unique properties such as high surface tension, high heat capacity, and capillarity. These properties allow water to regulate environmental temperature, support the life of organisms, and play a key role in the hydrologic cycle.

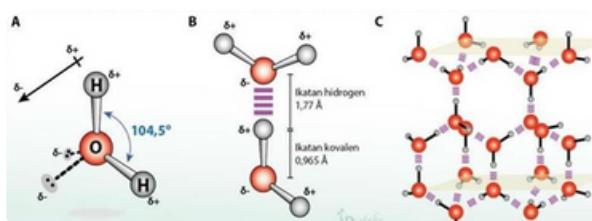


Figure 4.3 Water structure ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

- Structure  $\text{H}_2\text{O}$  with  $\text{H}-\text{O}-\text{H}$  angle of  $104.5^\circ$ .
- Two water molecules bond to each other through hydrogen bonds.
- Arrangement of water molecules in ice cubes

Source: Pranoto & Heraldy, 2022

Selain itu, air yang ada di permukaan bumi membentuk apa yang dikenal sebagai hidrosfer. Hidrosfer berasal dari kata hidros, yang berarti air, dan sphere, yang berarti selimut. Dengan demikian, hidrosfer merujuk pada lapisan air yang menyelimuti permukaan bumi. Hidrosfer meliputi danau, sungai, laut, lautan, salju atau gletser, air tanah, serta uap air yang terdapat di lapisan atmosfer. Sebagian besar muka bumi, sekitar 75%, ditutupi oleh air, dengan mayoritas air tersebut berada di laut (Wijaya, 2020).

Air di bumi juga mengalami sirkulasi terus-menerus dalam siklus hidrologi, yaitu proses di mana air jatuh sebagai hujan, mengalir melalui sungai ke samudra-samudra, dan kemudian menguap kembali ke atmosfer. Tabel 4.1 di bawah ini memperlihatkan distribusi air di bumi berdasarkan jenis bentang air :

Tabel 4.1 Distribusi Air di Bumi

No	Jenis Bentang Air	Persentase
1.	Perairan laut (air asin)	97,20%
2.	Perairan darat, terdiri dari: a. Salju dan glasier b. Air tanah artesis c. Danau air tawar d. Danau air asin e. Air tanah freatik f. Uap air di atmosfer g. Sungai	2,80% 2,15% 0,62% 0,009% 0,008% 0,005% 0,001% 0,0001%

Hidrosfer bumi terdiri dari sekitar 134 miliar meter kubik air. Sebagian besar, yaitu 97%, berupa air laut yang asin dan tidak dapat digunakan untuk keperluan sehari-hari tanpa proses desalinasi terlebih dahulu. Dari 3% air tawar yang tersisa, sebagian besar berada dalam bentuk salju dan gletser, sementara sekitar 1% berupa air tanah dan air permukaan yang dapat digunakan manusia untuk kebutuhan sehari-hari (Wijaya, 2020).

Selain distribusi air di permukaan bumi, sifat-sifat kimia dan fisik dari air juga berperan penting dalam berbagai proses lingkungan dan biologis. Air memiliki beberapa karakteristik unik yang memungkinkannya mendukung kehidupan dan berperan sebagai pelarut universal.

In addition, the water on the earth's surface forms what is known as the hydrosphere. The hydrosphere comes from the word hydros, which means water, and sphere, which means blanket. Thus, the hydrosphere refers to the layer of water that covers the earth's surface. The hydrosphere includes lakes, rivers, seas, oceans, snow or glaciers, groundwater, and water vapor found in the atmosphere. Most of the earth's surface, about 75%, is covered by water, with the majority of this water being in the sea (Wijaya, 2020).

Water on earth also experiences continuous circulation in the hydrological cycle, which is the process by which water falls as rain, flows through rivers to the oceans, and then evaporates back into the atmosphere. Table 4.1 below shows the distribution of water on earth based on the type of waterscape:

Table 4.1 Distribution of Water on Earth

No	Types of Waterscapes	Percentage
1.	Sea water (salt water)	97,20%
2.	Inland waters, consisting of:	2,80%
	a. Snow and glaciers	2,15%
	b. Artesian groundwater	0,62%
	c. Freshwater lakes	0,009%
	d. Saltwater lakes	0,008%
	e. Phreatic groundwater	0,005%
	f. Water vapor in the atmosphere	0,001%
	g. Rivers	0,0001%

The Earth's hydrosphere consists of about 134 billion cubic meters of water. Most of it, namely 97%, is salty seawater and cannot be used for daily needs without a desalination process first. Of the remaining 3% of fresh water, most of it is in the form of snow and glaciers, while about 1% is groundwater and surface water that can be used by humans for daily needs (Wijaya, 2020).

In addition to the distribution of water on the earth's surface, the chemical and physical properties of water also play an important role in various environmental and biological processes. Water has several unique characteristics that allow it to support life and act as a universal solvent.

Berikut adalah sifat fisik dan kimia air menurut Wijaya, 2020:

Tabel 4.2 Sifat Fisika dan Kimia Air

Sifat Fisika Air	Sifat Kimia Air
Tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa	Rumus kimia : $\text{H}_2\text{O}$
Titik beku : $0^\circ\text{C}$ pada tekanan 1 atm	Memiliki momen dipol 1,85 D
Titik didih : $100^\circ\text{C}$ pada tekanan	Polar dengan kecenderungan elektron lebih ke atom D
Densitas : $1,0 \text{ g/cm}^3$ pada suhu $4^\circ\text{C}$	Membentuk ikatan hidrogen antar molekul
Kalor penguapan: 539,0 kal/g pada $100^\circ\text{C}$	Ion $\text{H}_3\text{O}^+$ dan $\text{OH}^-$ dalam kesetimbangan dinamis
Massa molar: 18,0153 g/mol	Berfungsi sebagai pelarut universal untuk banyak zat kimia
Tegangan permukaan tinggi	

Sifat-sifat fisik air, seperti tegangan permukaan yang tinggi dan kalor penguapan yang besar, disebabkan oleh ikatan hidrogen antar molekul-molekul air. Air juga memiliki kapasitas molarutkan yang tinggi, yang menjadikannya pelarut universal. Molekul-molekul air membentuk ikatan hidrogen yang kuat, memungkinkan mereka saling menarik satu sama lain, sehingga memberikan air sifat-sifat unik yang mendukung berbagai proses biologis dan ekosistem (Pranoto & Heraldy, 2022).

## 4.1.2 Definisi Reaksi Kimia di Perairan

Reaksi kimia di perairan adalah proses di mana zat-zat terlarut dalam air berinteraksi dan mengalami perubahan kimia menjadi senyawa lain. Proses ini sangat penting karena memengaruhi kualitas air dan keseimbangan ekosistem perairan. Contoh sederhana adalah oksigen terlarut yang bereaksi dengan bahan organik, menghasilkan air dan karbon dioksida (Sylvia et al., 2022).

The following are the physical and chemical properties of water according to Wijaya, 2020:

Table 4.2 Physical and Chemical Properties of Water

Physical Properties of Water	Chemical Properties of Water
Colorless, odorless, tasteless	Chemical formula: $\text{H}_2\text{O}$
Freezing point: 0°C at 1 atm pressure	Has a dipole moment of 1.85 D
Boiling point: 100°C at pressure	Polar with a tendency for electrons to be more towards the D atom
Density: 1.0 g/cm <sup>3</sup> at 4°C	Forming hydrogen bonds between molecules
Heat of vaporization: 539.0 cal/g at 100°C	$\text{H}_3\text{O}^+$ and $\text{OH}^-$ ions in dynamic equilibrium
Molar mass: 18.0153 g/mol	Functions as a universal solvent for many chemicals
High surface tension	

The physical properties of water, such as high surface tension and high heat of vaporization, are due to hydrogen bonds between water molecules. Water also has a high dissolving capacity, making it a universal solvent. Water molecules form strong hydrogen bonds, allowing them to attract each other, giving water unique properties that support various biological processes and ecosystems (Pranoto & Heraldy, 2022).

#### 4.1.2 Definition of Chemical Reactions in Water

Chemical reactions in water are processes in which dissolved substances in water interact and undergo chemical changes into other compounds. This process is very important because it affects water quality and the balance of aquatic ecosystems. A simple example is dissolved oxygen reacting with organic matter, producing water and carbon dioxide (Sylvia et al., 2022).

### 4.1.3 Peran Reaksi Kimia di Perairan

a. Kesetimbangan Ekosistem

Reaksi kimia membantu menjaga keseimbangan alami ekosistem perairan. Misalnya, fotosintesis oleh tumbuhan air menghasilkan oksigen yang mendukung kehidupan organisme akvatik.

b. Kualitas Air

Proses reaksi kimia dapat memengaruhi kualitas air dengan mengubah konsentrasi senyawa berbahaya. Contohnya, polutan dapat bereaksi dengan senyawa alami sehingga tingkat toksisitasnya berkurang.

c. Siklus Biogeokimia

Reaksi kimia memainkan peran penting dalam siklus biogeokimia seperti siklus karbon dan nitrogen, yang mendukung keberlangsungan kehidupan.

d. Pengolahan Air

Reaksi kimia digunakan dalam pengolahan air untuk menghilangkan kontaminan, sehingga air aman dikonsumsi manusia.

### 4.1.4 Peran Reaksi Kimia di Perairan

Faktor-faktor utama yang memengaruhi reaksi kimia di perairan meliputi suhu, pH, dan tekanan (Yolanda, 2023).

a. Suhu

Suhu memengaruhi laju reaksi kimia. Semakin tinggi suhu, semakin cepat laju reaksi karena partikel bergerak lebih cepat dan frekuensi tumbukan antar partikel meningkat. Di perairan tropis, misalnya, suhu tinggi mempercepat dekomposisi bahan organik dan menurunkan kadar oksigen terlarut.

b. pH

pH mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air. Reaksi kimia tertentu hanya berlangsung pada rentang pH tertentu. Perubahan pH dapat memengaruhi kelarutan zat kimia dan ketersediaan nutrien. pH yang terlalu rendah (asam) atau terlalu tinggi (basa) dapat mengganggu proses biologis seperti fotosintesis dan pertumbuhan mikroorganisme.

c. Tekanan

Tekanan memengaruhi reaksi kimia, terutama di perairan dalam. Tekanan yang lebih tinggi dapat meningkatkan kelarutan gas dalam air, mempengaruhi reaksi kimia yang melibatkan gas. Misalnya, di lautan dalam, tekanan tinggi meningkatkan kelarutan karbon dioksida, yang memengaruhi keseimbangan karbonat dalam air serta organisme yang membentuk kalsium karbonat.

### 4.1.3 The Role of Chemical Reactions in Waters

#### a. Ecosystem Equilibrium

Chemical reactions help maintain the natural balance of aquatic ecosystems. For example, photosynthesis by aquatic plants produces oxygen that supports the life of aquatic organisms.

#### b. Water Quality

Chemical reaction processes can affect water quality by changing the concentration of harmful compounds. For example, pollutants can react with natural compounds, reducing their toxicity.

#### c. Biogeochemical Cycle

Chemical reactions play an important role in biogeochemical cycles such as the carbon and nitrogen cycles, which support the continuation of life.

#### d. Water Treatment

Chemical reactions are used in water treatment to remove contaminants, making the water safe for human consumption.

### 4.1.4 The Role of Chemical Reactions in Waters

The main factors that influence chemical reactions in water include temperature, pH, and pressure (Yolanda, 2023).

#### a. temperature

Temperature affects the rate of chemical reactions. The higher the temperature, the faster the reaction rate because particles move faster and the frequency of collisions between particles increases. In tropical waters, for example, high temperatures accelerate the decomposition of organic matter and reduce dissolved oxygen levels.

#### b. pH

pH measures the acidity or alkalinity of water. Certain chemical reactions only occur within a certain pH range. Changes in pH can affect the solubility of chemicals and the availability of nutrients. A pH that is too low (acidic) or too high (alkaline) can interfere with biological processes such as photosynthesis and the growth of microorganisms.

#### c. Pressure

Pressure affects chemical reactions, especially in deep water. Higher pressure can increase the solubility of gases in water, affecting chemical reactions involving gases. For example, in the deep ocean, high pressure increases the solubility of carbon dioxide, which affects the balance of carbonates in the water as well as organisms that form calcium carbonate.

Faktor-faktor ini berinteraksi satu sama lain, dan perubahan pada satu faktor dapat mempengaruhi faktor lainnya serta kualitas air secara keseluruhan.

## 4.2 Jenis-Jenis Reaksi Kimia di Perairan

### 4.2.1 Reaksi Redoks

Reaksi redoks melibatkan pertukaran elektron antara komponen sistem dan memiliki peran penting dalam siklus biogeokimia yang mempengaruhi kualitas air, siklus nutrien, dan kehidupan organisme perairan. Contoh umum dari reaksi redoks di perairan meliputi:

- Oksidasi Besi ( $\text{Fe}^{2+}$  menjadi  $\text{Fe}^{3+}$ )

Di lingkungan yang kaya oksigen, ion ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dapat teroksidasi menjadi ion ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ), yang membentuk endapan besi hidroksida berwarna coklat kekuningan (yellow boy). Reaksi ini bergantung pada kadar oksigen dan tingkat keasaman perairan (Gautama, 2019).

- Reduksi Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) menjadi Nitrogen ( $\text{N}_2$ )

Reduksi nitrat menjadi nitrogen gas, atau denitrifikasi, terjadi dalam kondisi anaerob seperti di dasar danau atau lumpur sungai. Denitrifikasi mengurangi jumlah nitrat di perairan, membantu mencegah eutrofikasi, dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Herlambang, 2003).

### 4.2.2 Reaksi Presipitasi (Pengendapan)

Reaksi presipitasi terjadi ketika ion-ion terlarut dalam air membentuk endapan akibat perubahan pH, konsentrasi ion, atau temperatur. Proses ini penting dalam pengendapan mineral, pengolahan air limbah, dan pengendalian logam berat. Contoh reaksi presipitasi yang umum di perairan adalah Presipitasi Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

Di lingkungan yang kaya akan kalsium dan karbonat, seperti perairan dangkal dan sungai karst, presipitasi kalsium karbonat dapat terjadi. Faktor seperti pH tinggi dan suhu dapat mempercepat reaksi ini, yang juga didorong oleh aktivitas organisme seperti moluska (Novanti et al., 2018).

Logam berat biasanya membentuk endapan ketika bereaksi dengan basa. Dalam proses ini, penting untuk memperhatikan kelarutan hidroksida logam  $\text{L(OH)}_2$  di dalam air, yang sering dinyatakan dengan konstanta kelarutan ( $K_{\text{sp}}$ ). Selain itu, penambahan ion sulfida juga dapat menghasilkan

These factors interact with each other, and changes in one factor can affect other factors and overall water quality.

## 4.2 Types of Chemical Reactions in Water

### 4.2.1 Redox Reactions

Redox reactions involve the exchange of electrons between system components and play an important role in biogeochemical cycles that affect water quality, nutrient cycling, and the lives of aquatic organisms. Common examples of redox reactions in water include:

a. Iron Oxidation ( $\text{Fe}^{2+}$  to  $\text{Fe}^{3+}$ )

In an oxygen-rich environment, ferrous ions ( $\text{Fe}^{2+}$ ) can be oxidized to ferric ions ( $\text{Fe}^{3+}$ ), which form a yellowish-brown iron hydroxide precipitate (yellow boy). This reaction depends on the oxygen content and acidity of the water (Gautama, 2019).

b. Reduction of Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) to Nitrogen ( $\text{N}_2$ )

The reduction of nitrate to nitrogen gas, or denitrification, occurs under anaerobic conditions such as at the bottom of lakes or river mud. Denitrification reduces the amount of nitrate in water, helps prevent eutrophication, and reduces greenhouse gas emissions (Herlambang, 2003).

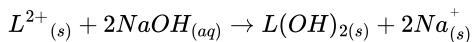
### 4.2.2 Precipitation Reaction (Sedimentation)

Precipitation reactions occur when dissolved ions in water form a precipitate due to changes in pH, ion concentration, or temperature. This process is important in mineral precipitation, wastewater treatment, and heavy metal control. An example of a common precipitation reaction in water is Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Precipitation

In environments rich in calcium and carbonate, such as shallow waters and karst rivers, calcium carbonate precipitation can occur. Factors such as high pH and temperature can accelerate this reaction, which is also driven by the activity of organisms such as molluscs (Novanti et al., 2018).

Heavy metals usually form precipitates when reacting with bases. In this process, it is important to pay attention to the solubility of the metal hydroxide  $\text{L(OH)}_2$  in water, which is often expressed as a solubility constant ( $K_{\text{sp}}$ ). In addition, the addition of sulfide ions can also produce

endapan logam berat dalam bentuk sulfida, seperti CdS, Ag<sub>2</sub>S, CuS, dan NiS. Namun, jika penambahan basa berlebihan hingga pH air menjadi sangat tinggi (pH > 10), beberapa logam dapat membentuk senyawa yang kembali larut:



Reaksi presipitasi ini sering digunakan untuk mengurangi konsentrasi logam berat dalam limbah air, dengan menggunakan reagen pengendap. Sebagai contoh, pengolahan limbah merkuri (Hg) dapat dilakukan dengan penambahan Natrium Sulfida (Na<sub>2</sub>S) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) melalui metode presipitasi. Penelitian menunjukkan bahwa pencampuran ion merkuri dengan natrium sulfida dapat mengurangi kadar merkuri hingga 99,81%, sedangkan dengan kalsium hidroksida, penurunan mencapai 90,11% (Fadlilah, Prasetya, & Mulyono, 2018).

Keberhasilan reaksi presipitasi dalam menghasilkan endapan tidak terlepas dari nilai K<sub>sp</sub> endapan. Dimana ada 3 kemungkinan yang akan terjadi jika sebuah senyawa pengendap akan ditambahkan 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 K<sub>sp</sub> AgCl. Ada 3 kemungkinan yang akan terjadi yaitu:

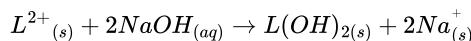
- belum mengendap ; bila [Ag<sup>+</sup>] [Cl<sup>-</sup>] < K<sub>sp</sub>.AgCl
- tepat jenuh ; bila [Ag<sup>+</sup>] [Cl<sup>-</sup>] = K<sub>sp</sub>.AgCl
- telah mengendap ; bila [Ag<sup>+</sup>] [Cl<sup>-</sup>] > K<sub>sp</sub>.AgCl (Sylvia et al., 2022).

### 4.2.3 Reaksi Asam-Basa (Netralisasi)

Reaksi asam-basa di perairan merupakan proses yang dinamis dan cukup kompleks. Proses ini melibatkan ion hidrogen dan hidroksida, serta zat-zat kimia lainnya. Keseimbangan antara ion-ion tersebut menentukan derajat keasaman atau kebasaan di lingkungan perairan, yang biasanya dinyatakan dengan nilai pH. Selain itu, reaksi ionisasi juga terjadi pada air murni, yang menghasilkan pH netral di mana konsentrasi H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> adalah sama.

Reaksi ini berperan penting dalam menjaga pH air tetap netral, yang esensial untuk keseimbangan ekosistem perairan. Dalam ekosistem ini, keseimbangan pH sangat menentukan kesehatan organisme air.

heavy metal deposits in the form of sulfides, such as CdS, Ag<sub>2</sub>S, CuS, and NiS. However, if the addition of excessive base until the pH of the water becomes very high (pH > 10), some metals can form compounds that dissolve again:



This precipitation reaction is often used to reduce the concentration of heavy metals in wastewater, using a precipitating reagent. For example, mercury (Hg) waste treatment can be done by adding Sodium Sulfide (Na<sub>2</sub>S) and calcium hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) through the precipitation method. Research shows that mixing mercury ions with sodium sulfide can reduce mercury levels by up to 99.81%, while with calcium hydroxide, the reduction reaches 90.11% (Fadlilah, Prasetya, & Mulyono, 2018).

The success of the precipitation reaction in producing deposits cannot be separated from the K<sub>sp</sub> value of the deposit. Where there are 3 possibilities that will occur if a precipitating compound is added to the compound to be precipitated. For example, the AgCl deposit obtained from mixing AgNO<sub>3</sub> and HCl does not always produce a white deposit. This depends on the solubility value of Ag<sup>+</sup> ions, the solubility of Cl<sup>-</sup> ions and K<sub>sp</sub> AgCl. There are 3 possibilities that will occur, namely:

- not yet precipitated; if [Ag<sup>+</sup>] [Cl<sup>-</sup>] < K<sub>sp</sub>.AgCl
- exactly saturated; if [Ag<sup>+</sup>] [Cl<sup>-</sup>] = K<sub>sp</sub>.AgCl
- has precipitated; if [Ag<sup>+</sup>] [Cl<sup>-</sup>] > K<sub>sp</sub>.AgCl (Sylvia et al., 2022).

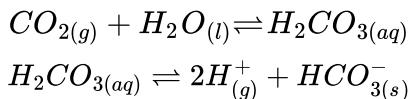
### 4.2.3 Acid-Base Reactions (Neutralization)

Acid-base reactions in water are dynamic and quite complex processes. This process involves hydrogen and hydroxide ions, as well as other chemicals. The balance between these ions determines the degree of acidity or alkalinity in the aquatic environment, which is usually expressed as a pH value. In addition, ionization reactions also occur in pure water, which produces a neutral pH where the concentrations of H<sup>+</sup> and OH<sup>-</sup> are the same.

This reaction plays an important role in maintaining the neutral pH of water, which is essential for the balance of aquatic ecosystems. In these ecosystems, pH balance is very important for the health of aquatic organisms.

Senyawa asam apabila terlarut di dalam perairan akan menurunkan nilai pH menjadi sangat rendah. Sebaliknya, apabila senyawa basa dilarutkan ke dalam air, kondisi pH perairan akan menjadi sangat tinggi. pH yang ekstrim di perairan dapat mengakibatkan kerugian pada makhluk hidup yang tinggal di dalamnya. Menambahkan asam kuat pada air yang bersifat basa, atau sebaliknya, merupakan hal yang sangat penting dalam pengolahan limbah secara biologi, di mana mikroorganisme pendegradasi senyawa organik memerlukan pH yang seimbang, karena perubahan pH yang ekstrem, baik terlalu asam maupun basa, dapat membunuh mikroorganisme (Sylvia et al., 2022).

Jika pH mengalami perubahan drastis, misalnya menjadi terlalu asam akibat peningkatan CO<sub>2</sub> di atmosfer yang larut dalam air membentuk asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), keseimbangan ekosistem dapat terganggu. Reaksi pembentukan asam karbonat ini adalah sebagai berikut:

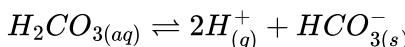
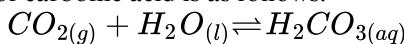


Asam karbonat yang terbentuk dapat terdisosiasi menjadi ion H<sup>+</sup> dan bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Keberadaan ion bikarbonat dalam air dapat menyebabkan penurunan pH (Prasetyawan et al., 2017). Derajat keasaman air yang terlalu tinggi dapat merusak stabilitas ekosistem air, salah satunya dengan menyebabkan kematian organisme air. Sebaliknya, kondisi air yang terlalu basa dapat menyebabkan kesadahan air yang tinggi (Rawis et al., 2022). Oleh karena itu, reaksi neutralisasi antara asam dan basa memiliki peran penting dalam menjaga kualitas air.

Dalam siklus biogeokimia, reaksi asam-basa juga berperan dalam mengontrol proses penting, seperti siklus karbon, yang melibatkan pembentukan ion karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) dan bikarbonat. Proses ini mendukung kehidupan organisme laut yang membutuhkan ion karbonat untuk membentuk cangkang dan kerangka. Sebagai contoh, ion karbonat bergabung dengan kalsium untuk membentuk kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>), yang sangat penting bagi terumbu karang dan moluska (Darmasetiawan, 2024).

Acidic compounds when dissolved in water will lower the pH value to very low. Conversely, if basic compounds are dissolved in water, the pH condition of the water will become very high. Extreme pH in water can cause harm to living things that live in it. Adding strong acid to water that is basic, or vice versa, is very important in biological waste treatment, where microorganisms that degrade organic compounds require a balanced pH, because extreme changes in pH, either too acidic or too basic, can kill microorganisms (Sylvia et al., 2022).

If the pH changes drastically, for example becoming too acidic due to increased CO<sub>2</sub> in the atmosphere that dissolves in water to form carbonic acid (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), the balance of the ecosystem can be disturbed. The reaction for the formation of carbonic acid is as follows:



The carbonic acid formed can dissociate into H<sup>+</sup> and bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ions. The presence of bicarbonate ions in water can cause a decrease in pH (Prasetyawan et al., 2017). Water acidity that is too high can damage the stability of the aquatic ecosystem, one of which is by causing the death of aquatic organisms. Conversely, water conditions that are too alkaline can cause high water hardness (Rawis et al., 2022). Therefore, the neutralization reaction between acids and bases plays an important role in maintaining water quality.

In the biogeochemical cycle, acid-base reactions also play a role in controlling important processes, such as the carbon cycle, which involves the formation of carbonate ions (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) and bicarbonate. This process supports the life of marine organisms that require carbonate ions to form shells and skeletons. For example, carbonate ions combine with calcium to form calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>), which is very important for coral reefs and molluscs (Darmasetiawan, 2024).

## 4.2.4 Reaksi Karbondioksida di Perairan

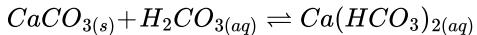
Karbondioksida adalah senyawa kimia yang mudah larut dalam air, berasal dari berbagai sumber, termasuk udara. Dalam atmosfer, CO<sub>2</sub> terdapat dalam jumlah sekitar 0,03%. Saat udara bereaksi dengan air pada tekanan standar, CO<sub>2</sub> akan larut dengan kelarutan yang dipengaruhi suhu, sebagaimana terlihat dalam tabel berikut:

Tabel 4.3 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

Semakin tinggi suhu, semakin rendah kelarutan CO<sub>2</sub>. Selain itu, CO<sub>2</sub> juga larut dalam air hujan dan dihasilkan dari penguraian zat organik oleh mikroorganisme. Asam karbonat yang terbentuk dari reaksi ini dapat menghasilkan ion-ion yang menyebabkan air menjadi lebih asam.

Jika air ini bersentuhan dengan batu kapur (CaCO<sub>3</sub>), keasaman air akan meningkat karena reaksi:



Masuknya CO<sub>2</sub> ke dalam air terjadi lebih cepat dalam kondisi gelombang daripada tenang. Selain itu, air hujan yang jatuh juga berinteraksi dengan udara yang mengandung CO<sub>2</sub>, yang dapat menambah keasaman air hujan, meskipun pengaruhnya terhadap pH tidak signifikan.

Karbondioksida juga dihasilkan dari proses respirasi makhluk hidup di perairan, yang mempengaruhi kadar CO<sub>2</sub> dalam air. Degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme aerob dan anaerob juga menghasilkan CO<sub>2</sub>.

## 4.2.4 Carbon Dioxide Reactions in Water

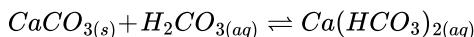
Carbon dioxide is a chemical compound that is easily soluble in water, originating from various sources, including air. In the atmosphere, CO<sub>2</sub> is present in an amount of about 0.03%. When air reacts with water at standard pressure, CO<sub>2</sub> will dissolve with a solubility that is affected by temperature, as shown in the following table:

Table 4.3 Carbon Dioxide Solubility Values in Water

Temperature °C	Solubility, bpi
0	1,00
5	0,83
10	0,70
15	0,59
20	0,51
25	0,43
30	0,38

The higher the temperature, the lower the solubility of CO<sub>2</sub>. In addition, CO<sub>2</sub> is also soluble in rainwater and is produced from the decomposition of organic matter by microorganisms. The carbonic acid formed from this reaction can produce ions that cause the water to become more acidic.

If this water comes into contact with limestone (CaCO<sub>3</sub>), the acidity of the water will increase due to the reaction:

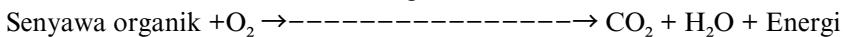


The influx of CO<sub>2</sub> into the water occurs more rapidly in wave conditions than in calm conditions. In addition, falling rainwater also interacts with air containing CO<sub>2</sub>, which can increase the acidity of rainwater, although its effect on pH is not significant.

Carbon dioxide is also produced from the respiration process of living things in water, which affects the levels of CO<sub>2</sub> in the water. Degradation of organic compounds by aerobic and anaerobic microorganisms also produces CO<sub>2</sub>.

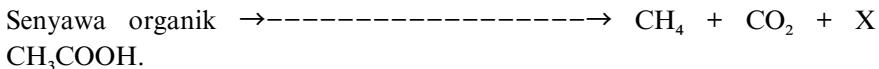
Proses degradasi ini berlangsung dalam dua kondisi: aerob, yang memerlukan oksigen, dan anaerob, yang tidak memerlukan oksigen. Reaksi degradasi senyawa organik pada proses aerobik adalah:

mikroorganisme aerob



Sedangkan pada proses anaerobik:

mikroorganisme anaerob



Karbon mengalami daur dalam ekosistem, berpindah dari atmosfer ke produsen, konsumen, dan pengurai, lalu kembali ke atmosfer (Sylvia et al., 2022).

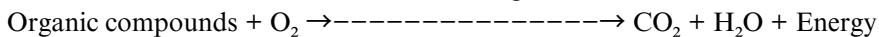
#### 4.2.5 Fitokimia di Perairan

Senyawa fitokimia dapat ditemukan di lingkungan perairan, terutama pada tumbuhan air seperti alga, moluska, dan ekosistem lainnya. Salah satu contohnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Noyanti et al. (2023), yang mengidentifikasi kandungan nutrisi, mineral esensial, dan senyawa fitokimia dari *Sargassum* sp. di perairan Pulau Temajo, Kabupaten Mempawah. Penelitian ini didasari oleh melimpahnya sumber daya rumput laut di perairan Indonesia, khususnya *Sargassum* sp., yang mendominasi di Pulau Temajo. Rumput laut ini memiliki potensi sebagai bahan pangan alternatif dengan kandungan gizi yang tinggi; namun, kandungan nutrisi, mineral esensial, dan senyawa metabolit sekunder dari *Sargassum* sp. di lokasi tersebut belum diketahui. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kadar nutrisi, mineral esensial, dan kandungan senyawa metabolit sekunder yang terdapat dalam *Sargassum* sp.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Sargassum* sp. dari Pulau Temajo memiliki kandungan nutrisi yang terdiri dari karbohidrat, air, protein, dan lemak. Mineral esensial yang teridentifikasi meliputi besi (Fe), magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan kalium (K). Uji fitokimia mengungkapkan adanya senyawa bioaktif berupa alkaloid, saponin, dan steroid dalam ekstrak etanol *Sargassum* sp.. Penelitian ini memberikan informasi penting mengenai potensi nutrisi dan senyawa bioaktif *Sargassum* sp. dari perairan Pulau Temajo, yang dapat dimanfaatkan dalam industri pangan dan farmasi.

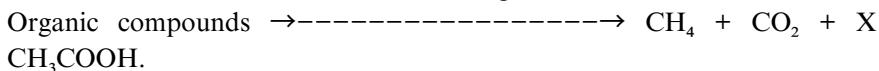
This degradation process takes place in two conditions: aerobic, which requires oxygen, and anaerobic, which does not require oxygen. The degradation reaction of organic compounds in the aerobic process is:

aerobic microorganisms



While in the anaerobic process:

anaerobic microorganisms



Carbon cycles in ecosystems, moving from the atmosphere to producers, consumers, and decomposers, then back to the atmosphere (Sylvia et al., 2022).

#### 4.2.5 Phytochemicals in Waters

Phytochemical compounds can be found in aquatic environments, especially in aquatic plants such as algae, molluscs, and other ecosystems. One example is a study conducted by Noyanti et al. (2023), which identified the nutritional content, essential minerals, and phytochemical compounds of *Sargassum* sp. in the waters of Temajo Island, Mempawah Regency. This study was based on the abundance of seaweed resources in Indonesian waters, especially *Sargassum* sp., which dominates Temajo Island. This seaweed has the potential as an alternative food ingredient with high nutritional content; however, the nutritional content, essential minerals, and secondary metabolite compounds of *Sargassum* sp. at that location are not yet known. Therefore, this study was conducted to determine the levels of nutrients, essential minerals, and secondary metabolite compounds contained in *Sargassum* sp.

The results of the study showed that *Sargassum* sp. from Temajo Island has a nutritional content consisting of carbohydrates, water, protein, and fat. The essential minerals identified include iron (Fe), magnesium (Mg), calcium (Ca), and potassium (K). Phytochemical tests revealed the presence of bioactive compounds in the form of alkaloids, saponins, and steroids in the ethanol extract of *Sargassum* sp. This study provides important information regarding the nutritional potential and bioactive compounds of *Sargassum* sp. from the waters of Temajo Island, which can be utilized in the food and pharmaceutical industries.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa *Sargassum* sp. dapat dikembangkan sebagai bahan pangan alternatif karena memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi. Selain itu, senyawa bioaktif (alkaloid, saponin, dan steroid) yang terdapat dalam *Sargassum* sp. memiliki berbagai manfaat, terutama dalam bidang kesehatan. Alkaloid dapat memicu sistem saraf dan mengendalikan tekanan darah, membuka peluang untuk pengembangan suplemen kesehatan atau bahan obat herbal lainnya (Djoronga et al., 2014). Saponin, yang memiliki sifat antimikroba dan antiinflamasi, juga dapat meningkatkan sistem kekebalan tubuh (Yanuartono, 2017). Steroid dari sumber alami seperti *Sargassum* sp. berperan dalam berbagai proses biologis, seperti meningkatkan kesehatan otot dan membantu dalam proses pemulihan tubuh.

Mineral esensial (Fe, Mg, Ca, K) berperan penting dalam mendukung kesehatan tubuh, terutama dalam fungsi metabolisme, kesehatan tulang, dan keseimbangan elektrolit (Suprayitno et al., 2020). Produk-produk suplemen mineral berbasis rumput laut *Sargassum* sp. dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan mineral harian manusia.

## 4.3 Parameter Kimia Standar Kualitas Air

Air tidak pernah benar-benar berada dalam kondisi murni. Zat atau unsur yang terdapat dalam air umumnya berasal dari tanah, udara, dan proses metabolisme organisme akuatik. Unsur atau zat tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama: (1) gas, (2) unsur anorganik, dan (3) zat organik. Distribusi ketiga kategori zat kimia tersebut sangat memengaruhi sifat-sifat kimiawi air. Beberapa zat kimia dalam air dapat larut, sementara yang lainnya tidak. Secara umum, unsur anorganik bersifat larut, kecuali unsur belerang (S). Oleh karena itu, unsur-unsur dalam air diklasifikasikan menjadi unsur "makro" dan "mikro". Beberapa parameter kimia yang mempengaruhi kehidupan organisme air antara lain:

### 4.3.1 Derajat Keasaman (pH Air)

Derajat keasaman, lebih dikenal dengan istilah pH (puissance negative de H), merupakan logaritma dari konsentrasi ion H<sup>+</sup> (hidrogen) dalam suatu larutan. Ion hidrogen bersifat asam, dan keberadaannya menentukan nilai pH pada suhu tertentu. Air murni (H<sub>2</sub>O) mengalami disosiasi sempurna, menghasilkan ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> dalam konsentrasi yang sama.

Based on the research results, it can be concluded that *Sargassum* sp. can be developed as an alternative food ingredient because it has a high carbohydrate content. In addition, bioactive compounds (alkaloids, saponins, and steroids) contained in *Sargassum* sp. have various benefits, especially in the health sector. Alkaloids can trigger the nervous system and control blood pressure, opening up opportunities for the development of health supplements or other herbal medicines (Djoronga et al., 2014). Saponins, which have antimicrobial and anti-inflammatory properties, can also boost the immune system (Yanuartono, 2017). Steroids from natural sources such as *Sargassum* sp. play a role in various biological processes, such as improving muscle health and helping in the body's recovery process.

Essential minerals (Fe, Mg, Ca, K) play an important role in supporting body health, especially in metabolic function, bone health, and electrolyte balance (Suprayitno et al., 2020). Mineral supplement products based on *Sargassum* sp. seaweed can be developed to meet human daily mineral needs.

## 4.3 Standard Chemical Parameters of Water Quality

Water is never truly in a pure state. Substances or elements found in water generally come from soil, air, and the metabolic processes of aquatic organisms. These elements or substances can be grouped into three main categories: (1) gases, (2) inorganic elements, and (3) organic substances. The distribution of these three categories of chemicals greatly affects the chemical properties of water. Some chemicals in water can dissolve, while others cannot. In general, inorganic elements are soluble, except for the element sulfur (S). Therefore, the elements in water are classified into "macro" and "micro" elements. Some chemical parameters that affect the life of aquatic organisms include:

### 4.3.1 Degree of Acidity (pH of Water)

The degree of acidity, better known as pH (puissance negative de H), is the logarithm of the concentration of  $H^+$  (hydrogen) ions in a solution. Hydrogen ions are acidic, and their presence determines the pH value at a given temperature. Pure water ( $H_2O$ ) undergoes complete dissociation, producing  $H^+$  and  $OH^-$  ions in equal concentrations.

Oleh karena itu, pH air murni bernilai 7. Jika konsentrasi ion H<sup>+</sup> meningkat, maka konsentrasi ion OH<sup>-</sup> akan menurun, menghasilkan pH < 7 (larutan asam). Sebaliknya, jika konsentrasi ion OH<sup>-</sup> lebih tinggi daripada ion H<sup>+</sup>, maka larutan bersifat basa dengan pH > 7. Ion hidrogen memiliki peran penting dalam mempengaruhi faktor kimia lain, seperti alkalinitas, kesadahan, dan keasaman air. Ada dua cara utama untuk menyatakan keberadaan ion H<sup>+</sup> dalam air:

- Menyatakan jumlah ion hidrogen per liter air.
- Menggunakan rumus pH = -log [H<sup>+</sup>].

Kadar ion H<sup>+</sup> atau pH dalam air merupakan faktor kimia yang sangat mempengaruhi organisme di lingkungan perairan. Nilai pH berkisar antara 0 hingga 14, dimana pH tertentu menunjukkan sifat asam atau basa air. Tinggi rendahnya pH air dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- Konsentrasi gas-gas seperti CO<sub>2</sub> dalam air.
- Konsentrasi garam karbonat dan bikarbonat.
- Proses dekomposisi bahan organik di dasar perairan.

### 4.3.2 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut diperlukan oleh hampir semua makhluk hidup di air untuk proses metabolisme tubuh. Meskipun beberapa bakteri dan hewan dapat hidup tanpa oksigen (anaerob), sebagian besar hanya dapat bertahan tanpa oksigen untuk waktu singkat atau membutuhkan pasokan oksigen yang konstan. Organisme air biasanya dapat hidup dalam kondisi kadar oksigen rendah, tetapi tetap memerlukan oksigen untuk bertahan hidup. Kadar oksigen dalam air sangat mempengaruhi kehidupan organisme baik secara langsung maupun tidak langsung, dan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kadar oksigen adalah suhu air. Sumber oksigen terlarut dalam air berasal dari:

- Atmosfer (udara)

Oksigen dari udara dapat masuk ke dalam air melalui dua cara: difusi langsung dari udara atau melalui pergerakan air seperti ombak, air terjun, dan arus air.

- Fotosintesis tanaman berklorofil

Tanaman yang memiliki klorofil menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis.

Therefore, the pH of pure water is 7. If the concentration of H<sup>+</sup> ions increases, then the concentration of OH<sup>-</sup> ions will decrease, resulting in a pH < 7 (acidic solution). Conversely, if the concentration of OH<sup>-</sup> ions is higher than that of H<sup>+</sup> ions, then the solution is basic with a pH > 7. Hydrogen ions play an important role in influencing other chemical factors, such as alkalinity, hardness, and acidity of water. There are two main ways to express the presence of H<sup>+</sup> ions in water:

- States the number of hydrogen ions per liter of water.
- Using the formula pH = -log [H<sup>+</sup>].

The level of H<sup>+</sup> ions or pH in water is a chemical factor that greatly affects organisms in aquatic environments. The pH value ranges from 0 to 14, where a certain pH indicates the acidic or basic nature of water. The high and low pH of water is influenced by several factors, including:

- Concentration of gases such as CO<sub>2</sub> in water.
- Concentration of carbonate and bicarbonate salts.
- The process of decomposition of organic materials at the bottom of the water.

### 4.3.2 Dissolved Oxygen (DO)

Dissolved oxygen is needed by almost all living things in water for the body's metabolic processes. Although some bacteria and animals can live without oxygen (anaerobic), most can only survive without oxygen for a short time or require a constant supply of oxygen. Aquatic organisms can usually live in conditions of low oxygen levels, but still need oxygen to survive. The oxygen level in water greatly affects the life of organisms both directly and indirectly, and one of the main factors that affects oxygen levels is water temperature. Sources of dissolved oxygen in water come from:

- Atmosphere (air) Oxygen from the air can enter the water in two ways: direct diffusion from the air or through water movements such as waves, waterfalls and water currents.
- Photosynthesis of chlorophyll plants Plants that have chlorophyll produce oxygen through the process of photosynthesis, Oxygen Solubility The solubility of oxygen in water is greatly influenced by temperature. At lower temperatures, the solubility of oxygen is higher. The relationship between temperature and the solubility of oxygen in water can be seen in the following table:

## Kelarutan Oksigen

Kelarutan oksigen dalam air sangat dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu yang lebih rendah, kelarutan oksigen lebih tinggi. Hubungan antara suhu dan kelarutan oksigen dalam air dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Hubungan antara suhu dan kelarutan oksigen dalam air

Suhu °C	Kekentalan (%)
0	14,62
5	12,80
10	11,33
15	10,15
20	9,17
25	8,38
30	7,63

Kelarutan oksigen ini berlaku untuk air tawar. Untuk air laut, kelarutan oksigen biasanya lebih rendah, yaitu sekitar 1-5 ppm, karena pengaruh salinitas (kadar garam). Salinitas mempengaruhi kemampuan air untuk melerutkan gas. Hal ini penting karena kelarutan oksigen menentukan jumlah oksigen terlarut yang tersedia untuk makhluk hidup di air. Secara umum, kadar oksigen minimum yang mendukung kehidupan organisme akuatik adalah sekitar 3-5 ppm.

### 4.3.3 Konsentrasi Oksigen

Konsentrasi oksigen terlarut dalam air mengalami fluktuasi sepanjang hari (24 jam). Konsentrasi terendah biasanya terjadi pada dini hari, meningkat pada siang hari, dan kembali menurun pada malam hari. Fluktuasi konsentrasi terbesar terjadi pada perairan yang memiliki banyak plankton, karena plankton juga menghasilkan oksigen melalui fotosintesis. Selain suhu, ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi kelarutan oksigen dalam air, termasuk salinitas, pergerakan air di permukaan, luas permukaan perairan, tekanan atmosfer, dan persentase oksigen di sekitarnya. Jika konsentrasi oksigen terlarut dalam air mencapai titik kelarutan maksimumnya pada suhu tertentu, air tersebut dikatakan sudah jenuh dengan oksigen. Namun, jika kandungan oksigen terlarut melebihi kelarutan pada suhu tersebut, maka air berada dalam kondisi super saturasi (kelebihan jenuh).

## Oxygen Solubility

The solubility of oxygen in water is greatly influenced by temperature. At lower temperatures, the solubility of oxygen is higher. The relationship between temperature and the solubility of oxygen in water can be seen in the following table:

Table 4.4 Relationship between temperature and oxygen solubility in water

Temperature °C	Viscosity (%)
0	14,62
5	12,80
10	11,33
15	10,15
20	9,17
25	8,38
30	7,63

This oxygen solubility applies to fresh water. For seawater, oxygen solubility is usually lower, around 1-5 ppm, due to the influence of salinity (salt content). Salinity affects the ability of water to dissolve gases. This is important because oxygen solubility determines the amount of dissolved oxygen available to living things in the water. In general, the minimum oxygen level that supports aquatic life is around 3-5 ppm.

### 4.3.3 Oxygen Concentration

The concentration of dissolved oxygen in water fluctuates throughout the day (24 hours). The lowest concentration usually occurs in the early morning, increases during the day, and decreases again at night. The greatest concentration fluctuations occur in waters that have a lot of plankton, because plankton also produce oxygen through photosynthesis. In addition to temperature, there are several other factors that affect the solubility of oxygen in water, including salinity, water movement on the surface, water surface area, atmospheric pressure, and the percentage of oxygen in the surrounding area. If the concentration of dissolved oxygen in water reaches its maximum solubility point at a certain temperature, the water is said to be saturated with oxygen. However, if the dissolved oxygen content exceeds the solubility at that temperature, the water is in a state of supersaturation (oversaturation).

#### 4.3.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biokimia adalah parameter yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme, terutama bakteri, untuk menguraikan bahan organik dalam kondisi aerobik (dengan kehadiran oksigen). Bahan organik yang diukur dalam BOD adalah bahan organik yang mudah terurai. BOD merupakan ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroba di air untuk menguraikan bahan organik yang dapat didekomposisi.

Meskipun BOD mengukur jumlah oksigen yang digunakan, secara sederhana dapat diartikan sebagai indikator jumlah bahan organik yang mudah terurai (biodegradable) di air (Atima, 2015).



Gambar 4. 4 Biochemical Oxygen Demand (BOD) meter

Pemeriksaan BOD penting untuk menilai beban pencemaran akibat air limbah dan merancang sistem pengolahan air secara biologis. Ketika kadar bahan organik tinggi, yang ditunjukkan oleh nilai BOD dan COD (Chemical Oxygen Demand), mikroorganisme menjadi aktif dan menguraikan bahan organik secara biologis, menghasilkan senyawasenawa seperti asam organik serta gas seperti  $\text{CH}_4$  (metana),  $\text{NH}_3$  (amonia), dan  $\text{H}_2\text{S}$  (hidrogen sulfida) yang berbau busuk. Namun, uji BOD tidak mengukur jumlah bahan organik sebenarnya, melainkan hanya menghitung oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan tersebut. Semakin banyak oksigen yang dikonsumsi, semakin tinggi kadar bahan organik dalam air. Kehidupan akuatik, termasuk organisme seperti ikan, memerlukan oksigen untuk bertahan hidup. Jika kadar oksigen terlarut terlalu rendah, banyak organisme akuatik, termasuk ikan, akan mati, bukan karena zat pencemar langsung, tetapi karena kekurangan oksigen yang diperlukan untuk proses dekomposisi (Inayah, 2022).

#### 4.3.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) or biochemical oxygen demand is a parameter that indicates the amount of dissolved oxygen required by microorganisms, especially bacteria, to decompose organic matter under aerobic conditions (in the presence of oxygen). Organic matter measured in BOD is organic matter that is easily decomposed. BOD is a measure of the amount of oxygen used by microbes in water to decompose decomposable organic matter.

Although BOD measures the amount of oxygen used, it can simply be interpreted as an indicator of the amount of biodegradable organic matter in water (Atima, 2015).

BOD examination is important for assessing the pollution load due to wastewater and designing a biological water treatment system. When the organic matter content is high, as indicated by the BOD and COD (Chemical Oxygen Demand) values, microorganisms become active and decompose organic matter biologically, producing compounds such as organic acids and gases such as  $\text{CH}_4$  (methane),  $\text{NH}_3$  (ammonia), and  $\text{H}_2\text{S}$  (hydrogen sulfide) which have a foul odor. However, the BOD test does not measure the actual amount of organic matter, but only calculates the oxygen used to oxidize the material. The more oxygen consumed, the higher the organic matter content in the water. Aquatic life, including organisms such as fish, needs oxygen to survive. If the dissolved oxygen level is too low, many aquatic organisms, including fish, will die, not because of the pollutant directly, but because of the lack of oxygen needed for the decomposition process (Inayah, 2022).



Figure 4. 4 Biochemical Oxygen Demand (BOD) meter

### 4.3.5 Chemical Oxygen Demand (COD)



Gambar 4. 5 Alat Ukur COD

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai semua bahan organik yang terdapat dalam air. COD mengukur berapa banyak oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). COD mengukur berapa banyak oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Pengujian COD dilakukan dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat dalam suasana asam dan panas dengan katalisator perak sulfat untuk mengukur kadar bahan organik yang dapat dioksidasi (Atima, 2015).

Angka COD menunjukkan seberapa tercemar air oleh zat organik yang dapat dioksidasi secara alami melalui proses mikrobiologis, yang mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air. Kadar COD yang tinggi disebabkan oleh degradasi zat organik dan anorganik dari limbah yang dihasilkan. Dampak dari tingginya kadar COD dalam limbah dapat menyebabkan biota air tidak dapat bertahan hidup. Selain itu, tingginya kadar COD juga berkontribusi terhadap penurunan kandungan oksigen terlarut (DO) dalam air limbah (Yustika dkk., 2023). Semakin tinggi nilai COD, semakin banyak oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai senyawa organik, sehingga parameter ini mencerminkan pencemaran bahan organik dalam air. Oleh karena itu, COD sangat berguna untuk menilai tingkat pencemaran air dan mengukur kemampuan perairan dalam mendukung kehidupan organisme akuatik.

### 4.3.6 Total Padatan Terlarut (TDS)

Total Dissolved Solids (TDS) atau jumlah padatan terlarut mengacu pada total konsentrasi zat padat yang larut dalam air. Zat padat ini meliputi ion-ion anorganik (seperti kalsium, magnesium, natrium, kalium, karbonat, bikarbonat, klorida, dan sulfat) serta sedikit senyawa organik yang larut. TDS adalah indikator penting kualitas air yang dapat mempengaruhi kesehatan ekosistem akuatik serta kualitas air minum.

### 4.3.5 Chemical Oxygen Demand (COD)



Figure 4.5 COD Measuring Tools

Chemical Oxygen Demand (COD) or chemical oxygen demand is the amount of oxygen needed to decompose all organic matter contained in water. COD measures how much oxygen is needed to oxidize organic matter into carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and water ( $\text{H}_2\text{O}$ ). COD measures how much oxygen is needed to oxidize organic matter into carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and water ( $\text{H}_2\text{O}$ ). COD testing is carried out using a strong oxidizer potassium bichromate in an acidic and hot atmosphere with a silver sulfate catalyst to measure the levels of oxidizable organic matter (Atima, 2015).

The COD value indicates how polluted the water is by organic substances that can be oxidized naturally through microbiological processes, resulting in a decrease in dissolved oxygen levels in the water. High COD levels are caused by the degradation of organic and inorganic substances from the waste produced. The impact of high COD levels in waste can cause aquatic biota to be unable to survive. In addition, high COD levels also contribute to a decrease in dissolved oxygen (DO) content in wastewater (Yustika et al., 2023). The higher the COD value, the more oxygen is needed to decompose organic compounds, so this parameter reflects organic pollution in water. Therefore, COD is very useful for assessing the level of water pollution and measuring the ability of waters to support the life of aquatic organisms.

### 4.3.6 Total Dissolved Solids (TDS)

Total Dissolved Solids (TDS) refers to the total concentration of solids dissolved in water. These solids include inorganic ions (such as calcium, magnesium, sodium, potassium, carbonate, bicarbonate, chloride, and sulfate) and small amounts of dissolved organic compounds. TDS is an important indicator of water quality that can affect the health of aquatic ecosystems as well as drinking water quality.

Kadar TDS tinggi biasanya menunjukkan adanya polutan yang berasal dari limbah domestik atau industri. Sumber utama TDS adalah:

- a. Sumber alami: Pelapukan batuan, tanah, dan mineral, yang larut ke dalam badan air.
- b. Aktivitas manusia: Seperti pembuangan limbah industri, pertanian, dan air limbah domestik yang tidak terkelola dengan baik.

TDS yang terlalu tinggi dapat menyebabkan masalah bagi kehidupan akuatik, seperti mengganggu kemampuan organisme air dalam menyerap oksigen atau nutrisi dari air. Tingginya konsentrasi TDS juga mempengaruhi rasa dan kualitas air, terutama jika digunakan untuk konsumsi manusia.

### 4.3.7 Salinitas

Salinitas adalah ukuran konsentrasi total garam terlarut dalam air. Salinitas penting untuk memahami komposisi kimia air dan ekosistem yang tergantung pada air tersebut. Perairan laut dan perairan payau umumnya memiliki salinitas yang tinggi, sedangkan air tawar memiliki salinitas rendah. Salinitas diukur dalam satuan part per thousand (ppt) atau gram garam per liter air.

Beberapa sumber salinitas dalam air adalah:

- a. Penguapan: Meningkatkan konsentrasi garam karena air menguap meninggalkan garam yang terlarut.
- b. Pengendapan: Air hujan yang mengandung sedikit garam dapat molarutkan mineral dari tanah dan membawanya ke badan air.
- c. Pencemaran air: Limbah industri dan pertanian, terutama yang mengandung garam-garam terlarut, dapat meningkatkan salinitas.

Salinitas yang terlalu tinggi dapat berdampak buruk pada organisme air tawar, karena mereka harus menghabiskan lebih banyak energi untuk mengatur keseimbangan osmotik, yang dapat mengurangi kemampuan mereka untuk berkembang biak dan bertahan hidup.

High TDS levels usually indicate the presence of pollutants from domestic or industrial waste. The main sources of TDS are:

- a. Natural sources: Weathering of rocks, soil, and minerals, which dissolve into water bodies.
- b. Human activities: Such as the disposal of industrial waste, agricultural waste, and domestic wastewater that is not managed properly.

Too high TDS can cause problems for aquatic life, such as interfering with the ability of aquatic organisms to absorb oxygen or nutrients from the water. High TDS concentrations also affect the taste and quality of water, especially if it is used for human consumption.

### 4.3.7 Salinity

Salinity is a measure of the total concentration of dissolved salts in water. Salinity is important for understanding the chemical composition of water and the ecosystems that depend on that water. Marine and brackish waters generally have high salinity, while fresh water has low salinity. Salinity is measured in parts per thousand (ppt) or grams of salt per liter of water.

Some sources of salinity in water are:

- a. Evaporation: Increases salt concentration because water evaporates leaving dissolved salts.
- b. Precipitation: Rainwater containing small amounts of salt can dissolve minerals from the soil and carry them to water bodies.
- c. Water pollution: Industrial and agricultural waste, especially those containing dissolved salts, can increase salinity.

Too high salinity can have a detrimental effect on freshwater organisms, as they have to spend more energy to regulate osmotic balance, which can reduce their ability to reproduce and survive.

### 4.3.8 Alkalinitas

Alkalinitas mengacu pada kemampuan air untuk menahan perubahan pH, khususnya dalam menetralkan asam tambahan tanpa menurunkan pH secara drastis. Alkalinitas berperan sebagai penyanga (buffer), menjaga kestabilan pH air, dan sering kali menjadi indikator kesuburan air. Alkalinitas terutama dihitung dari kandungan karbonat dan menggambarkan kapasitas air untuk menangkal keasaman melalui reaksi ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), dan hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) dengan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ). Reaksi ini membantu mengurangi keasaman dan meningkatkan pH air.

Alkalinitas optimal untuk ekosistem akuatik berkisar antara 90-150 ppm (Listriyana dkk., 2023). Jika alkalinitas terlalu rendah, dapat ditingkatkan melalui pengapuran (5 ppm), dengan memperhatikan jenis kapur yang digunakan agar tidak menyebabkan kenaikan pH berlebihan. Fungsi utama alkalinitas adalah mendukung pertumbuhan alga dan organisme akuatik lainnya karena kemampuannya menjaga pH yang stabil. Selain itu, alkalinitas juga berperan sebagai penyimpan karbon organik, sehingga penting dalam menentukan tingkat kesuburan air.

Air dengan alkalinitas  $\geq 20$  ppm dianggap stabil terhadap perubahan pH. Alkalinitas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, komposisi mineral, suhu, dan kekuatan ion dalam air. Alkalinitas alami jarang melebihi 500 mg/liter  $\text{CaCO}_3$ . Jika terlalu tinggi, air biasanya tidak disukai oleh organisme akuatik karena berkaitan dengan kesadahan atau kadar garam natrium yang tinggi. Air dengan kadar  $\text{CaCO}_3$  lebih dari 100 ppm disebut air alkalin, sedangkan yang di bawahnya disebut air lunak.

### 4.3.8 Alkalinity

Alkalinity refers to the ability of water to resist changes in pH, specifically to neutralize additional acid without drastically lowering the pH. Alkalinity acts as a buffer, keeping the pH of the water stable, and is often an indicator of water fertility. Alkalinity is primarily measured from carbonate content and describes the capacity of water to counteract acidity through the reaction of bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), and hydroxide ( $\text{OH}^-$ ) ions with hydrogen ( $\text{H}^+$ ) ions. These reactions help reduce acidity and raise the pH of the water.

The optimal alkalinity for aquatic ecosystems ranges from 90-150 ppm (Listriyana et al., 2023). If the alkalinity is too low, it can be increased through liming (5 ppm), paying attention to the type of lime used so as not to cause an excessive increase in pH. The main function of alkalinity is to support the growth of algae and other aquatic organisms because of its ability to maintain a stable pH. In addition, alkalinity also acts as a store of organic carbon, so it is important in determining the level of water fertility.

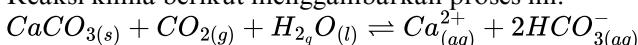
Water with alkalinity  $\geq 20$  ppm is considered stable against pH changes. Alkalinity is influenced by several factors such as pH, mineral composition, temperature, and ionic strength in water. Natural alkalinity rarely exceeds 500 mg/liter  $\text{CaCO}_3$ . If it is too high, the water is usually not liked by aquatic organisms because it is related to hardness or high sodium salt content. Water with  $\text{CaCO}_3$  levels of more than 100 ppm is called alkaline water, while those below it are called soft water.

### 4.3.9 Kesadahan Air (Hardness)

Kesadahan air merujuk pada kandungan mineral dalam air, terutama ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) yang hadir dalam bentuk garam karbonat. Air dengan kandungan mineral tinggi disebut air sadah atau air keras, sedangkan air dengan kadar mineral rendah disebut air lunak. Selain kalsium dan magnesium, kesadahan juga dapat disebabkan oleh ion logam lainnya atau garam bikarbonat dan sulfat.

Cara paling sederhana untuk menguji kesadahan air adalah dengan menggunakan sabun. Jika air bersifat lunak, sabun akan menghasilkan banyak busa. Sebaliknya, air sadah hanya sedikit menghasilkan busa atau bahkan tidak sama sekali. Kesadahan total air biasanya dinyatakan dalam satuan part per million (ppm) berdasarkan berat per volume (w/v) kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).

Kesadahan air diukur sebagai konsentrasi ion bermuatan positif (kation) yang memiliki valensi dua, terutama ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  (Alisya dkk., 2021). Total kesadahan dinyatakan dalam ppm ekuivalen  $\text{CaCO}_3$ , dan berkaitan erat dengan alkalinitas, karena ion negatif (anion) dari alkalinitas dan ion positif (kation) dari kesadahan berasal dari senyawa yang sama, seperti karbonat. Reaksi kimia berikut menggambarkan proses ini:



Klasifikasi tingkat kesadahan dapat diukur dengan parameter berikut:

Tabel 4.5 Klasifikasi tingkat kesadahan

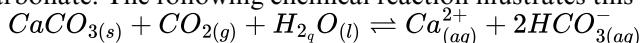
Mg/l $\text{CaCO}_3$	Tingkat Kesadahan
0-75	Lunak ( <i>soft</i> )
75-150	Sedang ( <i>moderately hard</i> )
150-300	Tinggi ( <i>hard</i> )
>300	Sangat tinggi ( <i>very hard</i> )

### 4.3.9 Water Hardness

Water hardness refers to the mineral content in water, especially calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) and magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ions present in the form of carbonate salts. Water with a high mineral content is called hard water, while water with a low mineral content is called soft water. In addition to calcium and magnesium, hardness can also be caused by other metal ions or bicarbonate and sulfate salts.

The simplest way to test water hardness is to use soap. If the water is soft, the soap will produce a lot of foam. In contrast, hard water produces little or no foam at all. The total hardness of water is usually expressed in parts per million (ppm) based on the weight per volume (w/v) of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ).

Water hardness is measured as the concentration of positively charged ions (cations) that have a valence of two, mainly  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions (Alisya et al., 2021). Total hardness is expressed in ppm equivalent  $\text{CaCO}_3$ , and is closely related to alkalinity, because the negative ions (anions) of alkalinity and the positive ions (cations) of hardness come from the same compound, such as carbonate. The following chemical reaction illustrates this process:



Classification of hardness levels can be measured by the following parameters:

Table 4.5 Classification of hardness levels

Mg/l $\text{CaCO}_3$	Tingkat Kesadahan
0-75	Lunak ( <i>soft</i> )
75-150	Sedang ( <i>moderately hard</i> )
150-300	Tinggi ( <i>hard</i> )
>300	Sangat tinggi ( <i>very hard</i> )

### 4.3.10 Fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Di ekosistem air, fosfat adalah nutrisi yang sering menjadi faktor pembatas pertumbuhan tumbuhan air karena kelarutannya yang rendah. Hewan memperoleh fosfat dengan memakan tumbuhan atau hewan herbivora. Siklus fosfor pada tanaman dan hewan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan siklusnya di batuan dan sedimen. Fosfat kembali ke tanah atau air melalui proses pembusukan organisme.



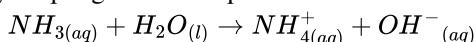
Gambar 4. 6 Penanaman tanaman.  
Sumber: biodiversidadepreservada.com.br

Fosfor, yang disimbolkan dengan huruf "P," merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan tumbuhan air, yang biasanya ditemukan dalam bentuk ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Di alam, fosfor tidak muncul dalam bentuk unsur bebas, melainkan selalu dalam bentuk senyawa, seperti mineral fosfat dalam batuan. Di perairan, fosfat bisa hadir dalam bentuk terlarut dan dapat mengendap dalam sedimen melalui proses adsorpsi (Pradiva dkk., 2023).

Fosfor memiliki peran penting dalam transfer energi di dalam sel, terutama dalam molekul ATP (Adenosine Triphosphate) dan ADP (Adenosine Diphosphate). Dalam air laut, fosfat hadir dalam bentuk ion yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk fotosintesis dan pembentukan ATP, ADP, serta nukleotid koenzim.

### 4.3.11 Amoniak

Amoniak di perairan berasal dari sisa metabolisme hewan dan dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Di budidaya perairan, amonia dihasilkan dari ekskresi biota dan dekomposisi sisa pakan. Amonia hadir dalam dua bentuk: amonia bebas ( $\text{NH}_3$ ) dan ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), yang kesetimbangannya dipengaruhi oleh pH dan suhu air.



### 4.3.10 Phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

In aquatic ecosystems, phosphate is a nutrient that is often a limiting factor for aquatic plant growth due to its low solubility. Animals obtain phosphate by eating plants or herbivorous animals. The phosphorus cycle in plants and animals is faster than its cycle in rocks and sediments. Phosphate returns to the soil or water through the decomposition process of organisms.

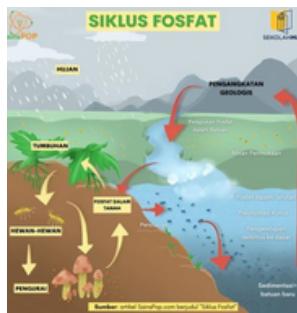


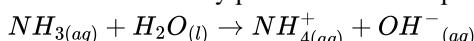
Figure 4. 6 Planting plants.  
Source: biodiversidadepreservada.com.br

Phosphorus, symbolized by the letter "P," is an essential element for the growth of aquatic plants, which is usually found in the form of phosphate ions ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). In nature, phosphorus does not appear in the form of free elements, but always in the form of compounds, such as phosphate minerals in rocks. In water, phosphate can be present in dissolved form and can precipitate in sediments through the adsorption process (Pradiva et al., 2023).

Phosphorus plays an important role in energy transfer within cells, especially in ATP (Adenosine Triphosphate) and ADP (Adenosine Diphosphate) molecules. In seawater, phosphate is present in the form of ions needed by plants for photosynthesis and the formation of ATP, ADP, and coenzyme nucleotides.

### 4.3.11 Ammonia

Ammonia in water comes from animal metabolic waste and decomposition of organic matter by microorganisms. In aquaculture, ammonia is produced from biota excretion and decomposition of feed waste. Ammonia is present in two forms: free ammonia ( $\text{NH}_3$ ) and ammonium ion ( $\text{NH}_4^+$ ), the equilibrium of which is influenced by pH and water temperature.

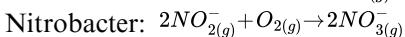
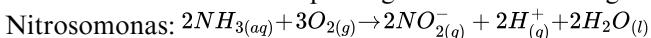


Pada pH kurang dari 7, amonia lebih banyak berbentuk ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), sementara pada pH lebih dari 7, amonia hadir dalam bentuk bebas ( $\text{NH}_3$ ) yang bersifat toksik (Novotny dan Olem, 1994). Peningkatan pH dan suhu meningkatkan jumlah amonia bebas, yang sangat berbahaya bagi organisme akuatik karena dapat merusak insang ikan (Effendi, 2003). Kadar amonia bebas yang tinggi dalam darah ikan dapat mengganggu kemampuan darah mengangkut oksigen dan merusak membran sel (Boyd, 1989).

Konsentrasi amonia bebas di perairan alami biasanya tidak melebihi 0,1 mg/liter, namun pada kadar di atas 0,2 mg/liter, amonia bebas dapat menjadi racun bagi ikan. Risiko toksisitas meningkat seiring kenaikan pH dan suhu perairan.

### 4.3.12 Nitrat

Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) adalah ion anorganik yang merupakan bagian dari siklus nitrogen. Nitrat terbentuk melalui oksidasi amonia menjadi nitrit oleh bakteri Nitrosomonas, kemudian nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri Nitrobacter. Proses nitrifikasi ini penting dalam siklus nitrogen.



Nitrifikasi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH, suhu, oksigen terlarut, dan bahan organik. Nitrat sangat larut dan stabil dalam air, yang membuatnya lebih mudah diserap oleh tumbuhan akuatik seperti alga dan fitoplankton untuk pertumbuhan.

## 4.4 Polutan Kimia di Perairan

### 4.4.1 Pengertian Polutan Kimia

Polutan dalam air mencakup unsur-unsur kimia, pathogen/bakteri dan perubahan sifat Fisika dan kimia dari air. Banyak unsur-unsur kimia merupakan racun yang mencemari air. Patogen/bakteri mengakibatkan pencemaran air sehingga menimbulkan penyakit pada manusia dan binatang (Budhiawan et al., 2020).

Suatu zat tersebut dapat dikatakan sebagai polutan apabila jumlahnya telah melebihi batas normal yang berada pada waktu dan tempat yang tidak tepat (Sulistyawati & Kusumawardhani, 2023). Berdasarkan asal dan susunan kimianya polutan dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu polutan organik dan polutan anorganik.



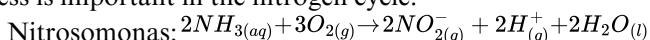
Gambar 4. 7 Polutan pada air  
Sumber: [www.merdeka.com](http://www.merdeka.com)

At pH less than 7, ammonia is more in the form of ammonium ions ( $\text{NH}_4^+$ ), while at pH above 7, ammonia is present in the free form ( $\text{NH}_3$ ) which is toxic (Novotny and Olem, 1994). Increasing pH and temperature increase the amount of free ammonia, which is very dangerous for aquatic organisms because it can damage fish gills (Effendi, 2003). High levels of free ammonia in fish blood can interfere with the blood's ability to transport oxygen and damage cell membranes (Boyd, 1989).

The concentration of free ammonia in natural waters usually does not exceed 0.1 mg/liter, but at levels above 0.2 mg/liter, free ammonia can be toxic to fish. The risk of toxicity increases with increasing pH and water temperature.

### 4.3.12 Nitrate

Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) is an inorganic ion that is part of the nitrogen cycle. Nitrate is formed through the oxidation of ammonia to nitrite by Nitrosomonas bacteria, then nitrite is oxidized to nitrate by Nitrobacter bacteria. This nitrification process is important in the nitrogen cycle.



Nitrification is influenced by factors such as pH, temperature, dissolved oxygen, and organic matter. Nitrate is highly soluble and stable in water, making it more easily absorbed by aquatic plants such as algae and phytoplankton for growth.

## 4.4 Chemical Pollutants in Waters

### 4.4.1 Definition of Chemical Pollutants

Pollutants in water include chemical elements, pathogens/bacteria and changes in the physical and chemical properties of water. Many chemical elements are toxins that pollute water. Pathogens/bacteria cause water pollution which causes diseases in humans and animals (Budhiawan et al., 2020).



Figure 4. 7 Pollutants in water Source: [www.merdeka.com](http://www.merdeka.com)

A substance can be said to be a pollutant if its amount has exceeded the normal limit at the wrong time and place (Sulistiyawati & Kusumawardhani, 2023). Based on its origin and chemical composition, pollutants can be divided into two types, namely organic pollutants and inorganic pollutants.

Polutan organik adalah senyawa yang mengandung karbon dan biasanya berasal dari makhluk hidup atau proses biologis. Polutan organik umumnya dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme, namun beberapa jenis polutan organik sangat sulit terurai. Polutan organik bertanggung jawab atas banyak efek kesehatan yang merugikan dan masalah lingkungan terrestrial maupun akuatik di berbagai belahan dunia (Khastini et al., 2022). Contoh dari polutan organik ini diantaranya yaitu phenol, chlorophenols, dan asam oksalat (Martini et al., 2020).

Sedangkan polutan anorganik yaitu polutan yang tidak mengandung karbon dan biasanya berasal dari proses geologis atau aktivitas industri. Polutan anorganik umumnya bersifat tidak mudah terurai dan dapat bertahan lama di lingkungan. Contoh dari polutan anorganik yaitu logam berat yang terkandung dalam beberapa limbah industri (Martini et al., 2020).



Gambar 4. 8 Sumber Pencemar Air.

Berdasarkan cara masuknya ke dalam lingkungan, polutan dikelompokkan menjadi dua, yaitu polutan alamiah dan polutan antropogenik. Polutan alamiah adalah polutan yang memasuki suatu lingkungan (badan air) secara alami, misalnya akibat letusan gunung berapi, tanah longsor, banjir dan fenomena alam yang lain. Polutan yang memasuki suatu ekosistem secara alamiah sukar dikendalikan. Polutan antropogenik adalah polutan yang masuk ke badan air akibat aktivitas manusia, misalnya kegiatan domestik (rumah tangga), kegiatan urban (perkotaan) maupun kegiatan industri. Intensitas polutan antropogenik dapat dikendalikan dengan cara mengontrol aktivitas yang menyebabkan timbulnya polutan tersebut. Sumber pencemaran dapat dibedakan menjadi sumber domestik (rumah tangga) yaitu dari perkampungan, kota, pasar, jalan, terminal, rumah sakit dan sebagainya. Serta sumber non domestik yaitu dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi dan sumber-sumber lainnya (Nurbaya & Syari, 2023).

Organic pollutants are compounds containing carbon and usually originate from living things or biological processes. Organic pollutants can generally be decomposed naturally by microorganisms, but some types of organic pollutants are very difficult to decompose. Organic pollutants are responsible for many adverse health effects and terrestrial and aquatic environmental problems in various parts of the world (Khastini et al., 2022). Examples of these organic pollutants include phenols, chlorophenols, and oxalic acid (Martini et al., 2020).

Meanwhile, inorganic pollutants are pollutants that do not contain carbon and usually come from geological processes or industrial activities. Inorganic pollutants are generally not easily decomposed and can persist in the environment for a long time. Examples of inorganic pollutants are heavy metals contained in several industrial wastes (Martini et al., 2020).



Figure 4. 8 Sources of Water Pollution.

Based on how they enter the environment, pollutants are grouped into two, namely natural pollutants and anthropogenic pollutants. Natural pollutants are pollutants that enter an environment (water body) naturally, for example due to volcanic eruptions, landslides, floods and other natural phenomena. Pollutants that enter an ecosystem naturally are difficult to control. Anthropogenic pollutants are pollutants that enter water bodies due to human activities, for example domestic activities (households), urban activities (cities) and industrial activities. The intensity of anthropogenic pollutants can be controlled by controlling the activities that cause the pollutants to arise. Sources of pollution can be divided into domestic sources (households), namely from villages, cities, markets, roads, terminals, hospitals and so on. As well as non-domestic sources, namely from factories, industry, agriculture, livestock, fisheries, transportation and other sources (Nurbaya & Syari, 2023).

## 4.4.2 Dampak Polutan di Perairan

Secara langsung maupun tidak langsung, keberadaan air yang terkontaminasi oleh berbagai polutan dapat membawa dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia dan kelangsungan hidup makhluk biotik serta kelestarian alam (Martini et al., 2020). Dampak yang ditimbulkan dari polutan organik maupun anorganik sangat beragam sesuai dengan jenis polutannya.

Contoh polutan anorganik adalah logam berat. Logam berat yang masuk ke perairan pada kadar di luar batas akan mencemari perairan laut. Selain itu juga akan mengendap pada sedimen yang memiliki waktu tinggal selama ribuan tahun (Nurbarasamuma et al., 2021). Contoh dari logam berat tersebut adalah Pb dan Kadmium. Dampak pencemaran logam berat Pb bagi kesehatan adalah menimbulkan kerusakan pada pembentukan sel darah merah, logam berat bersifat akumulatif dalam tubuh sehingga akan menimbulkan efek dalam jangka panjang (Indirawati, 2017).

Selain Pb, Kadmium (Cd) juga merupakan logam berat yang bila masuk ke dalam tubuh akan mengendap dan berakumulasi dalam waktu tertentu. Akibatnya akan menyebabkan kerusakan, tidak hanya pada tulang dan ginjal tetapi juga testis, jantung, hati, otak dan sistem darah (Indirawati, 2017). Dalam perairan kadmium dapat mengakibatkan gangguan ekosistem, pencemaran sedimen dan toksik bagi organisme akuatik.

Selain polutan anorganik dari logam bearat, polutan juga bisa berasal dari polutan anorganik yang bisa memberikan dampak yang berbahaya. Salah satu contoh dari polutan organik yaitu senyawa hidrokarbon aromatik. Hidrokarbon aromatik adalah senyawa yang memiliki cincin benzen dengan 6 atom karbon dan 1 atom hidrogen pada setiap karbon. Keadaan ini menyebabkan satu elektron tersisa untuk membentuk ikatan ganda. Senyawa ini banyak terdapat di alam sebagai polutan hasil pembakaran bahan-bahan organik, baik dalam bentuk partikel padat ataupun gas. Selanjutnya dinyatakan pula bahwa senyawa hidrokarbon aromatik diketahui bersifat toksit dan karsinogen. Kehadiran senyawa ini dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, baik bagi ekosistem perairan maupun kesehatan manusia (Rachmawani et al., 2016). Paparan dari senyawa hidrokarbon aromatik ini dapat menyebabkan kematian masal biota laut, gangguan rantai makanan kerusakan habitat dan pencemaran air.

## 4.4.2 Impact of Pollutants in Waters

Directly or indirectly, the presence of water contaminated by various pollutants can have detrimental impacts on human health and the survival of biotic creatures and the sustainability of nature (Martini et al., 2020). The impacts caused by organic and inorganic pollutants vary widely according to the type of pollutant.

Examples of inorganic pollutants are heavy metals. Heavy metals that enter the waters at levels beyond the limits will pollute the sea waters. In addition, it will also settle in sediments that have a residence time of thousands of years (Nurbarasamuma et al., 2021). Examples of these heavy metals are Pb and Cadmium. The impact of Pb heavy metal pollution on health is that it causes damage to the formation of red blood cells, heavy metals are accumulative in the body so that they will have long-term effects (Indirawati, 2017).

In addition to Pb, Cadmium (Cd) is also a heavy metal that when entering the body will settle and accumulate over time. As a result, it will cause damage, not only to the bones and kidneys but also to the testes, heart, liver, brain and blood system (Indirawati, 2017). In water, cadmium can cause ecosystem disruption, sediment pollution and is toxic to aquatic organisms.

In addition to inorganic pollutants from heavy metals, pollutants can also come from inorganic pollutants that can have harmful effects. One example of an organic pollutant is aromatic hydrocarbon compounds. Aromatic hydrocarbons are compounds that have a benzene ring with 6 carbon atoms and 1 hydrogen atom on each carbon. This condition causes one remaining electron to form a double bond. This compound is widely found in nature as a pollutant from the combustion of organic materials, either in the form of solid particles or gases. Furthermore, it is also stated that aromatic hydrocarbon compounds are known to be toxic and carcinogenic. The presence of these compounds in excessive amounts can cause various negative impacts, both for aquatic ecosystems and human health (Rachmawani et al., 2016). Exposure to these aromatic hydrocarbon compounds can cause mass death of marine biota, disruption of the food chain, habitat damage and water pollution.

### 4.4.3 Cara Mengatasi Polutan di Perairan

Keberadaan polutan di perairan memang sangat banyak dan perlu ditangani. Terdapat beberapa cara yang bisa dilakukan untuk mencegah lebih banyak polutan masuk ke perairan. Tentunya pencegahan ini memerlukan banyak sekali dukungan dan partisipasi dari setiap orang untuk membantu melancarkan pencegahan ini. Pencegahan yang bisa dilakukan yaitu yang pertama dengan mengolah limbah secara tepat dan benar baik itu limbah industri, rumah tangga maupun pertanian supaya tidak menjadi polutan di perairan. Kedua yaitu mulai melakukan konversi lain dengan cara melakukan reboisasi pada hutan-hutan yang gundul untuk mencegah erosi tanah dan sedimentasi di perairan. Dan yang ketiga menggunakan bahan-bahan yang ramah lingkungan yang tidak mengandung bahan kimia yang membahaya lingkungan perairan.

Selain cara untuk mencegah terbentuknya lebih banyak polutan di perairan juga diperlukan penanganan untuk mengatasi polutan yang sudah mencemari lingkungan perairan. Untuk mengatasi polutan yang sudah terdapat di perairan dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya yaitu dengan membersihkan perairan dan mengangkat sampah dan endapan dari perairan serta membersihkan perairan dari berbagai polutan organik. Selain itu juga perlu dilakukan restorasi ekosistem dengan cara menanam kembali mangrove dan terumbu karang yang rusak akibat tercemar polutan, dan memulihkan habitat ikan dan satwa air lainnya. Serta perlu dilakukan pengecekan berkala terhadap kualitas air untuk mengetahui pencemaran yang terdapat didalam perairan.

### 4.5 Kimia Air dan Kesadahan

Air adalah kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Jika kebutuhan air tidak terpenuhi baik dari segi kuantitas maupun kualitas maka akan berdampak besar pada aspek sosial dan ekonomi masyarakat. Berdasarkan penggunaannya, air dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu air untuk keperluan rumah tangga dan air untuk industri, di mana masing-masing memiliki persyaratan khusus. Persyaratan ini mencakup aspek fisik, kimia, dan bakteriologis, yang harus terpenuhi secara keseluruhan. Jika salah satu parameternya tidak sesuai, air tersebut dianggap tidak layak untuk digunakan.

### 4.4.3 How to Overcome Pollutants in Waters

The presence of pollutants in the waters is indeed very large and needs to be addressed. There are several ways that can be done to prevent more pollutants from entering the waters. Of course, this prevention requires a lot of support and participation from everyone to help facilitate this prevention. Prevention that can be done is the first by processing waste properly and correctly, be it industrial, household or agricultural waste so that it does not become a pollutant in the waters. The second is to start doing other conversions by reforesting bare forests to prevent soil erosion and sedimentation in the waters. And the third is using environmentally friendly materials that do not contain chemicals that are harmful to the aquatic environment.

In addition to ways to prevent the formation of more pollutants in the waters, handling is also needed to overcome pollutants that have polluted the aquatic environment. To overcome pollutants that are already in the waters, several methods can be used, including cleaning the waters and lifting garbage and sediment from the waters and cleaning the waters from various organic pollutants. In addition, ecosystem restoration is also needed by replanting mangroves and coral reefs that have been damaged by pollutant pollution, and restoring the habitat of fish and other aquatic animals. And it is necessary to carry out periodic checks on water quality to determine the pollution in the waters.

## 4.5 Water Chemistry and Hardness

Water is a basic need for human life. If water needs are not met in terms of quantity and quality, it will have a major impact on the social and economic aspects of society. Based on its use, water is divided into two main categories, namely water for household purposes and water for industry, each of which has specific requirements. These requirements include physical, chemical, and bacteriological aspects, which must be met as a whole. If one of the parameters is not appropriate, the water is considered unfit for use.

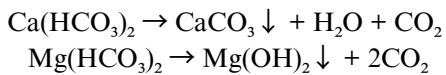
Kesadahan adalah istilah yang merujuk pada air yang mengandung kation penyebab kesadahan. Biasanya, kesadahan disebabkan oleh keberadaan logam atau kation dengan valensi 2, seperti Fe, Sr, Mn, Ca, dan Mg, namun penyebab utama kesadahan adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Kalsium dalam air dapat membentuk senyawa dengan bikarbonat, sulfat, klorida, dan nitrat, sedangkan magnesium cenderung bersenya dengan bikarbonat, sulfat, dan klorida.

Tingkat kesadahan air bervariasi tergantung pada lokasi. Umumnya, air tanah memiliki tingkat kesadahan yang tinggi karena kontak dengan batu kapur di lapisan tanah yang dilewati oleh air. Sebaliknya, air permukaan cenderung memiliki kesadahan yang rendah (disebut air lunak). Kesadahan non-karbonat pada air permukaan biasanya berasal dari kalsium sulfat yang terdapat di tanah liat dan endapan lainnya. (Widayat, 2002).

### 4.5.1 Jenis Kesadahan

#### 1. Kesadahan sementara (temporary hardness)

Kesadahan sementara disebabkan oleh keberadaan garam karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dari ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang dikenal sebagai carbonate hardness (CH). Jenis air ini disebut memiliki kesadahan sementara karena kandungan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dapat dihilangkan melalui pemanasan. Proses pemanasan dapat menyebabkan senyawa bikarbonat terurai menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), sehingga ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  terbebas dari air. Biasanya, senyawa bikarbonat tersebut akan mengendap di dasar wadah pemanas. (Evana & Achmad, 2018). Reaksi yang terjadi:



#### 2. Kesadahan tetap (permanent hardness)

Kesadahan tetap disebabkan oleh garam klorida ( $\text{Cl}^-$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dari ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  yang dikenal sebagai non-carbonate hardness (NCH). Air dengan kandungan senyawa-senyawa tersebut disebut air dengan kesadahan tetap, karena tidak dapat dihilangkan hanya dengan pemanasan. Kesadahan permanen hanya bisa dihilangkan dengan menambahkan zat tertentu. (Fajarwati & Efendi, 2023). Menurut Evana & Achmad (2018), kesadahan tetap bisa dihilangkan dengan cara pertukaran ion. Reagen yang digunakan adalah larutan karbonat:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (aq) atau  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (aq). Penambahan larutan karbonat bertujuan untuk mengendapkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan/atau  $\text{Mg}^{2+}$ , (Sulistyani dkk., 2012)

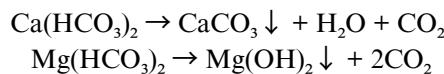
Hardness is a term that refers to water that contains cations that cause hardness. Usually, hardness is caused by the presence of metals or cations with a valence of 2, such as Fe, Sr, Mn, Ca, and Mg, but the main causes of hardness are calcium (Ca) and magnesium (Mg). Calcium in water can form compounds with bicarbonate, sulfate, chloride, and nitrate, while magnesium tends to form compounds with bicarbonate, sulfate, and chloride.

The level of water hardness varies depending on the location. Generally, groundwater has a high level of hardness due to contact with limestone in the soil layers through which the water passes. In contrast, surface water tends to have low hardness (called soft water). Non-carbonate hardness in surface water usually comes from calcium sulfate found in clay and other deposits. (Widayat, 2002).

### 4.5.1 Types of Hardness

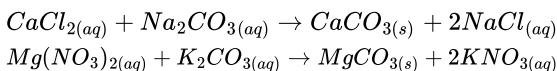
#### 1. Temporary hardness

Temporary hardness is caused by the presence of carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) and bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) salts from  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions known as carbonate hardness (CH). This type of water is said to have temporary hardness because the content of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions can be removed by heating. The heating process can cause bicarbonate compounds to decompose into carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and water ( $\text{H}_2\text{O}$ ), so that  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions are free from water. Usually, these bicarbonate compounds will settle at the bottom of the heating container. (Evana & Achmad, 2018). The reactions that occur:



2. Permanent hardness Permanent hardness is caused by chloride ( $\text{Cl}^-$ ), nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) salts of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions known as non-carbonate hardness (NCH). Water containing these compounds is called water with permanent hardness, because it cannot be removed by heating alone. Permanent hardness can only be removed by adding certain substances. (Fajarwati & Efendi, 2023). According to Evana & Achmad (2018), permanent hardness can be removed by ion exchange. The reagent used is a carbonate solution:  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$  or  $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ . The addition of carbonate solution aims to precipitate  $\text{Ca}^{2+}$  and/or  $\text{Mg}^{2+}$  ions, (Sulistyani et al., 2012)

sehingga terjadi reaksi sebagai berikut.



Kesadahan total air dihitung berdasarkan penjumlahan dari kesadahan sementara dan kesadahan tetap, yang dikenal sebagai kesadahan total (total hardness/TH), dengan rumus  $\text{TH} = \text{CH} + \text{NCH}$ , dan dinyatakan dalam satuan ppm (mg  $\text{CaCO}_3$  per liter air).

## 4.5.2 Dampak Kesadahan Air

Menurut Suryati, dkk. (2021) terdapat beberapa dampak negatif yang ditimbulkan oleh tingginya kesadahan air, yaitu sebagai berikut :

### 1.Kerusakan Peralatan Rumah Tangga

Air dengan kesadahan tinggi dapat menyebabkan terbentuknya kerak pada peralatan masak, kamar mandi, dan alat pemanas air. Kerak ini terdiri dari endapan mineral seperti kalsium dan magnesium yang dapat mempercepat kerusakan peralatan tersebut, mempersingkat umur pemakaian, dan menambah biaya perawatan atau penggantian.

### 2.Pemborosan Sabun

Air sadah mengurangi efektivitas sabun karena ion kalsium dan magnesium dalam air bereaksi dengan sabun, membentuk endapan yang tidak larut. Ini menyebabkan sabun sulit berbusa dan membutuhkan lebih banyak sabun untuk mencuci pakaian, mandi, atau membersihkan peralatan, sehingga memboroskan penggunaan sabun.

### 3.Penyumbatan Pipa dan Keran

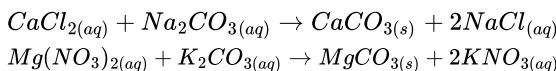
Kesadahan air dapat menyebabkan pengendapan mineral di dalam pipa, keran, atau sistem pemanas air. Endapan ini lama kelamaan dapat menyumbat aliran air, mengurangi tekanan air, serta meningkatkan risiko kerusakan sistem perpipaan. Hal ini bisa memerlukan perbaikan atau penggantian pipa yang lebih cepat dari biasanya.

## 4.6 Siklus Hidrologi

### 4.4.1 Pengertian dan Konsep Hidrologi

Hidrologi berasal dari bahasa Yunani, Hydro = Air, Logia = Ilmu, yang berarti Ilmu Air. Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air di bumi dalam segala bentukannya baik yang berupa cairan, padat, dan gas. Lebih lanjut, hidrologi juga mempelajari karakteristik air tersebut, baik sifat-sifat air, bentuk penyebarannya dan siklus air berlangsung di muka bumi (Salsabila & Nugraheni, 2020).

so that the following reaction occurs.



Total water hardness is calculated based on the sum of temporary hardness and permanent hardness, known as total hardness (TH), with the formula  $\text{TH} = \text{CH} + \text{NCH}$ , and is expressed in ppm (mg  $\text{CaCO}_3$  per liter of water).

## 4.5.2 Impact of Water Hardness

According to Suryati, et al. (2021), there are several negative impacts caused by high water hardness, namely:

### 1. Household Appliance Damage

Hard water can cause scale to form on cookware, bathroom appliances, and water heaters. This scale consists of mineral deposits such as calcium and magnesium that can accelerate the deterioration of these appliances, shorten their lifespan, and increase maintenance or replacement costs.

### 2. Soap Waste

Hard water reduces the effectiveness of soap because the calcium and magnesium ions in the water react with the soap, forming an insoluble precipitate. This makes it difficult for the soap to lather and requires more soap to wash clothes, bathe, or clean equipment, thus wasting soap.

### 3. Clogging Pipes and Faucets

Hard water can cause mineral deposits to build up in pipes, faucets, or the water heater system. Over time, these deposits can block water flow, reduce water pressure, and increase the risk of damage to the plumbing system. This can require repairs or replacement of pipes sooner than usual.

## 4.6 Hydrological Cycle

### 4.4.1 Definition and Concept of Hydrology

Hydrology comes from Greek, Hydro = Water, Logia = Science, which means Water Science. Hydrology is the science that studies water on earth in all its forms, whether in liquid, solid, and gas form. Furthermore, hydrology also studies the characteristics of water, both the properties of water, the form of its distribution and the water cycle that occurs on the earth's surface (Salsabila & Nugraheni, 2020).

Siklus hidrologi merupakan perputaran air di Bumi, siklus air tidak pernah berhenti dan jumlah air di permukaan bumi tidak berkurang. Sebaran air di bumi meliputi air laut (97 %), air tawar (3%). Air tawar dalam bentuk es dan salju (68,7%), air tanah (30,1%), air permukaan (0,3%) dan lainnya (0,9%). Air permukaan terdiri dari danau (87%), lahan basah/rawa (11%), dan sungai (2%) (Salsabila & Nugraheni, 2020).

### 4.6.2 Tahapan Siklus Hidrologi

Siklus Hidrologi adalah siklus air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer kebumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi, dan transpirasi.



Gambar 4.9 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi terus bergerak secara kontinu dalam tiga cara yang berbeda, yaitu: Siklus hidrologi, digambarkan dalam dua daur, yang pertama adalah daur pendek, yaitu hujan yang jatuh dari langit langsung ke permukaan laut, danau, sungai yang kemudian langsung mengalir kembali ke laut. Siklus yang kedua adalah siklus panjang, ditandai dengan tidak adanya keseragaman waktu yang diperlukan oleh suatu daur. Siklus kedua ini memiliki rute perjalanan yang lebih panjang dari pada siklus yang pertama (Salsabila & Nugraheni, 2020).

Siklus hidrologi pendek atau yang dikenal juga dengan siklus hidrologi kecil. Siklus hidrologi kecil ini merupakan siklus yang paling sederhana karena hanya melibatkan beberapa tahapan saja. Adapun beberapa tahapan yang ada di dalam siklus hidrologi pendek atau siklus hidrologi kecil ini antara lain sebagai berikut (Salsabila & Nugraheni, 2020):

1. Sinar matahari mengenai sumber-sumber air di Bumi dan akan membuat sumber air tersebut menjadi menguap.
2. Karena penguapan tersebut maka terjadi kondensasi sehingga kemudian membentuk awan yang mengandung uap air.
3. Awan yang mengandung uap air kemudian mengalami kejemuhan dan turunlah hujan di permukaan laut.

The hydrological cycle is the circulation of water on Earth, the water cycle never stops and the amount of water on the earth's surface does not decrease. The distribution of water on earth includes sea water (97%), fresh water (3%). Fresh water in the form of ice and snow (68.7%), groundwater (30.1%), surface water (0.3%) and others (0.9%). Surface water consists of lakes (87%), wetlands/swamps (11%), and rivers (2%) (Salsabila & Nugraheni, 2020).

## 4.6.2 Stages of the Hydrological Cycle

The Hydrological Cycle is a never-ending cycle of water from the atmosphere to the earth and back to the atmosphere through condensation, precipitation, evaporation, and transpiration.

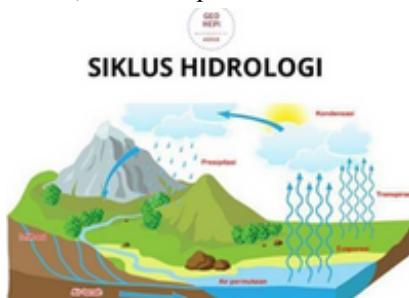


Figure 4. 9 Hydrological Cycle

The hydrological cycle continues to move continuously in three different ways, namely: The hydrological cycle, described in two cycles, the first is a short cycle, namely rain that falls from the sky directly to the surface of the sea, lakes, rivers which then flow directly back into the sea. The second cycle is a long cycle, characterized by the absence of uniformity in the time required by a cycle. This second cycle has a longer travel route than the first cycle (Salsabila & Nugraheni, 2020).

Short hydrological cycle or also known as the small hydrological cycle. This small hydrological cycle is the simplest cycle because it only involves a few stages. Some of the stages in the short hydrological cycle or small hydrological cycle include the following (Salsabila & Nugraheni, 2020):

Sunlight hits water sources on Earth and causes them to evaporate.

1. Due to this evaporation, condensation occurs, which then forms clouds containing water vapor.
2. Clouds containing water vapor then become saturated and rain falls on the sea surface.

Siklus air yang selanjutnya adalah siklus sedang. Siklus sedang tentunya memiliki proses yang sedikit lebih panjang daripada siklus hidrologi pendek. Adapun beberapa tahapan dari siklus hidrologi sedang ini antara lain sebagai berikut(Salsabila & Nugraheni, 2020):

1. Matahari menyinari permukaan Bumi termasuk sumber-sumber air (macam-macam laut, samudera dan launnya), sehingga sumber-sumber air terebut mengalami penguapan.
2. Kemudian terjadi evaporasi
3. Uap air yang telah terbentuk (hasil pemanasan) bergerak karena tertarik oleh angin ke darat.
4. Terbentuklah awan akibat dari pemanasan itu tadi.
5. Hujan turun di atas permukaan daratan Bumi
6. Air yang turun di daratan akan mengalir ke sungai kemudian mengalir lagi ke laut untuk kembali mengalami siklus hidrologi.

Selanjutnya adalah siklus hidrologi panjang atau siklus hidrologi besar. Siklus hidrologi panjang atau besar ini memiliki tahapan yang lebih kompleks daripada dua siklus di atas. Beberapa tahapan dari siklus hidrologi panjang antara lain sebagai berikut (Salsabila & Nugraheni, 2020):

1. Matahari menyinari permukaan Bumi termasuk sumber-sumber air (laut, samudera dan launnya), sehingga sumber-sumber air terebut mengalami penguapan.
2. Kemudian terjadi evaporasi
3. Kemudian uap air mengalami sublimasi
4. Uap air yang telah terbentuk dan mengalami sublimasi kemudian menyebabkan terbentuknya awan yang mengandung kristal-kristal es
5. Awan yang terbentuk kemudian bergerak ke darat karena tarikan angin
6. Kemudian terjadilah hujan di atas daratan bumi
7. Air yang turun di daratan akan mengalir ke sungai kemudian mengalir lagi ke laut untuk kembali mengalami siklus hidrologi.

The next water cycle is the medium cycle. The medium cycle certainly has a slightly longer process than the short hydrological cycle. Some of the stages of this medium hydrological cycle include the following (Salsabila & Nugraheni, 2020):

1. The sun shines on the Earth's surface including water sources (various seas, oceans and others), so that these water sources experience evaporation.
2. Then evaporation occurs
3. The water vapor that has formed (the result of heating) moves because it is blown by the wind to land.
4. Clouds formed as a result of the heating.
5. Rain falls on the Earth's land surface
6. Water that falls on land will flow into rivers and then flow again into the sea to experience the hydrological cycle again.

Next is the long hydrological cycle or large hydrological cycle. This long or large hydrological cycle has more complex stages than the two cycles above. Some stages of the long hydrological cycle include the following (Salsabila & Nugraheni, 2020):

1. The sun shines on the Earth's surface including water sources (seas, oceans and others), so that these water sources experience evaporation.
2. Then evaporation occurs
3. Then the water vapor undergoes sublimation
4. Water vapor that has formed and undergone sublimation then causes the formation of clouds containing ice crystals.
5. The clouds that are formed then move towards land due to the blowing wind.
6. Then it rained on the earth's land
7. Water that falls on land will flow into rivers and then flow again into the sea to experience the hydrological cycle again.

## 4.6.3 Peran Siklus Hidrologi pada Keseimbangan Air di Bumi

1. Distribusi Air: Siklus hidrologi memastikan bahwa air terdistribusi secara merata di seluruh permukaan bumi. Ini penting untuk menjaga ketersediaan air di berbagai ekosistem, baik darat maupun laut.
2. Kualitas Air: Proses siklus hidrologi membantu dalam penyaringan alami air. Ketika air meresap ke dalam tanah, ia disaring oleh lapisan tanah dan batuan, yang membantu menghilangkan kontaminan dan meningkatkan kualitas air tanah.
3. Ketersediaan Air: Siklus ini memastikan bahwa air yang digunakan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya selalu tersedia. Tanpa siklus hidrologi, air di bumi akan cepat habis karena tidak ada proses alami yang mengembalikannya ke sumber-sumber air.
4. Pengaturan Iklim: Siklus hidrologi juga berperan dalam pengaturan iklim. Proses evaporasi dan kondensasi membantu dalam distribusi panas di atmosfer, yang mempengaruhi pola cuaca dan iklim global.

## 4.6.4 Interaksi Kimia dalam Siklus Hidrologi

### 1. Peran air sebagai pelarut dalam proses kimia

Air merupakan material yang membuat kehidupan terjadi di bumi. Air merupakan sumber kehidupan pertama bagi manusia, selain bagi hewan dan tumbuhan. Air merupakan pelarut universal karena air dapat melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam keseimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Zat-zat yang bercampur dan larut baik dalam air (misalnya garam-garam) disebut sebagai zat-zat “hidrofilik”, dan zat-zat yang tidak mudah tercampur dengan air (misalnya lemak dan minyak), disebut sebagai zat-zat “hidrofobik”. Kelarutan suatu zat dalam air ditentukan oleh dapat tidaknya zat tersebut menandingi kekuatan gaya tarik-menarik listrik (gaya intermolekul dipol-dipol) antara molekul-molekul air. Jika suatu zat tidak mampu menandingi gaya tarik-menarik antar molekul air, molekul-molekul zat tersebut tidak larut dan akan mengendap dalam air (Nengsih, 2017).

### 2. Dampak hujan asam dan reaksi kimia di atmosfer

Hujan asam terjadi akibat proses percampuran antara air hujan dengan partikulat debu dan gas rumah kaca. Air hujan merupakan air yang berasal dari proses penguapan, kemudian mengalami kondensasi Sebelum sampai di permukaan bumi, air hujan mengalami proses percampuran dengan partikulat debu dan gas-gas rumah kaca yang ada di atmosfer dari aktivitas

### 4.6.3 The Role of the Hydrological Cycle in Water Balance on Earth

1. Water Distribution: The hydrological cycle ensures that water is evenly distributed across the Earth's surface. This is essential for maintaining water availability in various ecosystems, both terrestrial and marine.
2. Water Quality: The hydrologic cycle process helps in the natural filtration of water. As water seeps into the ground, it is filtered by layers of soil and rocks, which helps remove contaminants and improves groundwater quality.
3. Water Availability: This cycle ensures that water used by humans and other living things is always available. Without the hydrological cycle, the water on earth would quickly run out because there would be no natural process to return it to water sources.
4. Climate Regulation: The hydrologic cycle also plays a role in climate regulation. The processes of evaporation and condensation help in the distribution of heat in the atmosphere, which influences global weather and climate patterns.

### 4.6.4 Chemical Interactions in the Hydrological Cycle

1. The role of water as a solvent in chemical processes

Water is the material that makes life happen on earth. Water is the first source of life for humans, besides for animals and plants. Water is a universal solvent because it can dissolve many chemicals. Water is in dynamic equilibrium between the liquid and solid phases under standard pressure and temperature. Substances that mix and dissolve well in water (such as salts) are called "hydrophilic" substances, and substances that do not mix easily with water (such as fats and oils), are called "hydrophobic" substances. The solubility of a substance in water is determined by whether or not the substance can match the strength of the electric attraction (intermolecular dipole-dipole force) between water molecules. If a substance is unable to match the attraction between water molecules, the molecules of the substance will not dissolve and will precipitate in water (Nengsih, 2017).

2. The impact of acid rain and chemical reactions in the atmosphere

Acid rain occurs due to the mixing process between rainwater with dust particles and greenhouse gases. Rainwater is water that comes from the evaporation process, then undergoes condensation. Before reaching the earth's surface, rainwater undergoes a mixing process with dust particles and greenhouse gases in the atmosphere from human activities.

manusia dan aktivitas alam. Selain partikulat debu dan gas rumah kaca, air hujan yang turun sebagai hasil dari proses penguapan juga membawa zat-zat dan senyawa yang berasal dari lautan, karena kita ketahui bahwa penguapan terbesar terjadi di laut dibandingkan daratan (Alfiandy et al., 2021).

Akibat dari proses percampuran antara air hujan dengan partikulat debu dan gas rumah kaca, hujan yang sampai di permukaan bumi akan menjadi asam atau memiliki nilai derajat keasaman (pH) yang rendah bahkan sangat rendah yakni <5.6, hasil dari proses tersebut dinamakan sebagai hujan asam. Hujan asam biasa terjadi pada daerah- daerah yang padat penduduk dan banyaknya aktivitas manusia dalam penggunaan kendaraan bermotor, terdapat pabrik dan dekat dengan gunung berapi yang masih aktif. Curah hujan dan partikulat debu memiliki nilai korelasi negatif yang cukup karena partikulat debu akan larut bersamaan dengan air hujan yang jatuh ke permukaan (Alfiandy et al., 2021).

Proses hujan asam dapat terjadi akibat adanya aktivitas manusia dan aktivitas alam yang menimbulkan munculnya gas-gas penyebab hujan asam seperti karbondioksida, karbon monoksida, sulfur dioksida dan hidrogen. Gas-gas tersebut akan mengendap bahkan larut bersamaan uap air yang telah menjadi embun maupun turun sebagai hujan (Alfiandy et al., 2021).

Penyebab terjadinya hujan asam karena adanya pertemuan gas hasil proses pembakaran bahan bakar dari kendaraan bermotor maupun aktivitas alam berupa karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) yang bertemu dengan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yang telah tercampur dengan senyawa lain hasil penguapan hingga membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), hasil dari pertemuan gas tersebut termasuk ke dalam kategori asam lemah. Kemudian gas hasil pembakaran atau pemanasan dari belerang berupa hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan sulfur oksida ( $\text{SO}_2$ ) yang bertemu dengan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) akan membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), hasil dari pertemuan gas tersebut termasuk ke dalam kategori asam kuat (Alfiandy et al., 2021).

Hujan asam dapat memberikan banyak sekali dampak bagi lingkungan dan manusia termasuk juga lingkungan perairan dan biota laut. Hujan asam ini dapat merusak ekosistem air (Alfiandy et al., 2021). Hujan asam juga memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan, termasuk kerusakan terhadap tanaman termasuk juga tanaman yang terdapat diair. Asam sulfat dan asam nitrat yang terlarut dalam hujan asam dapat merusak

humans and natural activities. In addition to dust particles and greenhouse gases, rainwater, which falls as a result of the evaporation process also carries substances and compounds originating from the ocean, because we know that the greatest evaporation occurs in the sea compared to land (Alfiandy et al., 2021).

As a result of the mixing process between rainwater with dust particles and greenhouse gases, rain that reaches the earth's surface will become acidic or have a low or even very low acidity value (pH) of <5.6, the result of this process is called acid rain. Acid rain usually occurs in densely populated areas and high human activity in the use of motorized vehicles, there are factories and close to active volcanoes. Rainfall and dust particles have a fairly negative correlation value because dust particles will dissolve together with rainwater that falls to the surface (Alfiandy et al., 2021).

The acid rain process can occur due to human activities and natural activities that cause the emergence of gases that cause acid rain such as carbon dioxide, carbon monoxide, sulfur dioxide and hydrogen. These gases will settle or even dissolve together with water vapor that has become dew or falls as rain (Alfiandy et al., 2021).

The cause of acid rain is due to the meeting of gases resulting from the combustion process of fuel from motor vehicles or natural activities in the form of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and carbon monoxide ( $\text{CO}$ ) which meet with water vapor ( $\text{H}_2\text{O}$ ) which has been mixed with other compounds resulting from evaporation to form carbonic acid ( $\text{H}_2\text{CO}$ ), the result of the meeting of these gases is included in the category of weak acids. Then the gas resulting from combustion or heating of sulfur in the form of hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) and sulfur oxide ( $\text{SO}_2$ ) which meets water vapor ( $\text{H}_2\text{O}$ ) will form sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), the result of the meeting of these gases is included in the category of strong acids (Alfiandy et al., 2021).

Acid rain can have many impacts on the environment and humans, including the aquatic environment and marine biota. This acid rain can damage the aquatic ecosystem (Alfiandy et al., 2021). Acid rain also has significant negative impacts on the environment, including damage to plants including plants found in water. Sulfuric acid and nitric acid dissolved in acid rain can damage

daun tanaman, menghambat fotosintesis, dan mengganggu pertumbuhan tanaman. Hujan asam yang mencemari air sungai dan danau dapat membahayakan kehidupan akuatik, seperti ikan dan makhluk air lainnya. Hujan asam juga dapat mempengaruhi keadaan fisik tubuh dan pertumbuhan tanaman akibat erosi yang terus menerus terjadi pada tanah (Dreamyseila et al., 2024).

Hujan asam terbentuk akibat ketidakseimbangan ekosistem sehingga diperlukan berbagai upaya untuk meminimalisir terjadinya hujan asam ini supaya tidak menimbulkan dampak yang negatif bagi ekosistem maupun biota laut. Beberapa cara yang bisa dilakukan diantaranya yaitu dengan cara mendaur ulang semua kertas, kaca, logam maupun plastik dan barang-barang elektronik yang sudah tidak terpakai. Selain itu pengomposan menggunakan makanan dapat membantu mengurangi dampak iklim dan mendaur ulang nutrisi yang diperoleh. Selanjutnya bisa mengurangi konsumsi daging, memilih produk yang bisa digunakan kembali, dan membeli produk yang ramah lingkungan (Dreamyseila1 et al., 2024).

Selain itu terdapat beberapa cara yang bisa diterapkan untuk menanggulangi dampak hujan asam terhadap ekosistem diperairan diantaranya yaitu melakukan pemulihan ekosistem dengan cara melakukan penanaman mangrove dan terumbu karang yang rusak, membersihkan perairan dari sampah dan limbah serta melakukan pengecekan berkala teradap pH air, logam berat dan zat pencemar.

## **4.7 Dampak Aktivitas Manusia terhadap Reaksi Kimia di Perairan**

### **4.7.1 Pencemaran Air**

Menurut para ahli, pencemaran air adalah masuknya zat, organisme, energi, atau komponen lain yang berasal dari aktivitas manusia ke dalam air, yang menyebabkan kualitas air menurun sehingga tidak dapat digunakan sesuai fungsinya. Sumber pencemaran ini bervariasi, mulai dari limbah industri hingga rumah tangga, yang mengubah karakteristik fisik, kimia, dan biologis air. Zat pencemar sering kali meliputi bahan kimia berbahaya yang kadarnya melebihi ambang batas alami, menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Aktivitas manusia yang terus meningkat, terutama akibat pertumbuhan populasi, memperburuk masalah pencemaran air dan mengancam ketersediaan air bersih (Hanum et al., 2022).

plant leaves, inhibit photosynthesis, and disrupt plant growth. Acid rain that pollutes river and lake water can harm aquatic life, such as fish and other aquatic creatures. Acid rain can also affect the physical condition of the body and plant growth due to continuous erosion of the soil (Dreamyseila et al., 2024).

Acid rain is formed due to an imbalance in the ecosystem, so various efforts are needed to minimize the occurrence of acid rain so that it does not cause negative impacts on the ecosystem or marine biota. Some ways that can be done include recycling all paper, glass, metal or plastic and electronic goods that are no longer used. In addition, composting using food can help reduce climate impacts and recycle the nutrients obtained. Furthermore, you can reduce meat consumption, choose products that can be reused, and buy environmentally friendly products (Dreamyseila1 et al., 2024).

In addition, there are several ways that can be applied to overcome the impact of acid rain on aquatic ecosystems, including restoring ecosystems by planting damaged mangroves and coral reefs, cleaning waters from garbage and waste, and conducting regular checks on water pH, heavy metals and pollutants.

## **4.7 Impact of Human Activities on Chemical Reactions in Water**

### **4.7.1 Water Pollution**

According to experts, water pollution is the entry of substances, organisms, energy, or other components originating from human activities into water, which causes the quality of the water to decrease so that it cannot be used according to its function. The sources of this pollution vary, from industrial to household waste, which changes the physical, chemical, and biological characteristics of water. Pollutants often include hazardous chemicals whose levels exceed natural thresholds, posing a threat to human health and the environment. Increasing human activities, especially due to population growth, exacerbate the problem of water pollution and threaten the availability of clean water (Hanum et al., 2022).

Contoh nyata dari pencemaran air dapat dilihat pada Sungai Winongo, di mana limbah industri, domestik, dan peternakan, ditambah dengan sistem sanitasi yang buruk, telah menurunkan kualitas air sungai. Parameter pencemaran seperti BOD, COD, nitrat, detergen, fenol, dan coliform di sungai ini menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi (Hanum et al., 2022).

Meskipun beberapa kejadian alam seperti letusan gunung berapi atau badi dapat memengaruhi kualitas air, pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia merupakan fokus utama dalam konteks hukum lingkungan (Wijaya, 2020).

## 4.7.2 Indikator Pencemaran Air

1. Pengamatan fisik, melibatkan observasi kejernihan air, perubahan suhu, warna, bau, dan rasa.
2. Pengamatan kimiawi, termasuk analisis zat terlarut seperti COD, BOD, DO, dan pH air.
3. Pengamatan biologis, berdasarkan keberadaan mikroorganisme, khususnya bakteri patogen dalam air (Wijaya, 2020).

## 4.7.3 Pencemaran Air oleh Limbah Industri

Pencemaran oleh limbah industri telah menjadi masalah utama dalam isu lingkungan. Pesatnya industrialisasi menyebabkan peningkatan limbah berbahaya dari berbagai sektor, termasuk industri makanan, farmasi, tekstil, kimia, energi, pupuk, dan kertas (Wijaya, 2020). Limbah industri sering mengandung bahan beracun seperti logam berat, pelarut organik, dan senyawa organoklorin yang tergolong limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

Limbah B3 mencemari lingkungan hidup dan berisiko bagi kesehatan manusia. Misalnya, logam berat seperti merkuri, timbal, dan kadmium dapat terakumulasi dalam ekosistem dan membahayakan kesehatan melalui rantai makanan (Purnamawati et al., 2014 dalam Susanto et al., 2021). Selain itu, pelarut organik seperti toluena dan benzena juga merusak ekosistem perairan. Limbah dari industri tekstil, pupuk, dan farmasi menambah beban pencemaran air jika tidak diolah dengan benar.

A real example of water pollution can be seen in the Winongo River, where industrial, domestic, and livestock waste, coupled with poor sanitation systems, have reduced the quality of river water. Pollution parameters such as BOD, COD, nitrate, detergent, phenol, and coliform in this river show high levels of pollution (Hanum et al., 2022).

Although some natural events such as volcanic eruptions or storms can affect water quality, pollution caused by human activities is the main focus in the context of environmental law (Wijaya, 2020).

### 4.7.2 Water Pollution Indicators

1. Physical observations, involving observations of water clarity, temperature changes, color, odor, and taste.
2. Chemical observations, including analysis of dissolved substances such as COD, BOD, DO, and water pH.
3. Biological observations, based on the presence of microorganisms, especially pathogenic bacteria in water (Wijaya, 2020).

### 4.7.3 Water Pollution by Industrial Waste

Pollution by industrial waste has become a major problem in environmental issues. Rapid industrialization has led to an increase in hazardous waste from various sectors, including the food, pharmaceutical, textile, chemical, energy, fertilizer, and paper industries (Wijaya, 2020). Industrial waste often contains toxic materials such as heavy metals, organic solvents, and organochlorine compounds which are classified as B3 waste (Hazardous and Toxic Materials).

B3 waste pollutes the environment and poses a risk to human health. For example, heavy metals such as mercury, lead, and cadmium can accumulate in the ecosystem and endanger health through the food chain (Purnamawati et al., 2014 in Susanto et al., 2021). In addition, organic solvents such as toluene and benzene also damage aquatic ecosystems. Waste from the textile, fertilizer, and pharmaceutical industries adds to the burden of water pollution if not treated properly.

#### 4.7.4 Pencemaran Air oleh Limbah Domestik

Limbah domestik, yang berasal dari aktivitas rumah tangga dan komersial, juga menjadi sumber pencemaran. Limbah ini mengandung bahan organik dan anorganik yang dapat mencemari badan air. Air limbah domestik, terutama dari dapur, kamar mandi, dan septic tank, mengandung senyawa kimia dan kontaminan biologis yang berpotensi merusak kualitas air (Kholif, 2020). Sumber pencemaran limbah domestik meliputi:

- a.Kegiatan rumah tangga, seperti mandi, mencuci, dan limbah dapur.
- b.Kegiatan komersial, seperti limbah dari rumah sakit, hotel, restoran.
- c.Kegiatan domestik dalam industri, seperti limbah dari kantin industri.
- d.Peternakan, seperti limbah dari rumah potong hewan

#### 4.7.5 Dampak Pencemaran Air pada Organisme Hidup

Pencemaran air yang disebabkan oleh limbah industri dan domestik berdampak langsung pada kehidupan organisme akuatik. Zat-zat berbahaya seperti logam berat, senyawa organik, dan bahan kimia beracun dapat meracuni hewan dan tumbuhan di perairan. Proses bioakumulasi, di mana bahan beracun ini terakumulasi dalam tubuh organisme, terutama ikan, dapat berlanjut ke manusia yang mengonsumsi hasil perikanan tersebut. Selain itu, penurunan kualitas air akibat limbah juga dapat menyebabkan hilangnya habitat bagi organisme air, yang berujung pada penurunan keanekaragaman hayati. Sebagai contoh, eutrofikasi yang dipicu oleh limbah kaya nutrien seperti fosfat dan nitrat dari detergen rumah tangga menyebabkan ledakan populasi alga, yang pada gilirannya mengurangi kadar oksigen dalam air, mengakibatkan kematian massal ikan dan organisme lainnya (Kholif, 2020).

#### 4.7.6 Upaya Pengelolaan dan Pengolahan Limbah

Untuk mengatasi dampak pencemaran air, pengelolaan air limbah menjadi sangat penting. Salah satu teknologi yang digunakan adalah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), yang dirancang untuk menghilangkan bahan-bahan berbahaya dari limbah industri sebelum dilepaskan ke lingkungan. IPAL bekerja melalui beberapa tahap, seperti filtrasi fisik, pengendapan, hingga proses biologis dan kimia untuk mengurangi kandungan polutan dalam air. Pemerintah juga telah mengatur standar baku mutu air limbah yang harus dipatuhi oleh industri untuk meminimalkan dampak pencemaran. Di samping itu, penerapan prinsip-prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle) dalam pengelolaan limbah domestik dapat menjadi solusi praktis bagi masyarakat untuk mengurangi pencemaran air dari limbah rumah tangga

## 4.7.4 Water Pollution by Domestic Waste

Domestic waste, which comes from household and commercial activities, is also a source of pollution. This waste contains organic and inorganic materials that can pollute water bodies. Domestic wastewater, especially from kitchens, bathrooms, and septic tanks, contains chemical compounds and biological contaminants that have the potential to damage water quality (Kholif, 2020). Sources of domestic waste pollution include:

- a. Household activities, such as bathing, washing, and kitchen waste.
- b. Commercial activities, such as waste from hospitals, hotels, restaurants.
- c. Domestic activities in industry, such as waste from industrial canteens.
- d. Livestock, such as waste from slaughterhouses

## 4.7.5 Impact of Water Pollution on Living Organisms

Water pollution caused by industrial and domestic waste has a direct impact on the lives of aquatic organisms. Hazardous substances such as heavy metals, organic compounds, and toxic chemicals can poison animals and plants in the water. The bioaccumulation process, where these toxic materials accumulate in the bodies of organisms, especially fish, can continue to humans who consume the fishery products. In addition, the decline in water quality due to waste can also cause habitat loss for aquatic organisms, leading to a decrease in biodiversity. For example, eutrophication triggered by nutrient-rich waste such as phosphates and nitrates from household detergents causes an explosion of algae populations, which in turn reduces oxygen levels in the water, resulting in mass deaths of fish and other organisms (Kholif, 2020).

## 4.7.6 Waste Management and Processing Efforts

To overcome the impact of water pollution, wastewater management is very important. One of the technologies used is the Wastewater Treatment Plant (WWTP), which is designed to remove hazardous materials from industrial waste before it is released into the environment. WWTP works through several stages, such as physical filtration, sedimentation, to biological and chemical processes to reduce the pollutant content in water. The government has also set wastewater quality standards that must be adhered to by industry to minimize the impact of pollution. In addition, the application of the 3R principles (Reduce, Reuse, Recycle) in domestic waste management can be a practical solution for the community to reduce water pollution from household waste

## 4.8 Eutrofikasi dan Dampaknya pada Reaksi Kimia di Perairan

Limbah organik yang dihasilkan dari aktivitas industri dan domestik, seperti di wilayah Tangerang, merupakan salah satu pemicu utama terjadinya eutrofikasi di ekosistem perairan. Eutrofikasi terjadi ketika konsentrasi bahan organik, terutama nutrien seperti fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), mengalami peningkatan drastis. Nutrien ini merangsang pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara berlebihan (algal bloom), yang pada akhirnya menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut, mengganggu keseimbangan ekosistem, serta memicu kematian organisme akuatik (Simbolon, 2016).

Kandungan nitrat dan fosfat yang tinggi dalam air sering kali berasal dari limbah domestik, pertanian, dan industri. Nutrien ini menjadi sumber makanan bagi fitoplankton dan tumbuhan air. Ketika konsentrasi nitrat dan fosfat melebihi ambang batas yang dapat ditoleransi lingkungan, proses eutrofikasi menjadi semakin cepat. Alga yang tumbuh secara berlebihan juga menghambat penetrasi cahaya ke dalam air, yang berdampak negatif pada proses fotosintesis tumbuhan air serta menyebabkan penurunan oksigen terlarut (Simbolon, 2016). Di Waduk Sermo, selain air hujan, limbah dari budidaya ikan turut berkontribusi dalam meningkatkan akumulasi nitrogen (N) dan fosfor (P) di dalam air (Rustadi, 2009).

Kelebihan konsentrasi nitrogen dan fosfor memicu ledakan fitoplankton, yang berakibat pada penurunan kualitas air, seperti meningkatnya kekeruhan dan turunnya kadar oksigen terlarut (Rustadi, 2009). Dalam situasi tersebut, eutrofikasi juga dapat mengganggu keseimbangan kimia air dengan meningkatkan kadar amonia ( $\text{NH}_3$ ), yang berpotensi menghasilkan senyawa toksik bagi kehidupan akuatik.

Proses dekomposisi bahan organik yang membosuk menghasilkan amonia, menyebabkan air menjadi keruh dan berbau tidak sedap. Jika kondisi ini dibiarkan, eutrofikasi dapat memperburuk kualitas air dan menurunkan keanekaragaman hayati di perairan tersebut (Simbolon, 2016).

Selama proses eutrofikasi, nitrogen dalam bentuk ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) serta fosfor dalam bentuk fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dimanfaatkan oleh fitoplankton untuk proses fotosintesis. Namun, ketika konsentrasi nutrien ini terlalu tinggi, terjadi peningkatan konsumsi oksigen saat dekomposisi

## 4.8 Eutrophication and its Impact on Chemical Reactions in Water

Organic waste generated from industrial and domestic activities, such as in the Tangerang area, is one of the main triggers for eutrophication in aquatic ecosystems. Eutrophication occurs when the concentration of organic matter, especially nutrients such as phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) and nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), increases drastically. These nutrients stimulate the growth of algae and aquatic plants excessively (algal bloom), which ultimately causes a decrease in dissolved oxygen levels, disrupts the balance of the ecosystem, and triggers the death of aquatic organisms (Simbolon, 2016).

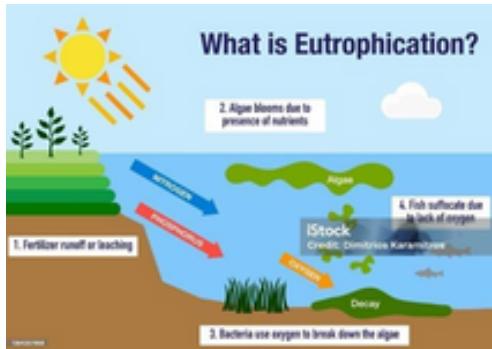
High nitrate and phosphate content in water often comes from domestic, agricultural, and industrial waste. These nutrients are a food source for phytoplankton and aquatic plants. When nitrate and phosphate concentrations exceed the threshold that can be tolerated by the environment, the eutrophication process becomes faster. Excessive algae growth also inhibits light penetration into the water, which has a negative impact on the photosynthesis process of aquatic plants and causes a decrease in dissolved oxygen (Simbolon, 2016). In Sermo Reservoir, in addition to rainwater, waste from fish farming also contributes to increasing the accumulation of nitrogen (N) and phosphorus (P) in the water (Rustadi, 2009).

Excess concentrations of nitrogen and phosphorus trigger phytoplankton explosions, which result in decreased water quality, such as increased turbidity and decreased dissolved oxygen levels (Rustadi, 2009). In such situations, eutrophication can also disrupt the chemical balance of water by increasing ammonia ( $\text{NH}_3$ ) levels, which have the potential to produce toxic compounds for aquatic life.

The decomposition process of rotting organic matter produces ammonia, causing the water to become cloudy and smell bad. If this condition is left untreated, eutrophication can worsen water quality and reduce biodiversity in the waters (Simbolon, 2016).

During the eutrophication process, nitrogen in the form of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) and nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and phosphorus in the form of phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) are utilized by phytoplankton for photosynthesis. However, when the concentration of these nutrients is too high, there is an increase in oxygen consumption during decomposition.

fitoplankton yang mati, yang menyebabkan penurunan drastis oksigen terlarut dan mendorong pembentukan gas beracun seperti hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) (Rustadi, 2009). Dalam kondisi anoksik (tanpa oksigen), dekomposisi bahan organik juga menghasilkan senyawa berbahaya lain seperti gas metana, yang tidak hanya beracun bagi biota akuatik, tetapi juga mengurangi kualitas air dan daya dukung lingkungan (Rustadi, 2009).



Gambar 4. 10 Eutrofikasi perairan

Untuk mengendalikan eutrofikasi, diperlukan pengelolaan ekosistem perairan yang berfokus pada pengurangan masukan nutrien, terutama nitrogen dan fosfor. Pengawasan ketat terhadap kualitas air dan penerapan langkah-langkah pengendalian nutrien, baik dari sumber eksternal maupun internal, sangat penting untuk memastikan beban pencemaran tidak melebihi daya dukung lingkungan. Sebagai contoh, di Danau Rawapening, upaya pengendalian eutrofikasi dilakukan dengan mempertimbangkan morfologi dan hidrologi danau untuk memastikan bahwa kapasitas perairan dapat menampung beban nutrien tanpa memicu eutrofikasi yang parah (Piranti, 2019).

#### 4.8.1 Dampak Perubahan Iklim terhadap Siklus Hidrologi

Perubahan iklim berdampak langsung pada siklus hidrologi global, terutama melalui perubahan pola curah hujan dan peningkatan suhu. Akibat dari efek rumah kaca, peningkatan suhu global menyebabkan evapotranspirasi yang lebih tinggi, yang pada akhirnya meningkatkan intensitas curah hujan di beberapa daerah. Namun, distribusi curah hujan yang tidak merata ini sering kali mengakibatkan pergeseran pola aliran sungai, terjadinya banjir musiman, dan kekeringan yang berkepanjangan di wilayah lain (Nufutomo, 2022). Kondisi ini mengubah keseimbangan siklus hidrologi yang sudah ada, menyebabkan variabilitas yang lebih besar dalam ketersediaan air.

dead phytoplankton, which causes a drastic decrease in dissolved oxygen and encourages the formation of toxic gases such as hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) (Rustadi, 2009). In anoxic conditions (without oxygen), the decomposition of organic matter also produces other hazardous compounds such as methane gas, which is not only toxic to aquatic biota, but also reduces water quality and environmental carrying capacity (Rustadi, 2009).

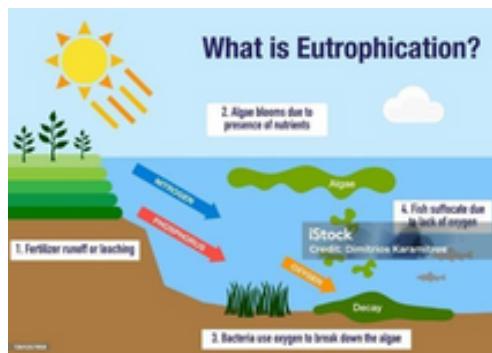


Figure 4. 10 Eutrophication of waters

To control eutrophication, aquatic ecosystem management is needed that focuses on reducing nutrient inputs, especially nitrogen and phosphorus. Strict monitoring of water quality and implementation of nutrient control measures, both from external and internal sources, are essential to ensure that pollution loads do not exceed environmental carrying capacity. For example, in Lake Rawapening, eutrophication control efforts are carried out by considering the morphology and hydrology of the lake to ensure that the water capacity can accommodate nutrient loads without triggering severe eutrophication (Piranti, 2019).

#### 4.8.1 Impact of Climate Change on the Hydrological Cycle

Climate change has a direct impact on the global hydrological cycle, primarily through changes in rainfall patterns and increased temperatures. As a result of the greenhouse effect, increasing global temperatures cause higher evaporation, which ultimately increases rainfall intensity in some areas. However, this uneven distribution of rainfall often results in shifts in river flow patterns, seasonal flooding, and prolonged droughts in other areas (Nufutomo, 2022). These conditions change the existing balance of the hydrological cycle, causing greater variability in water availability.

Data dari laporan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) dan berbagai kajian lokal di Indonesia menunjukkan bahwa perubahan pola curah hujan sudah mulai terlihat, dengan beberapa wilayah mengalami peningkatan curah hujan, sementara wilayah lain justru mengalami penurunan. Wilayah pesisir seperti Jawa, Bali, dan Sumatera menghadapi tantangan serius dari intrusi air laut serta berkurangnya ketersediaan air bersih sebagai akibat langsung dari perubahan pola curah hujan dan kenaikan muka air laut (Rejekiningrum, 2014). Hal ini menambah beban bagi masyarakat yang hidup di kawasan pesisir, yang harus beradaptasi dengan kondisi air yang semakin tidak menentu dan berkualitas buruk.

Di samping itu, perubahan suhu akibat pemanasan global berkontribusi pada percepatan kinetika reaksi kimia di ekosistem perairan. Suhu yang lebih tinggi mempercepat laju dekomposisi bahan organik di dalam air, yang pada akhirnya meningkatkan konsumsi oksigen terlarut. Penurunan oksigen ini memperburuk kualitas air dan mengancam kehidupan biota air, serta meningkatkan risiko akumulasi kontaminan seperti logam berat dan nutrien berlebihan (Nafutomo, 2022). Selain itu, laju evaporasi yang lebih cepat akibat kenaikan suhu memperburuk kondisi kekeringan banyak wilayah. Hal ini sangat berdampak di daerah seperti Jawa dan Nusa Tenggara, di mana curah hujan semakin berkurang, sehingga memperparah krisis air dan mendorong kebutuhan akan pengelolaan air yang lebih efisien (Rejekiningrum, 2014).

Fluktuasi volume air yang drastis, serta peningkatan sedimentasi, berdampak buruk pada ekosistem air tawar. Perubahan tersebut memengaruhi habitat organisme air, menurunkan biodiversitas, dan mengganggu keseimbangan ekosistem di sungai serta danau. Jika perubahan ini dikombinasikan dengan meningkatnya pencemaran akibat aktivitas manusia, kualitas air semakin menurun, menjadikan air tawar lebih sulit diakses oleh masyarakat dan mengurangi daya dukung lingkungan (Nafutomo, 2022).

Selain itu, dampak dari pemanasan global juga terlihat pada kenaikan muka air laut yang mengakibatkan intrusi air laut ke wilayah pesisir. Hal ini memperburuk kualitas sumber air tawar, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, di mana intrusi air laut menjadi masalah serius yang mengurangi ketersediaan air bersih untuk kebutuhan domestik, pertanian, dan industri. Masalah ini diperparah oleh tekanan urbanisasi dan penurunan

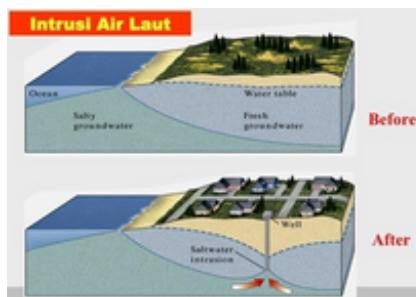
Data from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) report and various local studies in Indonesia show that changes in rainfall patterns have begun to appear, with some areas experiencing increased rainfall, while other areas are actually decreasing. Coastal areas such as Java, Bali, and Sumatra face serious challenges from seawater intrusion and reduced availability of clean water as a direct result of changing rainfall patterns and rising sea levels (Rejekiningrum, 2014). This adds to the burden on people living in coastal areas, who must adapt to increasingly uncertain and poor-quality water conditions.

In addition, temperature changes due to global warming contribute to the acceleration of chemical reaction kinetics in aquatic ecosystems. Higher temperatures accelerate the rate of decomposition of organic matter in water, which ultimately increases the consumption of dissolved oxygen. This decrease in oxygen worsens water quality and threatens the lives of aquatic biota, as well as increasing the risk of accumulation of contaminants such as heavy metals and excessive nutrients (Nafutomo, 2022). In addition, faster evaporation rates due to rising temperatures worsen drought conditions in many areas. This has a major impact on areas such as Java and Nusa Tenggara, where rainfall is decreasing, exacerbating the water crisis and driving the need for more efficient water management (Rejekiningrum, 2014).

Drastic fluctuations in water volume, as well as increased sedimentation, have a negative impact on freshwater ecosystems. These changes affect the habitat of aquatic organisms, reduce biodiversity, and disrupt the balance of ecosystems in rivers and lakes. When these changes are combined with increasing pollution from human activities, water quality further declines, making freshwater more difficult for people to access and reducing environmental carrying capacity (Nafutomo, 2022).

In addition, the impact of global warming is also seen in the rise in sea levels which results in seawater intrusion into coastal areas. This worsens the quality of freshwater sources, especially in big cities like Jakarta, where seawater intrusion is a serious problem that reduces the availability of clean water for domestic, agricultural, and industrial needs. This problem is exacerbated by the pressure of urbanization and the decline

muka tanah yang telah berlangsung lama di daerah tersebut (Rejekiningrum, 2014). Akumulasi faktor-faktor ini menciptakan tantangan yang kompleks bagi pengelolaan sumber daya air, memerlukan tindakan mitigasi yang serius dan strategi adaptasi yang efektif untuk menjaga kelestarian ekosistem perairan dan menyediakan air bersih bagi masyarakat.



Gambar 4. 11 Intrusi air laut

#### 4.8.2 Contoh Metode Penanganan Limbah di Perairan

1. Filtrasasi terbukti efektif dalam menurunkan nilai BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand) dalam limbah cair. Filrasasi dapat menyaring dan menghilangkan materi organik terlarut dan terikat, sehingga mengurangi konsentrasi materi organik yang dapat menyebabkan BOD dan COD yang tinggi dalam air limbah (Legawa et al., 2024)
2. Elektrokoagulasi, merupakan gabungan proses elektrokimia dan koagulasi-flokulasi untuk pengolahan limbah cair dan radioaktif. Metode ini dapat menghasilkan reaksi kimia yang menetralisir pH air limbah, sehingga mengubah pH air limbah menjadi lebih netral. Selain itu, elektrokoagulasi juga dapat mengurangi konsentrasi kontaminan organik dengan cara menghasilkan oksigen aktif (radikal hidroksil) (Legawa et al., 2024).
3. Teknologi plasma menggunakan high-energy plasma untuk menangkap partikel-padatan terlarut dan tersuspensi dalam air limbah. Proses plasma menghasilkan reaksi oksidasi dan degradasi, yang mengakibatkan pemecahan molekul kompleks kontaminan menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah terdegradasi. Hal ini dapat berdampak positif pada reduksi konsentrasi COD dalam air limbah (Legawa et al., 2024).
4. Bioremediasi dan fitoremediasi melibatkan campur tangan mikroorganisme dan ganggang untuk menguraikan senyawa-senyawa beracun dalam limbah. Prosès ini efektif dalam menghilangkan logam-logam berat dan senyawa-senyawa toksik lainnya (Nanda et al., 2024).

land surface that has been going on for a long time in the area (Rejekiningrum, 2014). The accumulation of these factors creates complex challenges for water resources management, requiring serious mitigation measures and effective adaptation strategies to maintain the sustainability of aquatic ecosystems and provide clean water for the community.

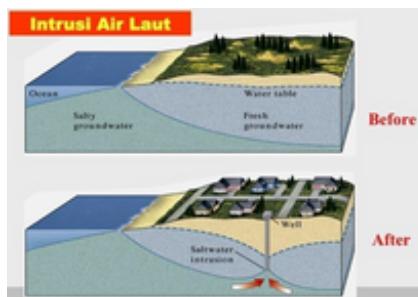


Figure 4. 11 Seawater intrusion

## 4.8.2 Examples of Waste Management Methods in Waters

1. Filtration has been proven effective in reducing BOD (Biochemical Oxygen Demand) and COD (Chemical Oxygen Demand) values in liquid waste. Filtration can filter and remove dissolved and bound organic matter, thereby reducing the concentration of organic matter that can cause high BOD and COD in wastewater (Legawa et al., 2024).
2. Electrocoagulation, is a combination of electrochemical and coagulation-flocculation processes for the treatment of liquid and radioactive waste. This method can produce a chemical reaction that neutralizes the pH of wastewater, thereby changing the pH of wastewater to be more neutral. In addition, electrocoagulation can also reduce the concentration of organic contaminants by producing active oxygen (hydroxyl radicals) (Legawa et al., 2024).
3. Plasma technology uses high-energy plasma to capture dissolved and suspended solids in wastewater. The plasma process produces oxidation and degradation reactions, resulting in the breakdown of complex contaminant molecules into simpler, more easily degradable compounds. This can have a positive impact on reducing COD concentrations in wastewater (Legawa et al., 2024).
4. Bioremediation and phytoremediation involve the intervention of microorganisms and algae to decompose toxic compounds in waste. This process is effective in removing heavy metals and other toxic compounds (Nanda et al., 2024).

### 4.8.3 Upaya Pencegahan Terhadap Limbah Perairan

1. Pengelolaan Limbah yang Efektif. Pengelolaan limbah secara efektif, termasuk penggunaan teknologi ramah lingkungan dan sistem pengolahan yang efisien, merupakan salah satu cara untuk mencegah limbah di perairan (Hassan et al., 2021)
2. Edukasi Masyarakat. Edukasi masyarakat mengenai dampak buruk limbah bagi lingkungan sangat penting untuk meningkatkan kesadaran dan partisipasi dalam menjaga kebersihan perairan (Sari & Prasetyo, 2020).
3. Regulasi dan Kebijakan. Penerapan regulasi yang ketat terkait pembuangan limbah industri ke badan air diperlukan untuk mencegah pencemaran lebih lanjut (Wibowo et al., 2019)
4. Monitoring Kualitas Air. Pemantauan kualitas air secara berkala membantu mendeteksi pencemaran sejak dini dan memungkinkan diambilnya langkah-langkah preventif yang diperlukan (Rahman & Hidayat, 2022)

### 4.8.3 Prevention Efforts Against Aquatic Waste

1. Effective Waste Management. Effective waste management, including the use of environmentally friendly technologies and efficient treatment systems, is one way to prevent waste in waters (Hassan et al., 2021)
2. Public Education. Public education about the negative impacts of waste on the environment is very important to increase awareness and participation in maintaining clean waters (Sari & Prasetyo, 2020).
3. Regulation and Policy. Strict implementation of regulations regarding the discharge of industrial waste into water bodies is needed to prevent further pollution (Wibowo et al., 2019)
4. Water Quality Monitoring. Regular water quality monitoring helps detect pollution early and allows necessary preventive measures to be taken (Rahman & Hidayat, 2022)



## Rangkuman

1. Reaksi kimia di perairan adalah proses interaksi antara zat-zat terlarut di dalam air yang menyebabkan perubahan kimia. Reaksi ini sangat penting untuk menjaga kualitas air, keseimbangan ekosistem, dan siklus biogeokimia. Misalnya, oksigen terlarut bereaksi dengan bahan organik, menghasilkan air dan karbon dioksida, yang diperlukan untuk menjaga ekosistem akuatik yang sehat. Reaksi kimia juga penting dalam pengolahan air untuk menghilangkan kontaminan agar aman bagi manusia dan lingkungan.
2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Reaksi Kimia di Perairan
  - a. Suhu: Meningkatkan laju reaksi kimia dengan mempercepat gerakan partikel.
  - b. pH: Menentukan apakah reaksi terjadi dalam lingkungan asam atau basa, mempengaruhi kelarutan senyawa kimia.
  - c. Tekanan: Meningkatkan kelarutan gas dalam air, yang penting di perairan dalam seperti lautan.
3. Jenis-jenis Reaksi Kimia di Perairan
  - a. Reaksi Redoks: Reaksi pertukaran elektron, misalnya oksidasi besi (Fe) menjadi besi (Fe) dan reduksi nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) menjadi nitrogen ( $\text{N}_2$ ).
  - b. Reaksi Presipitasi: Pembentukan endapan dari ion-ion terlarut, misalnya presipitasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang dapat membentuk batu gamping.
  - c. Reaksi Asam-Basa: Reaksi yang melibatkan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan hidroksida ( $\text{OH}^-$ ), mempengaruhi PH air dan proses-proses dalam siklus karbon.
  - d. Reaksi Fotokimia: Melibatkan energi cahaya matahari yang memicu reaksi kimia, seperti pada proses fotosintesis dan reaksi yang melibatkan senyawa bioaktif di ekosistem air.
4. Jenis Polutan:
  - Polutan Organik: Senyawa yang mengandung karbon, biasanya berasal dari makhluk hidup atau proses biologis. Contoh: phenol, chlorophenol, dan asam oksalat. Polutan ini dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme, tetapi beberapa sulit terurai dan berdampak buruk pada kesehatan serta lingkungan.
  - Polutan Anorganik: Tidak mengandung karbon dan berasal dari aktivitas industri atau proses geologis. Polutan ini sulit terurai dan dapat bertahan lama di lingkungan. Contoh: logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang mencemari sedimen selama ribuan tahun.



## Summary

1. Chemical reactions in water are the processes of interaction between dissolved substances in water that cause chemical changes. These reactions are essential for maintaining water quality, ecosystem balance, and biogeochemical cycles. For example, dissolved oxygen reacts with organic matter to produce water and carbon dioxide, which are necessary for maintaining a healthy aquatic ecosystem. Chemical reactions are also important in water treatment to remove contaminants to make them safe for humans and the environment.
2. Factors Affecting Chemical Reactions in Water
  - a. Temperature: Increases the rate of chemical reactions by speeding up the movement of particles.
  - b. pH: Determines whether a reaction occurs in an acidic or basic environment, affecting the solubility of chemical compounds.
  - c. Pressure: Increases the solubility of gases in water, which is important in deep waters such as the oceans.
3. Types of Chemical Reactions in Water
  - a. Redox Reactions: Electron exchange reactions, for example oxidation of iron (Fe) to iron (Fe) and reduction of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) to nitrogen ( $\text{N}_2$ ).
  - b. Precipitation Reaction: Formation of deposits from dissolved ions, for example precipitation of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) which can form limestone.
  - c. Acid-Base Reactions: Reactions involving hydrogen (H) and hydroxide ( $\text{OH}^-$ ) ions, affect the pH of water and processes in the carbon cycle.
  - d. Photochemical Reactions: Involves sunlight energy that triggers chemical reactions, such as in the process of photosynthesis and reactions involving bioactive compounds in aquatic ecosystems.
4. Types of Pollutants:
  - Organic Pollutants: Compounds containing carbon, usually derived from living things or biological processes. Examples: phenol, chlorophenol, and oxalic acid. These pollutants can be naturally decomposed by microorganisms, but some are difficult to decompose and have adverse effects on health and the environment.
  - Inorganic Pollutants: Do not contain carbon and come from industrial activities or geological processes. These pollutants are difficult to decompose and can persist in the environment for a long time. Examples: heavy metals such as lead (Pb) and cadmium (Cd) that have polluted sediments for thousands of years.



## Rangkuman

### 5. Reaksi Kimia Akibat Polutan:

- Degradasi: Polutan mengakibatkan kerusakan lingkungan dan ekosistem akibat penurunan kualitas air, udara, dan tanah. Aktivitas manusia dan perubahan iklim memicu degradasi lingkungan yang dapat menyebabkan bencana alam.
- Bioakumulasi: Logam berat terakumulasi dalam tubuh organisme, termasuk ikan, melalui pernapasan, saluran makanan, atau kulit. Logam berat ini kemudian terdistribusi ke seluruh jaringan tubuh, dan terkonsentrasi dalam organ seperti hati dan ginjal.

6. Aktivitas manusia, seperti limbah industri dan domestik, mencemari air dan memperburuk siklus hidrologi. Pencemaran air oleh limbah mengubah kualitas fisik, kimia, dan biologis air. Eutrofikasi, akibat kelebihan nutrien seperti fosfat dan nitrat, menyebabkan pertumbuhan alga berlebihan yang mengurangi kadar oksigen dan merusak ekosistem perairan.

7. Pengelolaan limbah melalui teknologi seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan prinsip 3R penting untuk mengurangi dampak pencemaran. Studi kasus pada Sungai Citarum menunjukkan dampak pencemaran air oleh limbah industri dan domestik, yang memengaruhi kesehatan dan ekosistem di sekitarnya.



## Summary

### 5. Chemical Reactions Due to Pollutants:

**Degradation:** Pollutants cause environmental and ecosystem damage due to decreased quality of water, air, and soil. Human activities and climate change trigger environmental degradation that can lead to natural disasters.

**Bioaccumulation:** Heavy metals accumulate in the body of organisms, including fish, through respiration, the digestive tract, or the skin. These heavy metals are then distributed throughout the body's tissues, and are concentrated in organs such as the liver and kidneys.

**6.** Human activities, such as industrial and domestic waste, pollute water and worsen the hydrological cycle. Water pollution by waste changes the physical, chemical, and biological qualities of water. Eutrophication, due to excess nutrients such as phosphates and nitrates, causes excessive algae growth that reduces oxygen levels and damages aquatic ecosystems.

**7.** Waste management through technology such as Wastewater Treatment Plants (WWTP) and the 3R principle is important to reduce the impact of pollution. Case studies on the Citarum River show the impact of water pollution by industrial and domestic waste, which affects health and the surrounding ecosystem.



## Evaluasi

1. Dalam siklus biogeokimia, reaksi kimia di perairan berperan penting dalam mengatur siklus karbon dan nitrogen. Salah satu reaksi yang terlibat adalah...
  - a. Penguraian senyawa organik menjadi senyawa tidak berbahaya.
  - b. Pengikatan oksigen oleh karbon dioksida.
  - c. Pengikatan nitrogen oleh oksigen.
  - d. Fotosintesis yang menghasilkan nitrogen terlarut.
  - e. Pelepasan karbon dioksida dari reaksi dekomposisi bahan organik.
2. Mengapa reaksi ionisasi air penting dalam ekosistem perairan?
  - a. Menjaga suhu air tetap konstan.
  - b. Mengatur keseimbangan ion dalam tubuh organisme air.
  - c. Mengendalikan tingkat kekeruhan air.
  - d. Mempertahankan pH air netral untuk keseimbangan ekosistem.
  - e. Mengendalikan penguapan air.
3. Air murni ( $H_2O$ ) memiliki pH 7. Mengapa pH air bisa berbeda di alam meskipun komposisi air murni sama?
  - a. Karena gas-gas yang terlarut dan ion-ion memengaruhi pH
  - b. Karena air murni di alam tidak mengandung ion hidrogen ( $H^+$ )
  - c. Karena suhu air mengubah struktur  $H_2O$
  - d. Karena air di alam biasanya mengandung garam yang menambah ion  $OH^-$
  - e. Karena  $CO_2$  di atmosfer memperkaya kandungan  $O_2$  di air
4. Salah satu dampak penting dari reaksi fotokimia di perairan adalah pengaruhnya terhadap siklus karbon. Apa reaksi yang terkait dengan peran karbon dalam pembentukan cangkang organisme laut?
  - a. Reaksi fotolisis air.
  - b. Pembentukan karbondioksida dari ion bikarbonat.
  - c. Penggabungan kalsium dengan karbonat membentuk kalsium karbonat.
  - d. Disosiasi karbondioksida menjadi karbonat dan oksigen.
  - e. Penguraian karbon organik oleh cahaya matahari.
5. Sebuah limbah pabrik tekstil dibuang ke sungai dan menyebabkan peningkatan kadar polutan organik. Apa yang menyebabkan limbah ini dikategorikan sebagai polutan organik?
  - a. Reaksi fotolisis air.
  - b. Pembentukan karbondioksida dari ion bikarbonat.
  - c. Penggabungan kalsium dengan karbonat membentuk kalsium karbonat



## Evaluation

1. In the biogeochemical cycle, chemical reactions in water play an important role in regulating the carbon and nitrogen cycles. One of the reactions involved is...
  - a. Decomposition of organic compounds into harmless compounds.
  - b. Binding of oxygen by carbon dioxide.
  - c. Binding of nitrogen by oxygen.
  - d. Photosynthesis which produces dissolved nitrogen.
  - e. Release of carbon dioxide from the decomposition reaction of organic matter.
2. Why is water ionization reaction important in aquatic ecosystems?
  - a. Keep the water temperature constant.
  - b. Regulates ion balance in the bodies of aquatic organisms.
  - c. Controlling the level of water turbidity.
  - d. Maintaining neutral water pH for ecosystem balance.
  - e. Controlling water evaporation.
3. Pure water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) has a pH of 7. Why can the pH of water differ in nature even though the composition of pure water is the same?
  - a. Because dissolved gases and ions affect pH
  - b. Because pure water in nature does not contain hydrogen ions ( $\text{H}^+$ )
  - c. Because water temperature changes the structure of  $\text{H}_2\text{O}$
  - d. Because water in nature usually contains salts that add  $\text{OH}^-$  ions
  - e. Because  $\text{CO}_2$  in the atmosphere enriches the  $\text{O}_2$  content in water
4. One of the important impacts of photochemical reactions in water is its influence on the carbon cycle. What reactions are related to the role of carbon in the formation of marine organism shells?
  - a. Water photolysis reaction.
  - b. Formation of carbon dioxide from bicarbonate ions.
  - c. The combination of calcium with carbonate forms calcium carbonate.
  - d. Dissociation of carbon dioxide into carbonate and oxygen.
  - e. Decomposition of organic carbon by sunlight.
5. A textile factory waste is discharged into a river and causes an increase in the level of organic pollutants. What causes this waste to be categorized as an organic pollutant?
  - a. Water photolysis reaction.
  - b. Formation of carbon dioxide from bicarbonate ions.
  - c. The combination of calcium with carbonate forms calcium carbonate.

- d. Limbah tersebut tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme.  
e. Limbah tersebut berasal dari reaksi kimia anorganik.
6. Bagaimana kesadahan air memengaruhi penggunaan air dalam kehidupan sehari-hari?  
a. Menyebabkan terbentuknya busa sabun yang lebih banyak  
b. Mengurangi pembentukan kerak pada peralatan rumah tangga  
c. Menurunkan efektivitas sabun dan detergen  
d. Meningkatkan efisiensi pemanasan air  
e. Meningkatkan kualitas air minum
7. Sebuah perusahaan di dekat pantai didapati membuang limbah beracun yang mengandung kadmium (Cd) ke laut. Beberapa tahun kemudian, penduduk setempat yang sering mengonsumsi ikan dari laut tersebut mengalami gangguan kesehatan serius. Jelaskan bagaimana bioakumulasi kadmium dapat menyebabkan dampak kesehatan jangka panjang pada manusia yang mengonsumsi ikan dari laut tersebut.  
a. Kadmium terakumulasi dalam jaringan ikan, dan setelah dikonsumsi manusia, dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan tulang.  
b. Kadmium terurai menjadi bahan organik dalam tubuh manusia sehingga tidak berbahaya.  
c. Kadmium terakumulasi di hati ikan, tetapi tidak berpengaruh pada manusia.  
d. Kadmium terakumulasi di otot ikan, yang meningkatkan kandungan nutrisi ikan.  
e. Kadmium mengendap di dasar laut, sehingga tidak mempengaruhi manusia.
8. Sebuah studi menunjukkan bahwa perairan di sebuah danau mengalami penurunan oksigen secara drastis setelah terjadinya peningkatan penggunaan pupuk pertanian di sekitar daerah tersebut. Hal ini menyebabkan kematian massal ikan dan tumbuhan air. Apa yang paling mungkin menyebabkan kematian massal organisme di danau tersebut?  
a. Peningkatan jumlah mikroorganisme yang mengonsumsi oksigen selama proses dekomposisi  
b. Menurunnya jumlah nutrien dalam air yang menghambat pertumbuhan alga  
c. Bertambahnya populasi ikan karena kelebihan nutrisi  
d. Pengaruh langsung dari sinar matahari yang berlebihan  
e. Peningkatan suhu air akibat penggunaan pupuk
9. Tekanan air yang tinggi di perairan dalam berpengaruh terhadap reaksi kimia dengan cara...  
a. Menurunkan kelarutan gas dalam air.

- d. The waste cannot be decomposed by microorganisms.
  - e. The waste comes from inorganic chemical reactions.
6. How does water hardness affect the use of water in everyday life?
- a. Causes the formation of more soap foam
  - b. Reduces the formation of scale on household appliances
  - c. Reduces the effectiveness of soap and detergent
  - d. Increases the efficiency of water heating
  - e. Improves the quality of drinking water
7. A company near the coast was found to have dumped toxic waste containing cadmium (Cd) into the sea. Several years later, local residents who often consumed fish from the sea experienced serious health problems. Explain how the bioaccumulation of cadmium can cause long-term health effects in humans who consume fish from the sea.
- a. Cadmium accumulates in fish tissue, and after human consumption, can cause kidney and bone damage.
  - b. Cadmium breaks down into organic matter in the human body so it is not dangerous.
  - c. Cadmium accumulates in the liver of fish, but has no effect on humans.
  - d. Cadmium accumulates in fish muscles, which increases the nutritional content of fish.
  - e. Cadmium settles on the seabed, so it does not affect humans.
8. A study showed that the water in a lake experienced a drastic decrease in oxygen after the use of agricultural fertilizers increased in the area. This caused mass deaths of fish and aquatic plants. What is most likely to cause the mass deaths of organisms in the lake?
- a. Increased number of microorganisms that consume oxygen during the decomposition process
  - b. Decrease in the number of nutrients in the water that inhibits algae growth
  - c. Increased fish population due to excess nutrients
  - d. Direct effects of excessive sunlight
  - e. Increased water temperature due to fertilizer use
9. High water pressure in deep waters affects chemical reactions by...
- a. Reduces the solubility of gas in water.

- b. Meningkatkan kelarutan gas dalam air.
- c. Mengurangi konsentrasi karbon dioksida.
- d. Menghambat proses fotosintesis.
- e. Meningkatkan kadar pH air.

- b. Increase the solubility of gas in water.
- c. Reduce carbon dioxide concentration.
- d. Inhibits the process of photosynthesis.
- e. Increase the pH level of water.



## Daftar Pustaka

Alfiandy, S., Permana, D. S., Nugraha, M. S., & Putri, I. J. A. (2021). Analisis kimia dan kualitas air hujan di Kota Palu sebagai penyebab terjadinya hujan asam. *Jurnal Riset Kimia*, 12(1), 10-18.

Bandung: ITB Press.

Budhiawan, A., Susanti, A., & Hazizah, S. (2022). Analisis Dampak Pencemaran Lingkungan Terhadap Faktor Sosial dan Ekonomi pada Wilayah Pesisir di Desa Bagan Kuala Kecamatan Tanjung Beringin Kabupaten Serdang Bedagai. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 240-24.

Darmasetiawan, M. (2024). Kimia Lingkungan. Bekasi : PT KIMSHAFI ALUNG CIPTA DJORONGA, M. I., Pandiangan, D., Kandou, F. E. F., & Tangapo, A. M. (2014). Penapisan Alkaloid

Dreamyseila, A., Ningsih, Y., Nurita, T., & Salsabila, A. (2024). Dampak Hujan Asam: Solusi Berkelanjutan Untuk Memperbaiki Ekosistem Atmosfer Dalam Mencapai SDGs. *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(4), 1-10.

Evana, E., & Achmad, D. V. N. (2018). Tingkat Kesadahan Air Sumur di Dusun Gelaran 01 Desa Bejiharjo Karangmojo Gunungkidul, Yogyakarta. *Fullerene Journal of Chemistry*, 3(2), 75-79.

Fajarwati, N. & Efendi, M. R. S. (2023). Analisis Kesadahan Total pada Air Sumur Pantau dengan Metode Kompeksometri. *Ar-Razi Jurnal Ilmiah*, 11(1), 20-25.

Gautama, P. D. I. R. S. (2019). Pembentukan, Pengendalian, dan Pengelolaan Air Asam Tambang.

Hanum, U., Ramadhan, M. F., Armando, M. F., Sholiqin, M., & Rachmawati, S. (2022). Analisis kualitas air dan strategi pengendalian pencemaran air di Sungai Pepe Bagian Hilir, Surakarta. *Prosiding Sains Dan Teknologi*, 1(1), 376–386.



## Bibliography

Alfiandy, S., Permana, D. S., Nugraha, M. S., & Putri, I. J. A. (2021). Chemical analysis and quality of rainwater in Palu City as the cause of acid rain. *Journal of Chemical Research*, 12(1), 10-18.

London: ITB Press.

Budhiawan, A., Susanti, A., & Hazizah, S. (2022). Analysis of the Impact of Environmental Pollution on Social and Economic Factors in Coastal Areas in Bagan Kuala Village, Tanjung Beringin District, Serdang Bedagai Regency. *Tambusai Education Journal*, 6(1), 240-24.

Darmasetiawan, M. (2024). Environmental Chemistry. Bekasi : PT KIMSHAFI ALUNG CIPTA Djoronga, M. I., Pandiangan, D., Kandou, F. E. F., & Tangapo, A. M. (2014). Alkaloid Filtration

Dreamyseila, A., Ningsih, Y., Nurita, T., & Salsabila, A. (2024). Impact of Acid Rain: A Sustainable Solution to Improve Atmospheric Ecosystems in Achieving SDGs. *Cohesion: Journal of Science and Technology*, 3(4), 1-10.

Evana, E., & Achmad, D. V. N. (2018). Level of Hardness of Well Water in Gelaran Hamlet 01, Bejiharjo Village, Karangmojo, Gunungkidul, Yogyakarta. *Fullerene Journal of Chemistry*, 3(2), 75-79.

Fajarwati, N. & Efendi, M. R. S. (2023). Analysis of Total Hardness in Monitoring Well Water Using Compexometric Method. *Ar-Razi Scientific Journal*, 11(1), 20-25.

Gautama, P. D. I. R. S. (2019). Formation, Control, and Management of Acid Mine Drainage.

Hanum, U., Ramadhan, M. F., Armando, M. F., Sholiqin, M., & Rachmawati, S. (2022). Analysis of water quality and water pollution control strategies in the lower reaches of the Pepe River, Surakarta. *Proceedings of Science and Technology*, 1(1), 376–386.

Hassan, M. F., Ali, A., & Khan, M. (2021). Effective waste management strategies for water bodies: A review. *Journal of Environmental Management*, 285, Article 112145. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112145>

Herlambang, A. (2003). Proses denitrifikasi dengan sistem biofilter untuk pengolahan air limbah yang mengandung nitrat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 4(1).

Indirawati, S. M. (2017). Pencemaran logam berat Pb dan Cd dan keluhan kesehatan pada masyarakat di Kawasan Pesisir Belawan. *JUMANTIK (Jurnal Ilmiah Penelitian Kesehatan)*, 2(2), 54-60.

Khastini, R. O., Zahranie, L. R., Rozma, R. A., & Saputri, Y. A. (2022). Peranan Bakteri Pendegradasi Senyawa Pencemar Lingkungan melalui Proses Bioremediasi. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(1), 345-360.

Legawa, F., Darma, G. C. E., & Putra, V. G. V. (2024). Metode Pengolahan Limbah Cair Puskesmas Menggunakan Tahapan Elektrokoagulasi Filtrasi dan Plasma. *Jurnal Riset Farmasi*, 53-60.

Listriyana, A., Handayani, C., & Pahlewi, A. D. (2023). Analisis Kualitas Air Alkalinitas pada Perairan Tambak Intensif Situbondo. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 159-164.

Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. *Jurnal Distilasi*, 5(2), 26-33.

Nanda, M. F., Maulanah, S., Hidayah, T. N., Taufiqurrahman, A. M., & Radianto, D. O. (2024). Analisis Pentingnya Pengelolaan Limbah Terhadap Kehidupan Sosial Bermasyarakat. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 97-107

Nengsih, S. (2020). Pengaruh Kehadiran Medan Magnetik Terhadap Pemurnian Air Dari Perbedaan Intensitas Cahaya. *Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, 3(2), 5-8.

Novanti, R dan E. Zulaika. 2018. Pola Pertumbuhan Bakteri Ureolitik pada medium Calcium Carbonat Presipitasi (CCP). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7 (2).

Nufutomo, T. K. (2022). Perubahan Iklim Sebagai Ancaman Ketahanan Kualitas Air Pada Daerah Aliran Sungai: Literatur Review. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(3), 188–200.

Hassan, M. F., Ali, A., & Khan, M. (2021). Effective waste management strategies for water bodies: A review. *Journal of Environmental Management*, 285, Article 112145. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112145>

Herlambang, A. (2003). Denitrification process with biofilter system for wastewater treatment containing nitrate. *Journal of Environmental Technology*, 4(1).

Indirawati, S. M. (2017). Heavy metal pollution of Pb and Cd and health complaints in the community in the Belawan Coastal Area. *JUMANTIK (Scientific Journal of Health Research)*, 2(2), 54-60.

Khastini, R. O., Zahranie, L. R., Rozma, R. A., & Saputri, Y. A. (2022). The Role of Bacteria in Degrading Environmental Pollutant Compounds through the Bioremediation Process. *Bioscientist: Scientific Journal of Biology*, 10(1), 345-360.

Legawa, F., Darma, G. C. E., & Putra, V. G. V. (2024). Method of Processing Liquid Waste of Health Centers Using Electrocoagulation Filtration and Plasma Stages. *Journal of Pharmaceutical Research*, 53-60.

Listriyana, A., Handayani, C., & Pahlewi, A. D. (2023). Analysis of Alkalinity Water Quality in Situbondo Intensive Pond Waters. *Zona Laut Journal of Marine Science and Technology Innovation*, 159-164.

Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Development of Industrial Wastewater Treatment Technology. *Distillation Journal*, 5(2), 26-33.

Nanda, M. F., Maulanah, S., Hidayah, T. N., Taufiqurrahman, A. M., & Radianto, D. O. (2024). Analysis of the Importance of Waste Management for Social Life in Society. *Venus: Journal of Publication of Engineering Sciences*, 2(2), 97-107

Nengsih, S. (2020). The Effect of Magnetic Field Presence on Water Purification from Differences in Light Intensity. *Phi: Journal of Physics and Applied Education*, 3(2), 5-8.

Novanti, R and E. Zulaika. 2018. Growth Pattern of Ureolytic Bacteria in Calcium Carbonate Precipitation (CCP) Medium. *ITS Journal of Science and Arts*, 7 (2).

Nufutomo, T. K. (2022). Climate Change as a Threat to Water Quality Resilience in River Basins: Literature Review. *Journal of Environmental Engineering*, 10(3), 188–200.

Nufutomo, T. K. (2022). Perubahan Iklim Sebagai Ancaman Ketahanan Kualitas Air Pada Daerah Aliran Sungai: Literatur Review. *Jurnal Reka Lingkungan*, 10(3), 188–200.

Nurbarasamuna, N., & Chaerul, M. (2022). Pencemaran Logam Berat Hg, As, Cd Di Sedimen Sungai Langkowala Akibat Aktivitas Penambangan Kabupaten Bombana Sulawesi Tenggara. *Jurnal Lingkungan Almuslim*, 1(1), 01-07.

Nuswowati, M., Harjito., Jabbar, A., Taufiq, M. (2024). Buku Ajar Kimia Lingkungan Terintegrasi Kompetensi Education for Susiainable Development (ESD). PT Naasya Expanding Management. Pekalongan, Jawa Tengah.

Pada Tumbuhan Paku dari Halmahera Utara. *Jurnal Mipa*, 3(2), 102-107.

Pradiva, Z. A., Zainuri, M., & Rochaddi, B. (2023). Sebaran Fosfat terhadap Konsentrasi Klorofil-a di Perairan Kota Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(4), 249-255.

Pranoto, & Heraldy, E. (2022). Kimia Air. Jakarta Timur: Sinar Grafika Offset.

Rachmawani, D., Yulianda, F., Kusmana, C., Boer, M., & Parwati, E. (2016). Dampak Hidrokarbon Aromatik Terhadap Ekosistem Mangrove Di Kawasan Binalatung Kota Tarakan Kalimantan Utara (Impact of Aromatic Hydrocarbon on Mangrove Ecosystem in Binalatung Area Tarakan City North Kalimantan). *Jurnal manusia dan Lingkungan*, 23(3), 295-303.

Rahman, F., & Hidayat, A. (2022). Water quality monitoring as a preventive measure against pollution: Strategies and implementations in urban areas. *Water Research*, 210, Article 117934. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117934>

Rejekiningrum, P. (2014). Dampak perubahan iklim terhadap sumberdaya air: identifikasi, simulasi dan rencana aksi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(1), 1–15.

Rustadi, R. (2009). Eutrofikasi Nitrogen Dan Fosfor Serta Pengendaliannya Dengan Perikanan Di Waduk Sermo (Eutrophication by Nitrogen and Phosphorous and Its Control Using Fisheries in Sermo Reservoir). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 16(3), 176–186.

Nufutomo, T. K. (2022). Climate Change as a Threat to Water Quality Resilience in River Basins: Literature Review. *Journal of Environmental Engineering*, 10(3), 188–200.

Nurbarasamuma, N., & Chaerul, M. (2022). Heavy Metal Pollution Hg, As, Cd in Langkowala River Sediment Due to Mining Activities in Bombana Regency, Southeast Sulawesi. *Almuslim Environmental Journal*, 1(1), 01-07.

Nuswowati, M., Harjito., Jabbar, A., Taufiq, M. (2024). Integrated Environmental Chemistry Textbook for Education for Susiainable Development (ESD) Competencies. PT Naasya Expanding Management. Pekalongan, Central Java.

On Ferns from North Halmahera. *Jurnal Mipa*, 3(2), 102-107.

Pradiva, Z. A., Zainuri, M., & Rochaddi, B. (2023). Distribution of Phosphate on Chlorophyll-a Concentration in Pekalongan City Waters. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(4), 249-255.

Pranoto, & Heraldy, E. (2022). Water Chemistry. East Jakarta: Sinar Grafika Offset.

Rachmawani, D., Yulianda, F., Kusmana, C., Boer, M., & Parwati, E. (2016). Impact of Aromatic Hydrocarbons on Mangrove Ecosystem in Binalatung Area Tarakan City North Kalimantan. *Journal of Man and Environment*, 23(3), 295-303.

Rahman, F., & Hidayat, A. (2022). Water quality monitoring as a preventive measure against pollution: Strategies and implementations in urban areas. *Water Research*, 210, Article 117934. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117934>

Rejekiningrum, P. (2014). Impact of climate change on water resources: identification, simulation and action plan. *Journal of Land Resources*, 8(1), 1–15.

Rustadi, R. (2009). Eutrophication by Nitrogen and Phosphorous and Its Control Using Fisheries in Sermo Reservoir. *Journal of Man and Environment*, 16(3), 176–186.

Salsabila, A., & Nugraheni, I. L. (2020). Pengantar Hidrologi. Bandar Lampung: Anugrah Utama Raharja.

Sari, R., & Prasetyo, E. (2020). Community education and its impact on water pollution prevention: A case study in Indonesia. International Journal of Environmental Science and Technology, 17(1), 99-110.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-019-02329-8>

Simbolon, A. R. (2016). Pencemaran Bahan Organik dan Eutrofikasi di Perairan Cituis, Pesisir Tangerang. Pro-Life, 3(2), 109–118.

Sulistyani, Sunarto & Fillaeli, A. (2012). UJI KESADAHAN AIR TANAH DI DAERAH SEKITAR PANTAI KECAMATAN REMBANG PROPINSI JAWA TENGAH. J. Sains Dasar, 1(1), 33- 38

Sulistyawati, N. P. Y., & Kusumawardhani, S. A. M. A. (2023). Perlindungan Hukum Terhadap Pencemaran Lingkungan Dikawasan Hutan Mangrove Badung Bali Terkait Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jurnal Komunikasi Hukum (JKH), 9(1), 890-900.

Suprayitno, I., Humaidah, N., & Suryanto, D. (2020). Efektivitas penambahan mineral pada pakan terhadap produksi ternak ruminansia. Dinamika Rekasatwa: Jurnal Ilmiah (e-Journal), 3(02).

Suryati, S., Misriana, M., Mursyidah, M., Mellyssa, W., & Habibah, U. (2021). Penerapan Biosand Filter Untuk Mengurangi Tingkat Kesadahan Pada Air Tanah. In Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe (Vol. 5, No. 1, pp. 77-79).

Susanto, A., Mulyani, T., & Nugraha, S. (2021). Validasi metode analisis penentuan kadar logam berat Pb, Cd dan cr terlarut dalam limbah cair industri tekstil dengan metode inductively coupled plasma optical emission spectrometry prodigy7. Jurnal Ilmu Lingkungan, 19(1), 191– 200.

Sylvia, D., Linggarweni, B. I., Nurhajawarsi, Lestari, M. F., Corsita, L., Dwityaningsih, R., Herniwanti. (2022). Kimia Lingkungan. Tasikmalaya: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia.

Wibowo, A., Setiawan, I., & Nugroho, Y. (2019). Regulatory frameworks for industrial waste disposal in aquatic environments: Challenges and solutions. Environmental Science & Policy, 101, 75-83.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.008>

Salsabila, A., & Nugraheni, I. L. (2020). Introduction to Hydrology. Bandar Lampung: Anugrah Utama Raharja.

Sari, R., & Prasetyo, E. (2020). Community education and its impact on water pollution prevention: A case study in Indonesia. International Journal of Environmental Science and Technology, 17(1), 99-110.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-019-02329-8>

Simbolon, A. R. (2016). Organic Material Pollution and Eutrophication in Citius Waters, Tangerang Coast. Pro-Life, 3(2), 109–118.

Sulistyani, Sunarto & Fillaeli, A. (2012). GROUNDWATER HARDNESS TEST IN THE COASTAL AREA OF REMBANG DISTRICT, CENTRAL JAVA PROVINCE. J. Basic Science, 1(1), 33- 38

Sulistyawati, N. P. Y., & Kusumawardhani, S. A. M. A. (2023). Legal Protection Against Environmental Pollution in the Badung Bali Mangrove Forest Area Related to Law Number 32 of 2009 Concerning Environmental Protection and Management. Journal of Legal Communication (JKH), 9(1), 890-900.

Suprayitno, I., Humaidah, N., & Suryanto, D. (2020). Effectiveness of adding minerals to feed on ruminant livestock production. Dinamika Rekasatwa: Jurnal Ilmiah (e-Journal), 3(02).

Suryati, S., Misriana, M., Mursyidah, M., Mellyssa, W., & Habibah, U. (2021). Application of Biosand Filter to Reduce Hardness Levels in Groundwater. In Proceedings of the National Seminar of Lhokseumawe State Polytechnic (Vol. 5, No. 1, pp. 77-79).

Susanto, A., Mulyani, T., & Nugraha, S. (2021). Validation of analytical methods for determining the levels of dissolved heavy metals Pb, Cd and cr in textile industry liquid waste using the inductively coupled plasma optical emission spectrometry prodigy7 method. Journal of Environmental Science, 19(1), 191– 200.

Sylvia, D., Linggarweni, B. I., Nurhajawarsi, Lestari, M. F., Corsita, L., Dwityaningsih, R., Herniwanti. (2022). Environmental Chemistry. Tasikmalaya: Indonesian Bright House Association.

Wibowo, A., Setiawan, I., & Nugroho, Y. (2019). Regulatory frameworks for industrial waste disposal in aquatic environments: Challenges and solutions. Environmental Science & Policy, 101, 75-83.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.008>

Widayat, W. (2002). Teknologi pengolahan air sadah. Jurnal Teknologi Lingkungan, 3(3), 256-266.

Wijaya, M. (2020). Kimia Lingkungan. Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.

Yolanda, Y. (2023). Analisa Pengaruh Suhu, Salinitas dan pH Terhadap Kualitas Air di Muara Perairan Belawan. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 329-337.

Yustika, D., Situmorang, H., Tambunan, M. O., Frastika, W., & Sihite, Y. (2023). Penentuan nilai cod sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah fasilitas pelayanan kesehatan rumah sakit putri bidadari langkat. Jurnal pendidikan, sains dan teknologi, 2(1), 346-348.

Widayat, W. (2002). Hard water treatment technology. Journal of Environmental Technology, 3(3), 256-266.

Wijaya, M. (2020). Environmental Chemistry. Publishing Agency of Makassar State University.

Yolanda, Y. (2023). Analysis of the Effect of Temperature, Salinity and pH on Water Quality in the Belawan Estuary. Journal of Wetland Environmental Technology, 329-337.

Yustika, D., Situmorang, H., Tambunan, M. O., Frastika, W., & Sihite, Y. (2023). Determination of COD value as a parameter of water pollution and wastewater quality standards for health service facilities at Putri Bidadari Hospital, Langkat. Journal of Education, Science and Technology, 2(1), 346-348.

# 5

## PENCEMARAN RUMAH TANGGA DAN PESTISIDA



Gambar 5. 1 Botol Plastik

Sumber : Image by freepik

### Capaian Pembelajaran

1. Mahasiswa mampu menganalisis secara kritis definisi, jenis, penyebab, dan dampak pencemaran rumah tangga terhadap lingkungan, serta mengevaluasi solusi yang efektif dalam mengatasi dampak pencemaran rumah tangga yang berasal dari aktivitas sehari-hari.
2. Mahasiswa dapat menjelaskan definisi pestisida, sejarah perkembangan pestisida, serta mengklasifikasikan jenis-jenis pestisida beserta contohnya, dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing jenis pestisida.
3. Mahasiswa mampu mengevaluasi pencemaran pestisida di lingkungan, termasuk dampak yang ditimbulkan oleh penggunaan pestisida dalam bidang pertanian, serta menganalisis kebijakan perizinan pestisida di Indonesia.

# HOUSEHOLD POLLUTION AND PESTICIDES

5



Figure 5. 1 Plastic Bottle  
Source : Image by freepik

## Learning Outcomes

1. Students are able to critically analyze the definition, types, causes, and impacts of household pollution on the environment, as well as evaluate effective solutions to overcome the impacts of household pollution originating from daily activities.
2. Students can explain the definition of pesticides, the history of pesticide development, and classify the types of pesticides along with examples, by considering the advantages and disadvantages of each type of pesticide.
3. Students are able to evaluate pesticide pollution in the environment, including the impacts caused by the use of pesticides in agriculture, and analyze pesticide licensing policies in Indonesia.

## Capaian Pembelajaran

4. Mahasiswa dapat merancang strategi pencegahan dan penanganan pencemaran pestisida melalui berbagai upaya teknis dan kebijakan, serta mengidentifikasi langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran pestisida di lingkungan.
5. Mahasiswa dapat mendeskripsikan konsep pestisida nabati, menganalisis manfaat dan mekanisme kerjanya, serta mengevaluasi potensi tumbuhan tropis di Indonesia sebagai bahan baku pestisida nabati.
6. Mahasiswa mampu mengkaji peluang dan kendala dalam pengembangan pestisida nabati di Indonesia, serta mengevaluasi kelebihan dan kekurangan penggunaan pestisida nabati dibandingkan pestisida sintetis.

## Deskripsi Singkat

Pada bab 5 ini akan dibahas mengenai pencemaran lingkungan yang bersumber dari rumah tangga dan pestisida. Materi mencakup definisi, jenis, penyebab, serta dampak dari pencemaran rumah tangga yang diakibatkan oleh limbah plastik, bahan kimia, dan air limbah. Selain itu, dijelaskan pula pengaruh penggunaan pestisida dalam sektor pertanian terhadap tanah, air, dan udara, termasuk dampaknya pada kesehatan manusia dan ekosistem. Pembahasan dilengkapi dengan solusi untuk mengatasi pencemaran, seperti penerapan konsep 3R (reduce, reuse, recycle), bioremediasi, dan penggunaan pestisida nabati sebagai alternatif ramah lingkungan. Bab ini dirancang dengan pendekatan sistematis dan didukung oleh sumber referensi dari buku dan jurnal ilmiah, serta latihan soal untuk mengukur pemahaman pembaca. Melalui bab ini, diharapkan mahasiswa mampu memahami permasalahan pencemaran rumah tangga dan pestisida, serta berkontribusi dalam upaya pelestarian lingkungan melalui penerapan pengetahuan yang relevan.

## Learning Outcomes

4. Students can design strategies for preventing and handling pesticide pollution through various technical and policy efforts, and identify steps that can be taken to reduce the impact of pesticide pollution in the environment.
5. Students can describe the concept of botanical pesticides, analyze their benefits and working mechanisms, and evaluate the potential of tropical plants in Indonesia as raw materials for botanical pesticides.
6. Students are able to examine the opportunities and obstacles in the development of botanical pesticides in Indonesia, as well as evaluate the advantages and disadvantages of using botanical pesticides compared to synthetic pesticides.

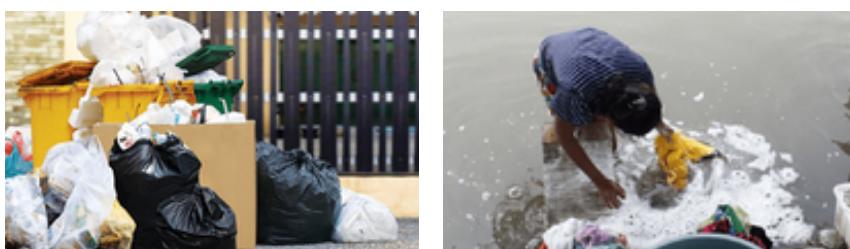
## Short Description

In this chapter 5, environmental pollution from households and pesticides will be discussed. The material includes the definition, types, causes, and impacts of household pollution caused by plastic waste, chemicals, and wastewater. In addition, the effects of pesticide use in the agricultural sector on soil, water, and air are also explained, including their impacts on human health and ecosystems. The discussion is complemented by solutions to overcome pollution, such as the application of the 3R concept (reduce, reuse, recycle), bioremediation, and the use of botanical pesticides as an environmentally friendly alternative. This chapter is designed with a systematic approach and supported by reference sources from books and scientific journals, as well as practice questions to measure reader understanding. Through this chapter, students are expected to be able to understand the problems of household pollution and pesticides, and contribute to environmental conservation efforts through the application of relevant knowledge.

## 5.1 Pencemaran Rumah Tangga

### 5.1.1 Definisi Pencemaran Rumah Tangga

Pencemaran lingkungan hidup, sebagaimana disebutkan dalam Pasal 1 ayat (12) UU No. 23 Tahun 1997 yang diubah dengan UU No. 23 Tahun 2009, pencemaran lingkungan hidup merupakan proses di mana makhluk hidup, zat, dan komponen lain dimasukkan ke dalam lingkungan oleh tindakan manusia, sehingga menyebabkan penurunan kualitas lingkungan hingga tingkat tertentu yang mengakibatkan lingkungan tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Selain itu, berdasarkan Pasal 1 ayat (14) UU No. 23 Tahun 2009, pencemaran lingkungan hidup diartikan sebagai masuknya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup yang disebabkan oleh kegiatan manusia, yang melebihi baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (Ma'ruf, 2018). Kurangnya kesadaran terhadap lingkungan masih menjadi masalah. Di antara berbagai kegiatan manusia, limbah rumah tangga merupakan salah satu yang paling berbahaya.



Gambar 5. 2 (a) Tumpukan sampah rumah tangga; (b) Warga mencuci di sungai pada air  
Sumber: (Universal Eco, 2023) dan (Toya Arta Sejahtera, 2024)

Sampah merupakan salah satu bentuk limbah rumah tangga, yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu sampah organik dan anorganik (Tamyiz et al., 2018). Sebagian besar sampah rumah tangga tergolong organik, seperti sisa potongan sayuran, bahan masakan, atau daun-daun yang gugur di kebun dan halaman. Sementara itu, sampah anorganik seperti plastik, kaleng, baterai, potongan logam, dan kertas sulit terurai secara alami, dan bahkan jika terurai, prosesnya memakan waktu puluhan tahun. Akumulasi limbah rumah tangga, yang dipenuhi bakteri berbahaya, semakin memperparah pencemaran dan memperburuk kualitas hidup makhluk hidup lainnya (Rahmawati & Kurniahu, 2017).

## 5.1 Household Pollution

### 5.1.1 Definition of Household Pollution

Environmental pollution, as stated in Article 1 paragraph (12) of Law No. 23 of 1997 as amended by Law No. 23 of 2009, environmental pollution is a process in which living things, substances, and other components are introduced into the environment by human actions, causing a decrease in environmental quality to a certain level which results in the environment not being able to function properly. In addition, based on Article 1 paragraph (14) of Law No. 23 of 2009, environmental pollution is defined as the entry of living things, substances, energy, and/or other components into the environment caused by human activities, which exceed the established environmental quality standards (Ma'ruf, 2018). Lack of environmental awareness is still a problem. Among the various human activities, household waste is one of the most dangerous.

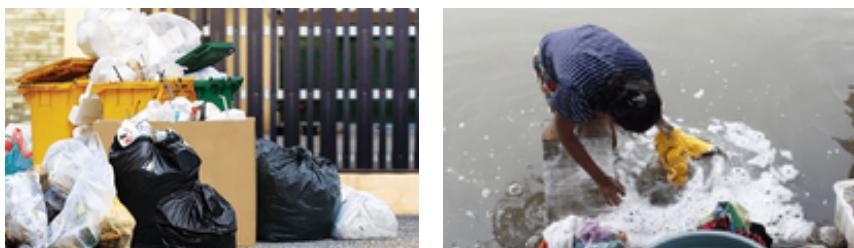


Figure 5. 2 (a) Piles of household waste; (b) Residents washing in the river in water

Source: (Universal Eco, 2023) and (Toya Arta Sejahtera, 2024)

Garbage is a form of household waste, which is divided into two types, namely organic and inorganic waste (Tamyiz et al., 2018). Most household waste is classified as organic, such as leftover vegetable scraps, cooking ingredients, or fallen leaves in the garden and yard. Meanwhile, inorganic waste such as plastic, cans, batteries, metal scraps, and paper are difficult to decompose naturally, and even if they do decompose, the process takes decades. The accumulation of household waste, which is filled with dangerous bacteria, further exacerbates pollution and worsens the quality of life of other living things (Rahmawati & Kurniahu, 2017).

## 5.1.2 Jenis dan Cara Pengelolaan Limbah Rumah Tangga

Jenis limbah rumah tangga terbagi menjadi tiga kategori, yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah yang berasal dari kotoran manusia.

### a. Limbah Padat (Sampah)

Limbah padat rumah tangga dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu limbah organik dan limbah anorganik.

#### 1. Limbah atau Sampah Rumah Tangga Organik

Limbah organik adalah jenis limbah yang dihasilkan dari sisa-sisa makanan, seperti kulit buah, sayuran, dan nasi (Astriyani et al., 2022).

Limbah organik ini cenderung mengalami proses pembusukan dan dapat terurai secara alami.

#### 2. Limbah atau Sampah Rumah Tangga Anorganik

Limbah anorganik adalah jenis limbah yang berasal dari bahan sisa atau

bahan bekas yang sulit atau bahkan tidak dapat terurai melalui proses biologis, seperti kaca, plastik, styrofoam (kayu gabus sintetis), alumunium, dan besi (Astriyani et al., 2022).



Gambar 5.3 Sampah anorganik rumah tangga  
Sumber: (WasteShip, 2021)

### Proses Pengelolaan Limbah Padat

Pengelolaan limbah padat atau sampah rumah tangga dapat dilakukan dengan berbagai metode. Berikut adalah beberapa proses yang dianjurkan (Damanhuri & Padmi, 2010):

- 1) Pemilahan
- 2) Pewadahan
- 3) Pengumpulan
- 4) Pengangkutan
- 5) Tempat Penampungan Sementara (TPS)
- 6) Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)
- 7) Penanganan dengan Konsep 3R

Untuk mengurangi limbah padat dan dampaknya, masyarakat bisa menerapkan konsep 3R, yaitu *reduce* (mengurangi), *reuse* (menggunakan kembali), dan *recycle* (mendaur ulang).

## 5.1.2 Types and Methods of Household Waste Management

Types of household waste are divided into three categories, namely solid waste, liquid waste, and waste originating from human waste.

a. Solid Waste (Garbage) Household solid waste can be categorized into two types, namely organic waste and inorganic waste.

### 1. Organic Household Waste or Garbage

Organic waste is a type of waste produced from food waste, such as fruit peels, vegetables, and rice (Astriyani et al., 2022). This organic waste tends to undergo a decomposition process and can decompose naturally.

2. Inorganic Household Waste or Garbage Inorganic waste is a type of waste that comes from leftover or used materials that are difficult or even impossible to decompose through biological processes, such as glass, plastic, styrofoam (synthetic cork wood), aluminum, and iron (Astriyani et al., 2022).



Figure 5.3 Household inorganic waste

Source: (WasteShip, 2021)

### Solid Waste Management Process

Solid waste or household waste management can be done with various methods. Here are some recommended processes (Damanhuri & Padmi, 2010):

- 1) Sorting
- 2) Containment
- 3) Collection
- 4) Transportation
- 5) Temporary Shelter (TPS)
- 6) Final Processing Site (TPA)
- 7) Handling with the 3R Concept To reduce solid waste and its impacts, the community can apply the 3R concept, namely reduce, reuse, and recycle.

### b. Limbah Cair

Air limbah rumah tangga adalah air buangan yang dihasilkan dari berbagai kegiatan sehari-hari di rumah tangga, seperti air bekas mandi, mencuci pakaian, mencuci piring, serta sisa-sisa makanan yang berbentuk cair. Limbah ini biasanya mengandung zat-zat kimia dari deterjen, minyak, lemak, dan sisa makanan yang dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.



Gambar 5.4 Limbah domestik mencemari sumber air  
Sumber: (Mutia, 2017)

### Pengelolaan Air Limbah Rumah Tangga

Menurut Maliga & Darmin (2020), pengelolaan air limbah rumah tangga harus memperhatikan beberapa hal agar tidak mencemari lingkungan:

#### 1) Saluran Pembuangan Air Limbah (SPAL)

SPAL adalah sistem pengelolaan air buangan rumah tangga, yang bisa berupa pipa atau saluran terbuka, yang berfungsi untuk mengalirkan air limbah ke tempat pengelolaan atau tempat pembuangan akhir. Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan SPAL adalah:

- Tidak mencemari sumber air bersih di sekitar, baik air permukaan maupun air tanah.
- Tidak mengotori permukaan tanah.
- Mencegah tersebarnya cacing tambang dan berkembangnya serangga seperti lalat.
- Mencegah bau tidak sedap.
- Menggunakan bahan yang sederhana dan mudah didapat dengan biaya murah.
- Jarak minimal antara sumber air bersih dan bak resapan harus 10 meter.

#### 2) Sumur Resapan

Salah satu metode efektif untuk mengelola limbah cair rumah tangga adalah melalui sumur resapan. Limbah cair dari dapur, kamar mandi, dan mencuci bisa dialirkan ke sumur resapan agar air meresap ke tanah, mengurangi risiko pencemaran lingkungan dan genangan.

b. Liquid Waste Domestic wastewater is wastewater produced from various daily activities in the household, such as used water from bathing, washing clothes, washing dishes, and liquid food waste. This waste usually contains chemicals from detergents, oils, fats, and food waste that can pollute the environment if not managed properly.



Figure 5.4 Domestic waste pollutes water sources  
Source: (Mutia, 2017)

### Household Wastewater Management

According to Maliga & Darmin (2020), household wastewater management must pay attention to several things so as not to pollute the environment:

1) Wastewater Drainage Channel (SPAL) SPAL is a household wastewater management system, which can be in the form of pipes or open channels, which function to drain wastewater to a treatment site or final disposal site. Several important aspects that need to be considered in making SPAL are:

- Does not pollute clean water sources in the surrounding area, both surface water and groundwater.
- Does not pollute the ground surface.
- Prevents the spread of hookworms and the growth of insects such as flies.
- Prevents bad odors.
- Using simple and easily available materials at low cost.
- The minimum distance between the clean water source and the infiltration tank must be 10 meters.

2) Infiltration Wells One effective method for managing household liquid waste is through infiltration wells. Liquid waste from the kitchen, bathroom, and washing can be channeled into infiltration wells so that water can seep into the ground, reducing the risk of environmental pollution and puddles.

### c. Limbah yang Berasal dari Kotoran Manusia

Limbah dari kotoran manusia, seperti tinja dan urine, merupakan salah satu jenis limbah rumah tangga yang dapat menjadi sumber utama pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Kotoran manusia mengandung berbagai mikroorganisme berbahaya yang dapat mencemari air, tanah, dan udara (Ferilanda et al., 2023).

#### Pengelolaan Limbah Tinja

Beberapa cara yang umum digunakan untuk mengelola limbah tinja, terutama di daerah perumahan, adalah dengan tangki septik dan bio septic tank.



Gambar 5.5 Septic tank BIO  
Sumber: (Febrianastri, 2024)

### 5.1.3 Penyebab Pencemaran Rumah Tangga

Secara umum, sumber atau penyebab pencemaran dapat dikelompokkan menjadi dua golongan besar, yaitu pencemaran yang diakibatkan oleh aktivitas manusia dan pencemaran yang terjadi secara alamiah (Rochmad et al., 2019). Berikut akan dibahas berbagai penyebab utama pencemaran rumah tangga yang berkaitan dengan aktivitas manusia, diantaranya:

#### a. Air Limbah Domestik

Dalam jurnal yang ditulis oleh Mubin et al., (2016), Air limbah domestik adalah air buangan dari aktivitas permukiman, perkantoran, rumah makan, dan perumahan, yang meliputi tinja, urin, limbah kamar mandi, serta sisa dapur. Polutan dalam limbah dapat menurunkan kualitas air, meningkatkan BOD, serta mengurangi oksigen terlarut yang dibutuhkan makhluk akuatik.

#### b. Penggunaan Bahan Kimia Berbahaya

Penggunaan bahan kimia berbahaya dalam rumah tangga, seperti insektisida, pembersih porselen, kaca, lantai, dan anti sumbat, dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan benar (Sidik et al., 2018). Bahan-bahan ini bersifat toksik, korosif, dan mudah terbakar. Misalnya, pembuangan limbah cair seperti deterjen atau cairan pembersih ke tanah atau saluran air dapat mencemari air tanah, menurunkan kesuburan tanah, serta merusak ekosistem dan kesehatan manusia (Utami et al., 2023).

Dalam sebuah studi di Kabupaten Sleman, Yogyakarta, limbah rumah tangga yang mengandung B3 seperti baterai bekas, lampu listrik, dan sisa

c. Waste from Human Waste

Human waste, such as feces and urine, is one type of household waste that can be a major source of environmental pollution if not managed properly. Human waste contains various dangerous microorganisms that can pollute water, soil, and air (Ferilanda et al., 2023).

#### Faecal Waste Management

Some common methods used to manage fecal waste, especially in residential areas, are with septic tanks and bio septic tanks.



Figure 5.5 BIO septic tank  
Source: (Febrinastri, 2024)

### 5.1.3 Causes of Household Pollution

In general, sources or causes of pollution can be grouped into two large groups, namely pollution caused by human activities and pollution that occurs naturally (Rochmad et al., 2019). The following will discuss the various main causes of household pollution related to human activities, including:

#### a. Domestic Wastewater

In a journal written by Mubin et al., (2016), Domestic wastewater is wastewater from residential, office, restaurant, and housing activities, which includes feces, urine, bathroom waste, and kitchen waste. Pollutants in waste can reduce water quality, increase BOD, and reduce dissolved oxygen needed by aquatic creatures.

#### b. Use of Hazardous

Chemicals The use of hazardous chemicals in households, such as insecticides, porcelain, glass, floor cleaners, and anti-clogging agents, can pollute the environment if not managed properly (Sidik et al., 2018). These materials are toxic, corrosive, and flammable. For example, the disposal of liquid waste such as detergents or cleaning fluids into the soil or waterways can pollute groundwater, reduce soil fertility, and damage ecosystems and human health (Utami et al., 2023).

In a study in Sleman Regency, Yogyakarta, household waste containing B3 such as used batteries, electric lamps, and waste

obat-obatan, ditemukan berpotensi mengancam kesehatan lingkungan dan manusia (Iswanto et al., 2016). Meskipun jumlahnya relatif kecil dibandingkan dengan sampah domestik lainnya, karakteristik bahan ini yang berbahaya, seperti mudah terbakar, reaktif, dan toksik, membuatnya sangat berisiko mencemari lingkungan.

#### c. Sampah Plastik

Peningkatan belanja online selama pandemi COVID-19 memperburuk masalah ini, dengan sampah plastik seperti kemasan dan bubble wrap meningkat (Arbintarso & Nurnawati, 2022).



Gambar 5.6 Karyawan mengemas barang konsumen

Sumber: (Makki, 2015)

Berdasarkan data dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia menghasilkan sekitar 64 juta ton sampah plastik per tahun, dengan 3,2 juta ton di antaranya berakhir di laut (Pratami, 2021). Sebagian besar sampah plastik ini berasal dari konsumsi rumah tangga, dan jika tidak dikelola dengan baik, dapat mencemari tanah, air, dan udara di sekitar rumah.

Bentuk pemecahan masalah pencemaran rumah tangga dalam bentuk karakter konservasi yaitu dengan paving block menjadi salah satu inovasi yang efektif untuk mengatasi limbah sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Paving block ini memanfaatkan limbah plastik yang sulit terurai, kaca bekas yang sering dibuang sembarangan, dan cangkang kerang yang menjadi limbah organik di wilayah pesisir. Proses pembuatannya melibatkan pencacahan limbah plastik untuk menggantikan sebagian bahan perekat seperti semen, sementara kaca dan cangkang kerang yang dihancurkan berfungsi sebagai agregat. Hasil akhirnya adalah paving block yang tidak hanya kuat dan tahan lama tetapi juga mengurangi kebutuhan bahan baku alam seperti pasir dan kerikil (Utomo et al., 2020)

#### d. Minyak dan Lemak

Limbah minyak ini dapat merusak ekosistem dengan meningkatkan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD),

medicines, have been found to potentially threaten environmental and human health (Iswanto et al., 2016). Although the amount is relatively small compared to other domestic waste, the hazardous characteristics of this material, such as flammability, reactivity, and toxicity, make it very risky to pollute the environment.

### c. Plastic Waste

The increase in online shopping during the COVID-19 pandemic has exacerbated this problem, with plastic waste such as packaging and bubble wrap increasing (Arbintarso & Nurnawati, 2022).



Figure 5.6 Employees packing consumer goods

Source: (Makki, 2015)

Based on data from the Indonesian Plastic Industry Association (INAPLAS) and the Central Statistics Agency (BPS), Indonesia produces around 64 million tons of plastic waste per year, with 3.2 million tons of which end up in the sea (Pratami, 2021). Most of this plastic waste comes from household consumption, and if not managed properly, it can pollute the soil, water, and air around the house.

The form of solving the problem of household pollution in the form of conservation characters, namely with paving blocks, is one of the effective innovations to overcome waste while maintaining environmental sustainability. This paving block utilizes plastic waste that is difficult to decompose, used glass that is often thrown away carelessly, and shells that are organic waste in coastal areas. The manufacturing process involves shredding plastic waste to replace some of the adhesive materials such as cement, while crushed glass and shells function as aggregates. The end result is a paving block that is not only strong and durable but also reduces the need for natural raw materials such as sand and gravel (Utomo et al., 2020)

### d. Oil and Fat

This oil waste can damage the ecosystem by increasing the levels of Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD),

serta menghalangi sinar matahari, yang mengakibatkan kematian biota perairan dan gangguan keseimbangan ekosistem (Mardiana et al., 2020). Selain itu, pembuangan minyak ke tanah menurunkan kesuburan dan mencemari air bersih.

e. Sampah Elektronik

Di Indonesia, limbah elektronik dikategorikan sebagai sampah spesifik yang membutuhkan pengelolaan khusus, namun implementasinya masih terbatas (Mulyani et al., 2023).

f. Limbah Makanan

Sisa makanan yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menghasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ), salah satu gas rumah kaca terkuat yang dihasilkan melalui dekomposisi anaerobik bahan organik tanpa oksigen. Timbunan sisa makanan yang tidak terolah akan meningkatkan emisi gas rumah kaca, memperburuk perubahan iklim dan pencemaran udara di lingkungan perumahan (Hermanu, 2022).

## 5.1.4 Dampak Pencemaran Rumah Tangga

Berikut merupakan beberapa dampak pencemaran rumah tangga, diantaranya (Hasibuan, 2016):

a.Pencemaran air

Limbah cair, seperti air bekas cucian dan air mandi, sering kali dibuang langsung ke saluran air tanpa pengolahan yang memadai. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas air sehingga tidak dapat digunakan kembali untuk kebutuhan sehari-hari seperti memasak, mencuci, dan mandi.

b.Dampak sosial dan kesehatan

Limbah organik yang tidak dikelola dengan baik akan terurai oleh mikroorganisme, menghasilkan gas berbau busuk, seperti ammonia. Gas ini tidak hanya mencemari udara, tetapi juga memicu berbagai penyakit, seperti diare, infeksi kulit (kudis dan kurap), serta penyakit yang disebabkan oleh bakteri dan virus.

and blocking sunlight, resulting in the death of aquatic biota and disruption of ecosystem balance (Mardiana et al., 2020). In addition, dumping oil into the soil reduces fertility and pollutes clean water.

e. Electronic Waste In Indonesia, electronic waste is categorized as specific waste that requires special management, but its implementation is still limited (Mulyani et al., 2023).

f. Food Waste Unmanaged food waste has the potential to produce methane gas ( $\text{CH}_4$ ), one of the strongest greenhouse gases produced through anaerobic decomposition of organic matter without oxygen. Piles of unprocessed food waste will increase greenhouse gas emissions, worsen climate change and air pollution in residential areas (Hermanu, 2022).

### 5.1.4 Impact of Household Pollution

The following are some of the impacts of household pollution, including (Hasibuan, 2016):

a. Water pollution Liquid waste, such as used washing water and bathing water, is often discharged directly into waterways without adequate treatment. This causes a decrease in water quality so that it cannot be reused for daily needs such as cooking, washing, and bathing.

b. Social and health impacts Organic waste that is not managed properly will be decomposed by microorganisms, producing foul-smelling gases, such as ammonia. This gas not only pollutes the air, but also triggers various diseases, such as diarrhea, skin infections (scabies and ringworm), and diseases caused by bacteria and viruses.

### c. Eutrofikasi



Gambar 5.7 Suasana Kali Prancis yang dipenuhi enceng gondok di Dadap, Tangerang, Banten

Sumber: (Sendari, 2022)

Eutrofikasi terjadi ketika limbah rumah tangga yang kaya akan nutrien, seperti deterjen dan pupuk, masuk ke perairan. Hal ini menyebabkan ledakan pertumbuhan alga dan fitoplankton. Akibatnya, organisme ini mati secara massal dan mengonsumsi oksigen dalam air, menyebabkan kondisi anoxic atau kekurangan oksigen yang mematikan bagi ikan dan biota laut lainnya.

### d. Peningkatan emisi CO<sub>2</sub>

Penggunaan listrik berlebihan, kendaraan, dan aktivitas rumah tangga lainnya juga meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> yang diserap oleh laut. Kondisi ini menyebabkan peningkatan kadar keasaman air laut, yang pada gilirannya menghambat pembentukan cangkang pada hewan laut seperti karang dan moluska.

### e. Plastik dan mikroplastik

Limbah plastik yang dibuang ke laut menjadi masalah besar. Plastik tidak terurai dengan mudah dan ketika masuk ke ekosistem laut, plastik sering dikira makanan oleh hewan laut. Plastik yang tertelan akan menyebabkan penyumbatan saluran pencernaan, yang pada akhirnya menyebabkan kematian. Selain itu, plastik yang terdegradasi menjadi mikroplastik berukuran sangat kecil dapat masuk ke rantai makanan dan mengancam kesehatan manusia.

## 5.2 Pestisida

### 5.2.1 Definisi Pestisida

Pestisida adalah zat yang digunakan untuk mengendalikan populasi hama yang merugikan manusia. Kata "pestisida" berasal dari gabungan kata "pest" yang berarti hama dan "cide" yang berarti racun, sehingga pestisida bermakna racun bagi hama. Menurut Prajawahyudo et al., (2022), pestisida mencakup semua bahan kimia atau zat lain yang digunakan untuk memberantas atau mencegah hama dan penyakit yang merusak tanaman.

### c. Eutrophication



Figure 5.7 The atmosphere of the French River filled with water hyacinths in Dadap, Tangerang, Banten  
Source: (Sendari, 2022)

Eutrophication occurs when household waste rich in nutrients, such as detergents and fertilizers, enters the water. This causes an explosion of algae and phytoplankton growth. As a result, these organisms die en masse and consume oxygen in the water, causing anoxic or oxygen-deficient conditions that are deadly to fish and other marine life.

### d. Increased CO<sub>2</sub> emissions

Excessive use of electricity, vehicles, and other household activities also increase CO<sub>2</sub> emissions absorbed by the sea. This condition causes an increase in the acidity of seawater, which in turn inhibits the formation of shells in marine animals such as coral and molluscs.

### e. Plastic and microplastics

Plastic waste dumped into the sea is a big problem. Plastic does not decompose easily and when it enters the marine ecosystem, plastic is often mistaken for food by marine animals. Swallowed plastic will cause blockage of the digestive tract, which ultimately leads to death. In addition, plastic that degrades into very small microplastics can enter the food chain and threaten human health.

## 5.2 Pesticides

### 5.2.1 Definition of Pesticides

Pesticides are substances used to control pest populations that are harmful to humans. The word "pesticide" comes from the combination of the words "pest" which means pest and "cide" which means poison, so pesticide means poison for pests. According to Prajawahyudo et al., (2022), pesticides include all chemicals or other substances used to eradicate or prevent pests and diseases that damage plants.

## 5.2.2 Sejarah Pestisida

Pestisida telah digunakan dalam pertanian sejak sekitar 2500 SM, dengan tujuan melindungi tanaman dari gangguan hewan perusak. Bangsa Sumeria menggunakan sulfur sebagai pestisida untuk mengusir tungau atau hama lainnya. Di India, tanaman neem (*Azadirachta indica*) dan urin sapi dimanfaatkan sebagai penolak hama. Dalam ajaran Ayurveda, tanaman neem telah digunakan untuk pengobatan sejak 5000 tahun yang lalu (Nasution & Si, 2022).

Pestisida masuk ke Indonesia pada tahun 1950, bersamaan dengan penerapan konsep Revolusi Hijau. Revolusi Hijau adalah upaya meningkatkan produksi pertanian secara global dengan menggantikan teknologi tradisional dengan teknologi modern. Fokusnya meliputi tiga hal utama: penemuan dan penggunaan bibit unggul, penggunaan pupuk kimia, serta penerapan pestisida pada tanaman. Revolusi Hijau dipelopori oleh Thomas Robert Malthus, yang berpendapat bahwa kemiskinan tidak bisa dihindari karena pertumbuhan penduduk yang pesat tidak sebanding dengan peningkatan produksi pangan (Nasution & Si, 2022).

## 5.2.3 Penggolongan Pestisida

Berdasarkan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT), berbagai jenis pestisida digunakan sesuai dengan target hama yang ingin dikendalikan (Harahap, 2015):

1. Insektisida, digunakan untuk mengendalikan hama berupa serangga.
2. Akarisida, digunakan untuk mengendalikan hama akarina, seperti tungau.
3. Moluskisida, digunakan untuk mengendalikan hama dari kelompok moluska, seperti siput.
4. Rodentisida, digunakan untuk mengendalikan hewan pengerat, seperti tikus.
5. Nematisida, digunakan untuk mengendalikan nematoda.
6. Fungisida, digunakan untuk mengendalikan penyakit tanaman yang disebabkan oleh jamur.
7. Bakterisida, digunakan untuk mengendalikan bakteri yang menyerang tanaman.
8. Herbisida, digunakan untuk mengendalikan gulma atau tumbuhan pengganggu.
9. Algisida, digunakan untuk mengendalikan ganggang (algae).
10. Piskisida, digunakan untuk mengendalikan ikan buas.
11. Avisida, digunakan untuk meracuni burung perusak hasil pertanian.

## 5.2.2 History of Pesticides

Pesticides have been used in agriculture since around 2500 BC, with the aim of protecting crops from pests. The Sumerians used sulfur as a pesticide to repel mites or other pests. In India, the neem plant (*Azadirachta indica*) and cow urine are used as pest repellents. In Ayurveda, the neem plant has been used for medicine since 5000 years ago (Nasution & Si, 2022).

Pesticides entered Indonesia in 1950, along with the implementation of the Green Revolution concept. The Green Revolution is an effort to increase agricultural production globally by replacing traditional technology with modern technology. Its focus includes three main things: the discovery and use of superior seeds, the use of chemical fertilizers, and the application of pesticides to plants. The Green Revolution was pioneered by Thomas Robert Malthus, who argued that poverty was inevitable because rapid population growth was not comparable to the increase in food production (Nasution & Si, 2022).

## 5.2.3 Classification of Pesticides

Based on Plant Pest Organisms (OPT), various types of pesticides are used according to the target pests to be controlled (Harahap, 2015):

1. Insecticides, used to control pests in the form of insects.
2. Acaricides, used to control acarine pests, such as mites.
3. Molluscicides, used to control pests from the mollusk group, such as snails.
4. Rodenticides, used to control rodents, such as rats.
5. Nematicides, used to control nematodes.
6. Fungicides, used to control plant diseases caused by fungi.
7. Bactericide, used to control bacteria that attack plants.
8. Herbicides, used to control weeds or nuisance plants.
9. Algicides, used to control algae.
10. Pesticides, used to control predatory fish.
11. Avisida, used to poison birds that damage agricultural crops.

Tabel 5.1 Penggolongan Pestisida

Insektisida	Akarisida	Moluskisida	Rodentisida	Nematisida
Fungisida	Bakterisida	Herbisida	Avisida	Repellen
Atraktan	Zat Pengatur Tumbuhan (ZPT)	Plant Activator		

## 5.2.4 Jenis Pestisida dan Contohnya

Pestisida dapat dikategorikan ke dalam tiga jenis utama berdasarkan kandungan bahan aktifnya, yaitu (Supriadi, 2013):

a. Pestisida Organik (Alami), yaitu pestisida yang berasal dari bahan-bahan alami seperti tanaman, hewan, atau mikroorganisme. Pestisida jenis ini biasanya lebih ramah lingkungan karena bahan aktifnya dapat terurai secara alami tanpa meninggalkan residu berbahaya. Beberapa contoh pestisida organik antara lain:

- Minyak Neem: Merupakan ekstrak dari pohon neem (*Azadirachta indica*), yang digunakan sebagai insektisida untuk mengendalikan berbagai jenis serangga hama.
- Pyrethrin: Senyawa yang diekstrak dari bunga krisan, efektif dalam melawan serangga seperti lalat dan nyamuk.
- Rotenon: Bahan aktif yang berasal dari akar tumbuhan legum, digunakan untuk membasmi serangga.



Gambar 5.8 Tanaman Mimba (Neem) dan Buahnya  
Sumber: (Saenong, 2016)

Table 5.1 Pesticide Classification

Insektisida	Akarisida	Moluskisida	Rodentisida	Nematisida
Fungisida	Bakterisida	Herbisida	Avisida	Repellen
Atraktan	Zat Pengatur Tumbuhan (ZPT)	Plant Activator		

## 5.2.4 Types of Pesticides and Examples

Pesticides can be categorized into three main types based on their active ingredient content, namely (Supriadi, 2013):

a. Organic (Natural) Pesticides, namely pesticides derived from natural materials such as plants, animals, or microorganisms. This type of pesticide is usually more environmentally friendly because its active ingredients can decompose naturally without leaving harmful residues. Some examples of organic pesticides include:

- Neem Oil: Is an extract from the neem tree (*Azadirachta indica*), which is used as an insecticide to control various types of insect pests.
- Pyrethrin: A compound extracted from chrysanthemum flowers, effective against insects such as flies and mosquitoes.
- Rotenone: An active ingredient derived from the roots of legume plants, used to kill insects.



Figure 5.8 Neem Plant and Its Fruit

Source: (Saenong, 2016)

b. Pestisida Sintetis (Kimia), yaitu pestisida yang dihasilkan melalui proses kimia di laboratorium. Pestisida ini biasanya memiliki efektivitas yang lebih tinggi dan spektrum aksi yang lebih luas. Namun, penggunaannya harus hati-hati karena berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak sesuai dosis anjuran. Beberapa contoh pestisida sintetis meliputi:

- Organofosfat: Contohnya malathion dan diazinon, efektif digunakan untuk mengendalikan berbagai jenis serangga.
- Karbamat: Contohnya karbaril, digunakan untuk mengendalikan banyak jenis serangga hama.
- Pyrethroid: Contohnya permethrin, merupakan insektisida sintetis dengan sifat serupa dengan pyrethrin alami tetapi lebih tahan lama.

c. Pestisida Biologis, juga dikenal sebagai bio-pestisida, adalah pestisida yang menggunakan mikroorganisme seperti bakteri, virus, atau jamur, serta senyawa alami yang dihasilkan oleh mikroorganisme untuk mengendalikan hama. Pestisida biologis umumnya memiliki dampak yang lebih minimal terhadap lingkungan dan lebih spesifik dalam menargetkan hama tertentu. Contoh-contohnya adalah:

- Bakteri Bacillus thuringiensis (Bt): Digunakan untuk membasmikan larva serangga yang merusak tanaman.
- Virus Granulosis: Virus yang digunakan untuk menginfeksi serangga hama tertentu.
- Fungi Entomopatogenik: Seperti Beauveria bassiana, digunakan untuk menginfeksi serangga hama.

Selain itu, pestisida juga dapat dibedakan berdasarkan target hama dan bahan aktif yang dikandungnya. Jenis-jenis pestisida tersebut antara lain:

1) Insektisida, yang berfungsi untuk mengendalikan serangga perusak tanaman. Beberapa contoh insektisida meliputi:

Karbamat (contoh: karbaril)

- Organofosfat (contoh: malathion)
- Neonicotinoid (contoh: imidakloprid)
- Pyrethroid (contoh: permethrin)

2) Herbisida, digunakan untuk mengendalikan gulma atau tumbuhan pengganggu. Contoh herbisida adalah: Glifosat; 2,4-D; Atrazin; dan Parakuat.

3) Fungisida, berfungsi untuk mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh jamur pada tanaman. Contohnya adalah: Mankozeb, Karbendazim, Klorotalonil, dan Tebuconazole.

b. Synthetic Pesticides (Chemical), which are pesticides produced through chemical processes in the laboratory. These pesticides usually have higher effectiveness and a wider spectrum of action. However, their use must be careful because they have the potential to cause negative impacts on the environment and human health if not in accordance with the recommended dosage. Some examples of synthetic pesticides include:

- Organophosphates: Examples include malathion and diazinon, which are effective in controlling a wide range of insects.
- Carbamates: Carbaryl, for example, is used to control many types of insect pests.
- Pyrethroids: Permethrin, for example, is a synthetic insecticide with similar properties to natural pyrethrins but longer lasting.

c. Biological Pesticides, also known as bio-pesticides, are pesticides that use microorganisms such as bacteria, viruses, or fungi, as well as natural compounds produced by microorganisms to control pests. Biological pesticides generally have a lesser impact on the environment and are more specific in targeting certain pests. Examples include:

- Bacillus thuringiensis (Bt) bacteria: Used to kill insect larvae that damage plants.
- Granulosis Virus: A virus used to infect certain insect pests.
- Entomopathogenic Fungi: Such as Beauveria bassiana, used to infect insect pests.

In addition, pesticides can also be distinguished based on the target pests and the active ingredients they contain. The types of pesticides include:

1) Insecticides, which function to control insects that damage plants. Some examples of insecticides include:

Carbamates (example: carbaryl)

- Organophosphates (example: malathion)
- Neonicotinoids (example: imidacloprid)
- Pyrethroid (contoh: permethrin)

2) Herbicides, used to control weeds or nuisance plants. Examples of herbicides are: Glyphosate; 2,4-D; Atrazine; and Paraquat.

3) Fungicides, function to control diseases caused by fungi in plants. Examples are: Mancozeb, Carbendazim, Chlorothalonil, and Tebuconazole.

- 4) Rodentisida, digunakan untuk mengendalikan hewan penggerat seperti tikus yang dapat merusak tanaman dan hasil pertanian. Beberapa contoh rodentisida antara lain: Warfarin, Bromadiolone, dan Zinc phosphide.
- 5) Akarisida, digunakan untuk mengendalikan tungau atau kutu daun yang menyerang tanaman. Beberapa contoh akarisida adalah: Abamektin, dan Fenpyroximate.

### 5.2.5 Kelebihan dan Kekurangan Pestisida

Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari penggunaan pestisida, diantaranya (Astuti & Widayastuti, 2017):

a. Kelebihan Penggunaan Pestisida

- Efektivitas dalam Mengendalikan Hama
- Meningkatkan Produktivitas Pertanian
- Penggunaan yang Relatif Mudah dan Praktis
- Memiliki Spektrum Pengendalian yang Luas
- 

b. Kekurangan Penggunaan Pestisida

- Dampak Negatif terhadap Lingkungan
- Resistensi Hama
- Risiko terhadap Kesehatan Manusia
- Merusak Kesuburan Tanah
- Ketergantungan terhadap Pestisida

## 5.3 Pencemaran Pestisida

### 5.3.1 Definisi Pencemaran Pestisida

Pencemaran pestisida adalah masuknya residu pestisida atau produk degradasinya ke dalam lingkungan termasuk tanah, air, dan udara dalam konsentrasi yang melebihi batas toleransi atau ambang batas aman yang telah ditentukan, sehingga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia maupun hewan. Pencemaran ini umumnya terjadi akibat penggunaan pestisida yang tidak terkendali atau tidak sesuai prosedur pada kegiatan pertanian, perkebunan, dan pengendalian hama.

Pestisida mencemari lingkungan melalui beberapa cara, seperti aplikasi langsung ke tanah atau tanaman, limpasan (runoff) dari lahan pertanian ke badan air, infiltrasi ke tanah dan air tanah, penguapan ke atmosfer, serta akumulasi dalam rantai makanan (biomagnifikasi) yang meningkatkan konsentrasi pestisida pada organisme di tingkat trofik yang lebih tinggi (Yusuf et al., 2023).

4) Rodenticides, used to control rodents such as rats that can damage crops and agricultural products. Some examples of rodenticides include: Warfarin, Bromadiolone, and Zinc phosphide.

5) Acaricides, used to control mites or aphids that attack plants. Some examples of acaricides are: Abamectin, and Fenpyroximate.

### 5.2.5 Advantages and Disadvantages of Pesticides

The following are the advantages and disadvantages of using pesticides, including (Astuti & Widystuti, 2017):

a. Advantages of Using Pesticides

- Effectiveness in Controlling Pests
- Increasing Agricultural Productivity
- Relatively Easy and Practical Use
- Has a Wide Spectrum of Control

b. Disadvantages of Pesticide Use

- Negative Impact on the Environment
- Pest Resistance
- Risks to Human Health
- Damaging Soil Fertility
- Dependence on Pesticides

## 5.3 Pesticide Pollution

### 5.3.1 Definition of Pesticide Pollution

Pesticide pollution is the entry of pesticide residues or their degradation products into the environment including soil, water, and air in concentrations that exceed the tolerance limit or predetermined safe threshold, so that it can have negative impacts on the ecosystem and human and animal health. This pollution generally occurs due to the uncontrolled or improper use of pesticides in agricultural, plantation, and pest control activities.

Pesticides pollute the environment in several ways, such as direct application to soil or plants, runoff from agricultural land into water bodies, infiltration into soil and groundwater, evaporation into the atmosphere, and accumulation in the food chain (biomagnification) which increases pesticide concentrations in organisms at higher trophic levels (Yusuf et al., 2023).

Regulasi mengenai penggunaan pestisida telah menetapkan Batas Maksimum Residu (BMR) pada produk pangan dan standar kualitas lingkungan untuk memastikan keamanan bagi masyarakat serta keberlanjutan ekosistem. Ambang batas ini penting dalam menjaga keseimbangan antara manfaat pestisida dalam pengendalian hama dan risikonya terhadap kesehatan serta lingkungan.

### 5.3.1 Perizinan Pestisida di Indonesia

Perizinan pestisida merupakan aspek penting dalam pengelolaan dan penggunaan bahan kimia pertanian di Indonesia. Dengan adanya regulasi yang ketat, diharapkan penggunaan pestisida dapat dilakukan secara aman dan efektif, serta meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.



Gambar 5.9 Penggunaan pestisida oleh petani Indonesia

Sumber: (Setiawan, 2015)

#### a. Pestisida yang bisa didaftarkan

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian No. 434.1/Kpts/TP.270/7/2001, dalam Bab II Pasal 5 Ayat 1, pestisida dikategorikan menjadi dua kelompok utama: pestisida yang dapat didaftarkan dan pestisida yang dilarang (Aridhayandi & Naufal, 2021). Selanjutnya, dalam Bab II Pasal 5 Ayat 4, dijelaskan bahwa pestisida yang dapat didaftarkan dibagi lagi berdasarkan cara penggunaannya menjadi dua kategori, yaitu pestisida untuk penggunaan umum dan pestisida terbatas.

##### 1) Pestisida Umum

Pestisida umum atau bebas pakai adalah jenis pestisida yang dapat digunakan, diproduksi, dan didistribusikan tanpa memerlukan alat, metode, perlengkapan, keahlian, atau izin khusus.

##### 2) Pestisida Terbatas

Menurut definisi resmi (Bab I, Pasal 1, ayat 23), pestisida terbatas adalah pestisida yang penggunaannya memerlukan alat pelindung dan syarat khusus di luar yang tertera pada label. Kriteria untuk mengklasifikasikan pestisida sebagai terbatas mencakup (Bab II, Pasal 5, ayat 5):

Regulations on pesticide use have set Maximum Residue Limits (MRL) on food products and environmental quality standards to ensure public safety and ecosystem sustainability. These thresholds are important in maintaining a balance between the benefits of pesticides in pest control and their risks to health and the environment.

### 5.3.1 Pesticide Licensing in Indonesia

Pesticide licensing is an important aspect in the management and use of agricultural chemicals in Indonesia. With strict regulations, it is hoped that the use of pesticides can be carried out safely and effectively, and minimize negative impacts on the environment and human health.



Figure 5.9 Use of pesticides by Indonesian farmers

Source: (Setiawan, 2015)

#### a. Pesticides that can be registered

Based on the Decree of the Minister of Agriculture No. 434.1/Kpts/TP.270/7/2001, in Chapter II Article 5 Paragraph 1, pesticides are categorized into two main groups: pesticides that can be registered and pesticides that are prohibited (Aridhayandi & Naufal, 2021). Furthermore, in Chapter II Article 5 Paragraph 4, it is explained that pesticides that can be registered are divided again based on their method of use into two categories, namely pesticides for general use and restricted pesticides.

1) General Pesticides General or over-the-counter pesticides are types of pesticides that can be used, produced, and distributed without requiring special tools, methods, equipment, expertise, or permits.

2) Restricted Pesticides According to the official definition (Chapter I, Article 1, paragraph 23), restricted pesticides are pesticides whose use requires protective equipment and special conditions beyond those stated on the label. The criteria for classifying pesticides as restricted include (Chapter II, Article 5, paragraph 5):

1. Formulasi yang bersifat korosif terhadap mata, dapat menyebabkan kerusakan permanen pada jaringan okuler, pengerasan kornea, atau iritasi yang berlangsung hingga 7 hari atau lebih.
2. Formulasi yang bersifat korosif terhadap kulit, dapat merusak jaringan dalam dermis atau menyebabkan iritasi berat yang berlangsung selama 72 jam atau lebih.
3. Penggunaan pestisida sesuai dengan petunjuk pada label atau praktik umum tetap dapat menyebabkan keracunan yang signifikan secara subkronik, kronik, atau tertunda bagi manusia akibat paparan tunggal atau majemuk dari pestisida tersebut atau residunya.

Dalam Keputusan Menteri Pertanian No. 434.1/Kpts/TP.270/7/2001 yang ditetapkan pada 20 Juli 2001, Menteri Pertanian mencantumkan 18 formulasi pestisida terbatas yang diperbolehkan untuk digunakan.

Tabel 5.2 Daftar Pestisida Terbatas Pakai

Sumber : Djojosumarto, (2008).

<b>Nama Formulasi</b>	<b>Nama dan Kadar Bahan Aktif</b>
Chelphide 56 Pl	Alumunium fosfida 56%
Celphos	Alumunium fosfida 56%
Gramoxone	Paraquat diklorida 276 g/l
Gramoxone S	Paraquat diklorida 276 g/l
Herbatop 276 AS	Paraquat diklorida 276 g/l
Kovin 80 P	Seng fosfida 80%
Magtoxin 60 Pt	Magnesium fostida 60,7%
Mestagas	Alumunium fosfida 57%
Metabrom 98 LG	Metil bromida 98%
Mebrom 98 LG	Metil bromida 98%
Nuvan 50 EC	Diklorvos 500 g/l
Nuvantop 500 FC	Diklorvos 500 g/l
Para-col	Paraquat diklorida 248,4 g/l
Phostoxin 56 1	Alumunium fosfida 56%
Phostoxin 57 P	Alumunium fosfida 57%
Sobrom 98 LG	Metil bromida 98%
Supracide 40 EC	Metidation 420 g/l
Termisidin 350 GA	Endosulfan 332,5 g/l

1. Formulations that are corrosive to the eye may cause permanent damage to ocular tissue, corneal clouding, or irritation lasting up to 7 days or longer.
2. Formulations that are corrosive to the skin may damage the deep tissues of the dermis or cause severe irritation lasting for 72 hours or more.
3. Use of pesticides according to label directions or common practices may still cause significant subchronic, chronic, or delayed poisoning in humans due to single or multiple exposures to the pesticide or its residues.

In the Decree of the Minister of Agriculture No. 434.1/Kpts/TP.270/7/2001 which was stipulated on July 20, 2001, the Minister of Agriculture listed 18 limited pesticide formulations that were permitted for use.

Table 5.2 List of Limited Use Pesticides

Source: Djojosumarto, (2008).

<b>Nama Formulasi</b>	<b>Nama dan Kadar Bahan Aktif</b>
Chelphide 56 Pl	Alumunium fosfida 56%
Celphos	Alumunium fosfida 56%
Gramoxone	Paraquat diklorida 276 g/l
Gramoxone S	Paraquat diklorida 276 g/l
Herbatop 276 AS	Paraquat diklorida 276 g/l
Kovin 80 P	Seng fosfida 80%
Magtoxin 60 Pt	Magnesium fostida 60,7%
Mestagas	Alumunium fosfida 57%
Metabrom 98 LG	Metil bromida 98%
Mebrom 98 LG	Metil bromida 98%
Nuvan 50 EC	Diklorvos 500 g/l
Nuvantop 500 FC	Diklorvos 500 g/l
Para-col	Paraquat diklorida 248,4 g/l
Phostoxin 56 1	Alumunium fosfida 56%
Phostoxin 57 P	Alumunium fosfida 57%
Sobrom 98 LG	Metil bromida 98%
Supracide 40 EC	Metidation 420 g/l
Termisidin 350 GA	Endosulfan 332,5 g/l

Bab II, Pasal 7 ayat 1 dalam Keputusan Menteri Pertanian tersebut menjelaskan ketentuan mengenai penggunaan pestisida terbatas sebagai berikut (Djojosumarto, 2008):

1. Setiap individu yang ingin menggunakan pestisida terbatas diwajibkan untuk memiliki sertifikat.
2. Sertifikat akan diberikan kepada mereka yang telah menyelesaikan pelatihan tentang penggunaan pestisida terbatas yang diadakan oleh Ketua Pengawasan Pestisida di tingkat Provinsi, Kabupaten, atau Kota, atau oleh pejabat berwenang lainnya.
3. Sertifikat tersebut dikeluarkan oleh Ketua Pengawasan Pestisida di tingkat Provinsi, Kabupaten, atau Kota, berlaku di seluruh Indonesia selama 5 tahun dan dapat diperpanjang sesuai dengan peraturan yang berlaku.
4. Proses sertifikasi dan pelatihan untuk penggunaan pestisida terbatas harus dilakukan sesuai dengan pedoman yang ditetapkan oleh Direktur Jenderal.
5. Badan hukum diperbolehkan menggunakan pestisida terbatas jika aplikasi dilakukan oleh karyawan yang telah memiliki sertifikat.

### 3) Pestisida yang Dilarang

Pestisida yang dilarang adalah semua jenis pestisida yang memenuhi kriteria berikut:

1. Formulasi pestisida termasuk dalam kelas Ia (sangat berbahaya sekali) dan kelas IB (sangat berbahaya) menurut klasifikasi yang ditetapkan oleh WHO.
2. Memiliki LC inhalasi formulasi di bawah 0,05 mg/l selama periode pemaparan 4 jam.
3. Memiliki indikasi sebagai karsinogenik, onkogenik, teratogenik, dan mutagenik.

Chapter II, Article 7 paragraph 1 of the Decree of the Minister of Agriculture explains the provisions regarding the use of limited pesticides as follows (Djojosumarto, 2008):

1. Every individual who wants to use restricted pesticides is required to have a certificate.
2. Certificates will be issued to those who have completed training on the use of restricted pesticides held by the Head of Pesticide Supervision at the Provincial, District, or City level, or by other authorized officials.
3. The certificate is issued by the Head of Pesticide Supervision at the Provincial, Regency, or City level, is valid throughout Indonesia for 5 years and can be extended in accordance with applicable regulations.
4. The certification and training process for restricted pesticide use must be carried out in accordance with the guidelines established by the Director General.
5. Legal entities are permitted to use limited pesticides if the application is carried out by certified employees.

3) Prohibited Pesticides Prohibited pesticides are all types of pesticides that meet the following criteria:

1. Pesticide formulations are included in class Ia (extremely hazardous) and class IB (very hazardous) according to the classification established by WHO.
2. Having an inhalation LC of the formulation below 0.05 mg/l over a 4 hour exposure period.
3. It has indications as carcinogenic, oncogenic, teratogenic, and mutagenic.

Menurut Keputusan Menteri Pertanian, bahan aktif pestisida yang terdaftar dalam tabel di bawah ini tidak diperbolehkan untuk didaftarkan di Indonesia.

Tabel 5.3 Bahan Aktif Pestisida Yang Tidak Bisa Didaftarkan Di Indonesia

Sumber : Djojosumarto, (2008).

1.	2,3,5-T	20.	Heptaklor
2.	2,4,5-T	21.	Kaptafol
3.	2,4,6-T	22.	Klordan
4.	Natrium bromodiklorofenol	23.	Klordimefon
5.	Aldikarb	24.	Leptofos
6.	Aldrin	25.	Lindan
7.	Arsonat (MSMA)	26.	Metoksiklor
8.	Cyhexatin	27.	Mevinfos
9.	DDT	28.	Monosodium metam
10.	DBCP	29.	Natrium klorat
11.	Diedrin	30.	Natrium tribromofenol
12.	Diklorofenol	31.	Paration metal
13.	Dinoseb	32.	PCP dan garamnya
14.	EPN	33.	Senyawa arsen
15.	Endrin	34.	Senyawa merkuri
16.	Etilendibromid (EDB)	35.	Strikhnin
17.	Fosfor merah	36.	Telodrin
18.	Halogen fenol	37.	Toksafen
19.	HCH dan isomernya		

According to the Decree of the Minister of Agriculture, the active ingredients of pesticides listed in the table below are not allowed to be registered in Indonesia.

Table 5.3 Active Pesticide Ingredients That Cannot Be Registered in Indonesia

Source: Djojosumarto, (2008).

1.	2,3,5-T	20.	Heptaklor
2.	2,4,5-T	21.	Kaptafol
3.	2,4,6-T	22.	Klordan
4.	Natrium bromodiklorofenol	23.	Klordimefon
5.	Aldikarb	24.	Leptofos
6.	Aldrin	25.	Lindan
7.	Arsonat (MSMA)	26.	Metoksiklor
8.	Cyhexatin	27.	Mevinfos
9.	DDT	28.	Monosodium metam
10.	DBCP	29.	Natrium klorat
11.	Diedrin	30.	Natrium tribromofenol
12.	Diklorofenol	31.	Paration metal
13.	Dinoseb	32.	PCP dan garamnya
14.	EPN	33.	Senyawa arsen
15.	Endrin	34.	Senyawa merkuri
16.	Etilendibromid (EDB)	35.	Strikhnin
17.	Fosfor merah	36.	Telodrin
18.	Halogen fenol	37.	Toksafen
19.	HCH dan isomernya		

### b. Izin yang bisa diberikan

Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian No. 434.1/Kpts/TP.270/7/2001, ada tiga jenis izin pestisida, meliputi (Djojosumarto, 2008):

#### 1. Izin Percobaan

Izin ini dikeluarkan oleh Direktur Jenderal Bina Sarana Pertanian dengan kode pendaftaran RI. xxx/x-xx/P (huruf RI, diikuti nomor pendaftaran/bulan-tahun/P). Berlaku selama 1 tahun dan dapat diperpanjang 2 kali, masing-masing 1 tahun. Izin ini hanya untuk penelitian, bukan komersial.

#### 2. Izin Sementara

Izin sementara diberikan oleh Menteri Pertanian dengan kode RI. xxx/x-xx/S. Berlaku 1 tahun dan bisa diperpanjang 3 kali. Tujuannya untuk melengkapi data teknis. Jika ada dampak negatif, izin dapat dicabut.

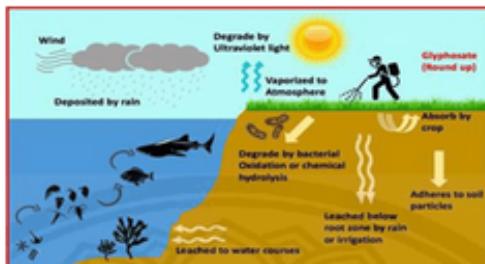
#### 3. Izin Tetap

Izin tetap dengan kode RI. xxx/x-xx/T diberikan oleh Menteri Pertanian setelah memenuhi syarat. Berlaku 5 tahun dan bisa diperpanjang. Pestisida ini dapat diproduksi dan digunakan secara komersial, tapi izin bisa dicabut jika terbukti membahayakan kesehatan atau lingkungan.

## 5.3.2 Contoh Pencemaran Pestisida

### a. Pestisida Mencemari Tanah

Pestisida yang digunakan dalam pertanian dapat mencemari tanah melalui berbagai proses. Salah satu yang penting adalah biodegradasi, di mana mikroorganisme dalam tanah memecah pestisida menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses ini sangat dipengaruhi oleh sifat kimia pestisida, jenis mikroorganisme dalam tanah, serta kondisi lingkungan seperti suhu dan pH.



Gambar 5.10 Pestisida mencemari tanah

Sumber: (Desa Cikoneng, n.d.)

### b. Permissions that can be granted

Based on the Regulation of the Minister of Agriculture No. 434.1/Kpts/TP.270/7/2001, there are three types of pesticide permits, including (Djojosumarto, 2008):

#### 1. Experimental Permit

This permit is issued by the Director General of Agricultural Facilities Development with the registration code RI. xxx/x-xx/P (letters RI, followed by registration number/month-year/P). Valid for 1 year and can be extended 2 times, each for 1 year. This permit is for research only, not commercial.

#### 2. Temporary Permit

Temporary permit is given by the Minister of Agriculture with the code RI. xxx/x-xx/S. Valid for 1 year and can be extended 3 times. The purpose is to complete technical data. If there is a negative impact, the permit can be revoked.

#### 3. Permanent Permit

Permanent permit with code RI. xxx/x-xx/T is given by the Minister of Agriculture after meeting the requirements. Valid for 5 years and can be extended. This pesticide can be produced and used commercially, but the permit can be revoked if it is proven to be harmful to health or the environment.

## 5.3.2 Examples of Pesticide Pollution

### a. Pesticides Contaminate the Soil

Pesticides used in agriculture can contaminate the soil through various processes. One important one is biodegradation, where microorganisms in the soil break down pesticides into simpler compounds. This process is greatly influenced by the chemical nature of the pesticide, the type of microorganisms in the soil, and environmental conditions such as temperature and pH.

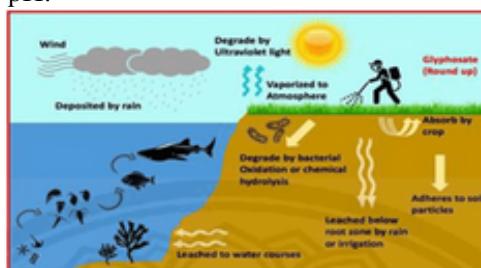
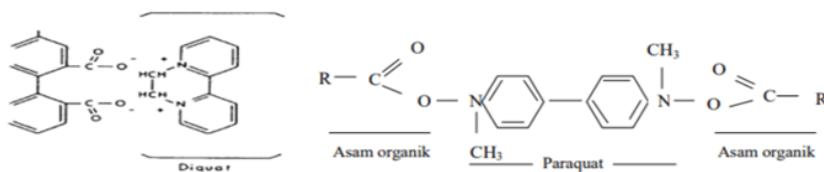


Figure 5.10 Pesticides contaminate the soil

Source: (Cikoneng Village, n.d.)

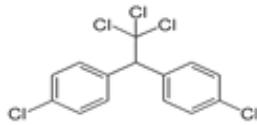
Reaksi kimia yang terjadi pada pestisida di tanah menentukan stabilitas dan persistensi senyawa tersebut. Beberapa pestisida memiliki produk degradasi yang masih beracun bagi organisme tanah atau bahkan lebih berbahaya daripada senyawa asalnya. Hal ini dapat mengubah keseimbangan ekosistem tanah, mengurangi kesuburan tanah, serta meracuni tanaman dan organisme yang hidup di tanah tersebut. Perhatikan contoh reaksi berikut (Suciati et al., 2016):



Gambar 5.11 Ilustrasi bentuk ikatan antara bahan organik dengan herbisida diquat dan paraquat  
Sumber: (Suciati et al., 2016)

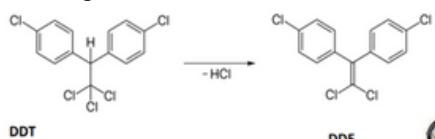
### b. Pestisida Mencemari Air

Biomagnifikasi adalah proses di mana bahan pencemar nonbiodegradable seperti DDT (Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane) mengalami peningkatan konsentrasi di sepanjang rantai makanan (Susilowarno, 2008). Proses ini dimulai ketika bahan pencemar masuk ke dalam ekosistem, biasanya melalui aktivitas manusia seperti penggunaan pestisida, dan terakumulasi dalam organisme yang lebih kecil seperti plankton atau tumbuhan air. Dalam rantai makanan, makhluk yang berada di posisi lebih tinggi, seperti ikan besar dan predator lainnya, akan mengkonsumsi organisme yang terkontaminasi, menyebabkan konsentrasi bahan pencemar ini meningkat secara signifikan dalam tubuh mereka. Hal ini karena bahan pencemar seperti DDT tidak dapat diurai secara alami (non biodegradable) dan tidak dapat dikeluarkan dari tubuh secara efisien.



Gambar 5.12 Struktur DDT  
Sumber: (Ulfah & Azhari, n.d.)

DDT dalam lingkungan secara bertahap dapat terdegradasi menjadi DDE melalui reaksi hidrolisis seperti ini:



Gambar 5.13 Reaksi hidrolisis DDT (Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane) yang menghasilkan produk DDE (Dichloro-Diphenyl-Dichloroethylene)  
Sumber : (Ulfah & Azhari, n.d.)

The chemical reactions that occur in pesticides in the soil determine the stability and persistence of the compound. Some pesticides have degradation products that are still toxic to soil organisms or even more dangerous than the original compound. This can change the balance of the soil ecosystem, reduce soil fertility, and poison plants and organisms that live in the soil. Consider the following reaction examples (Suciati et al., 2016):

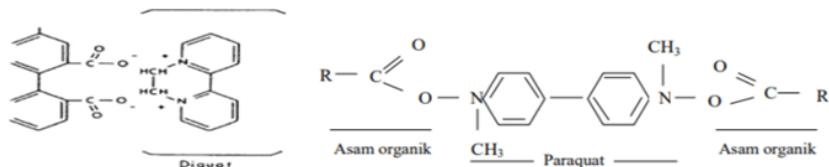


Figure 5.11 Illustration of the bond form between organic materials and diquat and paraquat herbicides  
Source: (Suciati et al., 2016)

### b. Pesticides Contaminate Water

Biomagnification is the process by which non-biodegradable pollutants such as DDT (Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane) increase in concentration along the food chain (Susilowarno, 2008). This process begins when pollutants enter an ecosystem, usually through human activities such as pesticide use, and accumulate in smaller organisms such as plankton or aquatic plants. In the food chain, creatures that are higher up, such as large fish and other predators, will consume contaminated organisms, causing the concentration of these pollutants to increase significantly in their bodies. This is because pollutants such as DDT cannot be broken down naturally (non-biodegradable) and cannot be excreted from the body efficiently.

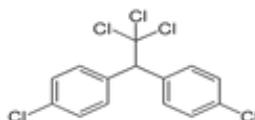


Figure 5.12 DDT Structure  
Source: (Ulfah & Azhari, n.d.)

DDT in the environment can gradually degrade into DDE through hydrolysis reactions such as this:

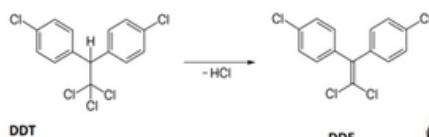


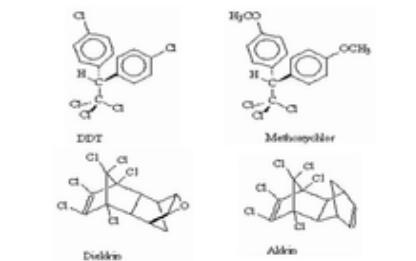
Figure 5.13 Hydrolysis reaction of DDT (Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane) which produces the product DDE (Dichloro-Diphenyl-Dichloroethylene)  
Source: (Ulfah & Azhari, n.d.)

Hidrolisis adalah proses kimia di mana air memecah molekul menjadi dua bagian. Dalam kasus ini, DDT mengalami hidrolisis dengan bantuan katalis basa (seperti ion OH<sup>-</sup>) pada pH 9. Proses ini lambat dengan waktu paruh sekitar 81 hari. Pada reaksi ini, satu gugus klorin (Cl) pada karbon tengah DDT dilepaskan dalam bentuk HCl, dan produk akhirnya adalah DDE (Dichloro-diphenyl-dichloroethylene).

### c. Pestisida Mencemari Udara

Diambil dari penelitian di daerah pertanian Hulu Sungai Citarum, pencemaran udara akibat pestisida organoklorin seperti Lindan, Heptaklor, Aldrin, Endosulfan, DDT, Dieldrin, dan Endrin terdeteksi di udara ambien (Prananditya & Oginawati, 2016). Meskipun pestisida organoklorin sudah dilarang di Indonesia karena sifatnya yang toksik, persistent, dan bioakumulatif, penggunaannya masih ditemukan, terutama di lahan perkebunan. Pestisida ini dapat terdispersi ke udara melalui drift pestisida selama penyemprotan. Mekanisme pencemaran udara oleh pestisida organoklorin terjadi melalui dua fase, yaitu fase gas dan fase partikulat.

Senyawa organoklorin di udara berisiko besar bagi kesehatan manusia, termasuk petani dan penduduk sekitar, karena sifatnya yang persisten dan cenderung terakumulasi di lingkungan dan rantai makanan.



Gambar 5. 14 Beberapa struktur dari Organoklorin  
Sumber: (Rapid Test Kit, 2016)

### 5.3.3 Dampak Pencemaran Pestisida

Dampak negatif dari pencemaran pestisida dalam kegiatan pertanian sangat signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, diantaranya (Adriyani, 2006):

1. Pencemaran Air dan Tanah
2. Pencemaran Udara
3. Resistensi Hama
4. Ledakan Hama Sekunder
5. Merusak Keseimbangan Ekosistem
6. Dampak Kesehatan pada Manusia

Hydrolysis is a chemical process in which water breaks a molecule into two parts. In this case, DDT undergoes hydrolysis with the help of a base catalyst (such as OH<sup>-</sup> ions) at pH 9. This process is slow with a half-life of about 81 days. In this reaction, a chlorine (Cl) group on the middle carbon of DDT is released in the form of HCl, and the end product is DDE (Dichloro-diphenyl-dichloroethylene).

### c. Pesticides Pollute the Air

Taken from research in the agricultural area of Hulu Sungai Citarum, air pollution due to organochlorine pesticides such as Lindane, Heptachlor, Aldrin, Endosulfan, DDT, Dieldrin, and Endrin was detected in ambient air (Prananditya & Oginawati, 2016). Although organochlorine pesticides have been banned in Indonesia due to their toxic, persistent, and bioaccumulative nature, their use is still found, especially in plantation areas. These pesticides can be dispersed into the air through pesticide drift during spraying. The mechanism of air pollution by organochlorine pesticides occurs through two phases, namely the gas phase and the particulate phase.

Organochlorine compounds in the air pose a major risk to human health, including farmers and local residents, due to their persistent nature and tendency to accumulate in the environment and food chain.

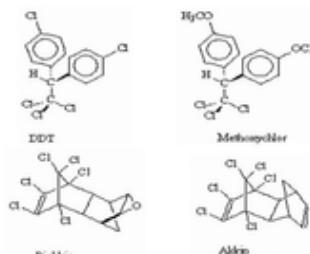


Figure 5.14 Some structures of Organochlorine  
Source: (Rapid Test Kit, 2016)

### 5.3.3 Impact of Pesticide Pollution

The negative impacts of pesticide pollution in agricultural activities are very significant for the environment and human health, including (Adriyani, 2006):

1. Water and Soil Pollution
2. Air Pollution
3. Pest Resistance
4. Secondary Pest Explosion
5. Disrupting the Ecosystem Balance
6. Health Impact on Humans

### 5.3.4 Cara Cegah Pencemaran Pestisida

Pencegahan pencemaran pestisida sangat penting untuk menjaga kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan, sehingga diperlukan langkah-langkah tepat dalam penggunaannya, sebagai berikut (Sulaiman et al., 2009):

#### 1. Pemakaian yang Aman dan Tepat

- Kenakan pakaian pelindung
- Jangan mencampur pestisida dengan tangan kosong
- Cuci tangan sebelum dan sesudah

#### 2. Pencegahan Paparan Lingkungan

- Jangan menyemprot saat angin kencang atau hujan
- Lakukan penyemprotan di pagi atau sore hari

#### 3. Penyimpanan yang Tepat

- Simpan pestisida di tempat aman
- Jangan simpan pestisida dekat sumber air atau makanan

#### 4. Penanganan Bekas Kemasan

- Buang bekas pestisida dengan aman
- Periksa residu pestisida pada peralatan

#### 5. Hindari Kontaminasi Langsung

- Gunakan dosis minimal yang diperlukan
- Jauhkan dari area yang tidak perlu disemprot

#### 6. Pencegahan saat Bekerja

- Cuci pakaian setelah terpapar pestisida
- Mandi setelah bekerja dengan pestisida

### 5.3.5 Upaya Penanganan Pencemaran Pestisida

Langkah-langkah utama dalam bioremediasi untuk menangani pencemaran pestisida meliputi (Sutanto, 2001):

#### 1. Penggunaan Mikroorganisme Terpilih

Mikroorganisme tanah seperti bakteri *Arthrobacter* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Bacillus* sp. telah terbukti efektif dalam mengurai pestisida seperti organofosfat dan organoklorin. Mikroorganisme ini mampu memanfaatkan pestisida sebagai sumber energi dan karbon, memecah senyawa-senyawa tersebut menjadi produk yang kurang berbahaya.



Gambar 5.15 Arthrobacter  
Sumber: (Wikipedia, 2023)

### 5.3.4 How to Prevent Pesticide Pollution

Prevention of pesticide pollution is very important to maintain human health and environmental sustainability, so appropriate steps are needed in its use, as follows (Sulaiman et al., 2009):

#### 1. Safe and Proper Use

- Wear protective clothing.
- Do not mix pesticides with bare hands
- Wash hands before and after

#### 2. Prevention of Environmental Exposure

- Do not spray during strong winds or rain.
- Spray in the morning or evening

#### 3. Proper Storage

- Store pesticides in a safe place
- Do not store pesticides near water sources or food.

#### 4. Handling of Used Packaging

- Dispose of pesticide residue safely
- Check for pesticide residues on equipment

#### 5. Avoid Direct Contamination

- Use the minimum dose required
- Keep away from areas that do not need to be sprayed.

#### 6. Prevention at Work

- Wash clothes after exposure to pesticides
- Take a shower after working with pesticides

### 5.3.5 Efforts to Handle Pesticide Pollution

The main steps in bioremediation to handle pesticide pollution include (Sutanto, 2001):

#### 1. Use of Selected

Microorganisms Soil microorganisms such as *Arthrobacter* sp., *Pseudomonas* sp., and *Bacillus* sp. have been proven effective in decomposing pesticides such as organophosphates and organochlorines. These microorganisms are able to utilize pesticides as a source of energy and carbon, breaking down these compounds into less hazardous products.

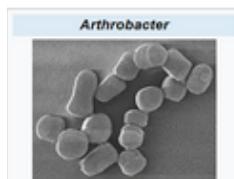


Figure 5.15 Arthrobacter  
Source: (Wikipedia, 2023)

## 2. Teknologi Bioreaktor

Dalam bioreaktor, mikroorganisme dipaparkan pada kondisi yang optimal untuk mendukung degradasi pestisida. Faktor-faktor seperti suhu, pH, kadar oksigen, dan ketersediaan nutrisi diatur sedemikian rupa sehingga mikroorganisme dapat bekerja dengan efisiensi maksimal.

## 3. Fitoremediasi

Tumbuhan seperti *Brassica juncea* dan *Vetiveria zizanioides* mampu menyerap pestisida dari tanah dan air, mengakumulasi serta memetabolisme senyawa beracun. Tumbuhan ini membantu mengurangi kontaminasi di lahan pertanian dengan mengurangi konsentrasi pestisida melalui penyerapan akar dan transformasi metabolismik.



Gambar 5.16 *Brassica juncea* dan *Vetiveria zizanioides*  
Sumber: (Plantamor, n.d.) & (Kavian et al., 2018)

## 4. Kompos dan Pupuk Hijau

Aplikasi kompos dan pupuk hijau dalam tanah dapat meningkatkan populasi mikroorganisme yang berguna dalam proses degradasi pestisida. Pupuk organik membantu memperkaya bahan organik di tanah, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan mikroorganisme pengurai pestisida.

## 5. Imobilisasi Mikroba

Mikroorganisme dimobilisasi pada permukaan bahan pendukung seperti arang aktif atau gel alginat, yang kemudian ditempatkan di area yang terkontaminasi (Mulyono, 2009). Imobilisasi ini meningkatkan stabilitas mikroorganisme, memperpanjang masa hidupnya, dan meningkatkan kapasitasnya untuk menguraikan pestisida dalam lingkungan.

## 2. Bioreactor Technology

In a bioreactor, microorganisms are exposed to optimal conditions to support pesticide degradation. Factors such as temperature, pH, oxygen levels, and nutrient availability are regulated so that microorganisms can work at maximum efficiency.

## 3. Phytoremediation

Plants such as *Brassica juncea* and *Vetiveria zizanioides* are able to absorb pesticides from soil and water, accumulate and metabolize toxic compounds. These plants help reduce contamination in agricultural land by reducing pesticide concentrations through root absorption and metabolic transformation.



Figure 5.16 *Brassica juncea* and *Vetiveria zizanioides*

Source: (Plantamor, n.d.) & (Kavian et al., 2018)

## 4. Compost and Green Manure

Application of compost and green manure in the soil can increase the population of microorganisms that are useful in the process of pesticide degradation. Organic fertilizers help enrich organic matter in the soil, which in turn supports the growth of microorganisms that decompose pesticides.

## 5. Microbial Immobilization

Microorganisms are mobilized on the surface of supporting materials such as activated charcoal or alginate gel, which are then placed in contaminated areas (Mulyono, 2009). This immobilization increases the stability of microorganisms, extends their lifespan, and increases their capacity to decompose pesticides in the environment.

## 5.4 Pestisida Nabati

### 5.4.1 Pengertian Pestisida Nabati

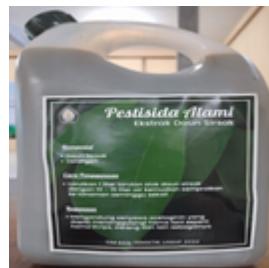
Pestisida nabati adalah pestisida yang bahan aktifnya berasal dari tumbuh-tumbuhan yang memiliki khasiat untuk mengendalikan serangan hama pada tanaman. Pestisida nabati dikenal juga sebagai pestisida alami karena dibuat dari berbagai tanaman yang memiliki sifat insektisida, fungisida, bakterisida, dan nematisida (Sutriadi et al., 2019).

Selain itu, pestisida nabati dapat dibuat dengan mudah menggunakan bahan yang murah dan peralatan sederhana. Ini menjadikan pestisida nabati sebagai pilihan yang ekonomis bagi petani, terutama di daerah pedesaan yang memiliki keterbatasan akses terhadap produk-produk kimia sintetis. Pestisida nabati mengandung senyawa aktif tunggal atau majemuk yang dapat berfungsi sebagai penghambat nafsu makan (antifeedant), penolak (repellent), penarik (attractant), penghambat perkembangan, dan bahkan bertindak langsung sebagai racun untuk mengurangi populasi hama (Mulyadi, 2019).

Pestisida nabati juga merupakan salah satu komponen penting dalam konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT). PHT menekankan pada penggunaan pendekatan ekologis dan ekonomis dalam pengendalian hama, dengan pestisida kimia sebagai pilihan terakhir. Penggunaan pestisida nabati sebagai salah satu elemen PHT bertujuan untuk mengurangi dampak negatif dari pestisida kimia terhadap lingkungan, sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumber daya lokal (Mudjiono, 2013).

Di alam, terdapat lebih dari 1.000 spesies tumbuhan yang mengandung senyawa insektisida, lebih dari 380 spesies mengandung zat penghambat makan (antifeedant), lebih dari 270 spesies mengandung zat penolak (repellent), dan lebih dari 30 spesies mengandung senyawa penghambat pertumbuhan (Marlinda et al., 2012). Tanaman-tanaman ini memiliki kandungan fitokimia yang beragam, seperti:

- Saponin: Senyawa yang dapat mengganggu pencernaan hama serangga.
- Alkaloid: Zat kimia yang dapat mengurangi nafsu makan hama dan menghambat reproduksi serangga.
- Polifenol: Zat yang dapat mengurangi perkembangan serangga dan bersifat antimikroba (Sumartini, 2016).



Gambar 5.17 Pestisida alami

## 5.4 Botanical Pesticides

### 5.4.1 Definition of Botanical Pesticides

Botanical pesticides are pesticides whose active ingredients come from plants that have properties to control pest attacks on plants. Botanical pesticides are also known as natural pesticides because they are made from various plants that have insecticidal, fungicide, bactericidal, and nematicidal properties (Sutriadi et al., 2019).

In addition, botanical pesticides can be easily made using inexpensive materials and simple equipment. This makes botanical pesticides an economical choice for farmers, especially in rural areas that have limited access to synthetic chemical products. Botanical pesticides contain single or compound active compounds that can function as antifeedants, repellents, attractants, development inhibitors, and even act directly as poisons to reduce pest populations (Mulyadi, 2019).

Botanical pesticides are also an important component in the concept of Integrated Pest Management (IPM). IPM emphasizes the use of ecological and economic approaches in pest control, with chemical pesticides as a last resort. The use of botanical pesticides as an element of IPM aims to reduce the negative impacts of chemical pesticides on the environment, while optimizing the use of local resources (Mudjiono, 2013).

In nature, there are more than 1,000 species of plants containing insecticidal compounds, more than 380 species containing antifeedant substances, more than 270 species containing repellents, and more than 30 species containing growth inhibitor compounds (Marlinda et al., 2012). These plants have diverse phytochemical content, such as:

- Saponin: A compound that can interfere with the digestion of insect pests.
- Alkaloids: Chemicals that can reduce pest appetite and inhibit insect reproduction.
- Polyphenols: Substances that can reduce insect growth and have antimicrobial properties (Sumartini, 2016).

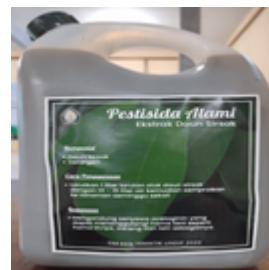


Figure 5.17 Natural pesticides

## 5.4.2 Manfaat Pestisida Nabati

Secara praktis, pestisida nabati dapat digunakan dalam berbagai fase pertumbuhan tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pestisida nabati pada tanaman pangan, seperti padi dan jagung, dapat meningkatkan hasil panen. Misalnya, pemberian pestisida nabati yang terbuat dari ekstrak daun mimba, biji mahoni, dan asap cair terbukti mampu meningkatkan hasil gabah kering panen sebesar 10,8% hingga 48,7% pada varietas padi Mekongga, Situ Bagendit, dan Ciherang (Sutriadi et al., 2019).



Gambar 5.18 Produk pestisida nabati

Sumber: (Kementan, 2021)

Manfaat lainnya dari pestisida nabati adalah kemampuannya untuk mengendalikan berbagai jenis hama dan penyakit dengan cara yang lebih spesifik. Sebagai contoh, daun sirsak (*Annona muricata*) efektif dalam mengendalikan hama ulat api pada tanaman kelapa sawit melalui mekanisme racun kontak (Saragih et al., 2019)

## 5.4.3 Macam-macam Pestisida Nabati

### a. Minyak Neem (*Azadirachta indica*)

Bahan Aktif: Azadirachtin

Fungsi: Minyak neem merupakan insektisida dan fungisida alami yang efektif mengendalikan berbagai serangga, seperti kutu daun, ulat, dan lalat putih. Azadirachtin bekerja dengan cara sistemik, meresap ke dalam jaringan tanaman dan memengaruhi serangga yang memakannya.

Keunggulan: Azadirachtin bersifat anti-feedant (menghambat serangga untuk makan) dan mengganggu siklus pertumbuhan serangga dengan menghambat perkembangan larva, nafsu makan, serta proses reproduksi.

Rumus Kimia:  $C_3H_{44}O_16$

Reaksi Kimia: Azadirachtin tidak bereaksi secara langsung dengan hama. Mekanismenya bekerja melalui gangguan hormonal yang menghambat perkembangan dan reproduksi serangga, menyebabkan kelumpuhan dan akhirnya kematian.

### b. Tembakau (*Nicotiana tabacum*)

Bahan Aktif: Nikotin

Fungsi: Nikotin digunakan sebagai insektisida alami yang efektif untuk mengendalikan berbagai serangga seperti kutu daun dan ulat.



Gambar 5.19 Tanaman Mimba (Neem) dan Buahnya

Sumber: (Saenong, 2016)

## 5.4.2 Benefits of Botanical Pesticides

In practice, botanical pesticides can be used in various phases of plant growth. Research shows that the use of botanical pesticides on food crops, such as rice and corn, can increase crop yields. For example, the administration of botanical pesticides made from neem leaf extract, mahogany seeds, and liquid smoke has been shown to increase dry grain yields by 10.8% to 48.7% in Mekongga, Situ Bagendit, and Ciherang rice varieties (Sutriadi et al., 2019).



Figure 5.18 Botanical pesticide products

Source: (Ministry of Agriculture, 2021)

Another benefit of botanical pesticides is their ability to control various types of pests and diseases in a more specific way. For example, soursop leaves (*Annona muricata*) are effective in controlling fireworm pests in oil palm plants through a contact poison mechanism (Saragih et al., 2019)

## 5.4.3 Types of Botanical Pesticides

a. Neem Oil (*Azadirachta indica*) Active Ingredients: Azadirachtin  
Function: Neem oil is a natural insecticide and fungicide that is effective in controlling various insects, such as aphids, caterpillars, and whiteflies. Azadirachtin works systemically, penetrating into the plant tissues and affect the insects that feed on them.

Advantages: Azadirachtin is an anti-feedant (inhibits insects from eating) and disrupts the insect growth cycle by inhibiting larval development, appetite, and the reproductive process.

Chemical Formula:  $C_3H_{44}O_16$



Figure 5.19 Neem Plant and Its Fruit

Source: (Saenong, 2016)

Chemical Reaction: Azadirachtin does not react directly with pests. Its mechanism works through hormonal disruption that inhibits insect development and reproduction, causing paralysis and eventually death.

b. Tobacco (*Nicotiana tabacum*)

Active Ingredient: Nicotine

Function: Nicotine is used as an effective natural insecticide to control various insects such as aphids and caterpillars.

Keunggulan: Nikotin sangat efektif, terutama terhadap serangga pengisap. Namun, penggunaannya harus berhati-hati karena tingkat toksitasnya yang tinggi bagi manusia dan hewan lainnya.

Rumus Kimia:  $C_10H_{14}N_2$

Reaksi Kimia: Nikotin bekerja dengan mengikat reseptor asetilkolin pada sistem saraf serangga, menyebabkan gangguan transmisi sinyal. Akibatnya, terjadi aktivitas saraf yang berlebihan, yang berujung pada kelumpuhan dan kematian serangga.



Gambar 5. 20 Pestisida nabati berbahan dasar batang tembakau  
Sumber: (Balet Barudesa, 2019)

#### 5.4.4 Bahan Aktif Pestisida Nabati

Beberapa bahan aktif yang telah dikenal memiliki efek sebagai pestisida nabati antara lain:

a) Azadirachtin

Azadirachtin merupakan senyawa yang ditemukan pada daun dan biji mimba (*Azadirachta indica*). Azadirachtin juga dikenal efektif dalam mengganggu proses perkembangan serangga pada tahap larva hingga dewasa, sehingga mengurangi populasi hama secara signifikan (Mulyadi, 2019).

b) Saponin

Saponin juga dikenal memiliki sifat racun kontak, yang berarti hama yang terkena saponin akan segera menunjukkan tanda-tanda kerusakan jaringan (Saragih et al., 2019).

c) Alkaloid

Alkaloid bekerja dengan cara mengganggu sistem saraf serangga, yang menyebabkan hama tidak mampu berkembang biak secara normal dan akhirnya mati (Sumartini, 2016).

d) Eugenol

Eugenol ini dikenal memiliki sifat sebagai insektisida dengan cara menyerang sistem saraf hama, menyebabkan kematian akibat paralisis. Selain itu, eugenol juga berfungsi sebagai pengusir (repellent), menghindarkan tanaman dari serangan hama sejak awal (Marlinda et al., 2012).

**Advantages:** Nicotine is very effective, especially against sucking insects. However, its use must be careful because of its high toxicity to humans and other animals.

**Chemical Formula:**  $C_{10}H_{14}N_2$

**Chemical Reaction:** Nicotine works by binding to acetylcholine receptors in the insect's nervous system, causing disruption of signal transmission. As a result, excessive nerve activity occurs, leading to paralysis and death of the insect.



Figure 5.20 Botanical pesticides made from tobacco stems Source: (Balet Barudesa, 2019)

#### 5.4.4 Active Ingredients of Botanical Pesticides

Some active ingredients that are known to have effects as botanical pesticides include:

- a) Azadirachtin Azadirachtin is a compound found in neem leaves and seeds (*Azadirachta indica*). Azadirachtin is also known to be effective in disrupting the development process of insects from the larval to adult stages, thereby significantly reducing the pest population (Mulyadi, 2019).
- b) Saponin Saponin is also known to have contact poison properties, which means that pests exposed to saponin will immediately show signs of tissue damage (Saragih et al., 2019).
- c) Alkaloids Alkaloids work by disrupting the insect's nervous system, which causes the pest to be unable to reproduce normally and eventually die (Sumartini, 2016).
- d) Eugenol Eugenol is known to have properties as an insecticide by attacking the nervous system of pests, causing death due to paralysis. In addition, eugenol also functions as a repellent, preventing plants from being attacked by pests from the start (Marlinda et al., 2012).

### e) Flavonoid dan Polifenol

Flavonoid yang ditemukan dalam kulit jeruk serta polifenol yang terdapat pada daun kenikir (*Cosmos caudatus*) juga memiliki sifat insektisida yang efektif. Senyawa-senyawa ini bekerja dengan cara menghambat aktivitas makan hama dan mengganggu metabolisme internal mereka, sehingga hama tidak dapat bertahan hidup (Marlinda et al., 2012).

## 5.4.5 Mekanisme Kerja Pestisida Nabati

Secara umum, mekanisme kerja pestisida nabati dapat dikelompokkan menjadi beberapa cara, tergantung pada senyawa aktif yang terkandung di dalamnya. Mekanisme tersebut meliputi (Sutriadi et al., 2019):

1. Menghambat perkembangan hama
2. Repellent (pengusir hama)
3. Racun kontak
4. Penghambatan makan dan reproduksi

## 5.4.6 Keunggulan dan Kelemahan Pestisida Nabati

Berikut adalah penjelasan mendalam mengenai kelebihan dan kekurangan pestisida nabati:

### 1. Keunggulan Pestisida Nabati

Keunggulan pestisida nabati, diantaranya:

#### a. Ramah Lingkungan

Pestisida nabati terurai dengan cepat di alam, sehingga tidak meninggalkan residu berbahaya yang dapat mencemari lingkungan (Hidayanti & Ambarwati, 2016).



Gambar 5. 21 Pembuatan pestisida nabati  
Sumber: (Handayani, 2022)

#### b. Keamanan untuk Manusia dan Hewan Peliharaan

Penggunaan pestisida nabati dinilai lebih aman bagi manusia dan hewan peliharaan, karena tidak menimbulkan risiko keracunan seperti yang sering terjadi pada pestisida kimia sintetis.

#### c. Efektivitas Mengatasi Hama Resisten

Pestisida nabati terbukti efektif dalam mengatasi organisme pengganggu tanaman (OPT) yang telah kebal terhadap pestisida kimia. Ini menjadikannya solusi penting bagi petani yang menghadapi masalah resistensi.

#### d. Fitotoksitas Rendah

Pestisida nabati memiliki fitotoksitas yang rendah, yang berarti tidak merusak tanaman yang disemprot, bahkan pada fase pertumbuhan yang

e) Flavonoids and Polyphenols Flavonoids found in orange peel and polyphenols found in *Cosmos caudatus* leaves also have effective insecticidal properties. These compounds work by inhibiting pest feeding activity and disrupting their internal metabolism, so that pests cannot survive (Marlinda et al., 2012).

#### 5.4.5 Mechanism of Action of Botanical Pesticides

In general, the mechanism of action of botanical pesticides can be grouped into several ways, depending on the active compounds contained therein. These mechanisms include (Sutriadi et al., 2019):

- Inhibits pest development
- Repellent (pest repellent)
- Contact poison
- Inhibition of feeding and reproduction

#### 5.4.6 Advantages and Disadvantages of Botanical Pesticides

The following is an in-depth explanation of the advantages and disadvantages of botanical pesticides:

1. Advantages of Botanical Pesticides The advantages of botanical pesticides include:

a. Environmentally friendly

Botanical pesticides decompose quickly in nature, so they do not leave harmful residues that can pollute the environment (Hidayanti & Ambarwati, 2016).



Figure 5. 21 Making botanical pesticides  
Source: (Handayani, 2022)

b. Safety for Humans and Pets The use of botanical pesticides is considered safer for humans and pets, because it does not pose a risk of poisoning as often occurs with synthetic chemical pesticides.

c. Effectiveness in Overcoming Resistant Pests Botanical pesticides have proven effective in overcoming plant pests (OPT) that have become resistant to chemical pesticides. This makes it an important solution for farmers facing resistance problems.

d. Low Phytotoxicity Botanical pesticides have low phytotoxicity, which means they do not damage the plants they are sprayed with, even at the growth phase.

sensitif. Hal ini sangat menguntungkan bagi petani yang khawatir akan kerusakan pada tanaman mereka.

#### d. Murah dan Mudah Ditemukan

Bahan baku pestisida nabati cenderung murah dan mudah ditemukan di sekitar lingkungan. Ini memungkinkan petani untuk memproduksi sendiri pestisida ini dengan peralatan sederhana, menjadikannya solusi yang ekonomis (Yusuf, 2012).

### 2. Kelemahan Pstisida Nabati



Gambar 5. 22 Pembuatan pestisida nabati

Sumber: (Handayani, 2022)

Namun, pestisida nabati juga memiliki kelemahan, antara lain:

#### a. Daya Racun Rendah

Aplikasi pestisida nabati harus dilakukan secara berulang agar tetap efektif. Hal ini sering kali menjadi beban tambahan bagi petani, baik dari segi waktu maupun biaya (Martono, 1997).

#### b. Kapasitas Produksi Terbatas

Kapasitas produksi pestisida nabati masih terbatas, karena belum ada budidaya massal untuk tanaman penghasil bahan baku pestisida nabati. Ini dapat membatasi ketersediaan pestisida nabati di pasaran.

#### c. Daya Simpan Pendek

Daya simpan pestisida nabati juga relatif pendek, sehingga pestisida ini harus segera digunakan setelah diproduksi. Hal ini membuatnya kurang praktis untuk penyimpanan jangka panjang, dan petani harus lebih berhati-hati dalam mengelola stok mereka.

#### d. Ketersediaan di Pasaran Terbatas

Ketersediaan pestisida nabati di pasaran pun masih terbatas, sehingga petani sering kali sulit untuk mendapatkannya ketika dibutuhkan (Hidayanti & Ambarwati, 2016; Yusuf, 2012). Ini dapat menghambat efektivitas pengendalian hama di lapangan.

sensitive. This is very beneficial for farmers who are worried about damage to their crops.

d. Cheap and Easy to Find The raw materials for botanical pesticides tend to be cheap and easy to find in the environment. This allows farmers to produce these pesticides themselves with simple equipment, making it an economical solution (Yusuf, 2012).

## 2. Weaknesses of Botanical Pesticides



Figure 5. 22 Making botanical pesticides Source:  
(Handayani, 2022)

However, herbal pesticides also have weaknesses, including:

- a. Low Toxicity Application of botanical pesticides must be done repeatedly to remain effective. This often becomes an additional burden for farmers, both in terms of time and cost (Martono, 1997).
- b. Limited Production Capacity The production capacity of botanical pesticides is still limited, because there has been no mass cultivation of plants producing raw materials for botanical pesticides. This can limit the availability of botanical pesticides on the market.
- c. Short Shelf Life The shelf life of botanical pesticides is also relatively short, so these pesticides must be used immediately after they are produced. This makes them less practical for long-term storage, and farmers must be more careful in managing their stocks.
- d. Limited Market Availability The availability of botanical pesticides on the market is still limited, so farmers often find it difficult to obtain them when needed (Hidayanti & Ambarwati, 2016; Yusuf, 2012). This can hinder the effectiveness of pest control in the field.



## Rangkuman

Pencemaran rumah tangga dan pestisida adalah isu lingkungan serius yang berdampak luas. Limbah rumah tangga dari aktivitas sehari-hari, seperti plastik, elektronik, minyak bekas, dan air cucian, mencemari tanah, air, serta udara, meningkatkan polutan seperti COD dan BOD, yang merusak ekosistem dan kualitas air tanah. Plastik dan elektronik sulit terurai, sedangkan limbah cair dapat membahayakan biota perairan.

Pencemaran pestisida disebabkan oleh penggunaan berlebih di sektor pertanian. Pestisida persisten, seperti DDT, mencemari lingkungan, menyebabkan bioakumulasi, merusak rantai makanan, dan membahayakan organisme non-target, termasuk serangga penyebuk. Selain itu, residu pestisida pada makanan mengancam kesehatan manusia, sementara resistensi hama meningkatkan ketergantungan pada bahan kimia.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan pengelolaan limbah yang baik, seperti pemilahan sampah, bio septic tank, dan pengolahan limbah cair. Di sektor pertanian, solusi meliputi penggunaan pestisida nabati dan bioremediasi untuk mengurangi polutan beracun di lingkungan.



## Summary

Household and pesticide pollution are serious environmental issues with wide-ranging impacts. Household waste from daily activities, such as plastic, electronics, used oil, and washing water, pollutes soil, water, and air, increasing pollutants such as COD and BOD, which damage ecosystems and groundwater quality. Plastic and electronics are difficult to decompose, while liquid waste can harm aquatic biota.

Pesticide pollution is caused by excessive use in the agricultural sector. Persistent pesticides, such as DDT, pollute the environment, cause bioaccumulation, disrupt the food chain, and harm non-target organisms, including pollinating insects. In addition, pesticide residues in food threaten human health, while pest resistance increases dependence on chemicals.

To overcome this problem, good waste management is needed, such as waste sorting, bio septic tanks, and liquid waste processing. In the agricultural sector, solutions include the use of botanical pesticides and bioremediation to reduce toxic pollutants in the environment.



## Evaluasi

1. Di sebuah desa dekat sungai, banyak warga yang menggunakan deterjen berbahank fosfat untuk mencuci pakaian. Seiring waktu, air sungai mulai berubah warna menjadi hijau, ikan-ikan mati, dan ekosistem perairan terganggu. Berdasarkan literasi ekologi, hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh fenomena eutrofikasi. Mengapa fenomena ini berbahaya bagi ekosistem perairan?
  - a. Fosfat meningkatkan kadar oksigen di air sehingga ekosistem tetap stabil.
  - b. Fosfat hanya berdampak pada warna air, tanpa memengaruhi kehidupan perairan.
  - c. Eutrofikasi hanya berbahaya bagi manusia, tidak bagi ekosistem perairan.
  - d. Pertumbuhan alga berlebih menyerap oksigen, menyebabkan kematian biota air.
  - e. Eutrofikasi memperkaya sumber daya alam di perairan.
2. Sebuah komunitas pertanian di pedesaan menggunakan pestisida sintetis secara rutin untuk mengendalikan hama. Namun, dalam lima tahun terakhir, mereka mengalami penurunan hasil panen dan peningkatan kerusakan tanaman akibat hama yang semakin kuat. Apa yang mungkin menjadi penyebab utama fenomena ini?
  - a. Hama menjadi resisten terhadap pestisida, memerlukan dosis yang lebih tinggi.
  - b. Tanaman menjadi lebih kebal terhadap serangan hama.
  - c. Pestisida berfungsi lebih baik jika digunakan dalam jumlah kecil.
  - d. Pestisida hanya bekerja pada hama tertentu, sementara hama lain tumbuh lebih kuat.
  - e. Pestisida tidak memengaruhi hama, sehingga hasil panen tetap tinggi.
3. Penelitian menunjukkan bahwa 64 juta ton sampah plastik dihasilkan setiap tahun di Indonesia, dan sekitar 3,2 juta ton berakhir di laut. Plastik ini tidak mudah terurai, bahkan ketika terpapar kondisi alamiah. Bagaimana sampah plastik dapat berdampak pada rantai makanan laut dan kesehatan manusia?
  - a. Plastik terurai menjadi bahan yang aman bagi organisme laut.
  - b. Plastik memecah menjadi mikroplastik, yang bisa tertelan oleh hewan laut dan akhirnya manusia.
  - c. Sampah plastik hanya mencemari air, tidak memengaruhi organisme di dalamnya.



## Evaluation

1. In a village near a river, many residents use phosphate-based detergent to wash clothes. Over time, the river water begins to turn green, fish die, and the aquatic ecosystem is disrupted. Based on ecological literacy, this is most likely caused by the phenomenon of eutrophication. Why is this phenomenon dangerous for the aquatic ecosystem?
  - a. Phosphate increases oxygen levels in the water so that the ecosystem remains stable.
  - b. Phosphate only affects the color of the water, without affecting aquatic life.
  - c. Eutrophication is only dangerous for humans, not for aquatic ecosystems.
  - d. Excessive algae growth absorbs oxygen, causing the death of aquatic biota.
  - e. Eutrophication enriches natural resources in waters.
2. A rural farming community routinely uses synthetic pesticides to control pests. However, in the past five years, they have experienced declining crop yields and increased crop damage from increasingly powerful pests. What might be the underlying cause of this phenomenon?
  - a. Pests become resistant to pesticides, requiring higher doses.
  - b. Plants become more resistant to pest attacks.
  - c. Pesticides work better when used in small amounts.
  - d. Pesticides only work on certain pests, while other pests grow stronger.
  - e. Pesticides do not affect pests, so the harvest remains high.
3. Research shows that 64 million tons of plastic waste is produced annually in Indonesia, and about 3.2 million tons of it ends up in the ocean. This plastic does not easily decompose, even when exposed to natural conditions. How can plastic waste impact the marine food chain and human health?
  - a. Plastic decomposes into materials that are safe for marine organisms.
  - b. Plastic breaks down into microplastics, which can be ingested by marine animals and eventually humans.
  - c. Plastic waste only pollutes water, it does not affect the organisms in it.

- d. Plastik tidak berdampak pada rantai makanan karena tidak dapat dimakan oleh hewan.
- e. Mikroplastik memperbaiki kualitas air laut.
4. Di sebuah kota besar, sistem pengolahan limbah air rumah tangga tidak memadai, sehingga banyak limbah rumah tangga yang langsung dibuang ke sungai. Akibatnya, kualitas air sungai terus menurun dan masyarakat sekitar mulai mengalami berbagai masalah kesehatan. Langkah apa yang bisa dilakukan untuk memperbaiki kualitas air sungai tersebut?
- a. Mengurangi penggunaan air dalam aktivitas rumah tangga.
  - b. Menggunakan bahan kimia tambahan untuk mengendapkan limbah.
  - c. Menerapkan sistem pengolahan air limbah yang memisahkan limbah padat dan cair sebelum dibuang.
  - d. Menambah jumlah limbah rumah tangga agar sistem sungai lebih kuat dalam mengolah limbah.
  - e. Memindahkan limbah rumah tangga ke sungai lain agar tidak tercemar.
5. Menurut penelitian yang dilakukan di daerah pertanian, penggunaan pestisida kimia secara berlebihan mengakibatkan pencemaran tanah yang parah. Selain itu, residu pestisida masuk ke sumber air tanah, yang digunakan oleh penduduk untuk keperluan sehari-hari. Apa dampak jangka panjang dari pencemaran air tanah oleh pestisida terhadap kesehatan masyarakat?
- a. Pencemaran pestisida meningkatkan kualitas air dan tanah di daerah tersebut.
  - b. Pestisida hanya berdampak pada hama, tidak memengaruhi manusia.
  - c. Pencemaran ini tidak berdampak pada air minum karena pestisida tidak larut dalam air tanah.
  - d. Pencemaran ini dapat meningkatkan produksi pertanian di masa depan.
  - e. Residu pestisida dalam air tanah bisa menyebabkan gangguan kesehatan seperti kerusakan organ, kanker, dan gangguan sistem saraf.

- d. Plastic does not impact the food chain because it cannot be eaten by animals.
- e. Microplastics improve seawater quality.
4. In a big city, the domestic wastewater treatment system is inadequate, so that much household waste is directly dumped into the river. As a result, the quality of the river water continues to decline and the surrounding community begins to experience various health problems. What steps can be taken to improve the quality of the river water?
- a. Reducing water use in household activities.
  - b. Using additional chemicals to precipitate waste.
  - c. Implement a wastewater treatment system that separates solid and liquid waste before disposal.
  - d. Increase the amount of household waste so that the river system is stronger in processing waste.
  - e. Move household waste to another river so that it is not polluted.
5. According to research conducted in agricultural areas, excessive use of chemical pesticides results in severe soil pollution. In addition, pesticide residues enter groundwater sources, which are used by residents for daily needs. What are the long-term impacts of groundwater pollution by pesticides on public health?
- a. Pesticide pollution improves the quality of water and soil in the area.
  - b. Pesticides only affect pests, they do not affect humans.
  - c. This pollution does not impact drinking water because pesticides do not dissolve in groundwater.
  - d. This pollution can increase agricultural production in the future.
  - e. Pesticide residues in groundwater can cause health problems such as organ damage, cancer, and nervous system disorders.



## Daftar Pustaka

- Adriyani, R. (2006). Usaha pengendalian pencemaran lingkungan akibat penggunaan pestisida pertanian. *Jurnal kesehatan lingkungan*, 3(1).
- Agung. (2014). Keuntungan dan kelemahan pestisida nabati. <https://agungbudisantoso.com/keuntungan-dan-kelemahan-pestisida-nabati/>
- Agustina, A. (2022, February 25). Kurangi pestisida kimia, mahasiswa UNDIP sosialisasikan penggunaan pestisida nabati dari ekstrak daun sirsak. *Kompasiana*.[https://www.kompasiana.com/arumagustina7189/62182d1831794903997b4212/kurangi-pestisida-kimia-mahasiswa-undip-sosialisasikan-penggunaan-pestisida-nabati-dari-ekstrak-daun-sirsak?page=1&page\\_images=2](https://www.kompasiana.com/arumagustina7189/62182d1831794903997b4212/kurangi-pestisida-kimia-mahasiswa-undip-sosialisasikan-penggunaan-pestisida-nabati-dari-ekstrak-daun-sirsak?page=1&page_images=2)
- Arbintarso, E. S., & Nurnawati, E. K. (2022). Peranan Keluarga dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Lingkungan melalui Daur Ulang Limbah Plastik Rumah Tangga. *Jurnal Berdaya Mandiri*, 4(3), 300-318.
- Aridhayandi, M. R., & Naufal, M. R. (2021). Penyuluhan Terhadap Penggunaan Pestisida Secara Bijaksana Agar Terwujudnya Sustainable Agriculture (Di Kelompok Tani Desa Sukalarang) Kabupaten Sukabumi. *J-ABDI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 1(5), 789-794.
- Astriyani, A., Sumiahadi, A., Damayanti, A., Saraswati, E., Latifah, A., & Nugroho, S. (2022, November). Sosialisasi Pengenalan Matematika Dengan Memanfaatkan Limbah Rumah Tangga Pada Anak Usia Dini KB/TK Labschool FIP UMJ. In Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ (Vol. 1, No. 1).
- Astuti, W., & Widayastuti, C. R. (2017). Pestisida organik ramah lingkungan pembasmi hama tanaman sayur. *Rekayasa: jurnal penerapan teknologi dan pembelajaran*, 14(2), 115-120.
- Balet Barudesa. (2019, August 25). Pemanfaatan batang tembakau untuk pestisida nabati. *Wordpress*. <https://baletbarudesa.wordpress.com/2019/08/25/pemanfaatan-batang-tembakau-untuk-pestisida-nabati/>



## Bibliography

Adriyani, R. (2006). Efforts to control environmental pollution due to the use of agricultural pesticides. *Journal of environmental health*, 3(1).

Agung. (2014). Advantages and disadvantages of botanical pesticides. <https://agungbudisantoso.com/keuntungan-dan-kelemahan-pestisida-nabati/>

Agustina, A. (2022, February 25). Reduce chemical pesticides, UNDIP students socialize the use of botanical pesticides from soursop leaf extract. Kompasiana.[https://www.kompasiana.com/arumagustina7189/62182d1831794903997b4212/kurangi-pestisida-kimia-mahasiswa-undip-sosialasikan-penggunaan-pestisida-nabati-dari-ekstrak-daun-sirsak?page=1&page\\_images=2](https://www.kompasiana.com/arumagustina7189/62182d1831794903997b4212/kurangi-pestisida-kimia-mahasiswa-undip-sosialasikan-penggunaan-pestisida-nabati-dari-ekstrak-daun-sirsak?page=1&page_images=2)

Arbintarso, E. S., & Nurnawati, E. K. (2022). The Role of Families in Efforts to Improve Environmental Quality through Recycling Household Plastic Waste. *Jurnal Berdaya Mandiri*, 4(3), 300-318.

Aridhayandi, M. R., & Naufal, M. R. (2021). Counseling on the Wise Use of Pesticides to Achieve Sustainable Agriculture (In the Sukalarang Village Farmers Group) Sukabumi Regency. *J-ABDI: Journal of Community Service*, 1(5), 789-794.

Astriyani, A., Sumiahadi, A., Damayanti, A., Saraswati, E., Latifah, A., & Nugroho, S. (2022, November). Socialization of Introduction to Mathematics by Utilizing Household Waste for Early Childhood KB/TK Labschool FIP UMJ. In Proceedings of the National Seminar on Community Service LPPM UMJ (Vol. 1, No. 1).

Astuti, W., & Widayastuti, C. R. (2017). Environmentally friendly organic pesticides to eradicate vegetable plant pests. *Engineering: Journal of Technology Application and Learning*, 14(2), 115-120.

Ballet Barudesa. (2019, August 25). Utilization of tobacco stems for botanical pesticides. Wordpress. <https://baletbarudesa.wordpress.com/2019/08/25/pemanfaatan-batang-tembakau-untuk-pestisida-nabati/>

Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). Pengelolaan sampah. Diktat kuliah TL, 3104, 5-10.

Desa Cikoneng. (n.d.). Pestisida dan kesuburan tanah: Mengelola dampak negatif. Diakses dari <https://cikoneng-ciamis.desa.id/pestisida-dan-kesuburan-tanah-mengelola-dampak-negatif>

Djojosumarto, P. (2008). Panduan lengkap pestisida & aplikasinya. Agromedia.

Febrinastri, F. (2024). Septic tank BIO: solusi berkelanjutan untuk pengolahan limbah industri yang ramah lingkungan. Suara. <https://www.suara.com/bisnis/2024/03/15/101942/septic-tank-bio-solusi-berkelanjutan-untuk-pengolahan-limbah-industri-yang-ramah-lingkungan>

Ferilanda, J. Y., febri Eriyanti, N., & Efritadewi, A. (2023). Analisis Yuridis Pencemaran Laut yang Disebabkan Limbah Rumah Tangga. Aufklarung: Jurnal Pendidikan, Sosial dan Humaniora, 3(4), 17-25.

Gesha. (2020, April 11). Mari buat pestisida nabati sederhana dari daun pepaya. Tabloid Sinar Tani. <https://tabloidsinartani.com/detail/indeks/agri-penyuluhan/12090-Mari-Buat-Pestisida-Nabati-Sederhana-dari-Daun-Pepaya>

Handayani, T. W. (2022, Agustus 31). Pestisida nabati ramah lingkungan. Balai Penyuluhan Pertanian. <https://dkpp.klaten.go.id/pestisida-nabati-ramah-lingkungan>

Harahap, P. S. (2015). Paparan Pestisida Pada Petani. Zahir Publishing.

Hasibuan, R. (2016). Analisis dampak limbah/sampah rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan hidup. Jurnal Ilmiah Advokasi, 4(1), 42-52.

Hermanu, B. (2022). Pengelolaan limbah makanan (food waste) berwawasan lingkungan environmentally friendly food waste management. Jurnal Agrifoodtech, 1(1), 1-11.

Hidayanti, E., & Ambarwati, D. (2016). Pestisida nabati sebagai alternatif pengendalian organisme pengganggu tumbuhan (OPT). Surabaya. Balai Besar Perbenihan dan Organisme Pengganggu Tanaman.

Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). Waste management. Lecture dictation TL, 3104, 5-10.

Cikongeng Village. (n.d.). Pesticides and soil fertility: Managing negative impacts. Retrieved from <https://cikongeng-ciamis.desa.id/pestisida-dan-kesuburan-tanah-mengelola-dampak-negatif>

Djojosumarto, P. (2008). Complete guide to pesticides & their applications. Agromedia.

Febrinastri, F. (2024). BIO septic tank: a sustainable solution for environmentally friendly industrial waste processing. Suara. <https://www.suara.com/bisnis/2024/03/15/101942/septic-tank-bio-solusi-berkelanjutan-untuk-pengolahan-limbah-industri-yang-ramah-lingkungan>

Ferilanda, J. Y., Febri Eriyanti, N., & Efritadewi, A. (2023). Legal Analysis of Marine Pollution Caused by Household Waste. Aufklarung: Journal of Education, Social and Humanities, 3(4), 17-25.

Gesha. (2020, April 11). Let's make a simple herbal pesticide from papaya leaves. Sinar Tani Tabloid. <https://tabloidsinartani.com/detail/indeks/agri-penyuluhan/12090-Mari-Buat-Pesticide-Nabati-Sederhana-dari-Daun-Pepaya>

Handayani, T. W. (2022, August 31). Environmentally friendly botanical pesticides. Agricultural Extension Center. <https://dkpp.klaten.go.id/pestisida-nabati-ramah-lingkungan>

Harahap, P. S. (2015). Pesticide Exposure in Farmers. Zahir Publishing.

Hasibuan, R. (2016). Analysis of the impact of household waste/garbage on environmental pollution. Scientific Journal of Advocacy, 4(1), 42-52.

Hermanu, B. (2022). Environmentally friendly food waste management. Jurnal Agrifoodtech, 1(1), 1-11.

Hidayanti, E., & Ambarwati, D. (2016). Botanical pesticides as an alternative to control plant pests (OPT). Surabaya. Center for Seeds and Plant Pests.

Iswanto, I., Sudarmadji, S., Wahyuni, E. T., & Sutomo, A. H. (2016). Timbulan Sampah B3 Rumah Tangga Dan Potensi Dampak Kesehatan Lingkungan Di Kabupaten Sleman, YOGYAKARTA (Generation of Household Hazardous Solid Waste and Potential Impacts on Environmental Health in Sleman Regency, YOGYAKARTA). Jurnal Manusia dan Lingkungan, 23(2), 179-188.

Kavian, A., Saleh, I., Habibnejad, M., Brevik, E. C., Jafarian, Z., & Rodrigo-Comino, J. (2018). Effectiveness of vegetative buffer strips at reducing runoff, soil erosion, and nitrate transport during degraded hillslope restoration in northern Iran. Land Degradation & Development, 29(9), 3194-3203.

Kementan. (2021). Kementan ajak petani manfaatkan pestisida nabati. Agronet. <https://www.agronet.co.id/detail/indeks/info-agro/6708-Kementan-Ajak-Petani-Manfaatkan-Pestisida-Nabati>

Makki, S. (2015). LIPI: Sampah Plastik Paket Belanja Online Meningkat Saat PSBB. Diakses pada 28 September 2024, dari <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20200524154702-199-506483/lipi-sampah-plastik-paket-belanja-online-meningkat-saat-psbb>

Maliga, I., & Darmin, D. (2020). Analisis Penilaian Risiko Kesehatan Lingkungan dengan Menggunakan Pendekatan Environmental Health Risk Assessment (EHRA) di Kecamatan Moyo Utara. Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL), 5(1), 16-26.

Ma'ruf, A. (2018). Aspek hukum lingkungan hidup dalam upaya mencegah terjadinya kerusakan dan pencemaran lingkungan hidup di Indonesia. Wacana Hukum, 24(1), 38-51.

Mardiana, S., Mulyasih, R., Tamara, R., & Sururi, A. (2020). Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Minyak Jelantah dengan Ekstrak Jeruk dalam Perspektif Komunikasi Lingkungan di Kelurahan Kaligandu. Jurnal Solma, 9(1), 92-101.

Marlinda, M., Sangi, M.S., & Wuntu, A.D. (2012). Analisis senyawa metabolit sekunder dan uji toksisitas ekstrak etanol biji buah alpukat (*Persea americana* Mill.). Jurnal MIPA Unsrat Online, 1(1), 24-28.

Mitalom. (n.d.). Daftar pestisida yang dilarang pemerintah. Diakses dari <https://mitalom.com/artikel/232/daftar-pestisida-yang-dilarang-pemerintah/>

Mubin, F., Binilang, A., & Halim, F. (2016). Perencanaan sistem pengolahan air limbah domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. Jurnal Sipil Statik, 4(3).

Iswanto, I., Sudarmadji, S., Wahyuni, E. T., & Sutomo, A. H. (2016). Generation of Household Hazardous Solid Waste and Potential Impacts on Environmental Health in Sleman Regency, YOGYAKARTA. *Journal of Man and Environment*, 23(2), 179-188.

Kavian, A., Saleh, I., Habibnejad, M., Brevik, E. C., Jafarian, Z., & Rodrigo-Comino, J. (2018). Effectiveness of vegetative buffer strips at reducing runoff, soil erosion, and nitrate transport during degraded hillslope restoration in northern Iran. *Land Degradation & Development*, 29(9), 3194-3203.

Ministry of Agriculture. (2021). Ministry of Agriculture invites farmers to use botanical pesticides. Agronet. <https://www.agronet.co.id/detail/indeks/info-agro/6708-Kementan-Ajak-Petani-Manfaatkan-Pesticides-Nabati>

Makki, S. (2015). LIPI: Online Shopping Package Plastic Waste Increases During PSBB. Retrieved on September 28, 2024, from <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20200524154702-199-506483/lipi-sampah-plastik-paket-belanja-online-meningkat-saat-psbb>

Maliga, I., & Darmin, D. (2020). Analysis of Environmental Health Risk Assessment Using the Environmental Health Risk Assessment (EHRA) Approach in North Moyo District. *Environmental Engineering Scientific Media (MITL)*, 5(1), 16-26.

Ma'ruf, A. (2018). Aspects of environmental law in efforts to prevent environmental damage and pollution in Indonesia. *Legal Discourse*, 24(1), 38-51.

Mardiana, S., Mulyasih, R., Tamara, R., & Sururi, A. (2020). Utilization of Household Waste Used Cooking Oil with Orange Extract in the Perspective of Environmental Communication in Kaligandu Village. *Solma Journal*, 9(1), 92-101.

Marlinda, M., Sangi, M.S., & Wuntu, A.D. (2012). Analysis of secondary metabolite compounds and toxicity test of ethanol extract of avocado seeds (*Persea americana* Mill.). *Jurnal MIPA Unsrat Online*, 1(1), 24-28.

Mitalom. (n.d.). List of pesticides banned by the government. Retrieved from <https://mitalom.com/artikel/232/daftar-pestisida-yang-dilarang-pemerintah/>

Mubin, F., Binilang, A., & Halim, F. (2016). Planning of domestic wastewater treatment system in Istiqlal Village, Manado City. *Journal of Civil Statics*, 4(3).

Mudjiono, G. (2013). Pengelolaan Hama Terpadu: konsep, taktik, strategi, penyusunan program PHT, dan implementasinya. Universitas Brawijaya Press.

Mulyadi, E. (2019). Kelompok Tumbuhan Bahan Pestisida Nabati: Pengendalian OPT Ramah Lingkungan dan Cara Pembuatannya. Direktorat Perlindungan Hortikultura, Direktorat Jenderal Hortikultura, Jakarta.

Mulyani, I. C., Akbar, A. A., & Jati, D. R. (2023). Identifikasi Timbulan Dan Nilai Ekonomi Limbah Elektronik (E-Waste) Rumah Tangga Di Kota Pontianak. Jurnal Reka Lingkungan, 11(1), 49-58.

Mulyono, D. (2009). Pencemaran Pestisida dalam Budidaya Pertanian dan Upaya Pengendaliannya. Jurnal Rekayasa Lingkungan, 5(3).

Mutia, A. R. (2017). Air limbah domestik berpotensi mencemari sumber air bersih. Greeners. <https://www.greeners.co/gaya-hidup/air-limbah-domestik-berpotensi-mencemari-sumber-air-bersih/>

Nasution, L., & Si, S. M. (2022). Buku Ajar Pestisida dan Teknik Aplikasi. umsu press.

Plantamor. (n.d.). Brassica juncea. Diakses dari <https://plantamor.com/species/info/brassica/juncea#gsc.tab=0>

Prajawahyudo, T., Asiaka, F. K., & Ludang, E. (2022). Peranan keamanan pestisida di bidang pertanian bagi petani dan lingkungan. Journal Socio Economics Agricultural, 17(1), 1-9.

Prananditya, R., & Oginawati, K. (2016). Identifikasi dan distribusi pencemar pestisida organoklorin pada udara ambien di daerah pertanian hulu sungai Citarum (in Bahasa). Jurnal Teknik Lingkungan, 22(1), 73-82.

Pratami, A. R. (2021). Directing Techniques Feature Television “Setengah Hati Kurangi Plastik”. Jurnal Visi Komunikasi/Volume, 20(02), 197-206.

Rahmawati, A., & Kurniahu, H. (2017). Efek Pemberian Cairan Rumen Sapi terhadap Massa Kompos Limbah Kertas dan Limbah Organik Rumah Tangga. Prosiding SNasPPM, 2(1), 31-34.

Rapid Test Kit. (2016). Mengenal lebih dekat part II: Bahaya pestisida golongan organoklorin dan piretroid. Diakses dari <https://rapidtestkit.wordpress.com/2016/11/11/mengenal-lebih-dekat-part-ii-bahaya-pestisida-golongan-organoklorin-dan-piretroid/>

Mudjiono, G. (2013). Integrated Pest Management: concepts, tactics, strategies, IPM program preparation, and its implementation. Universitas Brawijaya Press.

Mulyadi, E. (2019). Group of Plants for Botanical Pesticide Materials: Environmentally Friendly OPT Control and How to Make Them. Directorate of Horticulture Protection, Directorate General of Horticulture, Jakarta.

Mulyani, I. C., Akbar, A. A., & Jati, D. R. (2023). Identification of Generation and Economic Value of Household Electronic Waste (E-Waste) in Pontianak City. Journal of Environmental Engineering, 11(1), 49-58.

Mulyono, D. (2009). Pesticide Pollution in Agricultural Cultivation and Control Efforts. Journal of Environmental Engineering, 5(3).

Mutia, A. R. (2017). Domestic wastewater has the potential to pollute clean water sources. Greener. <https://www.greener.co/gaya-hidup/air-limbah-domestik-berpotensi-mencemari-sumber-air-bersih/>

Nasution, L., & Si, S. M. (2022). Textbook of Pesticides and Application Techniques. umsu press.

Plantamor. (n.d.). Brassica juncea. Retrieved from <https://plantamor.com/species/info/brassica/juncea#gsc.tab=0>

Prajawahyudo, T., Asiaka, F. K., & Ludang, E. (2022). The role of pesticide safety in agriculture for farmers and the environment. Journal of Socio Economics Agricultural, 17(1), 1-9.

Prananditya, R., & Oginawati, K. (2016). Identification and distribution of organochlorine pesticide pollutants in ambient air in the agricultural area of the upper reaches of the Citarum River (in Bahasa). Journal of Environmental Engineering, 22(1), 73-82.

Pratami, A. R. (2021). Directing Techniques Feature Television “Half-Hearted Reduce Plastic”. Journal of Communication Vision/Volume, 20(02), 197-206.

Rahmawati, A., & Kurniahu, H. (2017). Effect of Giving Cow Rumen Fluid on the Mass of Paper Waste Compost and Household Organic Waste. Proceedings of SNAsPPM, 2(1), 31-34.

Rapid Test Kit. (2016). Getting to know more closely part II: The dangers of organochlorine and pyrethroid pesticides. Retrieved from <https://rapidtestkit.wordpress.com/2016/11/11/mengenal-lebih-dekat-part-ii-bahaya-pestisida-golongan-organochlorin-dan-piretroid/>

Rochmad, S., Soenhadji, S., & Utomo, S. W. (2019). Pencemaran lingkungan (Edisi kedua, Cetakan kedua). Universitas Terbuka. ISBN 978-602-392-149-2.

Saenong, M. S. (2016). Tumbuhan Indonesia potensial sebagai insektisida nabati untuk mengendalikan hama kumbang bubuk jagung (*Sitophilus spp.*). *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 35(3), 131-142.

Saragih, G., Fernandez, B.R., Yunianto, & Harmileni. (2019). Pembuatan biopesisida dari ekstrak daun sirsak (*Annona muricata*) untuk pengendalian hama ulat api (*Setothosea asigna V. Eecke*) pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*). *Jurnal Biosains*, 5(1), 8-13.

Sendari, A. A. (2022). Penyebab eutrofikasi pada ekosistem air: ketahui prosesnya. Liputan6. <https://www.liputan6.com/hot/read/4968458/penyebab-eutrofikasi-pada-ekosistem-air-ketahui-prosesnya>

Setiawan, A. (2015). Dampak pestisida POP (Bahan pencemar organik persisten) terhadap lingkungan dan manusia. Diakses dari <https://sib3pop.menlhk.go.id/index.php/articles/view?slug=dampak-pestisida-pop-bahan-pencemar-organik-persisten-terhadap-lingkungan-dan-manusia>

Sidik, H., Konety, N., & Aditiany, S. (2018). Membangkitkan Semangat Peduli Lingkungan Melalui Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Rumah Tangga di Rancaekek. Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 1(1), 62-74.

Suciati, F., Anwar, S., Dadang, D., Aviantara, D. B., & Widystuti, R. (2016). Pengaruh Pemberian Pestisida terhadap Transformasi Asam Fenolat serta Produksi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> pada Tanah Gambut. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 40(1), 11-23.

Sulaiman, R., Wurangian, I., & Gunawan, B. (2009). Panduan Masyarakat Untuk Kesehatan Lingkungan. Kalimantan Tengah: Michosan Center Indonesia.

Sumartini. (2016). Biopestisida untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman aneka kacang dan umbi. *Iptek Tanaman Pangan*, 11(2), 159-166.

Supriadi, S. (2013). Optimasi Pemanfaatan Beragam Jenis Pestisida Untuk Mengendalikan Hama dan Penyakit Tanaman. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 32(1), 30913.

Susanti, A. (2021). Smart government (pemerintah cerdas). DKPPP Temanggung. [https://dkppp.temanggungkab.go.id/frontend/d\\_berita/824](https://dkppp.temanggungkab.go.id/frontend/d_berita/824)

Rochmad, S., Soenhadji, S., & Utomo, S. W. (2019). Environmental pollution (Second edition, Second printing). Open University. ISBN 978-602-392-149-2.

Saenong, M. S. (2016). Potential Indonesian plants as botanical insecticides to control corn powder beetle pests (*Sitophilus* spp.). *Journal of Agricultural Research and Development*, 35(3), 131-142.

Saragih, G., Fernandez, B.R., Yunianto, & Harmileni. (2019). Making biopesticides from soursop leaf extract (*Annona muricata*) to control fireworm pests (*Setothosea asigna* V. Eecke) on oil palm plants (*Elaeis guineensis* Jacq). *Journal of Bioscience*, 5(1), 8-13.

Sendari, A. A. (2022). Causes of eutrophication in aquatic ecosystems: know the process. Liputan6. <https://www.liputan6.com/hot/read/4968458/penyebab-eutrofikasi-pada-ekosistem-air-ketahui-prosesnya>

Setiawan, A. (2015). The impact of POP pesticides (Persistent Organic Pollutants) on the environment and humans. Retrieved from <https://sib3pop.menlhk.go.id/index.php/articles/view?slug=dampak-pestisida-pop-bahan-pencemar-organik-persisten-terhadap-lingkungan-dan-manusia>

Sidik, H., Konety, N., & Aditiany, S. (2018). Raising the Spirit of Environmental Care Through Household Hazardous and Toxic Waste (B3) Processing in Rancaekek. *Kumawula: Journal of Community Service*, 1(1), 62-74.

Suciati, F., Anwar, S., Dadang, D., Aviantara, D. B., & Widystuti, R. (2016). The Effect of Pesticide Application on Phenolic Acid Transformation and CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> Production in Peat Soil. *Journal of Soil and Climate*, 40(1), 11-23.

Sulaiman, R., Wurangian, I., & Gunawan, B. (2009). Community Guide to Environmental Health. Central Kalimantan: Michosan Center Indonesia.

Sumartini. (2016). Biopesticides for controlling pests and diseases of various legumes and tubers. *Food Crops Science and Technology*, 11(2), 159-166.

Supriadi, S. (2013). Optimization of Utilization of Various Types of Pesticides to Control Plant Pests and Diseases. *Journal of Agricultural Research and Development*, 32(1), 30913.

Susanti, A. (2021). Smart government. DKPPP Temanggung.  
[https://dkppp.temanggungkab.go.id/frontend/d\\_berita/824](https://dkppp.temanggungkab.go.id/frontend/d_berita/824)

Susilowarno, R. G. (2008). Menghadapi Ujian Nasional 2008. Jakarta: PT Grasindo.

Sutanto, R. (2001). Pencemaran tanah dan air tanah oleh pestisida dan cara menanggulanginya. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 7(1), 9-15.

Sutriadi, M. T., Harsanti, E. S., Wahyuni, S., & Wihardjaka, A. (2019). Pestisida nabati: prospek pengendali hama ramah lingkungan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(2), 89-101.

Tamyiz, M., Hamidah, L. N., Widiyanti, A., & Rahmayanti, A. (2018). Pelatihan pengelolaan sampah rumah tangga di desa Kedungsumur, Kecamatan Kreembung, Kabupaten Sidoarjo. *Journal of Science and Social Development*, 1(1), 16-23.

Toya Arta Sejahtera. (2024). Air limbah rumah tangga. Toya Arta Sejahtera. <https://www.toyaartasejahtera.net/air-limbah-rumah-tangga/>

Ulfah, D. V., & Azhari, A. R. (n.d.). Dichloro Diphenyl Trichloroethane (DDT). Universal Eco. (2023). Contoh limbah B3 rumah tangga. Universal Eco. <https://www.universaleco.id/blog/detail/contoh-limbah-b3-rumah-tangga/13>

Utami, A. P., Pane, N. N. A., & Hasibuan, A. (2023). Analisis dampak limbah/sampah rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan hidup. Cross-border, 6(2), 1107-1112.

Utomo, R., Sukoco, H., & Anjani, P. (2020). Pengaruh Limbah Plastik dan Cangkang Kerang terhadap Kekuatan Paving Block. *Jurnal Rekayasa Material dan Lingkungan*, 7(3), 45-55.

WasteShip. (2021). Lakukan 5 hal ini pada limbah rumah tangga anorganik. WasteShip. <https://wasteship.id/lakukan-5-hal-ini-pada-limbah-rumah-tangga-anorganik/>

Wikipedia. (2023). Arthrobacter. Diakses dari <https://en.wikipedia.org/wiki/Arthrobacter>

Yusuf, R. (2012). Potensi dan kendala pemanfaatan pestisida nabati dalam pendalihan hama pada budidaya sayuran organik.

Yusuf, W. A., Susilawati, H. L., Wihardjaka, A., Harsanti, E. S., Adriany, T. A., Dewi, T., ... & Husaini, M. (2023). Kerusakan dan pencemaran lingkungan pertanian: karakteristik dan penanggulangannya. UGM PRESS.

Susilowarno, R. G. (2008). Facing the 2008 National Examination. Jakarta: PT Grasindo.

Sutanto, R. (2001). Soil and groundwater pollution by pesticides and how to overcome it. Indonesian Journal of Plant Protection, 7(1), 9-15.

Sutriadi, M. T., Harsanti, E. S., Wahyuni, S., & Wihardjaka, A. (2019). Botanical pesticides: prospects for environmentally friendly pest control. Journal of Land Resources, 13(2), 89-101.

Tamyiz, M., Hamidah, L. N., Widiyanti, A., & Rahmayanti, A. (2018). Household waste management training in Kedungsumur village, Krembung sub-district, Sidoarjo regency. Journal of Science and Social Development, 1(1), 16-23.

Prosperous Wealth Water. (2024). Domestic wastewater. Prosperous Wealth Water. <https://www.toyaartasejahtera.net/household-wastewater/>

Ulfah, D. V., & Azhari, A. R. (n.d.). Dichloro Diphenyl Trichloroethane (DDT). Universal Eco. (2023). Examples of household B3 waste. Universal Eco. <https://www.universaleco.id/blog/detail/contoh-limbah-b3-rumah-tangga/13>

Utami, A. P., Pane, N. N. A., & Hasibuan, A. (2023). Analysis of the impact of household waste/garbage on environmental pollution. Cross-border, 6(2), 1107-1112.

Utomo, R., Sukoco, H., & Anjani, P. (2020). The Effect of Plastic Waste and Shells on the Strength of Paving Blocks. Journal of Materials and Environmental Engineering, 7(3), 45-55.

WasteShip. (2021). Do these 5 things with inorganic household waste. WasteShip. <https://wasteship.id/lakukan-5-hal-ini-pada-limbah-rumah-tangga-anorganik/>

Wikipedia. (2023). Arthrobacter. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Arthrobacter>

Yusuf, R. (2012). Potential and constraints of utilizing botanical pesticides in controlling pests in organic vegetable cultivation.

Yusuf, W. A., Susilawati, H. L., Wihardjaka, A., Harsanti, E. S., Adriany, T. A., Dewi, T., ... & Husaini, M. (2023). Agricultural environmental damage and pollution: characteristics and mitigation. UGM PRESS.

# 6

# REAKSI KIMIA SAMPAH ORGANIK DAN ANORGANIK



Gambar 6. 1

Sumber :<https://images.app.goo.gl/bBRMZcTH1DQDWsoY9/>

## Capaian Pembelajaran

1. Mahasiswa mampu menjelaskan definisi, jenis-jenis sampah organik dan anorganik, serta dampaknya terhadap lingkungan berdasarkan kajian teori dan bukti empiris.
2. Mahasiswa mampu menganalisis reaksi kimia yang terjadi selama proses biodegradasi sampah organik dan pengolahan sampah anorganik, seperti pirolisis, gasifikasi, dan peleburan.
3. Mahasiswa mampu mengevaluasi berbagai metode pengelolaan sampah organik dan anorganik, termasuk daur ulang, pengomposan, dan produksi biogas, untuk mendukung praktik yang berkelanjutan
4. Mahasiswa mampu mengidentifikasi dan menerapkan teknologi serta inovasi terbaru, seperti biofoam, dalam pengelolaan sampah untuk mengurangi dampak lingkungan dan mendukung keberlanjutan.
5. Mahasiswa mampu merancang solusi berbasis sains untuk mengatasi masalah sampah dalam konteks lokal maupun global, dengan mempertimbangkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi.
6. Mahasiswa mampu menunjukkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan sampah yang bertanggung jawab serta menerapkan nilai-nilai keberlanjutan dalam kehidupan sehari-hari.

# CHEMICAL REACTIONS OF ORGANIC AND INORGANIC WASTE



Figure 6.1

Source: <https://images.app.goo.gl/bBRMZcTH1DQDWsoY9/>

## Learning Outcomes

1. Students are able to explain the definition, types of organic and inorganic waste, and their impacts on the environment based on theoretical studies and empirical evidence.
2. Students are able to analyze chemical reactions that occur during the biodegradation process of organic waste and inorganic waste processing, such as pyrolysis, gasification, and smelting.
3. Students are able to evaluate various methods of organic and inorganic waste management, including recycling, composting, and biogas production, to support sustainable practices
4. Students are able to identify and apply the latest technologies and innovations, such as biofoam, in waste management to reduce environmental impacts and support sustainability.
5. Students are able to design science-based solutions to address waste problems in local and global contexts, taking into account environmental, social, and economic aspects.
6. Students are able to demonstrate awareness of the importance of responsible waste management and apply sustainability values in everyday life.

## Deskripsi Singkat –

Pada pembahasan ini akan dibahas mengenai reaksi kimia yang terjadi pada pengelolaan sampah organik dan anorganik. Materi mencakup definisi, jenis-jenis sampah, serta proses biodegradasi untuk sampah organik dan metode daur ulang seperti pirolisis untuk sampah anorganik. Selain itu, dibahas juga dampak pencemaran dari sampah terhadap lingkungan, solusi pengelolaan yang ramah lingkungan, dan inovasi terbaru seperti biofoam sebagai pengganti styrofoam. Materi disajikan secara sistematis dengan penjelasan reaksi kimia yang terlibat dalam proses penguraian dan daur ulang, dilengkapi dengan contoh aplikatif serta latihan soal untuk mengukur pemahaman. Dengan adanya materi ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami pentingnya pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan mampu berkontribusi secara aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan.



Gambar 6. 2  
Sumber: AtmaGo

### 6.1 Definisi Sampah Organik dan Sampah Anorganik

Menurut Undang-Undang No.18 tahun 2008, Sampah didefinisikan sebagai sisa dari kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah yang berasal dari kegiatan rumah tangga dan bukan limbah industri disebut sebagai sampah domestik. Sampah domestik tersebut ada yang berupa sampah anorganik, yang merupakan sampah non hayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang (Dinas Lingkungan Hidup Kulon Progo, 2020).

## Description

In this discussion, the chemical reactions that occur in the management of organic and inorganic waste will be discussed. The material includes definitions, types of waste, and the biodegradation process for organic waste and recycling methods such as pyrolysis for inorganic waste. In addition, the impact of pollution from waste on the environment, environmentally friendly management solutions, and the latest innovations such as biofoam as a substitute for styrofoam are also discussed. The material is presented systematically with an explanation of the chemical reactions involved in the decomposition and recycling process, complete with applicable examples and practice questions to measure understanding. With this material, students are expected to be able to understand the importance of sustainable waste management and be able to actively contribute to maintaining environmental sustainability.



Figure 6.2  
Source: AtmaGo

### 6.1 Definition of Organic Waste and Waste

According to Law No. 18 of 2008, waste is defined as the remains of human daily activities and/or natural processes in solid form. Waste that comes from household activities and is not industrial waste is referred to as domestic waste. Domestic waste is in the form of inorganic waste, which is non-biological waste, either in the form of synthetic products or the results of mining technology processing (Kulon Progo Environmental Service, 2020).



Gambar 6.3 Sampah Organik  
Sumber: [www.waste4change.com](http://www.waste4change.com)

Sampah organik adalah jenis sampah yang berasal dari makhluk hidup, seperti tumbuhan, hewan, atau manusia, yang dapat terurai secara alami. Sampah ini meliputi sisa-sisa makanan, daun-daunan, kulit buah, dan sisa tanaman lainnya. Sampah organik bisa diuraikan oleh mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, melalui proses yang disebut dekomposisi (Wahyuningsih et al., 2023). Menurut Handayani (2021), sampah organik bersifat biodegradable, yang artinya dapat terurai dengan sendirinya dalam waktu relatif singkat.

Ketika terurai, sampah organik menghasilkan zat-zat yang bermanfaat, seperti humus, yang membantu menyuburkan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Salah satu karakteristik utama sampah organik adalah kemampuannya untuk terurai secara alami tanpa meninggalkan residu berbahaya bagi lingkungan (Rahmawati, 2019). Meskipun sampah organik pada dasarnya tidak berbahaya, jika tidak dikelola dengan baik, sampah ini bisa menimbulkan masalah seperti bau yang tidak sedap, pencemaran air, dan menjadi tempat berkembang biaknya serangga. Oleh karena itu, pengelolaan sampah organik secara bijak sangat penting untuk menjaga kebersihan lingkungan dan memaksimalkan manfaat yang bisa diperoleh (Kurniawan & Pratama, 2020).

Sampah anorganik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan nonhayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang. Sampah anorganik dibedakan menjadi sampah logam dan produk produksi olahannya, sampah plastik, sampah kertas, sampah kaca dan keramik, sampah detergen. Sebagian besar anorganik tidak dapat diurai oleh alam/mikroorganisme secara keseluruhan (non biodegradable). Sementara, sebagian lainnya hanya dapat diuraikan dalam waktu yang lama. Sampah jenis ini pada tingkat rumah tangga misalnya botol plastik, botol gelas, tas plastik, dan kaleng (Ayuningtyas, et al. 2020).



Figure 6.3 Organic Waste  
Source: [www.waste4change.com](http://www.waste4change.com)

Organic waste is a type of waste that comes from living things, such as plants, animals, or humans, which can decompose naturally. This waste includes food scraps, leaves, fruit peels, and other plant remains. Organic waste can be decomposed by microorganisms, such as bacteria and fungi, through a process called decomposition (Wahyuningsih et al., 2023). According to Handayani (2021), organic waste is biodegradable, which means it can decompose on its own in a relatively short time.

When decomposed, organic waste produces useful substances, such as humus, which helps fertilize the soil and support plant growth. One of the main characteristics of organic waste is its ability to decompose naturally without leaving residues that are harmful to the environment (Rahmawati, 2019). Although organic waste is basically harmless, if not managed properly, this waste can cause problems such as unpleasant odors, water pollution, and become a breeding ground for insects. Therefore, wise management of organic waste is very important to maintain environmental cleanliness and maximize the benefits that can be obtained (Kurniawan & Pratama, 2020).

Inorganic waste is waste produced from non-biological materials, either in the form of synthetic products or the results of mining technology processing. Inorganic waste is divided into metal waste and its processed products, plastic waste, paper waste, glass and ceramic waste, detergent waste. Most inorganic cannot be decomposed by nature/microorganisms as a whole (non-biodegradable). Meanwhile, some others can only be decomposed over a long time. This type of waste at the household level, for example, plastic bottles, glass bottles, plastic bags, and cans (Ayuningtyas, et al. 2020).

Pengelolaan sampah anorganik yang tidak tepat dapat menimbulkan penurunan kualitas kesehatan, penurunan kualitas lingkungan dan dampak terhadap aspek sosial ekonomi masyarakat. Pengelolaan sampah anorganik seharusnya dilakukan mulai dari sumber sampah yaitu salah satunya rumah tangga/individu penghasil sampah (Nuswowati, M. et.al., 2024).

## 6.2 Jenis-Jenis Sampah Organik dan Anorganik

### 6.2.1 Jenis-jenis sampah organik

Jenis sampah ini sering kali dihasilkan dari aktivitas sehari-hari di rumah tangga maupun sektor pertanian. Berikut ini adalah beberapa jenis sampah organik yang umum dijumpai.

#### a. Sisa-sisa makanan

Limbah sisa-sisa makanan, yang umumnya terdiri dari nasi yang tidak habis dimakan, sayuran yang sudah layu, serta buah-buahan yang telah membusuk, merupakan salah satu jenis limbah organik yang paling sering ditemukan di rumah tangga. Menurut Widiastuti (2020), sisa makanan ini menyumbang bagian terbesar dari total sampah organik yang dihasilkan dalam aktivitas sehari-hari, dan memiliki potensi besar untuk diolah kembali menjadi produk yang bermanfaat, seperti kompos yang berguna untuk menyuburkan tanah, atau dijadikan pakan ternak, sehingga dapat membantu mengurangi volume sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir dan mendukung praktik pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan.

#### b. Daun-daunan

Daun-daun yang gugur dari pohon, potongan rumput yang dipangkas, serta ranting-ranting kecil yang jatuh ke tanah merupakan contoh bahan organik alami yang sangat mudah terurai. Melalui proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah, bahan-bahan ini secara bertahap diubah menjadi humus, yang merupakan komponen penting untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kesuburan, serta membantu tanaman tumbuh lebih subur dan sehat dengan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan. (Kurniawan et al., 2019)

#### c. Kulit Buah dan Sayuran

Kulit pisang, kulit jeruk, serta kulit sayuran lainnya, seperti kulit wortel dan kentang, merupakan jenis sampah organik yang sering kali dihasilkan dalam jumlah cukup banyak dari berbagai aktivitas memasak di rumah tangga maupun di industri makanan. Jenis limbah ini memiliki sifat mudah terurai secara alami, sehingga sangat cocok untuk diolah kembali menjadi produk yang bermanfaat

Improper management of inorganic waste can cause a decrease in health quality, a decrease in environmental quality and an impact on the socio-economic aspects of the community. Inorganic waste management should be carried out starting from the source of waste, one of which is the household/individual producing waste (Nuswowati, M. et.al., 2024).

## 6.2 Types of Organic and Inorganic Waste

### 6.2.1 Types of organic waste

This type of waste is often generated from daily activities in households and the agricultural sector. The following are some types of organic waste that are commonly found.

#### a. Food scraps

Food scraps, which generally consist of uneaten rice, wilted vegetables, and rotten fruits, are one of the types of organic waste most often found in households. According to Widiastuti (2020), these food scraps contribute the largest share of the total organic waste generated in daily activities, and have great potential to be reprocessed into useful products, such as compost that is useful for fertilizing the soil, or used as animal feed, so that it can help reduce the volume of waste that ends up in landfills and support more sustainable environmental management practices.

#### b. Leaves

Leaves that fall from trees, clippings of mowed grass, and small twigs that fall to the ground are examples of natural organic materials that are very easy to decompose. Through the decomposition process by soil microorganisms, these materials are gradually converted into humus, which is an important component for improving soil structure, increasing fertility, and helping plants grow more fertile and healthy by providing the nutrients they need. (Kurniawan et al., 2019)

#### c. Fruit and Vegetable Peels

Banana peels, orange peels, and other vegetable peels, such as carrot and potato peels, are types of organic waste that are often produced in large quantities from various cooking activities in households and in the food industry. This type of waste is easily decomposed naturally, making it very suitable for reprocessing into useful products

bagi lingkungan. Menurut Rahmawati (2021), limbah kulit buah-buahan tersebut, jika diproses dengan metode yang tepat, dapat diubah menjadi kompos berkualitas tinggi yang kaya akan nutrisi esensial bagi tanaman. Hal ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan sampah organik, tetapi juga mendukung praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan melalui penggunaan pupuk alami yang dihasilkan dari bahan-bahan yang pada awalnya dianggap limbah.



Gambar 6.4 Sayur dan kulit buah  
Sumber: [www.ugm.ac.id/](http://www.ugm.ac.id/)

#### d. Kotoran Hewan

Kotoran ternak biasanya berasal dari sapi, kambing, atau ayam, maupun dari kotoran hewan peliharaan, seperti kucing dan anjing, yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan kembali sebagai pupuk organik alami. Kotoran hewan mengandung berbagai unsur hara yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Menurut Hasanah et al. (2022), kotoran hewan dapat dicampur dengan bahan organik lain untuk menghasilkan kompos yang lebih efektif.



Gambar 6.5 Kotoran ternak dari sapi  
Sumber: [www.inilahkoran.id](http://www.inilahkoran.id)

#### e. Limbah Pertanian

Jerami, batang padi, serta tanaman lainnya yang tersisa setelah proses panen merupakan contoh dari limbah pertanian yang sering kali dihasilkan dalam jumlah besar dan memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan kembali. Limbah-limbah yang umumnya dianggap

for the environment. According to Rahmawati (2021), fruit peel waste, if processed with the right method, can be turned into high-quality compost that is rich in essential nutrients for plants. This not only contributes to the reduction of organic waste, but also supports more environmentally friendly agricultural practices through the use of natural fertilizers produced from materials that were initially considered waste.



Figure 6.4 Vegetable and fruit peels  
Source: [www.ugm.ac.id/](http://www.ugm.ac.id/)

#### d. Animal Waste

Livestock waste usually comes from cows, goats, or chickens, as well as from pet waste, such as cats and dogs, which have great potential to be reused as natural organic fertilizer. Animal waste contains various nutrients that are important for plant growth. According to Hasanah et al. (2022), animal waste can be mixed with other organic materials to produce more effective compost.



Figure 6.5 Animal waste from cows  
Source: [www.inilahkoran.id](http://www.inilahkoran.id)

#### e. Agricultural Waste

Straw, rice stalks, and other plants left after the harvest are examples of agricultural waste that is often produced in large quantities and has great potential for reuse. Wastes that are generally considered

sebagai sisa tak terpakai, dapat diolah melalui berbagai metode, seperti komposting atau fermentasi, untuk diubah menjadi pupuk organik yang bermanfaat bagi peningkatan kesuburan tanah. Dengan mengolah kembali limbah pertanian, para petani tidak hanya dapat mengurangi volume sampah yang dihasilkan, tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan. (Purnomo & Adi, 2023).



Gambar 6.6 Tumpukan jerami  
Sumber: [www.bobo.grid.id](http://www.bobo.grid.id)

**f. Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai jenis-jenis sampah anorganik:**

**. Serbuk Gergaji dan Kayu**

Sisa pemotongan kayu, seperti potongan kecil yang tersisa dari proses penggergajian, maupun serbuk kayu yang dihasilkan dari proses penghalusan kayu, juga termasuk dalam kategori sampah organik yang sering kali diabaikan, padahal memiliki berbagai potensi pemanfaatan yang signifikan. Jenis limbah ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, salah satunya adalah sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan komposit, yang dapat digunakan dalam industri furnitur atau konstruksi karena sifatnya yang ringan namun tetap kuat dan tahan lama. (Yulianto & Wardani, 2020).



Gambar 6.7 Serbuk gergaji  
Sumber: [www.mataram.antaranews.com](http://www.mataram.antaranews.com)

as unused waste, can be processed through various methods, such as composting or fermentation, to be converted into organic fertilizer that is useful for increasing soil fertility. By reprocessing agricultural waste, farmers can not only reduce the volume of waste produced, but also support environmentally friendly sustainable agricultural practices. (Purnomo & Adi, 2023).



Figure 6.6 Haystack  
Source: [www.bobo.grid.id](http://www.bobo.grid.id)

**f. Here is a more detailed explanation of the types of inorganic waste:**

**• Sawdust and Wood**

Wood cutting residue, such as small pieces left over from the sawing process, or sawdust produced from the wood refining process, is also included in the category of organic waste that is often overlooked, even though it has various significant potential uses. This type of waste can be used for various purposes, one of which is as a raw material in the manufacture of composite materials, which can be used in the furniture or construction industry because of its lightweight but strong and durable nature. (Yulianto & Wardani, 2020).



Figure 6.7 Sawdust  
Source: [www.mataram.antaranews.com](http://www.mataram.antaranews.com)

## 6.2.2 Jenis-jenis sampah anorganik

Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai jenis-jenis sampah anorganik:

### a. Sampah Plastik

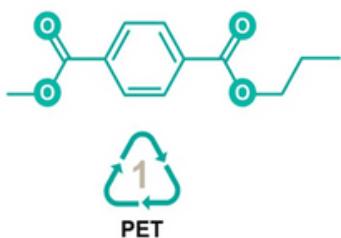


Gambar 6.8 Botol plastik  
Sumber: [www.cnnindonesia.com](http://www.cnnindonesia.com)

Plastik merupakan salah satu sampah anorganik yang paling banyak diproduksi dan digunakan oleh manusia. Plastik digunakan dalam berbagai bentuk, mulai dari botol minuman, kantong belanja, hingga berbagai kemasan makanan. Sifatnya yang tahan lama dan ringan membuat plastik sangat berguna dalam kehidupan sehari-hari, tetapi sekaligus menjadi ancaman besar bagi lingkungan (Arwini, 2022). Penggunaan plastik sekali pakai juga memperparah masalah ini, karena sebagian besar berakhir di tempat pembuangan sampah atau mencemari lingkungan laut. Plastik tidak mudah terurai dalam waktu singkat, beberapa jenis plastik memerlukan waktu hingga ratusan tahun untuk hancur.

#### • Polietilen Tereftalat (PET)

Plastik jenis ini, yang dikenal sebagai Polyethylene Terephthalate (PET), sering digunakan dalam pembuatan botol minuman, seperti botol air mineral, serta berbagai jenis kemasan makanan karena sifatnya yang kuat, ringan, dan tahan lama.



Gambar 6.9 Stuktur PET  
Sumber: [www.plasticmoldingsolutions.com](http://www.plasticmoldingsolutions.com)

## 6.2.2 Types of inorganic waste

Here is a more detailed explanation of the types of inorganic waste:

### a. Plastic Waste



Figure 6.8 Plastic bottles  
Source: [www.cnnindonesia.com](http://www.cnnindonesia.com)

Plastic is one of the inorganic wastes that is most widely produced and used by humans. Plastic is used in various forms, from beverage bottles, shopping bags, to various food packaging. Its durable and lightweight nature makes plastic very useful in everyday life, but at the same time it is a major threat to the environment (Arwini, 2022). The use of single-use plastic also exacerbates this problem, because most of it ends up in landfills or pollutes the marine environment. Plastic does not decompose easily in a short time, some types of plastic take up to hundreds of years to break down.

- **Polyethylene Terephthalate (PET)**

This type of plastic, known as Polyethylene Terephthalate (PET), is often used in the manufacture of beverage bottles, such as mineral water bottles, as well as various types of food packaging because of its strong, lightweight, and durable properties.

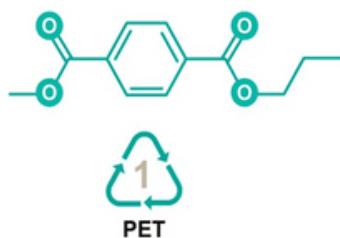


Figure 6.9 PET Structure  
Source: [www.plasticmoldingsolutions.com](http://www.plasticmoldingsolutions.com)

- **Polietilen Berdensitas Tinggi (HDPE)**

Plastik ini digunakan dalam botol detergen dan kemasan susu. Plastik jenis ini sangat tahan terhadap bahan kimia dan memiliki tingkat daur ulang yang tinggi.

- **Polivinil Klorida (PVC)**

Plastik ini digunakan untuk pipa, kabel listrik, dan beberapa jenis kemasan. PVC sulit didaur ulang karena proses kimiawi yang rumit dan adanya bahan tambahan seperti klorin.



Gambar 6.10 Sedotan  
Sumber: [www.idntimes.com](http://www.idntimes.com)

- **Low Density Polyethylene (LDPE)**

Jenis plastik ini dapat ditemukan pada bungkus roti, makanan beku, pelapis kertas kotak susu, dan cup untuk minuman dingin atau panas. LDPE juga digunakan untuk membuat wadah penutup, seperti mainan dan botol yang dapat dipencet (seperti untuk madu dan saus mustard). LDPE merupakan plastik dengan tingkat bahaya yang rendah.

- **Polipropilena (PP)**

Plastik ini digunakan untuk produk-produk seperti sedotan, tutup botol, dan wadah penyimpanan makanan. Polipropilena memiliki titik leleh yang lebih tinggi dan lebih kuat dibandingkan plastik lain.

- **Polystyrene (PS)**

Polystyrene disebut juga styrofoam, umum ditemukan pada wadah makanan seperti cup, piring, dan mangkuk. Meskipun sangat rendah, styrene nyatanya juga diketahui sebagai penyebab tumor paru-paru dalam sebuah percobaan pada seekor tikus.

- **Other**

Jenis plastik other adalah plastik selain dari keenam plastik lainnya. terdapat beberapa jenis plastik yang masuk ke dalam plastik other, yaitu:

1) **SAN (Styrene Acrylonitrile)** memiliki sifat kuat dan resisten terhadap reaksi kimia dan suhu, aman terhadap pengemasan makanan atau minuman, dapat ditemukan pada mangkuk mixer, pembungkus termos, piring makan, alat makan, dan lainnya.

- **High Density Polyethylene (HDPE)**

This plastic is used in detergent bottles and milk cartons. It is highly resistant to chemicals and has a high recycling rate.

- **Polyvinyl Chloride (PVC)**

This plastic is used for pipes, electrical cables, and some types of packaging. PVC is difficult to recycle due to the complicated chemical process and the presence of additives such as chlorine.



Gambar 6.10 Sedotan  
Sumber: [www.idntimes.com](http://www.idntimes.com)

- **Low Density Polyethylene (LDPE)**

This type of plastic can be found in bread wrappers, frozen foods, milk carton linings, and cups for cold or hot drinks. LDPE is also used to make lid containers, such as toys and squeezable bottles (such as for honey and mustard sauce). LDPE is a low-hazard plastic.

- **Polypropylene (PP)**

This plastic is used for products such as straws, bottle caps, and food storage containers. Polypropylene has a higher melting point and is stronger than other plastics.

- **Polystyrene (PS)**

Polystyrene is also called styrofoam, commonly found in food containers such as cups, plates, and bowls. Although very low, styrene is also known to cause lung tumors in an experiment on mice.

- **Other**

Other types of plastic are plastics other than the other six plastics. There are several types of plastics that are included in other plastics, namely:

1) **SAN (Styrene Acrylonitrile)** has strong properties and is resistant to chemical reactions and temperature, safe for food or beverage packaging, can be found in mixer bowls, thermos wrappers, dinner plates, cutlery, and others.

2) )**ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)** memiliki sifat kuat dan resisten terhadap reaksi kimia dan suhu, ditemukan pada wadah makanan atau minuman, mainan anak, serta pipa.

3) **PC (Polycarbonate)** adalah plastik yang tidak mudah pecah, ringan, dan transparan. Dapat ditemukan pada galon air, gelas balita, botol minuman, serta beberapa botol bayi. Meskipun begitu, jenis plastik ini tidak disarankan untuk pengemasan makanan atau minuman tertentu karena mengandung BPA (Bisphenol-A).

#### 4) Mikroplastik

Mikroplastik terbentuk dari degradasi berbagai jenis plastik, termasuk SAN, ABS, dan PC. Partikel plastik yang sangat kecil ini dapat mencemari lingkungan, khususnya lautan, dan berpotensi masuk ke dalam rantai makanan. Memiliki dampak yang dapat membahayakan ekosistem dan kesehatan.



Gambar 6.11 Lego  
Sumber: [www.sybridge.com](http://www.sybridge.com)

#### b. Sampah Logam



Gambar 6.12 Tumpukan sampah logam  
Sumber: [www.popmama.com](http://www.popmama.com)

Logam merupakan material anorganik yang dapat didaur ulang berulang kali tanpa mengurangi kualitasnya. Logam-logam berat seperti timbal (Pb) dan merkuri (Hg) merupakan kontaminan yang sangat berbahaya jika tidak dikelola dengan baik. Logam-logam ini dapat mencemari air tanah dan ekosistem perairan jika tidak didaur ulang atau dibuang secara benar. Sampah logam terdiri dari berbagai jenis, mulai dari aluminium, besi, baja, hingga logam mulia seperti emas dan perak (Marzuki et al., 2022).

**2) ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)** has strong properties and is resistant to chemical reactions and temperature, found in food or drink containers, children's toys, and pipes.

**3) PC (Polycarbonate)** is a plastic that is not easily broken, lightweight, and transparent. It can be found in water gallons, toddler cups, drink bottles, and some baby bottles. However, this type of plastic is not recommended for packaging certain foods or drinks because it contains BPA (Bisphenol-A).

#### **4) Microplastics**

Microplastics are formed from the degradation of various types of plastic, including SAN, ABS, and PC. These very small plastic particles can pollute the environment, especially the oceans, and potentially enter the food chain. Having impacts that can harm the ecosystem and health.



Figure 6.11 Lego  
Source: [www.sybridge.com](http://www.sybridge.com)

#### **b. Metal Waste**



Figure 6.12 Pile of metal waste  
Source: [www.popmama.com](http://www.popmama.com)

Metal is an inorganic material that can be recycled repeatedly without reducing its quality. Heavy metals such as lead (Pb) and mercury (Hg) are very dangerous contaminants if not managed properly. These metals can pollute groundwater and aquatic ecosystems if not recycled or disposed of properly. Metal waste consists of various types, ranging from aluminum, iron, steel, to precious metals such as gold and silver (Marzuki et al., 2022).

- **Alumunium**



Gambar 6.13 Alumunium foil  
Sumber: [www.detik.com](http://www.detik.com)

Menurut Sulaiman (2021), Aluminium adalah logam ringan yang banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman. Contoh umum sampah aluminium termasuk kaleng minuman bekas, aluminium foil, dan wadah makanan. Aluminium bersifat anorganik karena tidak dapat terurai secara alami, tetapi sangat mudah didaur ulang. Proses daur ulang aluminium dapat menghemat hingga 95% energi dibandingkan pembuatan aluminium baru.

- **Besi dan Baja**



Gambar 6.14 Paku  
Sumber: [www.histeel.co.id](http://www.histeel.co.id)

Besi dan baja merupakan logam yang sering digunakan dalam industri konstruksi, kendaraan, dan alat rumah tangga. Sampah besi berasal dari paku, kawat, dan bahan bangunan, sedangkan baja biasanya ditemukan dalam peralatan memasak, kendaraan bekas, serta struktur bangunan. Kedua logam ini dapat berkarat dan memerlukan waktu yang lama untuk terurai. Namun, baik besi maupun baja sangat mudah didaur ulang dan sering digunakan kembali dalam berbagai produk industri (Fatriady et al., 2022)

- **Aluminum**



Figure 6.13 Aluminum foil  
Source: [www.detik.com](http://www.detik.com)

According to Sulaiman (2021), Aluminum is a lightweight metal that is widely used in the food and beverage industry. Common examples of aluminum waste include used beverage cans, aluminum foil, and food containers. Aluminum is inorganic because it cannot decompose naturally, but it is very easy to recycle. The aluminum recycling process can save up to 95% of energy compared to making new aluminum.

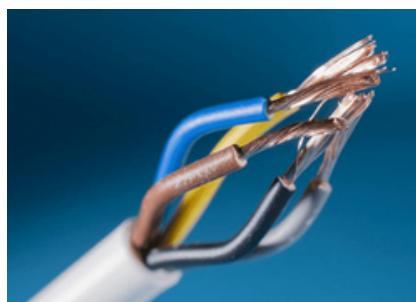
- **Iron and Steel**



Figure 6.14 Nails  
Source: [www.histeel.co.id](http://www.histeel.co.id)

Iron and steel are metals that are often used in the construction, vehicle, and household appliance industries. Iron waste comes from nails, wire, and building materials, while steel is usually found in cooking utensils, used vehicles, and building structures. Both of these metals can rust and take a long time to decompose. However, both iron and steel are very easy to recycle and are often reused in various industrial products (Fatriady et al., 2022)

- **Tembaga**



Gambar 6.15 Kabel listrik tembaga

Sumber: [www.listrikindonesia.com](http://www.listrikindonesia.com)

Tembaga sering digunakan dalam kabel listrik, komponen elektronik, dan pipa. Nilai ekonomis tembaga yang tinggi menjadikannya salah satu logam yang paling sering didaur ulang. Namun, jika dibuang sembarangan, tembaga dapat mencemari lingkungan, terutama tanah dan air, karena elemen ini bisa terlepas ke ekosistem dan merusaknya (Nurmayanti et al., 2024)

### c. Sampah Kaca



Gambar 6.2.2. Pecahan botol kaca

Sumber: [www.telusuri.id](http://www.telusuri.id)

Kaca adalah material anorganik yang sering digunakan dalam berbagai bentuk, seperti botol, gelas, dan jendela. Kaca memiliki keunggulan karena dapat didaur ulang berulang kali tanpa kehilangan kualitas, sehingga menjadikannya salah satu bahan anorganik yang ramah lingkungan jika didaur ulang dengan benar (Palupi, 2019). Jenis-jenis Kaca, yaitu :

- **Kaca Botol**

Kaca botol adalah jenis kaca yang sering digunakan untuk mengemas minuman seperti air mineral, jus, dan alkohol. Kaca ini biasanya tebal dan dirancang agar tahan terhadap tekanan. Sebagai sampah anorganik, kaca botol tidak mudah terurai secara alami dan dapat bertahan di lingkungan selama ratusan tahun.

- **Copper**

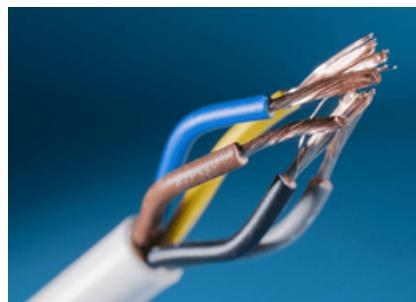


Figure 6.15 Copper electrical cable

Source: [www.listrikindonesia.com](http://www.listrikindonesia.com)

Copper is often used in electrical cables, electronic components, and pipes. The high economic value of copper makes it one of the most frequently recycled metals. However, if disposed of carelessly, copper can pollute the environment, especially soil and water, because this element can be released into the ecosystem and damage it (Nurmayanti et al., 2024)

### c. Glass Waste



Figure 6.2.2. Broken glass bottles

Source: [www.telusuri.id](http://www.telusuri.id)

Glass is an inorganic material that is often used in various forms, such as bottles, glasses, and windows. Glass has the advantage of being able to be recycled repeatedly without losing quality, making it one of the environmentally friendly inorganic materials if recycled properly (Palupi, 2019). Types of Glass, namely:

- **Bottle Glass**

Bottle glass is a type of glass that is often used to package drinks such as mineral water, juice, and alcohol. This glass is usually thick and designed to withstand pressure. As inorganic waste, glass bottles do not easily decompose naturally and can persist in the environment for hundreds of years.

### • Kaca Jendela

Kaca jendela termasuk jenis kaca lembaran yang biasa digunakan dalam bangunan. Kaca ini juga dapat ditemukan dalam cermin dan pintu kaca. Kaca jendela cenderung lebih rapuh dibanding kaca botol dan lebih rentan pecah. Jika dibuang sembarangan, pecahan kaca ini berpotensi membahayakan manusia dan hewan.

### • Kaca Tempered

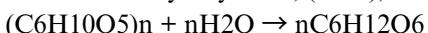
Kaca tempered adalah jenis kaca yang diperkuat dan tahan benturan, sering digunakan pada pintu, jendela mobil, atau layar perangkat elektronik. Ketika pecah, kaca tempered akan retak menjadi butiran kecil yang tidak tajam, mengurangi risiko cedera. Meski lebih tahan lama, kaca tempered tetap menjadi sampah anorganik jika dibuang.

## 6.3 Proses Biodegradasi

Biodegradasi sampah organik adalah proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme, seperti bakteri, jamur, atau enzim, menjadi komponen yang lebih sederhana seperti gas, air, dan nutrisi (Tarigan & Dukabain, 2023). Berikut ini contoh reaksi biodegradasi pada sampah atau limbah organik.

### a. Biodegradasi selulosa

Selulosa adalah komponen utama pada limbah tanaman seperti daun, rumput, dan kayu. Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur menguraikan selulosa dengan enzim selulase. Menurut Maryanty et al., (2020), berikut ini reaksinya.



Selulosa (polisakarida) dihidrolisis menjadi glukosa oleh enzim selulase. Glukosa kemudian dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk respirasi atau fermentasi, menghasilkan karbon dioksida, air, dan energi. Pada reaksi ini, glukosa diubah menjadi karbon dioksida dan air melalui respirasi aerobik oleh mikroorganisme.

### b. Biodegradasi lipid

Lipid atau lemak dapat diuraikan oleh enzim lipase yang diproduksi oleh bakteri dan jamur. Limbah organik seperti minyak goreng bekas atau sisa makanan berlemak merupakan contoh sumber lipid. Sebagai contoh, lipase dari jamur Pleurotus ostreatus dioptimalkan untuk produksi yang lebih tinggi dalam fermentasi keadaan padat, yang sangat efektif dalam pemecahan lipid (Amin et al., 2021). Reaksinya sebagai berikut.



- **Window Glass**

Window glass is a type of sheet glass commonly used in buildings. This glass can also be found in mirrors and glass doors. Window glass tends to be more fragile than bottle glass and is more prone to breaking. If thrown away carelessly, these broken glass pieces have the potential to harm humans and animals.

- **Tempered Glass**

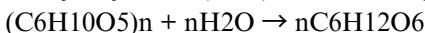
Tempered glass is a type of glass that is strengthened and impact-resistant, often used in doors, car windows, or electronic device screens. When broken, tempered glass will crack into small, non-sharp grains, reducing the risk of injury. Although more durable, tempered glass remains inorganic waste if thrown away.

## 6.3 Biodegradation Process

Biodegradation of organic waste is the process of decomposing organic materials by microorganisms, such as bacteria, fungi, or enzymes, into simpler components such as gas, water, and nutrients (Tarigan & Dukabain, 2023). The following is an example of a biodegradation reaction in organic waste or waste.

### a. Cellulose biodegradation

Cellulose is the main component of plant waste such as leaves, grass, and wood. Microorganisms such as bacteria and fungi decompose cellulose with the enzyme cellulase. According to Maryanty et al., (2020), the following is the reaction.



Cellulose (polysaccharide) is hydrolyzed into glucose by the enzyme cellulase. Glucose can then be used by microorganisms for respiration or fermentation, producing carbon dioxide, water, and energy. In this reaction, glucose is converted into carbon dioxide and water through aerobic respiration by microorganisms.

### b. Lipid biodegradation

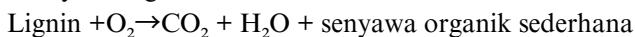
Lipids or fats can be broken down by lipase enzymes produced by bacteria and fungi. Organic waste such as used cooking oil or fatty food waste are examples of lipid sources. For example, lipase from the fungus *Pleurotus ostreatus* is optimized for higher production in solid-state fermentation, which is very effective in breaking down lipids (Amin et al., 2021). The reaction is as follows.



Trigliserida dihidrolisis menjadi gliserol dan asam lemak oleh enzim lipase. Gliserol dan asam lemak kemudian dapat dimetabolisme lebih lanjut oleh mikroorganisme menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam respirasi aerobik, atau metana ( $\text{CH}_4$ ) dalam kondisi anaerobik (fermentasi metana).

#### c. Biodegradasi lignin

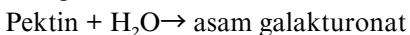
Lignin, komponen utama kayu dan serat tanaman, adalah salah satu senyawa organik yang paling sulit terdegradasi. Biodegradasi lignin dilakukan oleh jamur pelapuk kayu seperti *Phanerochaete chrysosporium* dengan bantuan enzim lignin peroksidase (LiP) dan mangan peroksidase (MnP). Reaksi penguraian lignin menghasilkan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan senyawa organik yang lebih sederhana (Majeed et al., 2021). Reaksinya sebagai berikut.



Karena kompleksitas lignin, proses penguraiannya berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan senyawa organik lainnya.

#### d. Biodegradasi pektin

Pektin merupakan polisakarida yang terdapat dalam kulit buah dan sayuran. Biodegradasi pektin dilakukan oleh mikroorganisme yang menghasilkan enzim pektinase, yang menghidrolisis pektin menjadi asam galakturonat (Santoso & Egra, 2022). Reaksinya sebagai berikut.



Pektinase ini memecah rantai pektin, menghasilkan asam galakturonat yang kemudian dapat dimetabolisme lebih lanjut menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  oleh mikroorganisme.

#### e. Biodegradasi protein

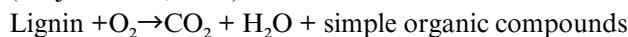
Biodegradasi protein dilakukan oleh mikroorganisme melalui proses proteolisis, yang melibatkan enzim protease. Reaksi ini menguraikan rantai panjang asam amino dalam protein menjadi peptida yang lebih kecil dan asam amino. Proses ini dimulai dengan pemutusan ikatan peptida melalui aktivitas protease. Tahapan akhirnya adalah deaminasi, di mana asam amino diubah menjadi amonia ( $\text{NH}_3$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Penggunaan protease juga diaplikasikan dalam industri bioteknologi, termasuk dalam pengolahan limbah, industri makanan, dan farmasi (Shankar et al., 2021). Reaksinya sebagai berikut.



Triglycerides are hydrolyzed into glycerol and fatty acids by lipase enzymes. Glycerol and fatty acids can then be further metabolized by microorganisms into CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O in aerobic respiration, or methane (CH<sub>4</sub>) under anaerobic conditions (methane fermentation).

### c. Lignin biodegradation

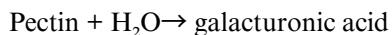
Lignin, the main component of wood and plant fibers, is one of the most difficult organic compounds to degrade. Lignin biodegradation is carried out by wood-rotting fungi such as *Phanerochaete chrysosporium* with the help of lignin peroxidase (LiP) and manganese peroxidase (MnP) enzymes. The lignin decomposition reaction produces CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, and simpler organic compounds (Majeed et al., 2021). The reaction is as follows.



Due to the complexity of lignin, its decomposition process is slower than other organic compounds.

### d. Pectin biodegradation

Pectin is a polysaccharide found in the skin of fruits and vegetables. Pectin biodegradation is carried out by microorganisms that produce the enzyme pectinase, which hydrolyzes pectin into galacturonic acid (Santoso & Egra, 2022). The reaction is as follows.



This pectinase breaks down the pectin chain, producing galacturonic acid which can then be further metabolized into CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O by microorganisms.

### e. Protein biodegradation

Protein biodegradation is carried out by microorganisms through the proteolysis process, which involves the enzyme protease. This reaction breaks down the long chains of amino acids in proteins into smaller peptides and amino acids. This process begins with the cleavage of peptide bonds through protease activity. The final stage is deamination, where amino acids are converted into ammonia (NH<sub>3</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and water (H<sub>2</sub>O). The use of proteases is also applied in the biotechnology industry, including in waste treatment, the food industry, and pharmaceuticals (Shankar et al., 2021). The reaction is as follows.



## 6.4 Daur ulang sampah anorganik

Menurut Hasibuan (2023), daur ulang merupakan proses penting dalam pengelolaan sampah anorganik seperti plastik, logam, dan kaca yang sulit terurai secara alami dan berpotensi mencemari lingkungan. Melalui daur ulang, material-material ini dapat diolah kembali menjadi produk baru, mengurangi kebutuhan akan bahan baku baru dan menghemat energi. Proses daur ulang melibatkan serangkaian langkah fisik seperti pengumpulan, pemilahan, pencacahan, dan peleburan, serta berbagai reaksi kimia yang membantu memurnikan material dari kontaminan dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan kembali.

### a.Daur ulang plastik

Proses daur ulang plastik dimulai dengan beberapa tahap yang bertujuan untuk mengolah plastik bekas menjadi produk baru yang berguna. Menurut Berliana et al., (2023), berikut adalah langkah-langkah prosesnya:

- **Pengumpulan**

Plastik dari berbagai sumber seperti botol, kantong, atau kemasan dikumpulkan.

- **Pemilahan**

Setelah tahap pengumpulan, langkah selanjutnya dalam proses daur ulang plastik adalah penyortiran. Biasanya, plastik diurutkan berdasarkan beberapa cara yang umum. Contohnya seperti jenis plastik (bahan pembuatannya), warna plastik, atau bahkan cara pembuatannya.

- **Pencucian**

Potongan plastik dicuci dengan air atau bahan kimia untuk menghilangkan kotoran, minyak, dan bahan lainnya yang menempel pada permukaan plastik.

- **Pelelehan dan pembentukan ulang**

Plastik yang sudah bersih dilelehkan pada suhu tinggi hingga menjadi cair dan kemudian dicetak ulang menjadi produk baru, seperti botol atau wadah plastik.

### b.Daur Ulang Alumunium

Proses daur ulang aluminium memanfaatkan sifat aluminium yang dapat didaur ulang berulang kali tanpa mengurangi kualitasnya. Berikut tahapan daur ulang aluminium:

- **Pengumpulan dan pembersihan**

Aluminium bekas, seperti kaleng minuman dan aluminium foil, dikumpulkan dan dibersihkan untuk menghilangkan kotoran seperti cat dan sisa makanan.

- **Pencacahan**

Aluminium yang sudah dibersihkan dicacah menjadi potongan-potongan kecil untuk memudahkan proses peleburan.

## 6.4 Recycling of inorganic waste

According to Hasibuan (2023), recycling is an important process in the management of inorganic waste such as plastic, metal, and glass that are difficult to decompose naturally and have the potential to pollute the environment. Through recycling, these materials can be reprocessed into new products, reducing the need for new raw materials and saving energy. The recycling process involves a series of physical steps such as collection, sorting, shredding, and melting, as well as various chemical reactions that help purify the material from contaminants and convert it into a reusable form.

### a. Plastic recycling

The plastic recycling process begins with several stages that aim to process used plastic into useful new products. According to Berliana et al., (2023), the following are the steps in the process:

- **Collection**

Plastic from various sources such as bottles, bags, or packaging is collected.

- **Sorting**

After the collection stage, the next step in the plastic recycling process is sorting. Usually, plastic is sorted based on several common methods. For example, the type of plastic (the material it is made from), the color of the plastic, or even the method of manufacture.

- **Washing**

Plastic scraps are washed with water or chemicals to remove dirt, oil, and other materials that stick to the plastic surface.

- **Melting and re-forming**

The cleaned plastic is melted at high temperatures until it becomes liquid and then re-molded into new products, such as plastic bottles or containers.

### b. Aluminum Recycling

The aluminum recycling process utilizes the properties of aluminum which can be recycled repeatedly without reducing its quality. The following are the stages of aluminum recycling:

- **Collection and cleaning**

Used aluminum, such as beverage cans and aluminum foil, is collected and cleaned to remove dirt such as paint and food residue.

- **Shredding**

The cleaned aluminum is shredded into small pieces to facilitate the melting process.

- **Peleburan**

Potongan aluminium dilebur dalam tungku pada suhu tinggi (sekitar 660°C) hingga menjadi cair.

- **Pemurnian**

Selama proses peleburan, aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dihilangkan melalui elektrolisis untuk menghasilkan aluminium murni.

- **Pencetakan ulang**

Aluminium cair kemudian dicetak menjadi lembaran atau batangan yang siap digunakan untuk produk baru.

### c. Daur ulang besi dan baja

Besi dan baja dapat didaur ulang dengan proses peleburan dan pemurnian. Langkah-langkah daur ulang besi dan baja adalah sebagai berikut:

- **Pengumpulan dan pemilahan**

Besi bekas dikumpulkan dari kendaraan, peralatan rumah tangga, atau material konstruksi, dan dipilah sesuai jenisnya (misalnya besi tuang atau baja tahan karat).

- **Peleburan**

Besi dilebur dalam tanur tinggi atau tanur listrik pada suhu tinggi sekitar 1500°C hingga menjadi cair.

- **Pemurnian**

Selama proses peleburan, bahan-bahan pengotor, seperti karbon berlebih atau sulfur, dihilangkan.

- **Pencetakan ulang**

Besi atau baja cair kemudian dicetak menjadi batang, lembaran, atau produk lainnya yang siap digunakan.

### d. Daur Ulang Kaca

- **Pengumpulan**

Kaca bekas dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti botol, toples, jendela, dan gelas. Kaca-kaca ini sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari dan menjadi salah satu jenis sampah anorganik yang dapat didaur ulang berulang kali tanpa kehilangan kualitasnya.

- **Pemilahan**

Kaca yang terkumpul dipilah berdasarkan warnanya, seperti kaca bening, hijau, atau coklat, karena jenis kaca yang berbeda biasanya dilebur terpisah agar menghasilkan produk yang lebih seragam. Pemilahan warna penting untuk memastikan produk akhir memiliki kualitas dan karakteristik yang diinginkan.

- **Smelting**

Aluminum scrap is melted in a furnace at a high temperature (around 660°C) until it becomes liquid.

- **Refining**

During the smelting process, aluminum oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) is removed through electrolysis to produce pure aluminum.

- **Recasting**

The molten aluminum is then cast into sheets or bars that are ready to be used for new products.

### c. Iron and steel recycling

Iron and steel can be recycled through the smelting and refining process. The steps for recycling iron and steel are as follows:

- **Collection and sorting**

Scrap metal is collected from vehicles, household appliances, or construction materials, and sorted according to type (e.g. cast iron or stainless steel).

- **Smelting**

The iron is melted in a blast furnace or electric furnace at a high temperature of around 1500°C until it becomes liquid.

- **Refining**

During the smelting process, impurities, such as excess carbon or sulfur, are removed.

- **Recasting**

The molten iron or steel is then molded into rods, sheets, or other products that are ready to use.

### d. Glass Recycling

- **Collection**

Used glass is collected from various sources, such as bottles, jars, windows, and glasses. This glass is often found in everyday life and is one type of inorganic waste that can be recycled repeatedly without losing its quality.

- **Sorting**

The collected glass is sorted by color, such as clear, green, or brown glass, because different types of glass are usually melted separately to produce a more uniform product. Color sorting is important to ensure that the final product has the desired quality and characteristics.

- **Pencacahan**

Kaca dihancurkan menjadi pecahan-pecahan kecil yang disebut cullet. Pecahan ini lebih mudah dilebur dan digunakan sebagai bahan baku kaca baru. Cuklet juga mengurangi energi yang dibutuhkan dalam proses peleburan, karena pecahan kaca meleleh lebih cepat daripada kaca utuh.

- **Pencucian**

Pecahan kaca (cullet) dicuci untuk menghilangkan kotoran seperti label, kertas, plastik, atau sisa makanan yang mungkin masih menempel pada permukaan kaca. Pencucian ini sangat penting untuk mencegah kontaminasi yang dapat mempengaruhi kualitas produk kaca yang dihasilkan.

- **Peleburan**

Pecahan kaca dilebur dalam tungku pada suhu tinggi, sekitar 1500°C hingga 1700°C. Pada tahap ini, pecahan kaca meleleh dan bergabung menjadi massa kaca cair yang dapat dibentuk ulang.

- **Pembentukan Ulang**

Kaca cair yang dihasilkan dari proses peleburan kemudian dibentuk ulang menjadi produk baru. Proses pencetakan ini bisa dilakukan dengan berbagai teknik tergantung pada produk akhir yang ingin dihasilkan, seperti botol, jendela, gelas, atau lembaran kaca. Produk baru ini tidak mengalami perubahan dalam sifat fisiknya meski telah didaur ulang.

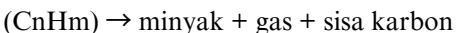
- **Pendinginan**

Kaca harus didinginkan secara perlahan dalam proses yang disebut annealing untuk mencegah retak atau pecah. Pendinginan bertahap ini memungkinkan kaca mengeras dengan sempurna dan mencapai kekuatan yang diinginkan.

## 6.5 Reaksi kimia dalam pengolahan sampah anorganik

### 1. Pengolahan plastik melalui pirolisis

Plastik merupakan polimer yang terdiri dari rantai panjang monomer, seperti polietilena (PE), polipropilena (PP), dan polistirena (PS). Salah satu metode pengolahan sampah plastik adalah pirolisis, yaitu pemanasan plastik pada suhu tinggi (biasanya 300-900°C) dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob). Proses ini menyebabkan dekomposisi termal polimer, memutus ikatan kimia dalam rantai panjang, menghasilkan produk yang lebih sederhana seperti minyak pirolisis, gas, dan karbon padat (Setiawan & Riskina, 2022). Reaksi umum pirolisis dapat digambarkan sebagai berikut.



- **Crushing**

Glass is crushed into small pieces called cullet. These pieces are easier to melt and use as raw material for new glass. Cullet also reduces the energy required in the melting process, because broken glass melts faster than whole glass.

- **Washing**

Broken glass (cullet) is washed to remove dirt such as labels, paper, plastic, or food residue that may still be stuck to the glass surface. This washing is very important to prevent contamination that can affect the quality of the glass products produced.

- **Melting**

Broken glass is melted in a furnace at a high temperature, around 1500°C to 1700°C. At this stage, the broken glass melts and combines into a mass of molten glass that can be reshaped.

- **Reshaping**

The molten glass produced from the melting process is then reshaped into a new product. This molding process can be done using various techniques depending on the final product to be produced, such as bottles, windows, glasses, or glass sheets. This new product does not experience any changes in its physical properties even though it has been recycled.

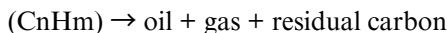
- **Cooling**

Glass must be cooled slowly in a process called annealing to prevent cracking or breaking. This gradual cooling allows the glass to harden completely and achieve the desired strength.

## 6.5 Chemical reactions in inorganic waste processing

### 1. Plastic processing through pyrolysis

Plastic is a polymer consisting of long chains of monomers, such as polyethylene (PE), polypropylene (PP), and polystyrene (PS). One method of processing plastic waste is pyrolysis, which is heating plastic at high temperatures (usually 300-900°C) in conditions without oxygen (anaerobic). This process causes thermal decomposition of the polymer, breaking chemical bonds in long chains, producing simpler products such as pyrolysis oil, gas, and solid carbon (Setiawan & Riskina, 2022). The general reaction of pyrolysis can be described as follows.



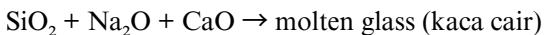
Sebagai contoh, pada polietilena (PE), pirolisis dapat menghasilkan hidrokarbon ringan ( $C_1-C_4$ ) dalam bentuk gas, serta hidrokarbon cair ( $C_5-C_{18}$ ) berupa minyak:



Produk pirolisis ini dapat digunakan kembali sebagai bahan bakar atau bahan baku dalam produksi plastik baru, sehingga mengurangi penggunaan minyak mentah dan emisi karbon (Panda, et al., 2010).

## 2. Pengolahan Kaca melalui peleburan

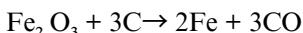
Kaca merupakan bahan anorganik yang terutama terdiri dari silikon dioksida ( $SiO_2$ ), natrium oksida ( $Na_2O$ ), dan kalsium oksida ( $CaO$ ). Proses daur ulang kaca melibatkan peleburan kaca bekas pada suhu sekitar  $1500^{\circ}C$ , di mana bahan dasar kaca meleleh dan membentuk kembali struktur amorf tanpa mengalami penurunan kualitas (Rahma & Nadliroh, 2021). Selama peleburan, kaca mengalami reaksi kimia seperti rekombinasi oksida pembentuk kaca:



Peleburan kaca mengurangi kebutuhan akan bahan baku primer seperti pasir silika ( $SiO_2$ ), soda abu ( $Na_2CO_3$ ), dan batu kapur ( $CaCO_3$ ), serta mengurangi energi yang dibutuhkan untuk produksi kaca baru. Pengolahan ini juga meminimalkan emisi gas rumah kaca yang berasal dari pemrosesan bahan baku primer.

## 3. Pengolahan Logam melalui Peleburan dan Reaksi Reduksi

Logam, seperti besi (Fe) dan aluminium (Al), biasanya didaur ulang melalui proses peleburan dan reaksi reduksi. Pada logam besi, limbah besi dan baja dilebur dalam tungku pada suhu tinggi (sekitar  $1600^{\circ}C$ ), kemudian diikuti oleh reaksi reduksi untuk memurnikan logam. Pada proses ini, bijih besi atau limbah logam dicampur dengan bahan pereduksi seperti karbon (dalam bentuk kokas) (Suprapto, 2023). Reaksi reduksi besi dari bijih besi ( $Fe_2O_3$ ) ke logam besi (Fe) adalah sebagai berikut:



Dalam proses ini, karbon dari kokas berperan sebagai agen pereduksi, mengubah oksida besi menjadi logam besi murni, sementara karbon dioksida ( $CO_2$ ) dilepaskan sebagai produk sampingan. Daur ulang logam besi dan baja sangat menghemat energi dibandingkan produksi dari bijih mentah, dan mengurangi emisi  $CO_2$  (Fahrudin, 2018).

Pada daur ulang aluminium, prosesnya juga melibatkan peleburan aluminium bekas pada suhu sekitar  $660^{\circ}C$ , jauh lebih rendah dibandingkan peleburan besi. Peleburan aluminium bekas memerlukan sekitar 5% dari energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan aluminium baru dari bijih bauksit (Habiby, 2023).

For example, in polyethylene (PE), pyrolysis can produce light hydrocarbons ( $C_1-C_4$ ) in the form of gas, as well as liquid hydrocarbons ( $C_5-C_{18}$ ) in the form of oil:



These pyrolysis products can be reused as fuel or raw materials in the production of new plastics, thereby reducing the use of crude oil and carbon emissions (Panda, et al., 2010).

## 2. Glass Processing through Melting

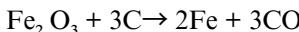
Glass is an inorganic material consisting mainly of silicon dioxide ( $SiO_2$ ), sodium oxide ( $Na_2O$ ), and calcium oxide ( $CaO$ ). The glass recycling process involves melting used glass at a temperature of around  $1500^{\circ}C$ , where the base glass material melts and re-forms an amorphous structure without experiencing any degradation in quality (Rahma & Nadliroh, 2021). During melting, glass undergoes chemical reactions such as recombination of glass-forming oxides:



Glass melting reduces the need for primary raw materials such as silica sand ( $SiO_2$ ), soda ash ( $Na_2CO_3$ ), and limestone ( $CaCO_3$ ), and reduces the energy required for the production of new glass. This processing also minimizes greenhouse gas emissions from processing primary raw materials.

## 3. Metal Processing through Melting and Reduction Reactions

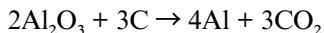
Metals, such as iron (Fe) and aluminum (Al), are usually recycled through melting and reduction reactions. In ferrous metals, iron and steel waste is melted in a furnace at high temperatures (around  $1600^{\circ}C$ ), then followed by a reduction reaction to purify the metal. In this process, iron ore or metal waste is mixed with reducing materials such as carbon (in the form of coke) (Suprapto, 2023). The iron reduction reaction from iron ore ( $Fe_2O_3$ ) to iron metal (Fe) is as follows:



In this process, carbon from coke acts as a reducing agent, converting iron oxide into pure iron metal, while carbon dioxide ( $CO_2$ ) is released as a by-product. Recycling iron and steel metals is very energy efficient compared to production from raw ore, and reduces  $CO_2$  emissions (Fahruddin, 2018).

In aluminum recycling, the process also involves melting scrap aluminum at a temperature of around  $660^{\circ}C$ , much lower than smelting iron. Smelting scrap aluminum requires about 5% of the energy required to produce new aluminum from bauxite ore (Habiby, 2023).

Reaksi peleburan aluminium bekas adalah sebagai berikut:



Dengan menggunakan proses elektrolisis, aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dari bahan bekas dipecah menjadi logam aluminium murni dan karbon dioksida (Williams, 2011).

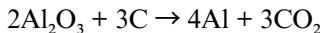
## 6.6 Upaya Menanggulangi Sampah Organik dan Anorganik melalui Inovasi Biofoam

Sampah organik dan anorganik menjadi masalah serius dalam pengelolaan lingkungan. Sampah organik, seperti sisa-sisa tumbuhan, sering kali tidak dimanfaatkan secara maksimal, sementara sampah anorganik, seperti styrofoam, sulit terurai dan menimbulkan polusi jangka panjang. Styrofoam, yang biasa digunakan sebagai kemasan makanan sekali pakai, membutuhkan waktu lama untuk terurai dan menghasilkan polutan berbahaya saat dibakar. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya melalui inovasi biofoam berbahan dasar limbah organik seperti ampas tebu dan kulit jagung.

Biofoam merupakan bahan biodegradable yang mampu terurai secara alami oleh mikroorganisme di tanah. Proses pembuatannya melibatkan bahan-bahan utama seperti pati maizena, serat kulit jagung atau ampas tebu, serta bahan tambahan seperti gliserol, PVA (Polyvinyl Alcohol), dan pewarna alami dari daun pandan. Limbah organik, seperti ampas tebu dan kulit jagung, dipilih karena ketersediaannya yang melimpah serta kandungan seratnya yang tinggi. Biofoam yang dihasilkan memiliki tekstur kokoh, ringan, dan aman digunakan, sehingga menjadi pengganti styrofoam yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, pewarna alami dari daun pandan memberikan warna hijau alami dan aroma segar tanpa risiko toksisitas.

Inovasi biofoam tidak hanya membantu mengurangi limbah organik dengan cara yang bernilai tambah, tetapi juga menawarkan solusi praktis untuk mengurangi ketergantungan pada produk anorganik seperti styrofoam. Dengan berbagai keunggulan, seperti kemampuan terurai, keamanan penggunaan, dan usus, biofoam menjadi langkah konkret dalam mendukung pengelolaan sampah terpadu. Produk ini menunjukkan potensi besar untuk diterapkan di berbagai sektor, khususnya industri kemasan, guna menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat di masa depan.

The reaction for melting scrap aluminum is as follows:



Using the electrolysis process, aluminum oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) from scrap materials is broken down into pure aluminum metal and carbon dioxide (Williams, 2011).

## 6.6 Efforts to Tackle Organic Waste and Inorganic through Biofoam Innovation

Organic and inorganic waste are serious problems in environmental management. Organic waste, such as plant remains, is often not utilized optimally, while inorganic waste, such as styrofoam, is difficult to decompose and causes long-term pollution. Styrofoam, which is commonly used as disposable food packaging, takes a long time to decompose and produces hazardous pollutants when burned. To overcome this problem, environmentally friendly alternatives are needed, one of which is through the innovation of biofoam made from organic waste such as bagasse and corn husks.

Biofoam is a biodegradable material that can be decomposed naturally by microorganisms in the soil. The manufacturing process involves main ingredients such as cornstarch, corn husk fiber or bagasse, as well as additional ingredients such as glycerol, PVA (Polyvinyl Alcohol), and natural dyes from pandan leaves. Organic waste, such as bagasse and corn husks, was chosen because of its abundant availability and high fiber content. The resulting biofoam has a sturdy, lightweight, and safe-to-use texture, making it a more environmentally friendly substitute for styrofoam. In addition, natural dyes from pandan leaves provide a natural green color and a fresh aroma without the risk of toxicity.

Biofoam innovation not only helps reduce organic waste in a value-added way, but also offers a practical solution to reduce dependence on inorganic products such as styrofoam. With various advantages, such as biodegradability, safety of use, and intestines, biofoam is a concrete step in supporting integrated waste management. This product shows great potential to be applied in various sectors, especially the packaging industry, to create a cleaner and healthier environment in the future.



## Rangkuman

Pengelolaan sampah organik mencakup bahan-bahan biologis seperti sisa makanan, dedaunan, dan limbah pertanian yang bersifat biodegradable, yaitu dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme. Biodegradasi merupakan proses utama dalam pengelolaan ini, di mana mikroorganisme menguraikan bahan-bahan organik menjadi komponen yang lebih sederhana seperti karbon dioksida, metana, air, dan nutrisi yang bermanfaat bagi tanah. Metode pengelolaan seperti pengomposan dan fermentasi anaerobik tidak hanya mengurangi volume sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) tetapi juga meminimalkan emisi gas rumah kaca seperti metana, yang berkontribusi pada perubahan iklim. Reaksi kimia yang terjadi selama penguraian, termasuk fermentasi karbohidrat, dekomposisi lemak, dan protein, memungkinkan limbah organik dimanfaatkan secara efisien untuk menghasilkan pupuk kompos atau biogas, yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan dan energi terbarukan.

Sampah anorganik, seperti plastik, logam, kaca, dan karet, tidak dapat terurai secara alami atau memerlukan waktu yang sangat lama untuk terurai, sehingga pengelolaannya lebih menekankan pada daur ulang dan pemanfaatan teknologi canggih. Proses seperti pirolisis dan gasifikasi menjadi solusi inovatif untuk mengolah limbah plastik menjadi produk yang bernilai, seperti minyak pirolisis dan gas sintetis (syngas), yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku industri. Teknologi ini tidak hanya mengurangi volume sampah yang berakhir di TPA tetapi juga menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Dengan penerapan metode dan teknologi yang tepat, baik sampah organik maupun anorganik dapat dikelola secara efektif untuk meminimalkan dampak lingkungan, mendukung keberlanjutan, dan mengubah limbah menjadi sumber daya yang bernilai ekonomis. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah yang baik tidak hanya melestarikan lingkungan tetapi juga memberikan manfaat sosial, ekonomi, dan ekologi secara keseluruhan.



## Summary

Organic waste management includes biological materials such as food scraps, leaves, and agricultural waste that are biodegradable, meaning they can be broken down naturally by microorganisms. Biodegradation is the main process in this management, where microorganisms break down organic materials into simpler components such as carbon dioxide, methane, water, and nutrients that are beneficial to the soil. Management methods such as composting and anaerobic fermentation not only reduce the volume of waste disposed of in landfills but also minimize greenhouse gas emissions such as methane, which contribute to climate change. The chemical reactions that occur during decomposition, including carbohydrate fermentation, fat and protein decomposition, allow organic waste to be efficiently utilized to produce compost or biogas, which supports sustainable agricultural practices and renewable energy.

Inorganic waste, such as plastic, metal, glass, and rubber, cannot be broken down naturally or takes a very long time to decompose, so its management emphasizes recycling and the use of advanced technology. Processes such as pyrolysis and gasification are innovative solutions for processing plastic waste into valuable products, such as pyrolysis oil and synthetic gas (syngas), which can be used as fuel or industrial raw materials. This technology not only reduces the volume of waste that ends up in landfills but also produces environmentally friendly renewable energy.

With the application of the right methods and technologies, both organic and inorganic waste can be managed effectively to minimize environmental impacts, support sustainability, and transform waste into economically valuable resources. This shows that good waste management not only preserves the environment but also provides overall social, economic, and ecological benefits.



## Evaluasi

Pilihlah jawaban berikut dengan benar!

1. Sampah organik berasal dari berbagai sumber dan dapat diolah menjadi kompos. Namun, apa dampak jangka panjang jika sampah organik tidak dikelola dengan baik?
  - A. Meningkatkan kandungan oksigen di udara
  - B. Meningkatkan kadar gas metana di atmosfer
  - C. Mengurangi emisi gas rumah kaca
  - D. Menghasilkan logam berat yang berbahaya
  - E. Menurunkan pH tanah secara signifikan
2. Pirolisis digunakan untuk mengubah sampah plastik menjadi minyak pirolisis dan gas sintetis. Bagaimana teknologi ini dapat mempengaruhi pengelolaan energi berkelanjutan?
  - A. Menghasilkan energi bersih yang tidak menghasilkan polusi
  - B. Mengurangi emisi gas rumah kaca dari TPA
  - C. Mengubah limbah anorganik menjadi bahan bakar terbarukan
  - D. Mempercepat penguraian limbah plastik secara alami
  - E. Menghilangkan kebutuhan untuk daur ulang plastik
3. Dalam proses pengomposan aerobik, suhu tumpukan kompos harus dijaga pada kisaran 50-60°C. Apa yang kemungkinan terjadi jika suhu kompos melebihi batas ini?
  - A. Pengomposan akan semakin cepat
  - B. Aktivitas mikroorganisme akan berhenti
  - C. Tumpukan kompos akan mengeluarkan gas beracun
  - D. Mikroorganisme pengurai akan mati
  - E. Kompos akan berubah menjadi bahan berbahaya
4. Bagaimana proses pirolisis dapat mendukung keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang?
  - A. Dengan menghentikan produksi sampah plastik
  - B. Dengan mengubah sampah anorganik menjadi bahan bakar yang dapat digunakan
  - C. Dengan mempercepat proses biodegradasi sampah
  - D. Dengan mengurangi penggunaan energi dalam daur ulang plastik
  - E. Dengan menciptakan pupuk dari sampah plastik



## Evaluation

Choose the following answer correctly!

1. Organic waste comes from various sources and can be processed into compost. However, what are the long-term impacts if organic waste is not managed properly?
  - A. Increases oxygen content in the air
  - B. Increases methane gas levels in the atmosphere
  - C. Reduces greenhouse gas emissions
  - D. Produces hazardous heavy metals
  - E. Significantly reduces soil pH
  
2. Pyrolysis is used to convert plastic waste into pyrolysis oil and synthetic gas. How can this technology affect sustainable energy management?
  - A. Produces clean energy that does not produce pollution
  - B. Reduces greenhouse gas emissions from landfills
  - C. Converts inorganic waste into renewable fuels
  - D. Accelerates the natural decomposition of plastic waste
  - E. Eliminates the need for plastic recycling
  
3. In the aerobic composting process, the temperature of the compost pile must be maintained at around 50-60°C. What might happen if the compost temperature exceeds this limit?
  - A. Composting will be faster
  - B. Microorganism activity will stop
  - C. The compost pile will emit toxic gases
  - D. Decomposing microorganisms will die
  - E. Compost will turn into hazardous materials
  
4. How can the pyrolysis process support long-term environmental sustainability?
  - A. By stopping the production of plastic waste
  - B. By converting inorganic waste into usable fuel
  - C. By accelerating the biodegradation process of waste
  - D. By reducing energy use in plastic recycling
  - E. By creating fertilizer from plastic waste



## Evaluasi

5. Jika semua jenis sampah anorganik dimasukkan ke dalam satu proses daur ulang, apa dampak terbesarnya terhadap kualitas hasil daur ulang?
  - A. Kualitas produk daur ulang akan meningkat
  - B. Produk daur ulang menjadi tidak berguna karena tercampur
  - C. Proses daur ulang akan lebih cepat dan murah
  - D. Sampah anorganik akan lebih mudah terurai
  - E. Tidak ada dampak signifikan pada hasil akhir
6. Gasifikasi sampah anorganik menghasilkan syngas. Bagaimana syngas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif?
  - A. Dihasilkan sebagai bahan bakar fosil
  - B. Digunakan langsung untuk menghasilkan listrik
  - C. Dibakar untuk meningkatkan emisi gas rumah kaca
  - D. Digunakan untuk memproduksi pupuk organik
  - E. Digunakan sebagai pendingin untuk limbah anorganik
8. Jika sebuah komunitas tidak memisahkan sampah organik dan anorganik, bagaimana hal ini dapat mempengaruhi proses daur ulang secara keseluruhan?
  - A. Proses daur ulang plastik menjadi lebih efisien
  - B. Proses biodegradasi sampah organik akan terhambat
  - C. Sampah anorganik akan lebih mudah didaur ulang
  - D. Produksi biogas akan meningkat
  - E. Sampah anorganik akan terurai lebih cepat
9. Apa yang akan terjadi jika limbah organik yang kaya lemak dan minyak dimasukkan ke dalam proses pengomposan tanpa pemisahan terlebih dahulu?
  - A. Proses pengomposan berjalan lebih lambat
  - B. Kompos akan mengandung zat kimia berbahaya
  - C. Kompos akan menjadi pupuk yang lebih kuat
  - D. Penguraian mikroorganisme menjadi lebih efisien
  - E. Kelembaban kompos akan berkurang



## Evaluation

5. If all types of inorganic waste are put into one recycling process, what is the biggest impact on the quality of the recycled product?
- A. The quality of the recycled product will increase
  - B. The recycled product becomes useless because it is mixed
  - C. The recycling process will be faster and cheaper
  - D. Inorganic waste will be easier to decompose
  - E. There is no significant impact on the final result
6. Gasification of inorganic waste produces syngas. How can this syngas be used as an alternative energy source?
- A. Produced as fossil fuel
  - B. Used directly to generate electricity
  - C. Burned to increase greenhouse gas emissions
  - D. Used to produce organic fertilizer
  - E. Used as a coolant for inorganic waste
8. If a community does not separate organic and inorganic waste, how can this affect the overall recycling process?
- A. The plastic recycling process becomes more efficient
  - B. The biodegradation process of organic waste will be hampered
  - C. Inorganic waste will be easier to recycle
  - D. Biogas production will increase
  - E. Inorganic waste will decompose faster
9. What will happen if organic waste rich in fat and oil is put into the composting process without prior separation?
- A. The composting process is slower
  - B. Compost will contain hazardous chemicals
  - C. Compost will become a stronger fertilizer
  - D. Microorganism decomposition becomes more efficient
  - E. Compost moisture will decrease



## Evaluasi

10. Bagaimana penerapan pengelolaan sampah organik di sektor pertanian dapat mempengaruhi ketahanan pangan dalam jangka panjang?
- A. Meningkatkan ketergantungan pada pupuk kimia
  - B. Mengurangi produktivitas tanaman secara keseluruhan
  - C. Meningkatkan kesuburan tanah melalui kompos alami
  - D. Memperlambat laju biodegradasi di lahan pertanian
  - E. Mengurangi jumlah sampah organik yang dihasilkan



## Evaluation

10. How can the implementation of organic waste management in the agricultural sector affect long-term food security?
- A. Increase dependence on chemical fertilizers
  - B. Reduce overall crop productivity
  - C. Increase soil fertility through natural compost
  - D. Slow down the rate of biodegradation in agricultural land
  - E. Reduce the amount of organic waste produced



## Daftar Pustaka

- Ami, E. (2021). 5 Dampak buruk sedotan plastik bagi lingkungan, jangan anggap sepele!. Diakses dari <https://www.idntimes.com/science/experiment/eka-amira/dampak-buruk-sedotan-plastik-bagi-lingkungan-clc2> pada 20 Oktober 2024.
- Amin, M., Bhatti, H. N., Sadaf, S., & Bilal, M. (2021). Enhancing lipase biosynthesis by aspergillus melleus and its biocatalytic potential for degradation of polyester Vylon-200. *Catalysis Letters*, 151, 2257-2271.
- Arwini, N. P. D. (2022). Sampah Plastik Dan Upaya Pengurangan Timbulan Sampah Plastik. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 5(1), 72-82.
- Ayuningtyas, G., Pratiwi, R. D., & Yulianti, A. (2020). Pemilahan sampah metode 3R sebagai upaya peningkatan kesehatan lingkungan di Cluster Casablanca Bukit Dago. *JAM: Jurnal Abdi Masyarakat*, 1(1).
- Berliana, I. G. A. A. A., Raharja, I. G. M., & Artayasa, I. N. (2023). Proses Daur Ulang Plastik Sebagai Furnitur Yang Memenuhi Standar Ergonomi. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 21(2), 270-279.
- Defitri, M. (2022, Juli 22). 4 cara efektif mengelola sampah organik. Diakses dari <https://waste4change.com/blog/cara-jitu-mengelola-sampah-organik-anti-ribet-dan-kotor/> pada 5 Oktober 2024.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kulon Progo. (2020). Laporan Antara – Kajian Timbulan Sampah Harian Permukiman Kulon Progo.
- Dwi, A. (2024). Perbedaan Kabel Listri Tembaga dan Alumunium. Diakses dari [https://listrikindonesia.com/detail/13500/perbedaan-kabel-listrik-tembaga-dan-aluminium#google\\_vignette](https://listrikindonesia.com/detail/13500/perbedaan-kabel-listrik-tembaga-dan-aluminium#google_vignette) pada 20 Oktober 2024.
- Fahruddin, M. S. (2018). Pengelolaan Limbah Pertambangan Secara Biologis: Biological Management of Mining Waste (IND SUB) (Vol. 1). CELEBES MEDIA PERKASA.
- Fatriady, M. R., Rachman, M. R., Jamal, M., Muliawan, I. W., Mustika, W., & Mabui, D. S. S. (2022). Teknologi Bangunan dan Material. Tohar Media.



## Daftar Pustaka

- Fahriza, R. (2021, Februari 14). PLN NTB manfaatkan sekam dan serbuk kayu menjadi sumber energi. Diakses dari <https://mataram.antaranews.com/berita/148289/pln-ntb-manfaatkan-sekam-dan-serbuk-kayu-menjadi-sumber-energi> pada 5 Oktober 2024.
- Flonovi, A. (2020, Juli 01). Pekerjaan rumah tangga juga aktivitas ekonomi. Diakses dari <https://pijak.id/2020/07/01/pekerjaan-rumah-tangga-aktivitas-ekonomi/> pada 20 Oktober 2024.
- Grehenson, G. (2023, November 13). Mahasiswa UGM teliti potensi obat sariawan dari kulit buah-buahan. Diakses dari <https://ugm.ac.id/id/berita/mahasiswa-ugm-teliti-potensi-obat-sariawan-dari-kulit-buahan/> pada 5 Oktober 2024.
- Habiby, M. N. A. (2023). MATERIAL CRUCIBLE UNTUK PELEBURAN LOGAM: Analisis Eksperimental Pengaruh Laju Pemanasan pada Proses Pembakaran Green Body Terhadap Kuat Tekan, Kekerasan Vickers, dan Struktur Mikro Material Crucible Berbahan Dasar Limbah Evaporation Boats. Zahira Media Publisher.
- Handayani, A. (2021). Manajemen Sampah Organik Berbasis Lingkungan. Yogyakarta: GreenEarth Publisher.
- Hasanah, S., et al. (2022). "Penggunaan Kotoran Hewan untuk Pembuatan Kompos Organik." Jurnal Ilmu Pertanian, 21(1), 85-95.
- Hasibuan, M. R. R. (2023). Manfaat Daur Ulang Sampah Organik Dan Anorganik Untuk Kesehatan Lingkungan.
- Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor.18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah. Jakarta
- Kurniawan, B., & Pratama, T. (2020). Tantangan Pengelolaan Sampah di Perkotaan: Studi Kasus Sampah Organik. Jakarta: EcoJournal Press.
- Kurniawan, D., et al. (2019). "Pengelolaan Daun-daunan dan Limbah Organik Menjadi Kompos." Jurnal Pertanian Berkelanjutan, 12(1), 50-59.



## Daftar Pustaka

- Majeed, Z., Ajab, Z., Guan, Q., Abbasi, A. Z., Mahmood, Q., Mahnashi, M. H., ... & Mansor, N. (2021). Reduction in lignin peroxidase activity revealed by effects of lignin content in urea crosslinked starch under aerobic biodegradation in soil. *BioResources*, 16(1), 1940.
- Maret, D. E. (2021, 24 Agustus). 6 tips menciptakan taman yang berkelanjutan. Diakses dari <https://www.kompas.com/homey/read/2021/08/24/223300476/6-tips-menciptakan-taman-yang-berkelanjutan> pada 20 Oktober 2024.
- Maryanty, Y., Saputra, F. L. W., & Prasetyo, R. (2020). Pembuatan asam laktat dari selulosa oleh bakteri *Lactobacillus delbrueckii* dengan selulase dari bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus circulans*. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 4(2), 153-161.
- Marsha, K. (2023). 5 Jenis sampah dan asalnya. Diakses dari <https://www.popmama.com/community/groups/big-kid/big-kid-and-school-life/5-jenis-sampah-dan-asalnya> pada 20 Oktober 2024.
- Marzuki, I., Syahrir, M., Ramli, M., Harimuswarah, M. R., Artawan, I. P., & Iqbal, M. (2022). Operasi dan Remediasi Lingkungan (Vol. 1). TOHAR MEDIA.
- Nisa, A. (2022, Juni 2). Jenis-jenis limbah pertanian beserta contohnya. Diakses dari <https://bobo.grid.id/read/083308609/jenis-jenis-limbah-pertanian-beserta-contohnya?page=all> pada 5 Oktober 2024.
- Nugraha, R. (2024). Sampah anorganik jadi ancaman buruk bagi kesehatan. Diakses dari <https://www.rri.co.id/kesehatan/681940/sampah-anorganik-jadi-ancaman-buruk-bagi-kesehatan> pada 20 Oktober 2024.
- Nurmayanti, Y., Rukmana, M. D., Cengristitama, C., Amir, A. A., Nafillah, K., Sari, M. W., ... & Yusri, A. (2024). Kimia Material. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.



## Daftar Pustaka

- Nuswowati, M., Harjito, Jabbar A., & Taufiq.. M. (2024). Buku Ajar Kimia Lingkungan: Terintegrasi Kompetensi Education for Sustainable Development (ESD). Pekalongan: PT Nasya Expanding Management.
- Palupi, A. P. (2019). Nilai Estetika yang Terdapat pada Limbah Kaca di Galeri Otak Atik Daerah Yogyakarta. INVENSI, 4(1), 43-52.
- Panda, A.K., Singh, R.K., & Mishra, D.K. (2010). Thermolysis of Waste Plastics. to Liquid Fuel. Environmental Engineering and Management Journal.
- Patrick, J. (2019). Sampah Plastik, Dilema Krisis Lingkungan atau Cuan Ekonomi. Diakses dari <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20191127074615-199-451822/sampah-plastik-dilema-krisis-lingkungan-atau-cuan-ekonomi> pada 20 Oktober 2024.
- Plastic Molding Solutions. (2023). Menjelajahi Polietilen Tereftalat (PET). Diakses dari <https://plasticmoldingsolutions.com/id/polyethylene-terephthalate-pet/> pada 20 Oktober 2024.
- Purnomo, B., & Adi, R. (2023). "Pengelolaan Limbah Pertanian untuk Pertanian Berkelanjutan." Jurnal Agribisnis Indonesia, 9(4), 121-130.
- Puspa, T. (2024, Mei 6). Daun kering bahan pembuatan kompos. Diakses dari <https://www.rri.co.id/lain-lain/725344/daun-kering-bahan-pembuatan-kompos-pada-5-Oktober-2024>.
- Rahmawati, A. A. D. (2021, Agustus 25). 6 supermarket premium yang populer di Jakarta, pernah mampir?. Diakses dari <https://food.detik.com/info-kuliner/d-5694696/6-supermarket-premium-yang-populer-di-jakarta-pernah-mampir> pada 20 Oktober 2024
- Rahmawati, L. (2019). Pemanfaatan Sampah Organik untuk Biogas: Alternatif Energi Terbarukan. Bandung: Energi Hijau Media.



## Daftar Pustaka

- Rahmawati, N. (2021). "Pengolahan Kulit Buah Menjadi Kompos Berkualitas." *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(3), 200-209.
- Santoso, D., & Egra, S. (2022). *Teknologi Penanganan Pascapanen*. Syiah Kuala University Press.
- Setiawan, A., & Riskina, S. (2022). *Teknologi Konversi Biomassa Secara Termokimia: Pirolisis*. Syiah Kuala University Press.
- Shankar, R., Upadhyay, P.K. & Kumar, M. *Protease Enzymes: Highlights on Potential of Proteases as Therapeutics Agents*. *Int J Pept Res Ther* 27, 1281–1296 (2021).
- Sulaiman, I. (2021). *Pengemasan dan penyimpanan produk bahan pangan*. Syiah Kuala university press.
- Suprapto, W. (2023). *Baja dan Aplikasinya*. Universitas Brawijaya Press.
- Tarigan, L. B., & Dukabain, O. M. (2023). *Pengelolaan sampah kreatif*. Rena Cipta Mandiri.
- Wahyuningsih, S., Widiati, B., Melinda, T., & Abdullah, T. (2023). *Sosialisasi Pemilahan Sampah Organik dan Non-Organik Serta Pengadaan Tempat Sampah Organik dan Non-Organik*. *DEDIKASI SAINTEK Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(1), 7-15.
- Widiastuti, L., et al. (2020). "Pengelolaan Sampah Organik Rumah Tangga." *Jurnal Pengelolaan Lingkungan*, 15(2), 101-110.
- Williams, D. (2011). *Sustainable Metal Recycling: Environmental & Economic Benefits*. Metallurgical and Materials Transactions.
- Yulianto, T., & Wardani, F. (2020). "Pemanfaatan Serbuk Gergaji sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan." *Jurnal Rekayasa Material*, 13(2), 77-85.