

KIMIA LINGKUNGAN

**Bambang Suhartawan
Nururrahmah
Sri Magfirah Hs
I Wayan Budiarsa Suyasa
Kasta Gurning
Mohammad Istnaeny Hudha
Efrinda Ari Ayuningtyas
Sari Wahyuni
Patmawati**



GET PRESS INDONESIA

KIMIA LINGKUNGAN

Penulis :

Bambang Suhartawan
Nururrahmah
Sri Magfirah Hs
I Wayan Budiarsa Suyasa
Kasta Gurning
Mohammad Istnaeny Hudha
Efrinda Ari Ayuningtyas
Sari Wahyuni
Patmawati

ISBN :

Editor : Kalasta Ayunda Putri, S.Tr.Kes, M.Kes

Penyunting : Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, November 2023

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

KATA PENGANTAR

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

Buku ini membahas Pengenalan Kimia lingkungan, Dasar Ekologi, siklus energi dan materi, Atmosfer dan kimia Atmosfer, Polutan dan pencemaran udara, Hidrosfer & Dasar-Dasar Kimia Perairan, Reaksi-reaksi kimia di perairan, Polutan, pencemaran air dan Penjernihan Air, Geosfer dan Kimia Tanah, Polutan dan Pencemaran Tanah, Ekonomi Sirkular DAN Analisis Lingkungan (Limbah Makanan).

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

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

Padang, November 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENGENALAN KIMIA LINGKUNGAN, DASAR EKOLOGI, ALIRAN ENERGI DAN SIKLUS MATERI.....	1
1.1 Pengenalan Kimia Lingkungan	1
1.1.1 Pengertian.....	1
1.1.2 Pencemaran Lingkungan.....	3
1.2 Dasar-dasar Ekologi.....	6
1.2.1 Pengertian Ekologi.....	6
1.2.2 Ruang Lingkup Ekologi	6
1.2.3 Pembagian Ekologi.....	6
1.3 Aliran energi dan siklus materi	7
1.3.1 Aliran Energi	7
1.3.2 Siklus Materi.....	12
DAFTAR PUSTAKA	16
BAB 2 ATMOSFER DAN KIMIA ATMOSFER.....	17
2.1 Atmosfer	17
2.1.1 Lapisan Atmosfir	18
2.1.2 Fungsi Atmosfir	23
2.2 Kimia Atmosfer	23
2.3 Pemanasan Global	26
2.3.1 Efek Rumah Kaca	27
2.3.2 Dampak Pemanasan Global	28
2.3.3 Upaya Pengurangan Pemanasan Global.....	29
DAFTAR PUSTAKA	32
BAB 3 POLUTAN & PENCEMARAN UDARA	33
3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Polutan	34
3.2.1 Materi Partikulat (Particulate Matter)	35
3.2.2 Karbon monoksida (CO).....	38
3.2.3 Sulfur dioksida (SO ₂).....	39
3.2.4 Nitrogen dioksida (NO ₂).....	41
3.2.5 Ozon Troposfer (O ₃)	43

3.2.6 Timbal (Pb).....	46
3.3 Dampak Pencemaran Udara.....	47
3.3.1 Hujan Asam.....	47
3.3.2 Penipisan Ozon.....	48
3.3.3 Efek Rumah Kaca.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
BAB 4 HIDROSFER DAN DASAR-DASAR KIMIA	
LINGKUNGAN AIR.....	55
4.1 Hidrosfer.....	55
4.2 Reaksi Kimia Lingkungan Air.....	61
4.3 Reaksi yang berperandalam siklus hara.....	64
4.4 Ciri – Ciri Reaksi Kimia Lingkungan Perairan.....	70
4.5 Karakteristik Perairan terkait dengan reaksi-reaksi kimia yang terjadi.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	76
BAB 5 REAKSI-REAKSI KIMIA DI PERAIRAN	77
5.1 Pendahuluan.....	77
5.2 Reaksi-reaksi kimia di perairan.....	78
5.2.1 Reaksi fotosintesis.....	79
5.2.2 Reaksi siklus nitrogen.....	80
5.2.3 Reaksi siklus fosfor.....	82
5.2.4 Reaksi reduksi- oksidasi.....	83
5.2.5 Reaksi asam basa.....	85
5.2.6 Pembentukan senyawa kompleks dan khelasi.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88
BAB 6 POLUTAN, PENCEMARAN AIR DAN PENJERNIHAN AIR.....	91
6.1 Pendahuluan.....	91
6.2 Polutan	92
6.3 Pencemaran Air.....	94
6.4 Penjernihan Air.....	98
DAFTAR PUSTAKA.....	100
BAB 7 GEOSFER DAN KIMIA TANAH	101
7.1 Fenomena Geosfer dalam Perspektif Geografi.....	101
7.1.1 Definisi dan Sejarah Geografi.....	101
7.1.2 Geosfer : Esensi dari Ruang Lingkup Geografi	103
7.2 Pendekatan Geografi dan Geografi Fisik.....	104

7.2.1 Pendekatan Geografi	104
7.3 Pendekatan Geografi Fisik.....	107
7.4 Tanah sebagai Pedosfer, Bagian dari Geosfer	109
7.4.1 Pembentukan Tanah	109
7.4.2 Sifat Kimia Tanah.....	112
DAFTAR PUSTAKA	117
BAB 8 POLUTAN DAN PENCEMARAN TANAH.....	119
8.1 Pendahuluan.....	119
8.2 Tanah dan Fungsinya.....	120
8.2.1 Konsep Tanah.....	120
8.2.2 Fungsi Tanah.....	120
8.2.3 Fungsi Bagi Tanaman	122
8.3 Pencemaran Tanah.....	123
8.4 Sumber Polutan Pencemaran Tanah.....	123
8.4.1 Limbah Domestik	124
8.4.2 Limbah Industri	124
8.4.3 Limbah Pertanian.....	125
8.5 Akibat Tanah Tercemar	125
8.5.2 Pada kesehatan	126
8.5.3 Pada Ekosistem	127
8.6 Penanggulangan Pencemaran Tanah	128
8.6.1 Remediasi.....	128
8.6.2 Bioremediasi	128
DAFTAR PUSTAKA	130
BAB 9 EKONOMI SIRKULAR DAN ANALISIS	
LINGKUNGAN (LIMBAH MAKANAN).....	131
9.1 Pendahuluan.....	131
9.2 perilaku yang menghasilkan Limbah Makanan	133
9.3 Implikasi Kebijakan.....	138
9.4 Dampak Negatif Limbah Makanan	140
DAFTAR PUSTAKA	143
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Ketergantungan manusia dengan lingkungan.....	2
Gambar 1.2. Pembagian Ekologi	7
Gambar 1.3. Aliran energi dalam ekosistem	8
Gambar 1.4. Rantai makanan	9
Gambar 1.5. Jaringan-jaringan Makanan	10
Gambar 1.6. Piramida Ekologi.....	11
Gambar 1.7. Siklus Air	13
Gambar 1.8. Siklus Karbon.....	14
Gambar 1.9. Siklus Nitrogen.....	14
Gambar 1.10. Siklus Fosfat	15
Gambar 2.1. Lapisan atmosfer dilihat dari angkasa luar	17
Gambar 2.2. Ilustrasi susunan lapisan atmosfer	18
Gambar 2.3. Ilustrasi tampilan komponen penyusun atmosfer	24
Gambar 2.4. Ilustrasi kondisi bumi menghadapi pemanasan global	27
Gambar 3.1. Ukuran dan Sumber Materi Partikulat (PM).....	36
Gambar 3.2. Siklus Ozon Troposfer	45
Gambar 4.1. Siklus Hidrologi	55
Gambar 4.2. Stratifikasi termal pada perairan dalam	58
Gambar 5.1. Gambar reaksi kimia secara umum yang terjadi lingkungan perairan.....	79
Gambar 5.2. Gambar proses reaksi fotosintesis (tanda panah kanan) dan respirasi (tanda panah kiri)	80
Gambar 5.3. Gambar siklus nitrogen dan reaksi yang terjadi	81
Gambar 5.4. Gambar siklus fosfor dan sumbernya.....	82
Gambar 7.1. Struktur Interior Bumi	104
Gambar 7.2. Model Jembatan Antara dalam Ilmu Geografi.....	108
Gambar 7.3. Skema Kajian Penyusun Geografi Fisik.....	109

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Lapisan atmosfir berdasarkan altitude dan latitude.....	22
Tabel 2.2. Komposisi gas penyusun atmosfer bumi	24
Tabel 2.3. Komposisi gas penyusun atmosfir dalam jumlah kecil.....	25
Tabel 7.1. Nilai KTK Koloid Tanah	115
Tabel 9.1. Limbah makanan berdasarkan teori perilaku dan pengelolaan limbah makanan yang diidentifikasi	136
Tabel 9.2. Rincian komposisi limbah makanan yang dapat dihindari dan dihasilkan oleh sektor pengolahan, grosir, eceran dan grosir dan rumah tangga yang dihasilkan limbah dalam jumlah per tahun (kKg/tahun)	141

BAB 1

Pengenalan Kimia Lingkungan, Dasar Ekologi, Aliran Energi dan Siklus Materi

Oleh Bambang Suhartawan

1.1 Pengenalan Kimia Lingkungan

1.1.1 Pengertian

1. Ilmu Kimia

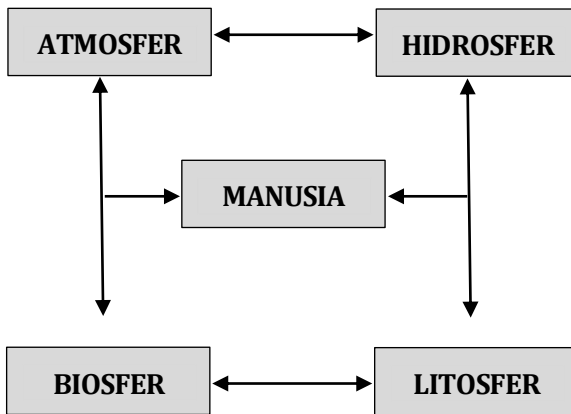
Kimia berasal dari bahasa Yunani "*khemeia*", yaitu suatu ilmu yang mempelajari tentang komposisi, sifat zat, struktur. Juga mempelajari materi tentang skala atom, molekul dan transformasi perubahannya serta interaksinya dalam kehidupan sehari-hari. Ilmu kimia juga mempelajari sifat dan interaksi atom dalam pembentukan molekul senyawa.

Keenan & Wood (1966) mendefinisikan bahwa ilmu kimia adalah studi rasional dan empiris suatu struktur materi dan perubahannya yang terjadi dalam proses alam atau dalam eksperimen di laboratorium. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan saat ini pengertian ilmu kimia adalah cabang ilmu yang mempelajari sifat-sifat zat atau senyawa dan reaksi yang terjadi (Oxtoby et. Al, 1999).

2. Ilmu Lingkungan

Lingkungan adalah semua benda yang berada di luar sistem dan keberadaannya dapat mempengaruhi sistem tersebut. Keberadaan lingkungan di alam dapat berwujud gas, cair dan padat dengan komposisi penyusun berupa bahan-bahan kimia yang berbeda-beda. Ada yang tergolong senyawa organik seperti lemak, protein, vitamin, karbohidrat dan senyawa lainnya dan ada yang tergolong anorganik seperti oksigen, air, nitrogen, karbondioksida dan berbagai mineral. Semua bahan-bahan tersebut berada pada media fisik air

(*hidrosfer*), udara (*atmosfer*) dan tanah (*litosfer*) serta dalam organisme makhluk hidup (*biosfer*).



Gambar 1.1. Ketergantungan manusia dengan lingkungan

Hubungan makhluk hidup dengan lingkungannya, baik biotik maupun abiotik sangat erat dan saling bergantung. Jika terjadi perubahan satu faktor penyusun lingkungan akan berdampak pada perubahan faktor lain untuk menyesuaikan terjadinya perubahan tersebut. Perubahan yang terjadi pada lingkungan biotik maupun abiotik cepat atau lambat akan menimbulkan terjadinya perubahan secara beruntun sampai tercapai suatu kesetimbangan lingkungan yang baru. Sebagai contoh misalnya ular sawah yang dibunuh oleh petani akan berdampak terjadinya peledakan populasi tikus, karena ular sawah memakan tikus. Populasi tikus yang tinggi menyebabkan para petani gagal panen karena tikus menyerang tanaman yang ditanam oleh petani. Selain itu guna menjaga kelestarian hidupnya setiap organisme selalu menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungannya, misalnya binatang kutup memiliki bulu dan kulit yang tebal guna melindungi diri dari suhu yang dingin. Tubuh siput yang lunak memiliki rumah yang keras dan kuat agar tidak dimangsa oleh binatang lain tau predator (Manahan, 2017).

Perkembangan ilmu dan teknologi, penerapannya tidak lepas dengan daya dukung lingkungan dan memberikan dampak positif, misalnya tempat pemukiman, gedung, pabrik, dan penyediaan lahan pertanian kesemuanya memerlukan pembabatan hutan, hal ini berdampak terhadap penurunan kualitas lingkungan. Akibatnya terjadi banjir dan tanah longsor bahkan terkadang membawa korban jiwa, selain itu dengan terbukanya hutan dapat mengancam kelestarian dan kehidupan organisme yang berada di daerah yang bersangkutan (Soemarwoto, 1997).

3. Kimia Lingkungan

Cabang ilmu pengetahuan alam (IPA) yang mempelajari tentang fenomena kimia dan biokimia yang terjadi di alam disebut kimia lingkungan. Untuk mendalaminya diawali dengan mempelajari tentang bagaimana cara kerja lingkungan yang tidak tercemar, jenis dan jumlah bahan kimia yang terlibat, dan bagaimana efeknya terhadap lingkungan.

Kajian kimia lingkungan dapat didefinisikan sebagai studi tentang sumber, reaksi, tranpor, efek dan nasib zat kimia dalam lingkungan air, udara dan tanah serta dampak kegiatan manusia terhadap lingkungan.

Dalam kimia lingkungan juga dipelajari tentang penggunaan bahan-bahan kimia yang dapat menguntungkan kemajuan bidang teknologi, namun juga yang merugikan hingga terjadi kerusakan lingkungan dan cara pencegahannya.

1.1.2 Pencemaran Lingkungan

Dampak negatif penerapan ilmu dan teknologi dalam bidang lingkungan adalah terjadinya pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya zat, energi, organisme atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan yang dikarenakan aktifitas manusia atau proses alam. Indikasi bahwa lingkungan telah tercemar jika telah mengandung bahan-bahan pencemar atau sering disebut *polutan*.

Keberadaan polutan dalam media lingkungan dapat menurunkan tata guna lingkungan bahkan dapat membahayakan lingkungan. Sumber penghasil polutan yang sering dijumpai adalah industri, rumah tangga dan transportasi.

Terdapat lima jenis polutan yang dihasilkan berdasarkan sumbernya, yaitu :

1. Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah pencemaran lingkungan yang terjadi di udara. Polutan yang dapat mencemari udara umumnya berbentuk gas atau partikel padat. Contoh polutan udara adalah karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), belerang dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2) dan hidrokarbon (HC) serta partikel-partikel materi (PM).

2. Pencemaran Air

Pencemaran air adalah pencemaran lingkungan yang terjadi di dalam air. Polutan yang dapat mencemari air dapat berwujud cair, gas maupun padat.

Untuk mengetahui bahwa air dikatakan tercemar, jika terdapat perubahan-perubahan akibat bahan pencemar antara lain :

- a. Suhu
- b. Warna, bau dan rasa
- c. Jumlah padatan (TDS dan TSS)
- d. Derajat keasaman (pH)
- e. Kebutuhan oksigen biokimia (BOD)
- f. Kebutuhan oksigen kimia (COD)
- g. Minyak dan lemak
- h. Logam-logam berat
- i. Radio aktif
- j. Mikroorganisme patogen

3. Pencemaran Tanah

Masuknya bahan kimia ke dalam tanah sehingga menyebabkan perubahan komposisi tanah dan terjadinya perubahan lingkungan tanah alami disebut Pencemaran Tanah. Bahan-bahan berbahaya/beracun ketika tumpah di

permukaan tanah, maka akan meresap ke dalam tanah selanjutnya dapat mencemari air tanah. Pencemaran tanah, air dan udara saling berhubungan, misalnya jika jika kandungan oksida nitrogen dan oksidan belerang di udara tinggi keadaan seperti ini dikatakan terjadi pencemaran udara. Jika oksida-oksida tersebut bercampur dengan air hujan maka akan menghasilkan asam nitrat dan asam sulfat, dan jika jatuh bersama hujan maka disebut hujan asam. Hujan asam dapat menyebabkan pencemaran air jika hujan tersebut jatuh ke badan air, dan jika jatuh ke tanah (daratan) akan menyebabkan pencemaran tanah.

4. Pencemaran Suara

Pencemaran suara adalah bunyi yang dapat mengganggu ketentraman kehidupan baik flora maupun fauna. Suara-suara dengan volume sangat tinggi menyebabkan bisingnya disekitar sumber suara, hingga membuat suasana tidak nyaman, bising dan tentu tidak menyenangkan. Sumber pencemaran udara adalah suara mesin pesawat terbang, kendaraan bermotor, pabrik, kereta api dan petir. Pencemaran suara merupakan jenis pencemaran lingkungan yang juga dapat mengganggu kesehatan seperti gangguan pendengaran, gangguan tidur, kardiovaskuler, gangguan hormon dan meningkatkan insidensi diabetes.

5. Pencemaran Cahaya

Pencemaran cahaya adalah pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh penyinaran dengan intensitas yang sangat tinggi, sistem pencahayaan yang salah, berlebihan, tidak efisien dan tidak perlu. Pencemaran cahaya banyak terjadi di daerah perkotaan seperti penerangan jalan yang berlebihan, lampu reklame, penerangan pabrik, lampu panjang kendaraan bermotor dan lampu-lampu perkantoran atau pertunjukan panggung dengan sistem pemanfaatan cahaya dengan kapasitas tinggi.

1.2 Dasar-dasar Ekologi

1.2.1 Pengertian Ekologi

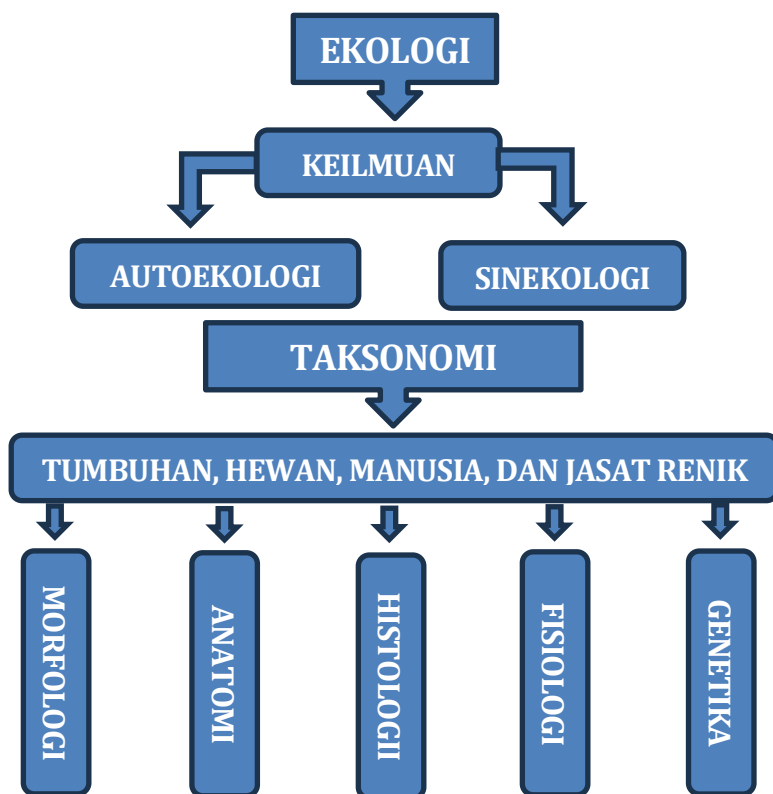
Istilah ekologi berasal dari Bahasa Yunani "*oikos*" yang artinya rumah atau tempat hidup dan "*logos*" yang artinya ilmu atau pengetahuan, hal ini dikemukakan oleh Ernst Haeckel ahli biologi dari Jerman pada tahun 1869. Secara harafiah arti ekologi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara makhluk hidup di dalam tempat hidupnya. Dengan demikian ekologi dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari interaksi antara kehidupan dengan lingkungan yang ada di sekitarnya.

1.2.2 Ruang Lingkup Ekologi

Di era perkembangan ilmu pengetahuan saat ini, ekologi merupakan bagian ilmu biologi yang mempelajari tentang populasi, komunitas, ekosistem dan biosfer. Sebagai bagian dari ilmu biologi, untuk mempelajari ekologi tidak lepas dari ilmu lainnya meliputi evolusi, fisiologi, genetika, botani, zoologi, morfologi, biologi molekuler dan entomologi.

1.2.3 Pembagian Ekologi

Berdasarkan bidang kajian, ekologi dapat dibagi menjadi dua, yaitu autoekologi dan sinekologi. Autoekologi mengkaji tentang individu organisme atau spesies sejarah hidup dan perilakunya dalam menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Sedangkan sinekologi mengkaji tentang hubungan antar kumpulan organisme sebagai kesatuan. Pembagian tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 1.2. Pembagian Ekologi

Berdasarkan taksonominya ekologi dapat dibedakan menjadi empat, yakni ekologi manusia, hewan, tumbuhan dan mikrob. Menurut tingkat keperluannya dibedakan menjadi tiga, yaitu ekologi air tawar, laut dan daratan. Sedangkan berdasar lokasinya dibedakan menjadi empat, yaitu ekologi hutan, intertidal, gurun dan pertanian.

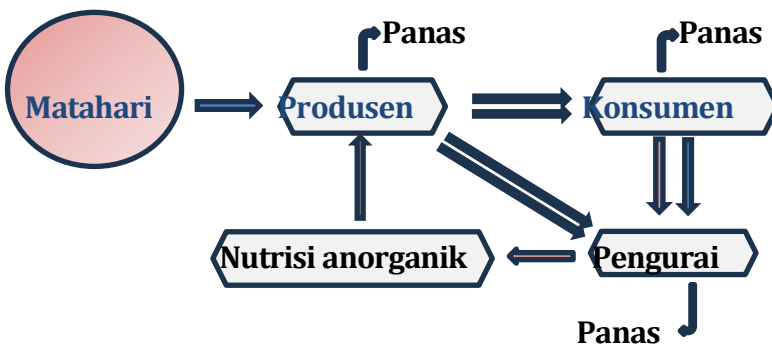
1.3 Aliran energi dan siklus materi

1.3.1 Aliran Energi

Airan energi adalah rangkaian tentang urutan perpindahan atau perubahan bentuk. Diawali dengan energi matahari, berpindah ke produsen, selanjutnya berpindah ke konsumen primer

(*herbivora*), berpindah ke konsumen tingkat tinggi atau karnivora hingga sampai ke saproba.

Cahaya matahari merupakan awal terjadinya aliran energi yang selanjutnya oleh produsen diubah menjadi energi kimia dalam bentuk senyawa-senyawa organik yang merupakan makanan konsumen, dengan demikian terjadi perpindahan dan perubahan energi dari tumbuhan ke konsumen. Oleh konsumen energi yang diperoleh dari produsen dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan perkembangan.



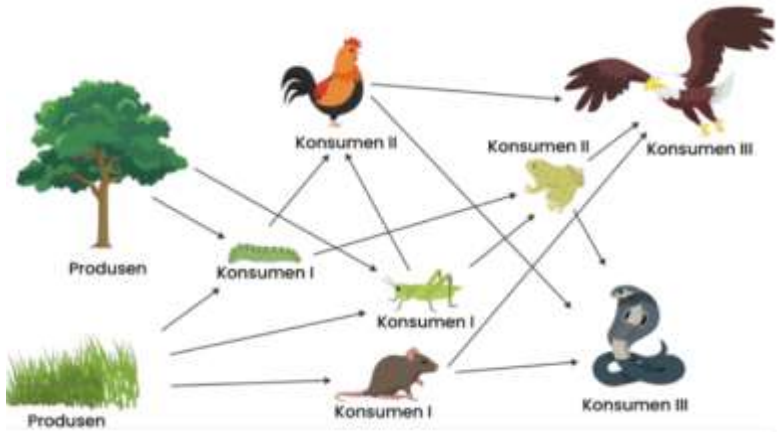
Gambar 1.3. Aliran energi dalam ekosistem

Proses terjadinya aliran energi dalam suatu ekosistem diuraikan dalam beberapa :

1. Rantai Makanan

Sebuah siklus dimakan dan memakan dari sebuah komunitas dalam suatu ekosistem disebut rantai makanan. Dalam sebuah rantai makanan ada berperan sebagai produsen, konsumen dan ada yang berperan sebagai dekomposer. Rantai makanan dalam sebuah ekosistem dinamakan tingkatan trofik. Produsen termasuk tumbuhan hijau merupakan tingkatan trofik pertama. Sedangkan trofik ke dua adalah organisme yang ada merupakan konsumen tingkat 1 atau disebut komponen primer dimana terdiri dari kumpulan hewan-hewan pemakan tumbuhan (*herbivora*). Sedangkan pada urutan trofik ke tiga merupakan kumpulan hewan-hewan pemakan daging (*karnivora*), dan selanjutnya terdapat

konsumen puncak yang merupakan hewan-hewan pemakan segalanya yaitu berupa hewan dan tumbuhan (*omnivora*).



Gambar 1.4. Rantai makanan

Sumber : <https://www.gramedia.com/literasi/pengertian-rantai-makanan/>

Sub trofik yang terlibat dalam gambar tersebut adalah :

- Produsen ;**
Adalah organisme tingkat trofik pertama yang mampu menyediakan makanannya sendiri, contohnya organisme autotrop dan tumbuhan hijau.
- Konsumen I ;**
Merupakan hewan-hewan pemakan tumbuhan (*herbivora*) disebut konsumen primer dan berada pada tingkat trofik ke dua, contohnya adalah tikus, belalang dan ulat.
- Konsumen II ;**
Merupakan hewan-hewan pemakan daging (*karnivora*) dan dalam ekosistem berada pada trofik ke tiga, disebut juga konsumen sekunder, contohnya ayam dan katak.
- Konsumen Puncak ;**
Konsumen puncak merupakan kumpulan hewan-hewan pemakan tumbuhan dan hewan lainnya (*omnivora*). Sebagai konsumen puncak tidak dimakan oleh hewan

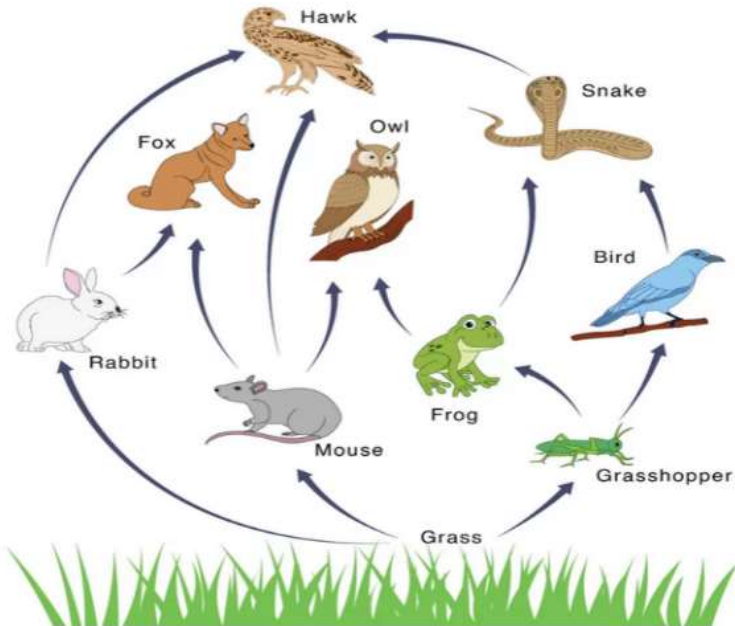
lain dan hanya terurai oleh organisme sebagai dekomposer.

e. Dekomposer ;

Akhir dari rantai makanan adalah adanya organisme dekomposer yang bertindak sebagai pengurai dan hasilnya bermanfaat bagi tumbuh-tumbuhan.

2. Jaring-jaring Makanan

Dinamakan jaring-jaring makanan dalam suatu ekosistem jika terdapat beberapa rantai makanan.



Gambar 1.5. Jaring-jaring Makanan

Sumber : <https://projekipas.com/rantai-makanan-dan-jaring-jaring-makanan/>

Jaring-jaring makanan di atas terdiri dari beberapa rantai makanan, misalnya Grass-Mouse-Fox-Hawk, bisa juga Grass-Grasshopper-Frog-Snake-Hawk dan masih banyak lagi rantai-rantai makanan yang ada.

3. Piramida Ekologi

Hubungan yang representatif antara berbagai spesies makhluk hidup yang berbeda dalam tingkatan trofik dinamakan piramida ekologi. Dengan demikian piramida ekologi menunjukkan grafik atau diagram yang menunjukkan hubungan antara organisme pada tingkat trofik yang berbeda dalam rantai makanan.

Pada piramida ekologi terdapat trofik I, trofik II, trofik III dan trofik IV secara berurutan yang diikuti urutan rantai makanan dari produsen hingga konsumen tingkat III (puncak) yang dapat digambarkan seperti kerucut.



Gambar 1.6. Piramida Ekologi

Sumber : <https://roboguru.ruangguru.com/question/>

Berbagai komponen yang terlibat dalam piramida ekologi tersebut di atas adalah :

a. Tingkat Trofik

Tingkat trofik adalah bagian yang ditempati suatu organisme atau sekelompok organisme yang merupakan posisi secara berurutan organisme berdasarkan makanannya. Dalam trofik terdapat produsen dan konsumen.

b. Rantai Makanan

Rantai makanan adalah urutan proses dimakan dan memakan yang terjadi pada trofik sehingga terjadi transfer energi melalui serangkaian organisme yang terlibat dalam proses rantai makanan.

c. Jaring-jaring Makanan

Kumpulan beberapa rantai makanan yang saling berhubungan dalam suatu komunitas tertentu dinamakan jarring-jaring makanan.

d. Bioma

Bioma adalah komunitas biologis yang terbentuk sebagai respon terhadap kondisi iklim pada unit biogeografis dalam ekosistem utama, misalnya padang rumput, gurun, hutan dan laut.

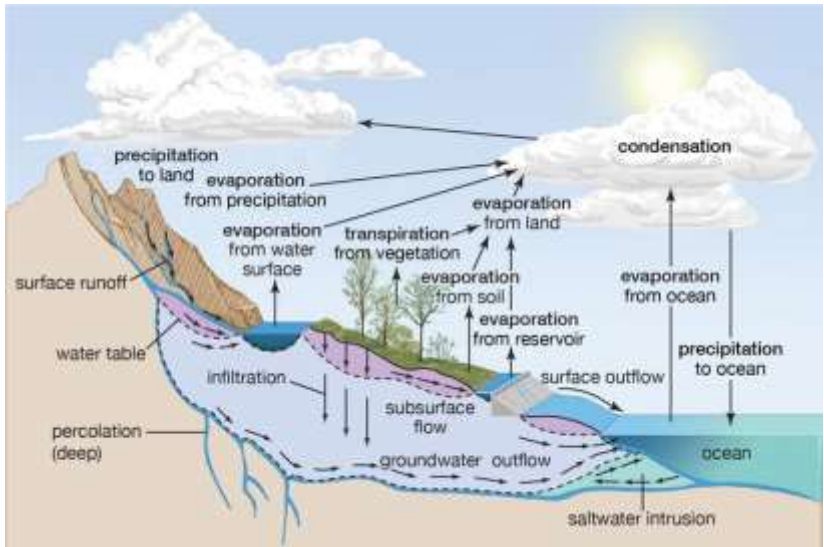
1.3.2 Siklus Materi

Materi adalah sebuah benda yang menempati ruang dan juga mempunyai masa. Materi dapat berwujud padat, cair, maupun gas. Oleh karena setiap materi mempunyai masa maka setiap materi selalu mempunyai energi, yaitu energi kinetik jika materi itu bergerak dan energi potensial jika materi tersebut dalam posisi tidak bergerak. Sesuai hukum kekekalan materi bahwa materi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, namun dapat berubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain melalui berbagai siklus yang dinamakan siklus materi. Pada uraian berikut akan dibahas beberapa siklus materi antara lain : siklus air, siklus karbon, siklus nitrogen dan siklus fosfor.

1. Siklus Air

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup seluruh kehidupan di muka bumi. Keadaan air di bumi selalu tetap dan hanya mengalami perubahan bentuk misalnya cair, gas dan padat melalui proses yang disebut siklus air atau siklus hidrologi. Siklus air atau siklus hidrologi adalah suatu proses yang berlangsung terus-menerus pembaharuan air dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer. Dalam siklus air terjadi beberapa

tahapan proses, yaitu *evaporasi*, *kondensasi*, *persipitasi*, *infiltrasi*, *limpasan*, dan *konsumsi*.



Gambar 1.7. Siklus Air

Sumber : <https://www.google.com/search?q=siklus+air>

2. Siklus Karbon

Siklus karbon adalah proses terjadinya aliran karbon di planet bumi yang melibatkan komponen-komponen bumi meliputi tumbuhan dan hewan termasuk manusia dan terjadi secara alam dan terus-menerus. Siklus karbon disebut juga siklus biogeokimia yang merupakan proses pertukaran karbon pada lapisan atmosfer, hidrosfer, geosfer dan biosfer bumi. Siklus karbon dapat digambarkan sebagai berikut :

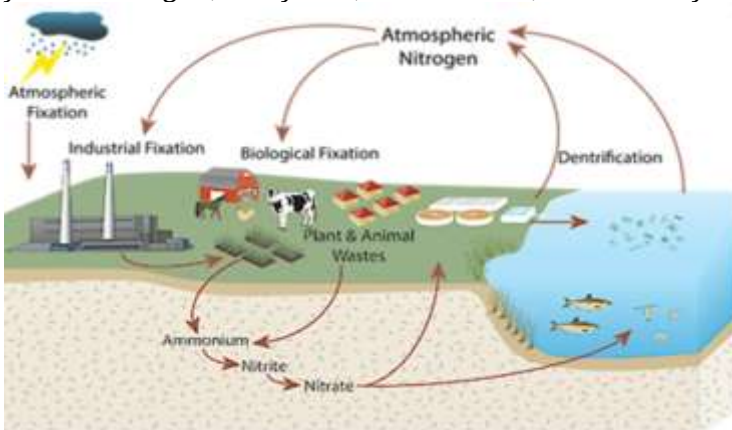


Gambar 1.8. Siklus Karbon

Sumber : <https://www.google.com/search?q=siklus+karbon>

3. Siklus Nitrogen

Siklus nitrogen adalah suatu perubahan senyawa yang mengandung unsur nitrogen menjadi berbagai senyawa senyawa kimia lain yang mengandung nitrogen. Proses perubahan ini dapat terjadi secara biologis dan non-biologis. Beberapa proses yang penting dalam siklus nitrogen antara lain *fiksasi nitrogen*, *nitrifikasi*, *mineralisasi*, dan *denitrifikasi*.

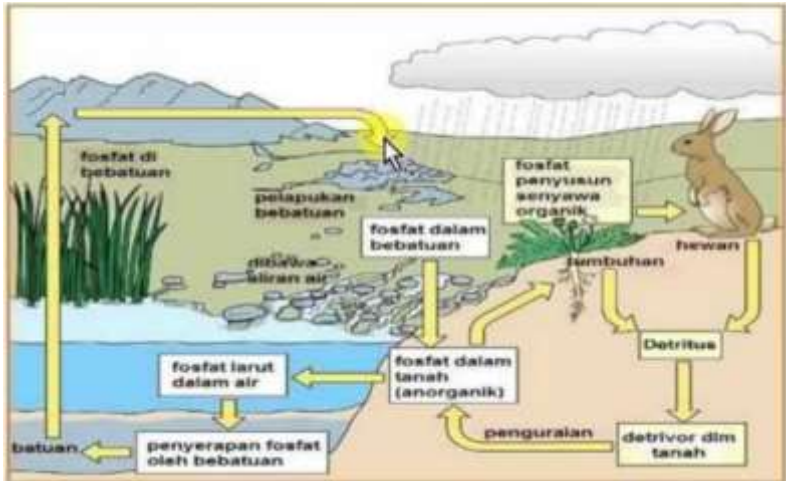


Gambar 1.9. Siklus Nitrogen

Sumber : <https://www.google.com/search?client=>

4. Siklus Fosfor

Siklus fosfor adalah bagian siklus biogeokimia yang mengalir dari komponen abiotik ke biotik dan kembali lagi ke abiotik. Proses fosfor terjadi secara alam dan keberadaannya sangat dibutuhkan untuk kelestarian makhluk hidup dalam ekosistem di bumi.



Gambar 1.10. Siklus Fosfat

Sumber : <https://www.google.com/search?q=siklus+fosfat>

DAFTAR PUSTAKA

- Darmayani, S. et al. 2023. *Kimia Lingkungan*. PT. Golbal Eksekutif Teknologi. Padang.
- Egerton, F.N. 2012. *Roots of Ecology: Antiquity to Haeckel*, University of California Press
- Hutchinson, K. 1953. *A Test for Comparing Diversities Based on The Shannon Formula*. J. Theor. Bid.29 (251-254).
- Indrowati, M. 2020. *Bentuk dan siklus energi pada makhluk hidup*. Pendidikan IPA, FKIP, UNS.
- Keenan, C. W. & Wood, J. H. 1966. *General College Chemistry 3rd editions*. New York: Harper & Row Inc.
- Krebs J. C. 2014. *The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*, Edinburgh Gate, Harlow Essex CM20 2JE. England and Associated Companies throughout the world
- Makmun, D. 2017. *Ekologi : Populasi, Komunitas, Ekosistem*. Sunyaragi. Cirebon.
- Manahan, S. 2017. *Environmental chemistry*. CRC press.
- Morin, J.V., & Santi,D. 2022. *Kimia Lingkungan*. Eureka Media Aksara. Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah.
- Nurmayanti, D dan Purwoko, D. 2017. *Kimia Lingkungan*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Oxtoby, David W. dkk, *Prinsip-Prinsip Kimia Modern*, Ed. Ke4. Jilid. 1, Jakarta:Erlangga, 2001.
- Ricklefs, ER. 1974. *Ecology*. Chiron Press. Brattleboro Vermont, Portland Oregon.
- Soemarwoto O. 1997. *Ekologi, lingkungan hidup dan pembangunan*. Djambatan. Jakarta.
- Sylvia, D. et al. 2022. *Kimia Lingkungan*. Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia. Bandung.
- Utina, R dan Baderan, KWD. 2009. *Ekologi dan Lingkungan Hidup*. Gorontalo.
- Yusuf, Y. 2017. *Kimia Lingkungan Berbasis Masalah Kekinian*. Educenter Indonesia.

BAB 2

ATMOSFER DAN KIMIA ATMOSFER

Oleh Nururrahmah Hammado

2.1 Atmosfer

Bumi merupakan planet dalam sistim tata surya yang memiliki kelebihan tersendiri. Bumi dapat dihuni oleh makhluk hidup (manusia, hewan, dan tumbuhan) dan berinteraksi dengan lingkungan tak hidup (abiotik) pendukungnya. Bumi dapat di huni dengan nyaman oleh makhluk hidup karena bumi memiliki lapisan pelindung yang dapat menjaga agar kondisi bumi tetap nyaman setiap saat. Lapisan pelindung bumi dikenal dengan nama atmosfer. Atmosfer diandaikan sebagai selimut yang melindungi bumi dari sinar ultraviolet matahari, benda-benda luar angkasa, dan material lainnya yang dapat merusak bahkan mematikan kehidupan di muka bumi.



Gambar 2.1. Lapisan atmosfer dilihat dari angkasa luar
(Sumber : worldatlas.com, diakses 13 Oktober 2023)

2.1.1 Lapisan Atmosfir

Lapisan pelindung bumi atau atmosfer terdiri atas beberapa susun yang dibedakan berdasarkan tingkatan suhu, komposisi, dan reaksi kimia yang berlangsung didalamnya. Sedangkan ketinggian masing-masing lapisan bervariasi tergantung pada kondisi geografi dan musim yang berlangsung. Jarak antara satu lapisan dengan lapisan lainnya, antara lain: 1) lapisan troposfer antara 0 – 10 km, 2) lapisan stratosfer antara 10 – 40 km, 3) lapisan mesosfer antara 40 – 70 km, 4) lapisan termosfer antara 70 – 400 km, dan 5) lapisan eksosfer berada > 400 km ke atas.



Gambar 2.2. Ilustrasi susunan lapisan atmosfer
(Sumber : Kompas.com, diakses 13 Oktober 2023)

Lapisan atmosfer berdasarkan tingkatan suhu dibagi menjadi lima lapisan (Achelis, 2008), yaitu:

1. Lapisan Troposfer (0 - 10 km)

Lapisan troposfer adalah lapisan pelindung yang berada paling dekat dengan permukaan bumi dengan komposisi gas yang ideal untuk kehidupan manusia. Lapisan ini merupakan lapisan terpadat di antara lapisan atmosfer lainnya karena banyak mengandung karbon dioksida dan uap air dibandingkan dengan lapisan-lapisan lainnya. Kehadiran gas-gas tersebut di lapisan troposfer ini menyebabkan sinar ultraviolet yang masuk ke dalam bumi dapat terhalang. Lapisan troposfer juga merupakan tempat

berkumpulnya semua jenis cuaca (hujan, kemarau, dingin, salju), terjadinya perubahan suhu, tekanan, hembusan angin, dan kelembapan.

Perubahan suhu udara dipengaruhi oleh ketinggian lapisan. Semakin tinggi lapisan troposfer, suhu udara akan semakin menurun. Perbedaan nyata dapat dilihat antara suhu di puncak pegunungan dengan suhu di daerah pantai atau dataran rendah, dimana suhu di puncak pegunungan akan lebih rendah dibandingkan dengan suhu di pantai atau dataran rendah. Pertambahan ketinggian setiap 100 meter dapat menyebabkan suhu udara menurun sekitar 0,5 – 0,64 °C, demikian pula sebaliknya.

2. Lapisan Stratosfer (10 – 40 km)

Lapisan stratosfer adalah lapisan kedua di atmosfer setelah lapisan troposfer. Lapisan udara ini juga mengandung gas-gas karbon dioksida dan uap air, tetapi kandungan uap air lebih sedikit dibandingkan dengan lapisan troposfer. Suhu udara di lapisan ini berbeda dengan lapisan troposfer, dimana semakin keatas lapisan udara, suhu udara juga akan semakin tinggi (panas). Hal yang menarik adalah, di lapisan stratosfer terdapat senyawa ozon yang mampu menyerap sinar radiasi ultraviolet matahari sehingga menjadi lapisan pelindung bumi dari sinar matahari yang dapat merusak kehidupan di muka bumi. Ciri lain lapisan stratosfer adalah peristiwa cuaca juga terjadi di lapisan ini, yaitu suhu udara, tekanan atmosfer, dan arus angin.

Kandungan uap air yang sedikit menyebabkan awan jarang terbentuk di lapisan stratosfer sehingga lapisan ini kering dan tenang. Kondisi ini dimanfaatkan oleh manusia untuk menerbangkan pesawat di daerah lapisan ini. Akan tetapi di lapisan stratosfer, siklus angin dan perubahan udara terjadi namun lambat. Salah satu siklus angin yang terjadi di lapisan ini adalah angin beliung, yaitu angin yang terbentuk karena perputaran arus udara yang sangat cepat yang di kelilingi oleh arus udara yang berputar dengan lambat. Angin beliung juga dipengaruhi oleh kecepatan angin, arah angin, dan lokasi arus udara. Lapisan stratosfer memiliki

tiga lapisan, yaitu lapisan isotherm (ketinggian 10- 25 km), lapisan panas (ketinggian 25-30 km), dan lapisan campuran teratas dimana lapisan ozon berada (ketinggian 30-40 km). Perubahan cuaca yang terjadi di lapisan stratosfer dapat mempengaruhi perubahan cuaca yang terjadi di lapisan troposfer. Lapisan ini memiliki lapisan stratopause, yaitu lapisan pembatas antara stratosfer dan mesosfer.

3. Lapisan Mesosfer (40 - 70 km)

Lapisan mesosfer merupakan lapisan atmosfer yang berada di tengah (meso) dengan kandungan uap air dan karbon dioksida lebih rendah dibandingkan dua lapisan sebelumnya. Hal yang menarik di lapisan mesosfer adalah terdapat lapisan ion atau udara yang mengandung muatan listrik yang berada di ketinggian 50 – 70 km di atas permukaan bumi. Lapisan ion terbentuk karena sinar ultraviolet yang terdapat pada molekul-molekul udara bertemu dengan elektron yang bermuatan listrik negatif. Lapisan mesosfer berfungsi untuk melindungi bumi dari benda angkasa (meteor) yang jatuh dan memasuki permukaan bumi. Meteor dapat masuk di lapisan eksosfer dan termosfer karena kepadatan udara yang semakin rendah, tetapi akan hancur di lapisan mesosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Meteor yang mencapai lapisan mesosfer akan menabrak gas penyusun mesosfer dan menimbulkan gesekan yang sangat besar dan menghasilkan panas. Kenaikan suhu gas yang sangat cepat di lapisan ini menyebabkan meteor akan hancur sebelum mencapai permukaan bumi dan dapat menyebabkan kerusakan di permukaan bumi. Suhu udara di lapisan mesosfer sama dengan troposfer, yaitu semakin tinggi akan semakin dingin. Suhu -60°C di ketinggian 10 km di lapisan stratosfer, naik menjadi 0°C pada ketinggian 50 km, dan mengalami penurunan suhu sekitar -90°C di ketinggian 80 km di atas permukaan bumi.

4. Lapisan Termosfer (70 – 400 km)

Lapisan atmosfer keempat disebut termosfer karena suhu di lapisan ini sangat panas mencapai 1500°C . Perbedaan suhu sangat jelas terasa, dari -90°C di ketinggian 80 km, akan naik

beberapa ribu derajat pada ketinggian 500 km, dan akan terus meningkat hingga mencapai lapisan eksosfer. Ketebalan lapisan ini mencapai 513 km. Salah satu ciri lapisan termosfer adalah bentuk gas-gas yang terdapat didalamnya cenderung mengalami ionisasi karena adanya energi radioaktif dari ruang angkasa. Oleh karena itu lapisan ini yang biasa juga disebut lapisan ionosfer sangat berguna dan dimanfaatkan dalam bidang komunikasi karena lapisan ini memantulkan gelombang radio kembali ke bumi sehingga gelombang tersebut dapat diterima di seluruh wilayah di permukaan bumi. Di lapisan ini pula satelit-satelit komunikasi berbagai negara dan perusahaan ditempatkan.

5. Lapisan Eksosfer (> 400 km)

Lapisan eksosfer merupakan lapisan atmosfer yang berada paling luar dan menjadi batas pelindung terluar bumi. Unsur penyusun utama di lapisan eksosfer adalah hidrogen terionisasi dan menghasilkan cahaya redup yang disebut cahaya *zodiakal* dan *gegenschein* dengan memantulkan cahaya matahari yang mengenai partikel debu meteoritik yang tersebar di dekat bumi. Lapisan ini merupakan lapisan paling panas di antara seluruh lapisan atmosfer bumi dan di lapisan inilah meteor yang jatuh ke bumi akan hancur sebelum mencapai permukaan bumi.

Selain itu, lapisan atmosfer bumi juga dapat dibedakan berdasarkan suhu dan tekanan atmosfer bumi karena perbedaan latitude dan altitude, yaitu terdiri atas empat lapisan. Tabel 2.1 menunjukkan pembagian lapisan atmosfer bumi berdasarkan perbedaan ketinggiannya.

Tabel 2.1. Lapisan atmosfer berdasarkan altitude dan latitude

Lapisan (wilayah)	Temperatur (°C)	Altitude (km)	Komposisi bahan kimia
Troposfer	15 sampai -56	0 sampai (10-16)	N ₂ , O ₂ , CO ₂ , H ₂ O
Stratosfer	-56 sampai -2	(10-16) sampai 50	H ₂ O, O ₃
Mesosfer	-2 sampai -92	50 sampai 85	O ₂ ⁺ , NO ⁺
Termosfer	-92 sampai 1200	85 sampai 500	O ₂ ⁺ , NO ⁺ , O ⁺

Sumber: (Welborn and Manahan, 1991)

Sedangkan pembagian lapisan atmosfer bumi berdasarkan homogenitas dan kerapatan komposisi penyusun gas setiap ketinggian dibedakan atas dua (Situmorang, 2012), yaitu:

1. Lapisan Homosfer

Lapisan homosfer adalah lapisan di bawah atmosfer (*lower*) dengan ketinggian kurang dari 80 km dari permukaan bumi. Komponen penyusun lapisan ini terdiri dari 99,9% gas konstan atau gas yang konsentrasinya relatif tetap total massa atmosfer bumi. Komposisi kimia dan sifat fisis gas penyusunnya relatif homogen. Lapisan yang termasuk dalam lapisan ini adalah lapisan troposfer, stratosfer, dan mesosfer.

2. Lapisan Heterosfer

Lapisan heterosfer adalah lapisan yang berada di atas atmosfer (*upper*). Komposisi penyusun lapisan heterosfer berubah-ubah sesuai dengan ketinggian lapisan yang berbeda-beda. Gas penyusun lapisan ini lebih ringan, yaitu hidrogen dan helium dengan komposisi 0,1% dari total massa atmosfer bumi. Komposisi gas yang heterogen disebabkan karena intensitas radiasi yang berfluktuasi antara siang dan malam, kapasitas panas yang rendah, dan gas-gas berada dalam kondisi monoatomik, radikal, dan tereksitasi.

2.1.2 Fungsi Atmosfir

Atmosfer merupakan lapisan pelindung bumi yang mempunyai banyak fungsi. Fungsi utama atmosfer adalah melindungi bumi dari radiasi sinar matahari dan pecahan benda-benda langit. Atmosfer menyerap panas yang dipancarkan oleh sinar matahari kemudian dipantulkan kembali ke luar bumi. Panas matahari yang diserap oleh atmosfer, awan, dan sampai ke permukaan bumi sekitar 47 persen, sekitar 19 persen diserap oleh atmosfer dan awan, dan yang dipantulkan kembali oleh atmosfer, awan, dan permukaan bumi ke angkasa sekitar 34 persen. Selain itu atmosfer juga berfungsi untuk:

1. Menjaga agar suhu, kelembapan udara, serta cuaca di permukaan bumi tetap stabil.
2. Menyeimbangkan kondisi di dalam dan di luar permukaan bumi dengan menjaga dan mengurangi rasa panas dari paparan sinar matahari.
3. Menyediakan gas-gas yang dibutuhkan oleh manusia, hewan, dan tumbuhan yang digunakan untuk bernafas dan tumbuh kembang.
4. Menjadi media untuk cuaca dan tekanan permukaan bumi yang dapat mempengaruhi terjadinya perubahan hujan, salju, angin, awan, dan fenomena alam lainnya yang dibutuhkan oleh makhluk hidup.
5. Menjaga kestabilan gaya gravitasi bumi.
6. Melindungi bumi dari tumbukan benda-benda luar angkasa yang jatuh akibat gaya gravitasi bumi.

2.2 Kimia Atmosfer

Atmosfer merupakan lapisan udara yang menyelimuti bumi. Komponen penyusun atmosfer merupakan salah satu unsur penting dalam mempelajari kimia atmosfer sehingga dapat diketahui reaksi-reaksi yang berlangsung dalam atmosfer yang mendukung keberlangsungan kehidupan makhluk di permukaan bumi ini. Komponen penyusun atmosfer bumi terdiri dari bermacam-macam gas dengan komponen utama dalam bentuk udara kering adalah Nitrogen (N_2), Oksigen (O_2), dan gas-gas lain dalam jumlah kecil,

yaitu: uap air (H₂O), karbondioksida (CO₂), dan gas-gas mulia (Argon, Neon, Helium, dan lain-lain).



Gambar 2.3. Ilustrasi tampilan komponen penyusun atmosfer
(Sumber : solarindustri.com, diakses 16 Oktober 2023)

Secara garis besar, komponen penyusun gas di atmosfer dikelompokkan menjadi dua, yaitu komponen gas konstan dengan jumlah konsentrasi yang relatif tetap, dan komponen gas variabel dengan konsentrasi bervariasi tergantung dari kondisi atmosfer setiap saat. Tabel 2.2 berikut menunjukkan komposisi gas penyusun atmosfer bumi.

Tabel 2.2. Komposisi gas penyusun atmosfer bumi

Gas Konstan	Komposisi (% volume)	Gas Variabel	Komposisi (% volume)
Nitrogen (N ₂)	78,08	Uap air (H ₂ O)	0-4
Oksigen (O ₂)	20,95	Karbon dioksida (CO ₂)	0,037
Argon (Ar)	0,93	Metana (CH ₄)	0,00017
Neon (Ne)	0,0018	Nitrogen oksida (N ₂ O)	0,00003

Gas Konstan	Komposisi (% volume)	Gas Variabel	Komposisi (% volume)
Helium (He)	0,0005	Ozon (O ₃)	0,000004
Hidrogen (H)	0,00006	Partikel (debu, jelaga, dll)	0,000001
Xenon (Xe)	0,000009	Klorofluorocarbon (CFC)	0,00000002

Sumber: (Suryanto and Luthfian, 2019)

Komposisi gas penyusun atmosfer bumi dapat mengalami perubahan disebabkan oleh faktor alam dan aktifitas manusia. Faktor alam yang menyebabkan perubahan komposisi gas penyusun atmosfer, antara lain: ketinggian lapisan atmosfer, latitude, perubahan iklim dan suhu, bencana alam seperti erupsi gunung api, dan lain-lain. Sedangkan aktifitas manusia yang dapat menyebabkan perubahan komposisi penyusun gas atmosfer antara lain: gas buangan yang dikeluarkan oleh aktifitas industri, asap kendaraan, kebakaran hutan, dan pengurangan jumlah hutan alami dan daerah hijauan yang dapat menyebabkan jumlah oksigen berkurang dan jumlah karbondioksida bertambah. Perubahan tersebut terjadi terus menerus, naik turun mengikuti perubahan musim yang terjadi. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi gas-gas dan partikulat lain yang terdapat dalam atmosfer (udara kering) yang jumlahnya sangat kecil.

Tabel 2.3. Komposisi gas penyusun atmosfer dalam jumlah kecil

Gas penyusun	Komposisi (% volume)	Sumber
CO	$-1,2 \times 10^{-5}$	Fotokimia, antropogenik
NO _x	$10^{-10} - 10^{-6}$	Fotokimia, antropogenik
HNO ₃	$10^{-9} - 10^{-7}$	Fotokimia
NH ₃	$10^{-8} - 10^{-7}$	Biokimia
H ₂ O ₂	$10^{-8} - 10^{-6}$	Fotokimia
CS ₂	$10^{-9} - 10^{-8}$	Antropogenik, biogenik

Gas penyusun	Komposisi (% volume)	Sumber
SO ₂	-2 x 10 ⁻⁸	Antropogenik, fotokimia, vulkanik
CCl ₂ F ₂	2,8 x 10 ⁻⁵	Antropogenik

Sumber: (Welborn and Manahan, 1991)

2.3 Pemanasan Global

Permasalahan lingkungan utama yang terjadi hingga saat ini dan dirasakan oleh seluruh manusia di muka bumi ini adalah pemanasan global. Kondisi ini ditandai dengan peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi yang semakin besar yang disebabkan oleh aktifitas manusia yang beraneka ragam, antara lain: pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan lain-lain), penggundulan hutan, perluasan lahan pertanian dan pemukiman secara besar-besaran dengan cara pembakaran hutan dan pohon-pohon, penggunaan berbagai jenis kendaraan yang menghasilkan emisi karbon, atau pembakaran sampah organik dan non organik secara terbuka. Seluruh aktifitas yang dilakukan oleh manusia secara terus menerus akan menghasilkan gas-gas buangan dalam jumlah besar dan akan terkonsentrasi di atmosfer, kemudian diserap dan dipantulkan kembali ke bumi dalam bentuk panas yang menghangatkan permukaan bumi. Semakin banyak jumlah gas buangan yang terkonsentrasi di atmosfer, semakin besar pula efek panas yang dihasilkan dan dirasakan oleh makhluk hidup di permukaan bumi.



Gambar 2.4. Ilustrasi kondisi bumi menghadapi pemanasan global
(Sumber : environment-indonesia.com, diakses 10 Oktober 2023)

2.3.1 Efek Rumah Kaca

Istilah efek rumah kaca digunakan pertama kali untuk menggambarkan pengalaman petani yang bercocok tanam di daerah beriklim sedang yang dilakukan di dalam rumah kaca. Pengalaman tersebut menunjukkan bahwa pada siang hari, suhu dalam ruangan kaca lebih tinggi dibandingkan suhu di luar ruangan. Hal ini disebabkan karena tanaman dan tanah dalam ruangan tersebut menyerap dan memantulkan kembali sinar matahari dalam bentuk panas (sinar infra merah). Sinar matahari yang dipantulkan tidak dapat keluar dari ruangan kaca sehingga udara dalam ruangan tersebut terperangkap dan meningkatkan suhu ruangan. Efek yang ditimbulkan dalam ruangan tersebut disebut efek rumah kaca. Saat ini efek rumah kaca menjadi salah satu problem lingkungan terbesar dalam bentuk gas rumah kaca (GRK).

Gas rumah kaca menjadi salah satu sumber utama terjadinya pemanasan global. Salah satu definisi gas rumah kaca adalah sejumlah gas yang berada di udara yang memberikan efek rumah kaca. *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* melalui konvensi PBB tentang Perubahan Iklim, mengelompokkan jenis gas yang menjadi sumber GRK, antara lain: karbon dioksida (CO_2), dinitro oksida (N_2O), hidrofluorokarbon

(HFCs), sulfur heksaflorida (SF₆), metana (CH₄), dan perflorokarbon (PFCs) (Samiaji, 2010).

2.3.2 Dampak Pemanasan Global

Pemanasan global yang terjadi di seluruh permukaan bumi memberikan dampak yang luar biasa terhadap makhluk hidup, khususnya manusia. Dampak utama yang dihasilkan dari pemanasan global adalah perubahan iklim global yang mengakibatkan antara lain:

1. Kenaikan permukaan air laut.

Pemanasan global menyebabkan lapisan es di Kutub Utara dan Kutub Selatan mencair sehingga permukaan air laut menjadi naik dan menyebabkan resiko banjir dimana-mana bahkan beberapa pulau-pulau kecil tenggelam. Kehidupan masyarakat yang berada di daerah pesisir terancam rusak akibat air pasang yang tinggi (Utina, 2009). Kenaikan permukaan air laut $\pm 10\text{cm/tahun}$ dapat menyebabkan pinggir pantai akan menghilang sejauh 10 m dan perembesan air asin juga akan semakin dekat dengan daerah pemukiman penduduk.

2. Penurunan hasil pertanian

Pemanasan global dapat menyebabkan terjadinya perubahan iklim secara ekstrem yang berdampak pada penurunan hasil pertanian. Hal ini dapat dilihat dengan terjadinya kenaikan rata-rata suhu udara harian, kekeringan, banjir dimana-mana, perubahan waktu musim hujan dan musim kemarau yang tidak menentu menyebabkan pertanian menjadi gagal tanam, gagal panen, bahkan sering terjadi puso (gagal panen hingga lebih 75%) karena kekeringan dan banjir yang semakin sulit diprediksi (Heil et al., 2007, Ruminta, 2016).

3. Perubahan keanekaragaman hayati

Perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global menyebabkan tekanan terhadap alam semakin besar, antara lain: udara yang mulai tercemar, sumber air bersih berkurang, perubahan cuaca yang semakin tidak menentu, pergeseran musim, hingga bencana alam semakin sering

terjadi. Kondisi tersebut membawa pengaruh sangat besar terhadap keanekaragaman hayati yang terdapat di permukaan bumi. Semakin hari perubahan iklim dan suhu permukaan bumi semakin tidak menentu. Perubahan iklim yang terjadi secara mendadak dan ekstrim dapat menyebabkan kematian pada tumbuhan dan hewan di berbagai wilayah. Perubahan iklim memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap keanekaragaman hayati dan ekosistem baik secara langsung maupun tidak langsung. Beberapa dampak langsung perubahan iklim yang mengganggu keanekaragaman hayati (Lubis, 2011), antara lain: spesies-spesies yang rentan (sulit beradaptasi dengan perubahan iklim) dapat punah secara perlahan-lahan, siklus hidup hama dan penyakit ikut berubah sehingga dapat menyebabkan terjadinya wabah penyakit secara global, peningkatan akumulasi gas rumah kaca menyebabkan tekanan terhadap ekosistem sehingga berdampak pada perubahan interaksi antar spesies yang semakin kompleks (predasi, kompetisi, penyerbukan, penyakit) menyebabkan spesies semakin cepat punah. Sedangkan dampak tidak langsung akan sangat mempengaruhi seluruh ekosistem yang ada di permukaan bumi, antara lain: akibat konversi lahan secara besar-besaran, pencemaran lingkungan (air, udara, dan tanah), eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan, dan penggunaan teknologi yang merusak lingkungan.

2.3.3 Upaya Pengurangan Pemanasan Global

Pengaruh pemanasan global yang dapat mengancam kelangsungan kehidupan di permukaan bumi ini sehingga diperlukan upaya bersama untuk mengurangi pemanasan global. Berbagai upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi pemanasan global (Utina, 2009), yaitu:

1. Melakukan konservasi lingkungan, antara lain mencegah terjadinya deforestasi atau pengurangan area hutan terutama hutan lindung, meremajakan kembali hutan, melakukan reboisasi dengan menanam kembali hutan-

hutan yang gundul, serta memperluas wilayah penghijauan terutama di lahan kritis. Upaya ini dapat meningkatkan jumlah udara bersih dan mengurangi akumulasi gas pengotor yang terdapat di atmosfer.

2. Menggalakkan penggunaan energi bersih sebagai energi alternatif yang bersumber dari energi baru terbarukan (EBT) menggantikan energi dari bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara). Penggunaan energi bersih yang bersumber dari sampah organik rumah tangga dan pertanian dapat mengurangi jumlah timbunan sampah tersebut yang berada di lingkungan. Pengurangan penggunaan energi fosil dalam berbagai bidang (industri dan transportasi) juga dapat menurunkan akumulasi emisi gas buangan yang berbahaya yang masuk ke lingkungan.
3. Melakukan penghematan energi dengan cara mengurangi perangkat elektronik yang ramah lingkungan dan hemat energi, mematikan peralatan elektronik jika tidak sedang digunakan, mengurangi penggunaan kendaraan bermotor dengan memilih menggunakan transportasi umum atau kendaraan ramah lingkungan, bersepeda, jalan kaki, dan lain-lain.
4. Menggalakkan program 3R (Reuse, Reduce, Recycle). Program 3R dapat menjadi salah satu upaya penting mengurangi pemanasan global mengingat jumlah timbunan sampah anorganik saat ini menjadi salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh seluruh negara di dunia. Mengubah kebiasaan menggunakan peralatan sekali pakai dengan menggunakan barang yang bisa digunakan berkali-kali atau bisa di daur ulang.
5. Menggalakkan praktik pertanian hijau dengan cara menanam sayuran organik, menanam pohon di lingkungan terdekat, menggunakan pupuk organik yang dibuat dari sampah organik rumah tangga, serta menghemat penggunaan air bersih.
6. Memberikan edukasi lingkungan kepada seluruh lapisan masyarakat agar peduli terhadap lingkungan sejak dini. Edukasi lingkungan dapat dimasukkan dalam kurikulum

sekolah, melakukan sosialisasi atau penyuluhan-penyuluhan lingkungan kepada masyarakat, menyampaikan program-program lingkungan dari yang kecil hingga besar terkait dengan upaya pelestarian lingkungan. Semua ini dilakukan agar pola pikir dan sikap anak-anak, remaja, dan masyarakat semakin peduli terhadap kondisi lingkungan saat ini yang semakin rusak.

7. Menanamkan etika lingkungan terkait kecintaan dan kearifan kita terhadap lingkungan sehingga apapun bentuk perilaku manusia terhadap lingkungan yang dilandasi dengan etika lingkungan yang baik akan menjadi pola hidup dan budaya kita dalam menjalani kehidupan sehari-hari dan berinteraksi dengan lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Achelis, E. 2008. Ilmu Pengetahuan Populer. Jilid 3. 1990 ed. Jakarta: PT Widyadara.
- Heil, A., Langmann, B. & Aldrian, E. 2007. Indonesian peat and vegetation fire emissions: Study on factors influencing large-scale smoke haze pollution using a regional atmospheric chemistry model. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 113-133.
- Lubis, D. P. 2011. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Keanekaragaman Hayati di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 3, 107-117.
- Ruminta, H. 2016. Vulnerability assessment of climate on agriculture sector in the South Sumatra Province, Indonesia. *Asian J. Crop Sci*, 8, 31-42.
- Samiaji, T. 2010. Upaya mengurangi CO₂ di atmosfer. *Berita Dirgantara*, 10, 92-95.
- Situmorang, M. 2012. Kimia Lingkungan. FMIPA Unimed.
- Suryanto, W. & Luthfian, A. 2019. *Pengantar Meteorologi*, Yogyakarta, UGM Press.
- Utina, R. 2009. Pemanasan global: dampak dan upaya meminimalisasinya. *Jurnal Saintek UNG*, 3, 1-11.
- Welborn, J. R. & Manahan, D. T. 1991. Seasonal Changes in Concentrations. *Antarctic Journal of the United States*, 26, 160.

BAB 3

POLUTAN & PENCEMARAN UDARA

Oleh Sri Magfirah HS

3.1 Pendahuluan

Pencemaran udara dapat membahayakan kesehatan manusia, mempengaruhi ketahanan pangan, menghambat pembangunan ekonomi, berkontribusi terhadap perubahan iklim dan menurunkan kualitas lingkungan yang menjadi sandaran kehidupan kita (UNECE, 2021).

Pencemaran udara berasal dari berbagai sumber emisi, baik secara alami maupun antropogenik dan terjadi baik di dalam maupun di luar ruangan. Proses pembakaran merupakan penyumbang terbesar pencemaran udara, di luar ruangan meliputi transportasi (darat, udara, dan air); industri dan pembangkit listrik; pembakaran biomassa, yang mencakup kebakaran hutan dan sabana (terkendali maupun tidak terkendali); pembakaran limbah pertanian; serta pembakaran limbah di wilayah perkotaan. Selain dari proses pembakaran, sumber pencemaran udara di luar ruangan terbesar lainnya juga berasal dari proses resuspensi dan aktivitas konstruksi (WHO, 2022).

Lebih dari 90% orang tinggal di tempat yang udaranya tidak sehat untuk dihirup, sehingga mengakibatkan 4,2 juta kematian secara global setiap tahunnya (data tahun 2016). Dari seluruh kematian akibat pencemaran udara, sekitar 38% disebabkan oleh iskemia jantung (*Ischemic Heart Disease/ IHD*), 20% disebabkan oleh stroke, dan 43% disebabkan oleh penyakit paru obstruktif kronis (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease/ COPD*). Berbagai penelitian telah membuktikan dampak besar pencemaran udara terhadap kesehatan manusia. Pencemaran udara berdampak pada generasi muda dan tua, kaya dan miskin, serta masyarakat di seluruh belahan dunia (WHO, 2022; HEI, 2019).

Meskipun banyak sektor yang terlibat dan dampaknya dirasakan tidak hanya secara lokal, namun juga secara global,

respons terhadap pencemaran udara sering kali hanya dilakukan pada sektor yang sempit, sehingga tidak mempertimbangkan urgensi penanganan pencemaran udara sebagai masalah internasional dan mendesak yang melibatkan banyak pihak serta dampaknya yang luas. Meningkatnya wilayah perkotaan secara eksponensial juga merupakan faktor signifikan dalam meningkatnya pencemaran udara. Saat ini mayoritas penduduk kita tinggal di perkotaan yang di satu sisi cenderung menjadi sumber pencemaran udara, namun di sisi lain juga merupakan tempat yang paling merasakan dampaknya (UNECE, 2021).

3.2 Polutan

Polutan didefinisikan sebagai suatu zat berupa gas, aerosol, cairan, atau padatan yang terdapat di alam atau dihasilkan oleh aktivitas manusia yang diketahui dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan hidup (Tétreault, 2016).

Clean Air Act (CAA) tahun 1970 mengidentifikasi enam polutan udara yang sangat umum dan saat ini menjadi fokus utama, yaitu materi partikulat (PM), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon troposfer (O₃), dan timbal (Pb). Enam polutan ini dapat membahayakan lingkungan dan komponennya apabila diemisikan atau terjadi reaksi kima seperti reaksi oksidasi/reduksi di atmosfer (Saxena, dan Sonwani, 2019b).

Untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran di atmosfer, dikembangkan baku mutu udara ambien sebagai pedoman kebijakan yang mengatur pengaruh aktivitas manusia terhadap lingkungan sehingga emisi polutan ke udara dapat diatur. Standar-standar ini dikembangkan oleh beberapa lembaga seperti *US Environmental Protection Agency* (USEPA), *Central Pollution Control Board* (CPCB) dan banyak lagi di seluruh dunia.

Polutan udara primer merupakan zat pencemar yang dihasilkan langsung dari proses alam atau antropogenik. Proses alam ini dapat berupa kebakaran hutan, letusan gunung berapi, dan erosi permukaan batuan/mineral/bangunan, dan lain-lain. Di sisi lain, sumber antropogenik terdiri dari transportasi, pembakaran biomassa, aktivitas industri, emisi kendaraan, pertambangan, dan lain-lain (Saxena, dan Sonwani, 2019b).

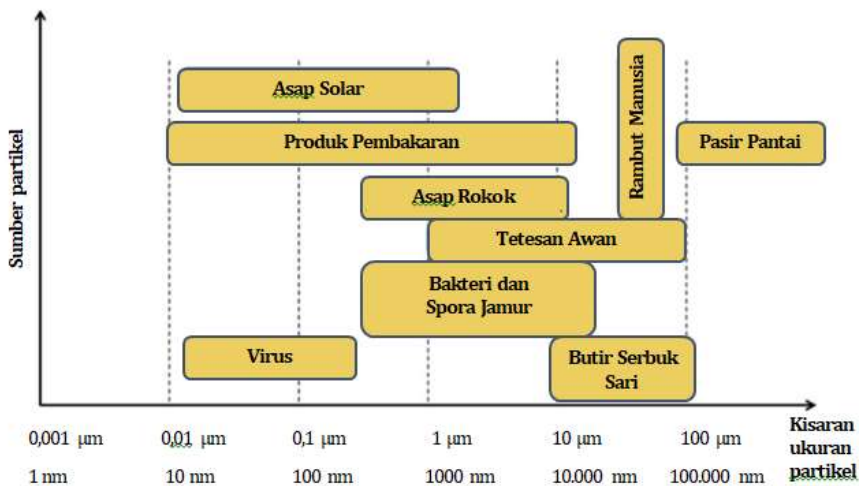
Polutan udara primer ini dapat bereaksi kembali membentuk senyawa kimia baru yang lebih kompleks yang disebut sebagai polutan udara sekunder (NCERT, 2022). Polutan udara sekunder merupakan zat pencemar yang dihasilkan secara tidak langsung, dan terbentuk oleh adanya reaksi kimia di atmosfer (Saxena, dan Sonwani, 2019b).

3.2.1 Materi Partikulat (*Particulate Matter*)

Materi partikulat (PM) adalah campuran kompleks partikel padat dan cair tersuspensi yang diklasifikasikan menjadi partikel primer (partikel yang dipancarkan langsung oleh sumber emisi) dan partikel sekunder (partikel yang terbentuk melalui reaksi gas di atmosfer). PM sangat bervariasi dalam ukuran, komposisi, konsentrasi, tergantung pada asal dan lamanya bertahan di udara (Gurjar dkk., 2010).

Clean Air Regulation tahun 1971 mendefinisikan partikel berdasarkan ukurannya. Partikel pasir memiliki diameter kisaran 75×10^{-6} m sampai 500×10^{-6} m, lebih dari itu partikel tersebut tidak akan bisa mengudara. Selanjutnya, partikel berukuran debu mempunyai diameter 1×10^{-6} m hingga 75×10^{-6} m, dan partikel asap memiliki diameter kurang dari 1×10^{-6} m (Gurjar dkk., 2010). Gambar 3.1 menunjukkan kisaran ukuran partikel udara dan sumbernya.

Masalah utama yang disebabkan oleh partikel di atmosfer adalah seberapa jauh partikel tersebut mampu menembus sistem pernapasan. Partikel dengan ukuran berkisar 30×10^{-6} hingga 100×10^{-6} m menempel di rongga hidung, laring, dan trakea. Beberapa contoh partikel sebesar ini adalah serbuk sari, spora jamur, debu semen, dan debu batu bara. Partikel yang berukuran kurang dari 15×10^{-6} m masuk ke bronkus dan bronkiolus, misalnya asap tembakau dan uap. Partikel berukuran 4×10^{-6} m atau kurang dari ukuran tersebut dapat memasuki alveoli tempat terjadinya pertukaran gas antara aliran darah dan udara, misalnya di dalam ruangan, debu asbes, serat kaca dan virus (Wright, 2003).



Gambar 3.1. Ukuran dan Sumber Materi Partikulat (PM)
(Sumber : Saxena dan Sonwani, 2019b)

Ada tiga kategori ukuran utama untuk PM yang diukur di udara perkotaan :

1. Partikel Kasar (PM_{10}), partikel dalam kategori ini berukuran kurang dari $10\ \mu m$. Di Inggris dan Eropa, PM_{10} adalah ukuran standar yang diterima untuk mengukur materi partikulat di atmosfer. Ukuran ini dipilih berdasarkan bukti epidemiologis tentang hubungan antara partikel-partikel tersebut dan masalah kesehatan. partikel tersebut dapat terhirup sedangkan partikel yang lebih besar dari ukuran tersebut tidak. PM_{10} relatif cepat di udara dengan masa hidup kurang dari 2 hari. Namun, paparannya dapat menyebabkan respon buruk pada paru-paru yang memicu serangkaian masalah pada paru-paru dan jantung. PM_{10} juga dikaitkan asma, bronkitis, dan pneumonia pada orang dengan usia lanjut. Untuk setiap peningkatan sebesar $10\ \mu g/m^3$, angka kematiannya meningkat sebesar 0,51% (Gurjar dkk., 2010; Wright, 2003).
2. Partikel Halus ($PM_{2.5}$), partikel yang dalam kategori ini diameternya berukuran antara 0,1 hingga $2,5\ \mu m$. Partikel ini bertahan lebih lama di udara yaitu 5-10 hari dan mengendap secara perlahan. Partikel-partikel ini dapat menembus jauh ke

dalam saluran pernafasan dan lebih terkait erat dengan efek buruk terhadap kesehatan. Partikel halus terutama terdiri dari bahan karbon (organik dan unsur), senyawa anorganik (sulfat, nitrat, dan amonium), dan senyawa logam (besi, aluminium, nikel, tembaga, seng, dan timbal). Ada potensi ribuan senyawa berbeda yang teradsorpsi pada partikel halus yang dapat menimbulkan efek biologis berbahaya. Peningkatan kadar PM_{2.5} telah terbukti berhubungan dengan perubahan fungsi jantung. Sedangkan toksisitasnya dipengaruhi oleh timbulnya stres oksidatif dan produksi radikal bebas (Gurjar dkk., 2010).

3. Partikel Ultrafin, partikel dalam kategori ini berukuran lebih kecil dari 0,1 μm , atau biasa dikenal sebagai partikel ultra halus (UFP). Partikel ini tidak bertahan lama di udara karena mudah mengendap atau dengan cepat membentuk partikel halus melalui koagulasi. UFP hadir dalam jumlah besar di udara perkotaan yang tercemar. Mereka memiliki inti karbon dengan bahan anorganik dan organik yang melekat yang dapat menyebabkan efek buruk terhadap kesehatan. UFP memiliki massa yang lebih kecil dibandingkan fraksi partikel kasar namun jumlahnya jauh lebih besar dan memiliki rasio luas permukaan terhadap massa yang relatif besar, menjadikannya pembawa potensial senyawa gas berbahaya. UFP dapat melewati makrofag alveolar (AMs) di paru-paru, yang dapat memberikan dampak penyakit yang lebih besar, sebab makrofag alveolar (AMs) adalah sel fagositik utama dari sistem imun bawaan yang ada di saluran napas, yang berfungsi membersihkan ruang udara dari partikel infeksius, toksik, atau alergi yang tidak mampu dihilangkan oleh pertahanan mekanis saluran pernapasan (Gurjar dkk., 2010).

Fraksi kasar dari bahan partikulat mengandung debu, komponen kerak, ion (nitrat, natrium, klorida) dan partikel biologis seperti serbuk sari, spora, sisa tanaman, dan lain-lain, sedangkan partikel halus terdiri dari amonium, sulfat, unsur nitrat dan komponen karbon dengan berat molekul rendah dan beberapa sisa logam seperti timbal, nikel, tembaga, kadmium, dan lain-lain (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Aerosol sulfat terbentuk dari emisi industri dan gunung berapi yang mengandung sulfur dioksida (SO_2) dan dimetil sulfida (DMS) yang dilepaskan dari sumber biogenik seperti plankton laut. Selanjutnya, nitrat (NO_3) terbentuk setelah oksidasi nitrogen dioksida (NO_2) di atmosfer yang sebagian besar terbentuk setelah aktivitas pembakaran antropogenik seperti pembakaran biomassa dan emisi kendaraan. Selain itu, garam amonium juga merupakan sumber lain untuk aerosol di atmosfer, yang terbentuk setelah reaksi antara ammonia dengan beberapa asam seperti asam sulfat (H_2SO_4) dan asam nitrat (HNO_3). Partikel aerosol amonium klorida (NH_4Cl) terbentuk setelah reaksi antara ammonia (NH_3) dan asam klorida (HCl) di atmosfer, sedangkan semprotan garam laut (partikel aerosol dari laut) bertindak sebagai sumber utama ion klorida (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Biasanya, sebagian besar aerosol disumbangkan oleh kandungan karbon yang sangat bervariasi di atmosfer dan terdiri dari karbon organik (OC) dan unsur karbon (EC), sedangkan rasio kedua fraksi tersebut bergantung pada jenis sumbernya. Sumber utamanya berbeda di wilayah perkotaan dan pedesaan. Sumber emisi utama di wilayah perkotaan berasal dari pembangkit listrik tenaga batubara, kendaraan bermotor, dan sumber bahan bakar fosil lainnya. Sedangkan di pedesaan, sebagian besar karbon dioksida dihasilkan dari pembakaran biomassa atau pembakaran tanaman. Partikel aerosol di atmosfer juga terbentuk melalui pembentukan aerosol organik sekunder (SOA) setelah senyawa organik volatil (VOC) yang dipancarkan baik dari sumber antropogenik maupun biogenik teroksidasi di atmosfer (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

3.2.2 Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, mudah terbakar, dan tidak berasa. Ini sangat beracun bagi beberapa organisme termasuk manusia. Karbon monoksida (CO) merupakan polutan udara yang paling tersebar luas dan paling umum terjadi. Secara global, gas tersebut dapat bertahan selama 2 bulan di atmosfer sebelum akhirnya bereaksi dengan oksigen (O_2)

dan membentuk karbon dioksida (CO₂) (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Pembentukan karbon monoksida di atmosfer diatur oleh keterkaitan antara emisi antropogenik, kimia atmosfer, dan iklim. Levy (1971) menemukan bahwa karbon monoksida (CO) dioksidasi oleh radikal bebas hidroksil (OH) membentuk radikal hidroperoksil (H O) di troposfer :



Diperkirakan juga bahwa lingkungan atmosfer yang diperkaya oleh nitrogen oksida (NO_x) akan menghasilkan ozon pada reaksi 3.1 dan 3.2. Sebaliknya jika tidak ada konsentrasi NO_x yang tepat, radikal hidroperoksil akan membunuh ozon. Selain itu, dari rantai reaksi kimia ini CO dapat terserap dan menghasilkan karbon dioksida (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

3.2.3 Sulfur dioksida (SO₂)

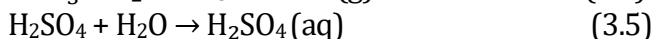
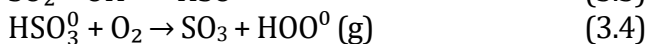
Sulfur dioksida adalah gas yang tidak berwarna, beracun, dan tidak mudah terbakar pada suhu dan tekanan normal. Pada konsentrasi yang lebih tinggi, SO₂ mempunyai bau yang menyengat. Sulfur dioksida sangat larut dalam air (0,166 mol per 100 g air pada 293 K) dan mudah teradsorpsi pada permukaan benda padat (Wright, 2003).

Sulfur dioksida dilepaskan ke atmosfer dari sejumlah sumber alami. Aktivitas panas bumi melepaskan sejumlah besar sulfur dioksida, bersama dengan sejumlah kecil sulfur trioksida, unsur sulfur, hidrogen sulfida, dan partikulat sulfat. Aktivitas tersebut menyumbang kurang dari 1 persen beban global senyawa sulfur yang mudah menguap di atmosfer. Sumber utamanya adalah oksidasi bahan organik yang mengandung belerang atau reduksi belerang menjadi hidrogen sulfida dalam kondisi anaerobik (Wright, 2003).

Sulfur dioksida juga masuk ke atmosfer melalui sejumlah jalur antropogenik. Sekitar 200 × 10⁶ ton dikeluarkan setiap tahun dan kira-kira sama dengan jumlah yang dikeluarkan dari proses alami. Sumber utama emisi sulfur dioksida berasal dari pembakaran

bahan bakar padat dan produk minyak bumi. Kontribusi lainnya berasal dari peleburan bijih sulfida, khususnya bijih seng, tembaga dan timbal, proses pengilangan, produksi dan transportasi asam sulfat. Sulfur dioksida telah berkontribusi besar terhadap hujan asam dan masalah lingkungan lainnya, sampai saat ini telah banyak upaya yang telah dilakukan untuk mengendalikan tingkat emisinya (Wright, 2003).

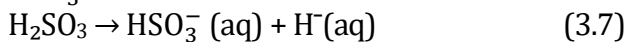
Sulfur dioksida di atmosfer bereaksi dengan oksigen menghasilkan sulfur trioksida (SO_3), yang kemudian bereaksi dengan uap air membentuk asam sulfat. Radikal hidroksil dan beberapa reaksi secara berurutan dituliskan sebagai berikut :



Asam sulfat yang baru dihasilkan di atmosfer terkonsentrasi di dekat dasar awan, dimana tingkat pH kurang dari 3. Dengan adanya sejumlah besar air di udara, sebagian SO_2 di atmosfer akan larut ke dalamnya. Dalam hal ini, sebagian besar oksidasi SO_2 menjadi H_2SO_4 kebanyakan terjadi di fase cair. Setelah SO_2 larut dalam air, dengan mudah diubah menjadi asam sulfat (H_2SO_3).



Kadar H_2SO_3 dianalisis dengan konstanta kesetimbangan untuk reaksi ini. H_2SO_3 memiliki K_a yang cukup besar ($1,7 \times 10^{-2}$) sehingga dalam aerosol di atmosfer ia terionisasi menjadi ion bisulfat HSO_3^- :

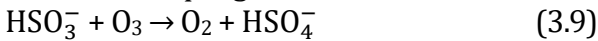


Karena kesetimbangan antara gas SO_2 dan H_2SO_4 (aq) terlarut, maka $[\text{H}_2\text{SO}_3(\text{aq})]$ hanya setara dengan H_2SO_3 yang tidak terionisasi menjadi bisulfat, dan tetap pada konstanta $1,0 \times 10^{-7}$ M.

SO_2 terlarut kemudian dioksidasi oleh sejumlah kecil hidrogen peroksida (H_2O_2) dan ozon (O_3) yang juga terdapat dalam tetesan aerosol, sehingga menjadi ion sulfat (SO_4^{2-}). Pada tahap selanjutnya, ozon dan hidrogen peroksida adalah produk dari reaksi fotodisosiasi pada fotokabut kimia. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Ini adalah reaksi yang dikatalisis oleh asam tetapi reaksi dengan ozon tidak terpengaruh oleh asam.



Sulfur dioksida (SO_x) di atmosfer dapat berinteraksi dengan organisme melalui berbagai cara. Ia dapat diserap ke dalam tanaman secara langsung dalam bentuk molekul, atau dapat diserap ke permukaan lembab tanaman, tanah, sistem perairan, dan sebagainya. Alternatifnya, ia dapat diubah menjadi asam sulfat dan tetap berada di atmosfer sebagai tetesan aerosol yang akan dihilangkan melalui presipitasi.

Sulfur oksida (SO_x) teradsorpsi pada permukaan partikel dan dapat dibawa ke jarak yang lebih jauh dari sumbernya sebelum diendapkan (deposisi kering/basah). Seperti asam nitrat dan nitrit yang terbentuk dari NO_x , asam sulfur, sulfat, dan partikulat semuanya berkontribusi terhadap pengendapan asam (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

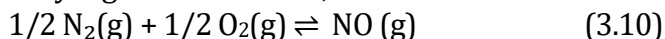
3.2.4 Nitrogen dioksida (NO_2)

Nitrogen dioksida adalah gas berwarna coklat kemerahan dengan bau yang tidak sedap dan mengganggu. Ini adalah gas primer yang dilepaskan ke atmosfer oleh hasil pembakaran bahan bakar. NO_2 merupakan oksidator kuat yang berperan penting dalam reaksi transformasi atmosfer dan diubah menjadi gas asam nitrat, nitrat organik beracun, dan ozon troposfer (komponen utama kabut asap). Karena kontribusinya dalam pembentukan kabut fotokimia, ia diidentifikasi sebagai salah satu polutan udara penting yang mempunyai dampak signifikan terhadap kesehatan manusia. Peningkatan konsentrasi NO_2 menyebabkan masalah kesehatan seperti masalah yang berkaitan dengan paparan jangka pendek (kardiovaskular dan pernafasan) dan paparan jangka panjang (kanker dan perkembangan mental pada anak-anak). Selain yang disebutkan di atas, nitrogen dioksida juga bereaksi dengan berbagai polutan di atmosfer dan menghasilkan ozon dalam jumlah tinggi (yang juga berdampak buruk pada manusia dan tanaman) (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Ada tiga bentuk nitrogen oksida yaitu N_2O nitrogen(I) oksida (dinitrogen oksida/nitrogen oksida), NO nitrogen(II) oksida (Nitrit

oksida), dan NO₂ nitrogen(IV) oksida (nitrogen dioksida). Dua diantaranya merupakan polutan atmosfer, yaitu NO dan NO₂, yang biasa disebut NO_x (Wright, 2003).

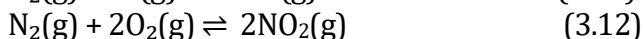
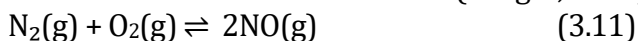
Meskipun N₂O tidak reaktif secara kimia pada suhu rendah karena kekuatan ikatan rangkap tiganya, pada suhu yang lebih tinggi dinitrogen akan bergabung dengan oksigen membentuk gas NO yang tidak berwarna,



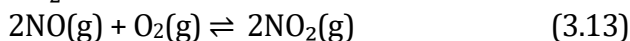
$$\Delta H^\circ = +90,3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta G^\circ = +86,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Seperti yang ditunjukkan oleh tanda dan besaran ΔG° pada 298 K, posisi kesetimbangan terletak jauh di sebelah kiri. Karena reaksi ini bersifat endotermik, menurut Prinsip *le Chatelier*, peningkatan suhu akan menggeser posisi kesetimbangan ke kanan dan lebih banyak NO yang dihasilkan. Misalnya, pada mesin mobil ketika busi dinyalakan untuk menyalakan campuran bensin-udara, suhu yang dihasilkan cukup tinggi sehingga kesetimbangan berada di sisi kanan, sehingga sejumlah besar NO akan dihasilkan. Setelah dilepaskan ke sistem pembuangan dan kemudian ke atmosfer yang suhunya jauh lebih rendah, NO tidak dapat terurai sehingga menjadi polutan utama. Sumber alami NO yaitu pada saat terjadinya petir, maka akan dihasilkan NO dan NO₂ (Wright, 2003).



Saat terpapar ke udara, NO pada reaksi 3.11 dengan cepat bergabung dengan dioksigen untuk membentuk polutan sekunder NO₂ berwarna merah-coklat.



$$\Delta H^\circ = -246,9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

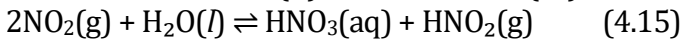
$$\Delta G^\circ = -70,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Pada suhu yang lebih rendah, N₂O selanjutnya dimerisasi membentuk N₂O₄ yang tidak berwarna :



Pada suhu 25 °C, tepat di atas titik didih N₂O₄ baik cairan maupun gasnya mengandung lebih banyak dimer dibandingkan monomernya. Dengan meningkatnya suhu, jumlah dimer berkurang dengan cepat dalam fase gas.

Nitrogen(IV)oksida adalah molekul dengan elektron ganjil dan oleh karena itu juga diwakili oleh NO₂[•]. Dengan demikian ia dapat bertindak sebagai radikal bebas dalam fase gas. Begitu pula dengan nitrogen(II) oksida yang juga merupakan molekul elektron ganjil (NO[•]). Karena reaksinya dengan oksigen, bau NO tidak diketahui. Ia sedikit larut dalam air yaitu 5 cm³ dalam 100 cm³ air pada 15 °C. Sedangkan nitrogen(IV) oksida mudah larut dalam air, dan membentuk asam nitrat(V) dan asam nitrat(III),



Oleh karena itu, NO secara tidak langsung berkontribusi terhadap hujan asam karena merupakan prekursor pembentukan dua asam.

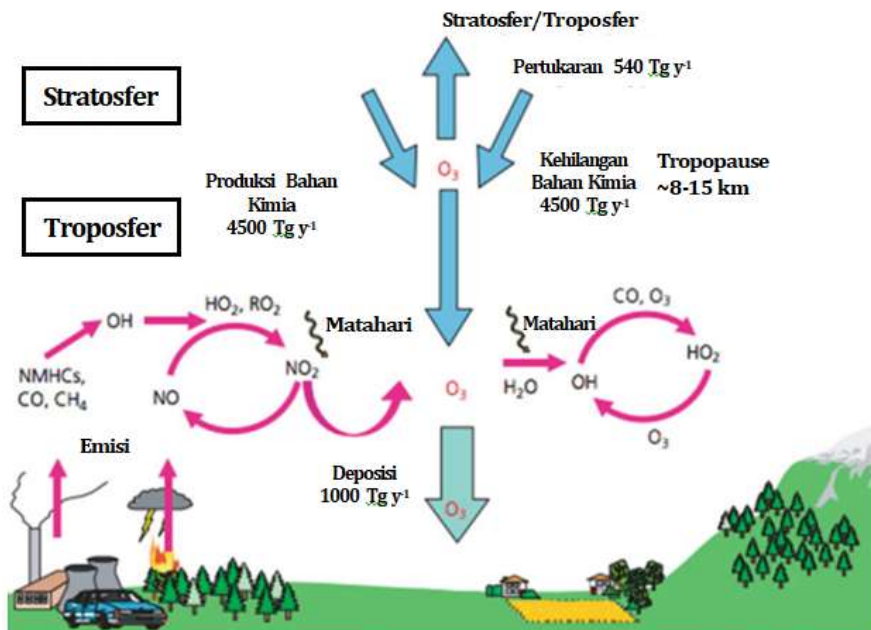
Disisi lain, N₂O juga merupakan gas tidak berwarna yang cukup larut dalam air (130 cm³ dalam 100 g air pada 0 °C). N₂O digunakan sebagai anestesi dan karena tidak beracun, juga digunakan sebagai bahan pembusa dalam krim kocok. Gas ini tidak reaktif pada suhu biasa. Namun, nitrogen(I) oksida merupakan gas rumah kaca karena menyerap radiasi infra merah pada jarak 8,6 x 10⁻⁶m dan 7,8 x 10⁻⁶ m. Dalam hal ini, 270 kali lebih efektif dibandingkan karbon dioksida. Saat ini, konsentrasinya di atmosfer adalah 310 ppb namun tampaknya meningkat dengan laju sekitar 0,25 persen per tahun. Nitrogen(I) oksida dilepaskan ke atmosfer dari lautan, dan khususnya tanah tropis. Gas ini merupakan produk sampingan dari denitrifikasi biologis dalam kondisi aerobik dan nitrifikasi dalam kondisi anaerobik (Wright, 2003).

3.2.5 Ozon Troposfer (O₃)

Ozon ditemukan di troposfer dan stratosfer. Ozon troposfer menyumbang sekitar 10% dari total ozon yang ada di atmosfer. Disebut juga sebagai 'ozon buruk' karena perannya dalam pembentukan polusi udara fotokimia dan pengoksidasi alam di atmosfer. Ozon merupakan salah satu gas rumah kaca yang sangat penting di atmosfer. Lapisan ozon stratosfer merupakan selubung

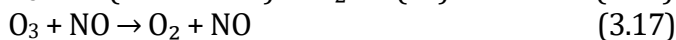
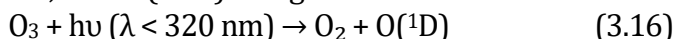
molekul O_3 yang terbentuk secara alami, sedangkan sebagian besar ozon troposfer terbentuk melalui sumber buatan manusia. Ozon stratosfer bermanfaat dalam melindungi biosfer, namun Ozon troposfer berbahaya bagi tanaman. Ozon lebih berat dari udara, ia diturunkan dari stratosfer oleh angin vertikal yang dihasilkan selama badai listrik (petir). Namun, Ozon troposfer dihasilkan ketika sinar matahari bereaksi dengan nitrogen oksida, dan hidrokarbon yang dihasilkan oleh pembakaran batu bara atau bahan bakar minyak bumi. Ketika tingkat oksidan di udara tinggi, lebih dari 90% udaranya adalah ozon. Tingkat ini biasanya mencapai titik tertinggi pada sore hari dan relatif rendah pada malam hari. Pembentukan ozon troposfer merupakan proses non-linier dan terbentuk dari berbagai prekursor seperti karbon organik yang mudah menguap (VOC), nitrogen oksida (NO_x) dan karbon monoksida (CO). Pembentukan ozon juga dapat dipengaruhi oleh polutan regional (NO_x dan VOC) yang berpindah dari lokasi yang jauh oleh pengaruh cuaca (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Gambar 3.2 menunjukkan siklus ozon troposfer. Ozon pada stratosfer dibawa ke troposfer melalui pertukaran stratosfer-troposfer (pertukaran S-T). Kemudian dihilangkan dengan deposisi kering ke permukaan serta sebagian kecil digunakan dalam reaksi kimia di troposfer (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

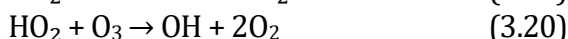
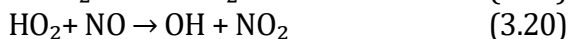


Gambar 3.2. Siklus Ozon Troposfer
(Sumber : Saxena dan Sonwani, 2019a)

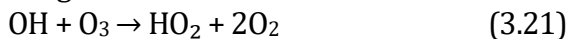
Proses pertama yang terlibat dalam tenggelamnya ozon troposfer adalah reaksi fotokimia (3.16), dimana molekul O_3 terpecah oleh sinar matahari. Namun, di lingkungan yang kaya akan NO, reaksi (3.17) mengendalikan kerusakan ozon.



Sebaliknya, di atmosfer yang kekurangan NO, oksidasi CO_2 dapat menyebabkan hilangnya ozon. Setelah reaksi (3.18) dan (3.19), HO_2 yang dihasilkan bereaksi dengan ozon sebagai alternatif reaksi 4.20:



Selanjutnya, ozon dapat dihancurkan melalui reaksi langsung dengan radikal OH:



Setelah proses disosiasi terjadi, ozon dihilangkan dari atmosfer melalui pengendapan kering, dalam kondisi atmosfer yang tidak stabil. Ozon dianggap sebagai agen fototoksik, sehingga memiliki dampak paling merusak pada metabolisme tanaman dibandingkan dengan polutan lain di troposfer (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

3.2.6 Timbal (Pb)

Timbal adalah logam berwarna putih kebiruan, lembut, mengkilat, sangat mudah dibentuk, dan ulet. Timbal adalah logam yang mempunyai konduktivitas yang sangat buruk, ia tidak korosif tetapi memudar jika terkena udara. Timbal telah diakui dan dimasukkan dalam Daftar Prioritas Nasional (NPL) EPA. Ada begitu banyak sumber timbal di udara. Salah satu yang utama kontributornya berasal dari bensin bertimbal. Sebelum peraturan EPA, jutaan ton timbal diemisikan ke atmosfer melalui penggunaan timbal dalam bensin. Bahkan setelah pembatasan, kadar timbal yang tinggi masih ada di dalam tanah dan debu. Sumber lainnya adalah cat timbal dan emisi industri, yang melepaskan sejumlah besar gas ke atmosfer. Sumber-sumber industri ini mencakup pabrik peleburan, operasi manufaktur, insinerator, kilang, pembangkit listrik, fasilitas daur ulang, dan lain-lain (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Sebagian besar timbal di atmosfer hadir bersama dengan partikel halus, apabila dihirup, ia akan masuk ke dalam sistem pernapasan manusia dan dapat dengan mudah tertahan dan diserap ke dalam tubuh. Timbal yang terserap ke dalam tubuh manusia diedarkan ke beberapa komponen penting seperti ke dalam darah, jaringan lunak, tulang dan gigi. Manusia dewasa mengandung sebagian besar timbal (95%) di tulangnya, sementara timbal ditemukan hingga 70% pada anak-anak. Sekitar 99% timbal dalam sistem peredaran darah terikat pada sel darah merah. Tingkat timbal dalam tubuh meningkat seiring berjalannya waktu/usia,

lebih sering terjadi pada laki-laki terutama pada tulang mereka (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

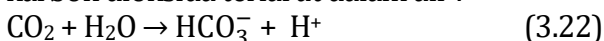
Beberapa penelitian juga mengkonfirmasi mobilisasi timbal selama kehamilan. Beberapa laporan juga menunjukkan bahwa anak-anak, kebanyakan bayi, mempunyai tingkat timbal yang lebih tinggi di dalam tubuhnya. Penelitian terbaru lainnya juga menemukan hubungan terbalik antara konsentrasi timbal dalam darah dan skor IQ. Paparan timbal yang kronis pada manusia menyebabkan perkembangan kanker, peningkatan tekanan darah dan degradasi saraf. Darah, urin, tulang, gigi dan rambut diidentifikasi sebagai biomarker utama yang berhubungan dengan paparan timbal. Terlepas dari kenyataan bahwa para ilmuwan telah mendeteksi bahaya paparan timbal selama beberapa dekade, masih belum jelas mengenai ambang batas yang masih bisa ditolerir oleh tubuh (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Timbal pada dasarnya dihilangkan melalui beberapa proses seperti curah hujan, sedimentasi, dan hujan salju dari atmosfer. Oleh karena itu, tanah dan sedimen merupakan tempat penyerap utama timbal, sedangkan rata-rata orang sehat terpapar sekitar 300 cangkir timbal/hari dalam makanannya dengan kisaran 100-400 cangkir. Timbal diangkut secara terus menerus antar matriks yang berbeda seperti udara, air dan tanah melalui proses alami dan fisikokimia seperti pelapukan, limpasan, pengendapan basah dan kering serta aliran sungai; namun demikian, tanah dan sedimen diidentifikasi sebagai penyerap timbal yang utama (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

3.3 Dampak Pencemaran Udara

3.3.1 Hujan Asam

Kita mungkin menganggap hujan sebagai cara alam membersihkan atmosfer dengan menghilangkan zat-zat yang terkandung di dalamnya. Proses pembersihan dilakukan dalam dua bentuk: satu dengan melarutkan senyawa yang dapat larut dan yang lainnya dengan menyapu partikel tersuspensi. Dalam kondisi "normal" pH hujan bersifat asam (sekitar 5,7) karena disosiasi karbon dioksida terlarut dalam air :



Namun, di lingkungan yang tercemar juga terdapat sulfur oksida dan nitrogen oksida, yang merupakan asam yang lebih kuat daripada karbon dioksida. Ketika oksida-oksida ini larut dalam tetesan hujan, pH mencapai nilai yang lebih rendah dari 5,7, sehingga membentuk apa yang dikenal sebagai hujan asam atau dalam pengertian yang lebih luas pengendapan asam (Ibanez dkk., 2007).

Hujan asam merupakan masalah serius yang menjadi perhatian seluruh dunia, sebab dampaknya dapat dirasakan antar wilayah atau antar negara, misalnya kerusakan akibat hujan asam pada danau dan sungai di Skandinavia, kemungkinan sebagian besar disebabkan oleh emisi dari pembangkit listrik dan kendaraan bermotor di Eropa Tengah. Selanjutnya, di Kanada Timur terjadi pengendapan asam yang dibawa oleh angin kencang dari AS, sebab pencemaran udara di AS pada saat itu sangat besar, yaitu sekitar 85 persen sulfur dioksida, 42 persen nitrogen oksida, dan 30 persen materi partikulat yang dilepaskan ke atmosfer di Amerika Serikat pada tahun 1998. Emisi ini dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil, boiler industri dan aktivitas pembakaran di tingkat rumah tangga (Wright, 2003).

3.3.2 Penipisan Ozon

Ozon di stratosfer melindungi organisme hidup dari radiasi ultraviolet dengan panjang gelombang pendek yang berbahaya. Jumlah ozon yang ada merupakan keseimbangan antara pembuatan dan penghancuran ozon yang bergantung pada keberadaan senyawa kimia yang terbentuk secara alami di atmosfer. Jika ada senyawa yang terbentuk bukan dari proses alamiah maka akan menghasilkan katalitik tambahan yang dapat menghilangkan O monoatomik, sehingga kerusakan ozon akan meningkat. Hal ini tampaknya terjadi pada apa yang dikenal sebagai 'lubang di lapisan ozon' yang ditemukan di lapisan es Antartika. Meskipun sebenarnya tidak ada lubang yang terjadi, namun terdapat bukti yang menunjukkan bahwa terdapat tingkat ozon yang berfluktuasi dan jumlah ozon yang terus menipis selama sekitar 30 tahun terakhir (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Bahan kimia yang dianggap paling bertanggung jawab atas penipisan ini adalah halokarbon. Senyawa ini terdiri dari atom karbon, fluor, brom, dan klor dengan sesekali atom hidrogen. Halokarbon digunakan sebagai zat pendingin karena terbukti benar-benar tidak beracun, tidak mudah terbakar, dan tidak korosif. Senyawa yang paling banyak digunakan adalah Freon-11 (CCl_3F), Freon-12 (CCl_2F_2), Freon-22 (CHClF_2) dan BCF *bromochlorodifluoromethane* (CBrClF_2). Selain berperan sebagai refrigeran, Freon-11 juga digunakan sebagai bahan pembusa dalam pembuatan plastik dan propelan aerosol, sedangkan BCF dan Freon-12 digunakan sebagai salah satu bahan dalam alat pemadam kebakaran. Kegunaan halokarbon terletak pada kenyataan bahwa halokarbon sangat tidak reaktif. Namun, kurangnya reaktivitas inilah yang menyebabkannya menjadi masalah bagi lingkungan. Freon-11 dan Freon-22 khususnya sangat tidak reaktif sehingga dapat lolos ke stratosfer. Freon ini juga disebut sebagai CFC, atau klorofluorokarbon, karena terdiri dari klorin dan fluor yang dikombinasikan dengan karbon. Masa hidup Freon-11 di atmosfer sekitar 65 tahun, dan Freon-12 yaitu 130 tahun. Beberapa CFC bahkan memiliki masa hidup lebih lama, misalnya Freon-115 (CClF_2CF_3) dapat bertahan sampai 400 tahun (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

Meskipun konsentrasi senyawa ini sangat rendah, misalnya Freon-11 255 pptv dan Freon-12 470 pptv, pada saat senyawa ini berada di stratosfer maka senyawa ini akan terkena radiasi UV yang menyebabkan pemecahan molekul menjadi radikal bebas klorin,

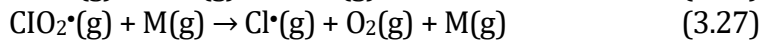
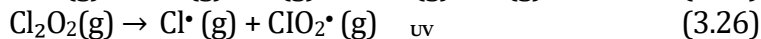
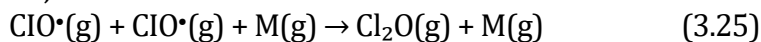
$$\text{CCl}_3\text{F}(\text{g}) \rightarrow \text{CCl}_2\text{F}^*(\text{g}) + \text{Cl}^*(\text{g}) \quad \text{UV} \quad (3.23)$$

Oleh karena itu, CFC dapat secara signifikan meningkatkan beban klorin di stratosfer, yang menyebabkan kerusakan ozon. Namun, apabila reaksi radikal bebas ini bertemu dengan gas seperti NO dan CH, maka akan mengunci sebagian besar klorin sebagai molekul yang relatif tidak reaktif yaitu menjadi HCl dan ClONO_2 . Jika CFC merupakan penyebab meningkatnya penipisan ozon, lalu apa penyebabnya jika CFC tampaknya 'terkunci'?

Saat ini diyakini bahwa faktor kimia dan meteorologi berkontribusi terhadap cara radikal bebas klorin menghancurkan ozon di Antartika. Pada musim dingin di Antartika, terdapat jangka

waktu yang lama ketika Matahari tidak lagi terbit dan wilayah tersebut berada dalam kegelapan. Hal ini menyebabkan pendinginan lapisan es di kutub menjadi lebih cepat, yang pada akhirnya menyebabkan berkembangnya angin barat yang kuat di stratosfer yang disebut pusaran kutub. Pusaran ini sangat stabil dan bertahan sepanjang musim dingin dan musim semi, sebelum pada akhirnya rusak di musim panas. Meskipun pusaran kutub ini ada, udara kutub di atmosfer bagian atas pada dasarnya tertutup dari udara di ketinggian yang lebih rendah. Suhu di atmosfer bagian bawah menjadi sangat rendah (lebih rendah dari $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$) sehingga terbentuklah awan stratosfer kutub, yang terdiri dari partikel es padat yang bersifat asam. Kehadiran partikel-partikel ini memungkinkan terjadinya reaksi heterogen yang cepat pada permukaannya, misalnya menyebabkan produksi molekul diklorida, $\text{ClONO}_2(\text{g}) + \text{HCl}(\text{s}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{HNO}_3(\text{s})$ (3.24) dimana HCl melekat pada permukaan partikel padat.

HNO_3 tetap berada pada partikel es padat sehingga dapat menghilangkan sumber utama NO. Hal ini mencegah $\text{ClO}^{\bullet}$ terkunci lagi sebagai ClONO_2 . Karena pusaran kutub berlangsung dalam jangka waktu yang lama, suhu tetap rendah sehingga awan stratosfer kutub tetap ada meskipun kutub berada di bawah sinar matahari. Oleh karena itu, tingkat $\text{ClO}^{\bullet}$ yang kian meningkat akan terus ada. Seiring dengan meningkatnya intensitas sinar matahari, begitu pula dengan penghilangan ozon yang terus terjadi akibat adanya siklus katalitik yang melibatkan fotolisis Cl_2O membentuk $\text{Cl}^{\bullet}$,



di mana M adalah molekul lain yang menyerap kelebihan energi. Jika suhu lebih tinggi, maka Cl_2O_2 akan terurai kembali menjadi $\text{ClO}_2^{\bullet}$ (lihat reaksi 4.26). Sehingga apapun suhunya, entah itu dalam keadaan suhu yang lebih rendah ataupun dengan kehadiran sinar matahari, Cl akan tetap terbentuk yang berdampak kepada kerusakan ozon (Saxena, dan Sonwani, 2019a).

3.3.3 Efek Rumah Kaca

Efek rumah kaca adalah kenaikan suhu yang dialami bumi karena gas-gas tertentu di atmosfer (misalnya uap air, karbon dioksida, dinitrogen oksida, ozon, metana, dan lain-lain) yang memerangkap energi dari matahari. Gas-gas ini biasanya disebut gas rumah kaca karena perilakunya mirip dengan panel kaca di rumah kaca. Panel kaca di rumah kaca membiarkan cahaya masuk namun mencegah panas keluar dan hal ini serupa dengan efek gas-gas ini terhadap bumi (Buha, 2011).

Sinar matahari memasuki atmosfer bumi, melewati gas rumah kaca. Saat mencapai permukaan bumi, tanah, air, dan biosfer menyerap energi sinar matahari. Setelah diserap, energi ini dikirim kembali ke atmosfer. Sebagian energi dikembalikan ke ruang angkasa, namun sebagian besar masih terperangkap di atmosfer oleh gas rumah kaca. Ini adalah proses yang sepenuhnya alami dan tanpa gas-gas ini, semua panas akan kembali ke luar angkasa dan suhu rata-rata bumi akan menjadi lebih dingin sekitar 30°C (54°F). Efek rumah kaca merupakan proses yang sangat penting, karena tanpa efek rumah kaca, bumi tidak akan cukup hangat untuk tempat tinggal manusia. Namun jika efek rumah kaca menjadi lebih kuat, maka bumi bisa menjadi lebih hangat dari biasanya. Bahkan sedikit pemanasan tambahan pun dapat menimbulkan masalah bagi manusia, tumbuhan, dan hewan (Buha, 2011).

Beberapa aktivitas manusia juga menghasilkan gas rumah kaca dan gas-gas ini terus meningkat di atmosfer. Perubahan keseimbangan gas rumah kaca mempunyai dampak yang signifikan terhadap seluruh planet. Pembakaran bahan bakar fosil batu bara, minyak dan gas alam melepaskan karbon dioksida ke atmosfer. Menebang dan membakar pohon juga menghasilkan banyak karbon dioksida. Sekelompok gas rumah kaca yang disebut klorofluorokarbon telah digunakan dalam aerosol, seperti kaleng hairspray, lemari es, dan pembuatan plastik busa. Karena semakin banyak gas rumah kaca di atmosfer, semakin banyak pula panas yang terperangkap, sehingga membuat bumi menjadi lebih hangat. Hal ini dikenal sebagai pemanasan global. Banyak ilmuwan sepakat bahwa aktivitas manusia memperkuat efek rumah kaca alami. Jika kita terus mencemari atmosfer dengan gas rumah kaca, maka akan

menimbulkan dampak yang sangat berbahaya bagi Bumi. Saat ini, peningkatan suhu bumi meningkat dengan kecepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya (Buha, 2011).

Untuk memahami seberapa cepat pemanasan global meningkat, pertimbangkan bahwa sepanjang abad ke-20, rata-rata suhu global meningkat sekitar 0,6 derajat Celcius (sedikit lebih dari 1 derajat Fahrenheit). Dengan menggunakan model iklim komputer, para ilmuwan memperkirakan bahwa pada tahun 2100 rata-rata suhu global akan meningkat sebesar 1,4 derajat hingga 5,8 derajat Celcius (kira-kira 2,5 derajat hingga 10,5 derajat Fahrenheit) (Buha, 2011).

DAFTAR PUSTAKA

- Buha, A. 2011. *The Greenhouse Effect*. Toxipedia Website. <https://www.healthandenvironment.org/docs/ToxipediaGreenhouseEffectArchive.pdf>
- Gurjar, B.R., Molina, L.T., Ojha, C.S.P. 2010. *Air Pollution Health and Impacts*. Taylor and Francis Group. U.S.
- Haar, G.T. 1975. Lead in the environment-origins, pathways and sinks. *Environ Qual Saf Suppl.* 2 :76. 94.
- HEI (Health Effect Institute). 2019. *State Of Global Air/2019 A Special Report on Global Exposure to Air Pollution and Its Disease Burden*. Boston : Health Effect Institute.
- Ibanez, J.G., Hernandez-Esparza, M., Dorria-Serrano, C., Fregoso-Infante, A., Singh, M.M. 2007. *Environmental Chemistry Fundamentals*. Springer Science : USA.
- NCERT (National Council of Educational Research and Training). 2022. *Chemistry, Chapter 14 : Environmental Chemistry*. New Delhi : Central Institute of Educational Technology.
- Saxena, P. dan Sonwani, S. 2019a. Criteria Air Pollutants and their Impact on Environmental Health. Springer Nature Singapore Ptc Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9992-3_3
- Saxena, P. dan Sonwani, S. 2019b. Primary Criteria Air Pollutants : Environmental Health Effects. Springer Nature Singapore Ptc Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9992-3_3
- Tétreault, J. 2016. Agent of Deterioration: *Pollutants*. Canadian Conservation Institute. <http://canada.pch.gc.ca/eng/1444924955238>
- UNECE (United Nation Economic Commission for Europe). 2021. *Clean Air For Life*. Swiss : UNECE.
- WHO (World Health Organization). 2022. *Compendium of WHO and Other UN Guidance on Health and Environment : Chapter 2. Air Pollution*. Geneva : WHO.

BAB 4

HIDROSFER DAN DASAR-DASAR KIMIA LINGKUNGAN AIR

Oleh I Wayan Budiarsa Suyasa

4.1 Hidrosfer

Hidrosfer adalah lapisan air yang ada di permukaan bumi. Hidrosfer berasal dari dua kata yaitu hidros yang berarti air dan sphere yang berarti lapisan, sehingga hidrosfer dapat diartikan sebagai lapisan air yang berada di permukaan bumi. Pembentukan hidrosfer berasal dari berbagai sumber air yang ada di bumi. Hidrosfer tersebut meliputi danau, sungai, laut, salju, air tanah dan uap air yang terdapat pada lapisan udara.

Hidrologi adalah studi tentang air, yang meliputi limnologi yaitu karakteristik air alam dengan sifat-sifat fisika, kimia dan biologi. Oseanografi terkait tentang lautan dengan sifat-sifatnya. Kedua bagian hidrologi tersebut digambarkan dalam siklus hidrologi berikut:



Gambar 4.1. Siklus Hidrologi

Unsur-unsur hidrologi, berdasarkan siklus hidrologi terbagi dari beberapa macam yaitu :

1. **Angin:** merupakan sesuatu yang menentukan sebuah kekuatan temperatur udara dan kondisi uap air di suatu tempat.
2. **Awan:** merupakan kumpulan dari beberapa titik air atau es dengan jumlah yang cukup banyak dan juga merupakan bagian dari inti kondensasi.
3. **Air tanah:** merupakan sesuatu air yang bergerak didalam tanah yang memiliki beberapa lapisan batu pasir yang disebut dengan istilah akifer, sedangkan air tanah yang bergerak didalam retakan batuan disebut air celah.
4. **Evaporasi:** merupakan sebuah peristiwa yang terjadi karena adanya perubahan air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara. **Evapotranspirasi:** merupakan gabungan dari beberapa hasil penguapan melalui tubuh air dan tanaman.
5. **Infiltrasi:** merupakan suatu air, es, salju yang jatuh ke permukaan bumi kemudian meresap ke kedalam tanah.
6. **Kondensasi:** merupakan sebuah proses perubahan uap air menjadi air hujan yang disebabkan adanya pendinginan atmosfer.
7. **Presipitasi:** merupakan sesuatu yang berbentuk cairan yang berasal dari atmosfer kemudian akan tercurah ke permukaan bumi.
8. **Run Off:** merupakan sebuah pergerakan air dari permukaan tanah yang disebabkan karena adanya presipitasi air hujan, es atau salju, sehingga akan meresap kedalam tanah tidak termasuk run off. Biasanya hal tersebut terjadi pada suatu tempat-tempat tertentu pada dataran tinggi.
9. **Tubuh air:** merupakan bagian yang paling rendah di permukaan bumi yang dapat menampung air. Tubuh air tersebut terdiri dari beberapa macam, seperti sungai, danau, waduk, rawan dan lain sebagainya.

Hidrosfer dikenal juga sebagai siklus hidrologis, pengertian siklus hidrologi menurut definisi dari para pakar menyatakan bahwa pengertian siklus ini merupakan perputaran air bumi yang

mempunyai jumlah tetap serta selalu bergerak dalam suatu lingkaran peredaran, siklus air, daur hidrologi. Siklus tersebut terjadi diakibatkan pengaruh sinar matahari. Matahari tersebut memancarkan suatu energi panas ke seluruh permukaan bumi sehingga terjadilah suatu penguapan air dari sungai, danau, rawa, laut, serta juga samudra. Uap air tersebut bergerak naik ke tempat yang lebih tinggi dan juga suhu udara akan makin rendah sehingga uap air tersebut disebut akan mengalami suatu proses kondensasi. Kondensasi disebut juga pengembunan merupakan perubahan wujud dari benda ke wujud yang lebih padat, seperti ialah gas (atau uap) menjadi cairan. Kondensasi tersebut terjadi pada saat uap didinginkan menjadi cairan, namun tetapi dapat juga terjadi jika sebuah uap itu dikompresi (yakni , tekanan ditingkatkan) menjadi cairan, mengalami kombinasi dari pendinginan serta kompresi. Di tempat yang tinggi, pada daerah beriklim dingin / sedang pada musim dingin uap air tersebut dapat langsung membeku menjadi salju disebabkan karena mengalami proses sublimasi. Dari adanya Proses Kondensasi tersebut, uap air tersebut berubah menjadi titik-titik air yang bergerombol di udara ialah sebagai awan. Awan tersebut makin lama makin padat sehingga titik-titik air akan bergabung satu sama lain untuk membentuk tetesan air yang akan jatuh kemudian ke bumi sebagai hujan itulah yang menyebabkan terjadinya hujan. Air hujan yang jatuh pada permukaan bumi tersebut sebagian akan meresap ke dalam tanah dan akan menjadi air tanah, sebagiannya lagi mengalir di permukaan bumi, dan juga sebagian lagi akan menguap. Air tanah tersebut akan keluar menjadi mata air serta mengalir menjadi sungai menuju ke laut maupun ke danau.

Air permukaan meliputi danau dan reservoir. Kondisi danau berdasarkan pengaruh materi yang dialami meliputi oligotropik dengan karakteristik kedalaman, jernih, kurang nutrient dan kurang aktivitas biologi. Sementara eutropik lebih banyak mengandung nutrient, mendukung lebih banyak aktivitas biologis dan lebih keruh. Distropik berkarakter dangkal, tersumbat, oleh kehidupan tanaman, air berwarna dan pH rendah(Clair N. Sawyer, 2003). Danau dan sejenisnya dengan kedalaman tertentu memiliki stratifikasi termal secara vertical, digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.2. Stratifikasi termal pada perairan dalam

Faktor yang dapat mengganggu siklus hidrologi di antaranya

1. **Alih Fungsi Lahan :** Adanya alih fungsi lahan pertanian atau hutan menjadi lahan perkotaan bisa menjadi faktor yang menyebabkan siklus hidrologi terganggu. Hal ini terjadi karena pembangunan perkotaan akan menutup daerah-daerah resapan air, menebang pohong, dan mengurangi jumlah penguapan air. alih fungsi yang tidak sesuai dengan peruntukannya, maka akan menghambat kesetabilan fungsi tersebut dan ketika curah hujan pada kawasan tersebut sangat tinggi, maka aliran air begitu saja mengalir dan tidak ada yang menahan dan menyerap, sehingga selain menimbulkan bencana banjir juga akan menimbulkan bencana longsor (Bella, H. M., & Rahayu, 2021). Pemanfaatan ruang atau tata guna lahan yang tidak sesuai dengan peruntukannya sehingga menyebabkan air limpasan cenderung lebih banyak mengalir ke daerah hulu DAS Sari atau ke Kota Bima dan daerah sekitarnya yang mempunyai topografi jauh lebih rendah, mengingat bahwa fungsi hutan juga sebagai daerah atau kawasan resapan air yang selanjutnya menjadi sumber pada air tanah di kawasan tersebut, dan ketika kawasan hutan tersebut tidak sesuai dengan peruntukannya, maka keseimbangan lingkungan akan terganggu, sehingga nantinya akan menimbulkan permasalahan atau bencana banjir secara rutin (Nurlatifah, A., & Purwaningsih, 2018).

2. Penggundulan Hutan: Penggundulan hutan atau deforestasi bisa memengaruhi siklus hidrologi karena saat pohon ditebang maka air yang diupkan dalam proses transpirasi ke atmosfer berkurang. akibatnya proses pembentukan awan yang terjadi dalam proses hidrologi akan berjalan dengan lambat sehingga hujan akan lebih sedikit turun. Semakin maraknya penebangan liar akan membuat hutan semakin gundul, hal ini tentu akan menjadi pemicu terjadinya banjir besar dan juga banjir bandang. karena sedikitnya pohon yang terdapat di hutan tidak akan mampu menyerap air hujan. Sehingga saat hujan datang, air akan meluap karena tidak bisa diserap dengan tidak adanya akar pohon.
3. Efek Rumah Kaca : Adanya efek rumah kaca akan menyebabkan terjadinya pemanasan global yang bisa memengaruhi siklus hidrologi. Semakin tinggi suhu bumi, maka penguapan akan semakin banyak terjadi dan dapat mengganggu siklus hidrologi. Hal inilah yang kemudian membuat suatu daerah akan mengalami hujan lebat yang tidak teratur, sedangkan di daerah lain mengalami kekeringan. Peningkatan kenaikan: Peningkatan suhu akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan penguapan air yang lebih cepat dari permukaan laut, sungai, dan danau. Hal ini mengarah pada peningkatan jumlah uap air di atmosfer.
Perubahan pola curah hujan: Efek rumah kaca juga dapat mempengaruhi pola curah hujan. Dalam beberapa kasus, daerah tertentu mungkin mengalami peningkatan curah hujan yang ekstrem, sementara daerah lain mengalami kekeringan yang lebih parah. Perubahan ini dapat mengganggu pola aliran air di sungai dan mengubah ketersediaan air. Perubahan pola aliran air permukaan: Peningkatan kenaikan dan perubahan pola curah hujan dapat mempengaruhi pola aliran udara di sungai, danau, dan waduk. Daerah-daerah yang sebelumnya bergantung pada curah hujan dapat mengalami kekeringan yang lebih parah, sementara daerah lain yang menerima curah hujan

lebih tinggi dapat mengalami banjir yang lebih sering dan hebat.

4. Penggunaan pupuk kimia Berlebihan : Penggunaan pupuk kimia dapat memicu pencemaran air dan mengganggu ekosistem di dalamnya. Dilansir dari Conserve Energy Future, konsentrasi nitrogen dan nutrisi akan masuk ke dalam air dan menyebabkan eutrofikasi yang memicu alga bloom. Pemakaian pupuk kimia secara terus-menerus dapat berdampak buruk bagi lingkungan terutama terhadap kualitas air tanah sehingga terjadinya pencemaran air tanah. Dampak bagi lingkungan itu sendiri adalah meningkatnya konsentrasi zat pencemar yang menyerap ke permukaan tanah kemudian menyebar ke daerah yang bertekanan rendah yang kemudian di bawa oleh air tanah. Pencemaran air didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga menyebabkan kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya

Penggunaan pestisida secara berlebihan juga dapat mengganggu siklus hidrologi, pestisida sendiri mengandung nitrogen yang bisa mengganggu siklus hidrologi dengan cara mencemari air permukaan dan air tanah, serta masuk ke atmosfer, air yang masuk ke atmosfer inilah yang kemudian bisa menyebabkan terjadinya hujan asam yang berbahaya bagi makhluk hidup di bumi.

5. Pembuangan Sampah dan Limbah Industri : Pembuangan sampah dan limbah industri ke perairan membuat siklus hidrologi terganggu. Pembuangan sampah dan limbah ini bisa menyebabkan air menjadi tercemar dan menghambat proses penguapan dalam siklus hidrologi. Selain itu, pencemaran air tersebut juga bisa mengandung zat-zat yang berbahaya bagi atmosfer yang bisa juga menyebabkan terjadinya hujan asam. Limbah industri yang mengandung

logam, minyak, toksin organik dan zat lainnya bisa mengurangi kandungan oksigen dalam air sehingga menghambat ekosistem pada air.

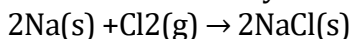
4.2 Reaksi Kimia Lingkungan Air

Unsur kimia di alam ini mengalami berbagai siklus yang melibatkan berbagai makhluk hidup atau benda mati, seperti tumbuhan, hewan, sedimen, magma, gunung berapi, dan sebagainya. Unsur kimia di dalam air laut kebanyakan berasal dari daratan yang masuk ke laut melalui air sungai, air hujan dan debu, air tanah, dan aktivitas gunung api di bawah laut. Oleh karena itu, banyak proses yang terjadi di dalam laut yang sangat erat hubungannya dengan kimia lingkungan perairan. Reaksi kimia yang terjadi di dalam dan di dasar lautan dan juga menganalisa sifat-sifat kimia dari air laut. Interaksi berbagai unsur kimia di laut ini juga terjadi dengan berbagai lingkungan lainnya seperti biosfer, atmosfer, dan geosfer.

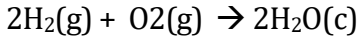
Proses alam yang selalu menghasilkan antar perubahan senyawa kimia. Senyawa ataupun senyawa - senyawa awal yang terlibat dalam reaksi tersebut sebagai reaktan. Reaksi kimia biasanya dikarakteristikan dengan perubahan kimiawi, dan akan menghasilkan satu atau lebih produk yang biasanya memiliki ciri - ciri yang berbeda dari reaktan. Dasar-dasar reaksi kimia yang terjadi di lingkungan perairan berdasarkan sifat unsur, senyawa yang bereaksi dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Reaksi Penggabungan

Reaksi penggabungan adalah reaksi dimana dua buah zat bergabung membentuk zat ketiga. Kasus paling sederhana adalah bila dua unsur bereaksi membentuk senyawa. Misalnya logam natrium bereaksi dengan gas klor membentuk natrium klorida. Persamaan reaksinya:



Terbentuknya NaCl (Natrium Klorida) karena terjadi reaksi penggabungan ion logam Na(Natrium) dengan gas Klor(Cl₂). Senyawa NaCl yang terbentuk berupa garam yang berbentuk padatan. Contoh lainnya adalah reaksi antara hidrogen dengan oksigen membentuk air merupakan reaksi penggabungan.



1. Reaksi Penguraian

Reaksi penguraian adalah reaksi bila senyawa tunggal bereaksi membentuk dua atau lebih zat. Biasanya reaksi ini membutuhkan kenaikan suhu agar senyawa yang dapat terurai dengan menaikkan suhu misalnya KClO_3 . Senyawa ini bila dipanaskan akan terurai menjadi KCl dan gas oksigen. Persamaan reaksinya:

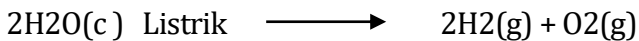


Penguraian kalium klorat biasa digunakan untuk membangkitkan gas oksigen secara laboratorium.

Reaksi penguraian biasa diterapkan dalam pengolahan batu kapur di daerah cipatat Jawa Barat. Batu kapur, CaCO_3 hasil penggalian agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan perlu diolah lebih lanjut dijadikan batu tohor, CaO . Pengolahan batu kapur ini dilakukan dengan cara pemanggangan batu kapur dalam tungku. Persamaan kimia yang terjadi adalah:

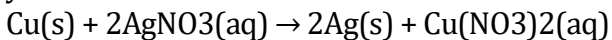


Reaksi penguraian senyawa tunggal diuraikan menjadi dua zat yang berbeda lainnya adalah penguraian air oleh listrik menghasilkan hidrogen dan oksigen, berikut:



2. Reaksi Pertukaran

Reaksi pengantian atau disebut juga reaksi pertukaran tunggal adalah reaksi dimana suatu unsur bereaksi dengan senyawa menggantikan unsur yang terdapat dalam senyawa itu. Misalnya, jika lempeng logam tembaga dicelupkan kedalam larutan perak nitrat, kristal logam perak dihasilkan. Persamaan reaksinya adalah :



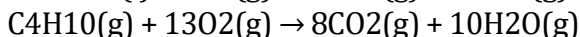
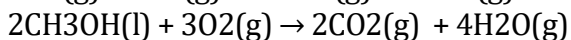
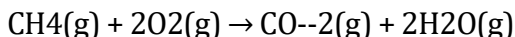
Tembaga menggantikan perak yang terdapat dalam perak nitrat, menghasilkan larutan tembaga nitrat dan logam perak. Jika lempeng logam seng dicelupkan ke dalam larutan tembaga sulfat yang berwarna biru, maka pada permukaan logam seng akan terbentuk endapan tembaga berwarna merah, dan warna

biru dari larutan perlahan-lahan memudar. Hal ini menunjukkan bahwa seng bereaksi dengan tembaga sulfat menghasilkan logam tembaga dan larutan seng sulfat yang tak berwarna.

3. Reaksi pembakaran

Reaksi yang kita pertimbangkan sejauh ini dapat dikarakterisasi sebagai reaksi penata ulangan atom-atom. Namun demikian, kita perlu menambahkan satu jenis reaksi lain yaitu reaksi pembakaran, yang dicirikan oleh fakta bahwa salah satu pereaksinya adalah oksigen. Reaksi pembakaran adalah reaksi suatu zat dengan oksigen, biasanya bereaksi cepat disertai pelepasan kalor membentuk nyala api.

Jika senyawa karbon dibakar dalam oksigen atau udara akan terbentuk karbon dioksida dan uap air bila pembakarannya sempurna. Tetapi, bila pembakaran kurang sempurna (kekurangan oksigen) akan terbentuk gas karbon monoksida, atau boleh jadi terbentuk karbon yang berwarna hitam (jelaga). Beberapa contoh pembakaran senyawa karbon:



Perkaratan besi, walaupun tidak biasa dianggap sebagai pembakaran, secara esensi merupakan reaksi pembakaran, sebab terjadi reaksi antara besi dan oksigen disertai pelepasan energi. Reaksi perkaratan besi pada kenyataannya sangat kompleks melibatkan molekul air, tapi kita dapat menuliskan perkaratan dalam bentuk reaksi bersihnya, yaitu sebagai berikut:



4. Reaksi Pembuatan Garam (Kristalisasi)

Proses pembuatan garam yaitu : air laut dialirkan kedalam tambak dan selanjutnya ditutup. Air laut yang ada dalam tambak dibiarkan terkena sinar matahari secara langsung sehingga mengalami proses penguapan. Setelah beberapa hari (tergantung panas cahaya matahari) jumlah air berkurang, dan

mengering bersamaan dengan itu pula kristal garam terbentuk. Kristal-kristal garam yang telah terbentuk kemudian dikumpulkan untuk diproses lebih lanjut sehingga menghasilkan kristal garam yang bersih dan terbebas dari kotoran. Proses kristalisasi berperan sangat penting dalam pembuatan garam proses reaksi kristalisasi tersebut yaitu : Pemisahan dengan teknik kristalisasi didasari atas pelepasan pelarut dari zat terlarutnya dalam sebuah campuran homogeen atau larutan, sehingga terbentuk kristal dari zat terlarutnya. Kristal dapat terbentuk karena suatu larutan dalam keadaan atau kondisi lewat jenuh (supersaturated) yaitu kondisi dimana pelarut sudah tidak mampu melarutkan zat terlarutnya, atau jumlah zat terlarut sudah melebihi kapasitas pelarut. Proses pengurangan pelarut dapat dilakukan dengan empat cara yaitu, penguapan, pendinginan, penambahan senyawa lain dan reaksi kimia. Nah, untuk petani garam tradisional menggunakan cara penguapan menggunakan bantuan sinar matahari langsung.

4.3 Reaksi yang berperandalam siklus hara

Dalam perairan seperti di laut, danau dan perairan alami lainnya terjadi reaksi-reaksi yang berperan dalam siklus hara berupa transpormasi maupun tranformasi unsur-unsur tersebut dalam perairan. Berikut reaksi-reaksi utama yang terlibat dalam siklus hara tersebut:

1. Reaksi transformasi fosfat

Di perairan unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofofat dan polifosfat) dan senyawa organik yang berupa partikulat. Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Karakteristik fosfor sangat berbeda dengan unsur-unsur utama lain yang merupakan penyusun biosfer karena unsur ini tidak terdapat di atmosfer(Salim, D., Yuliyanto, Y., & Baharuddin, 2017). Pada kerak bumi, keberadaan fosfor relatif sedikit dan mudah mengendap.

Spesiasi kimia: Secara rinci perputaran campuran organik -P yang ditunjukkan di permukaan air secara garis besar tidak

diketahui. Sepenuhnya adalah larutan inorganik fosfor seperti hasil ionisasi pada H_3PO_4



Bentuk formasi fosfat ini dipengaruhi oleh kondisi pH dan tingkat konduktivitas perairan. Ionisasi konstan untuk tiga tahap penguraian dapat didefinisikan sebagai :

$$K_1 = [\text{H}^+] [\text{H}_2\text{PO}_4^-] / [\text{H}_3\text{PO}_4]$$

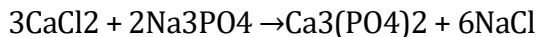
$$K_2 = [\text{H}^+] [\text{HPO}_4^{2-}] / [\text{H}_2\text{PO}_4^-]$$

$$K_3 = [\text{H}^+] [\text{PO}_4^{3-}] / [\text{HPO}_4^{2-}]$$

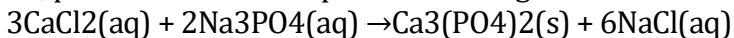
Ada tiga ciri reaksi yang berlangsung dalam larutan, yaitu terbentuk endapan, gas, dan penetralan muatan listrik. Ketiga reaksi tersebut umumnya tergolong reaksi metatesis yang melibatkan ion-ion dalam larutan. Oleh karena itu, Anda perlu mengetahui lebih jauh tentang ion-ion dalam larutan.

2. Reaksi Pengendapan

Indikasi reaksi reaksi pengendapan adalah jika salah satu produk reaksi yang dihasilkan tidak larut di dalam air. Contoh zat yang tidak larut di dalam air, yaitu CaCO_3 dan BaCO_3 . Untuk mengetahui kelarutan suatu zat diperlukan pengetahuan empirik sebagai hasil pengukuran terhadap berbagai zat. Perhatikanlah reaksi antara kalsium klorida dan natrium fosfat berikut:

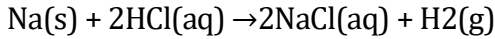


NaCl akan larut di dalam air, sedangkan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ tidak larut. Senyawa-senyawa fosfat sebagian besar larut dalam air, kecuali senyawa fosfat dari natrium, kalium, dan amonium. Oleh karena itu, persamaan reaksi dapat ditulis sebagai berikut.



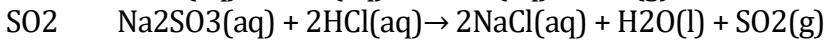
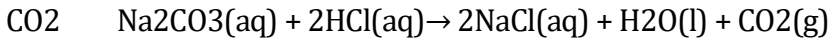
3. Reaksi Pembentukan Gas

Reaksi kimia dalam larutan, selain dapat membentuk endapan juga ada yang menghasilkan gas. Misalnya, reaksi antara natrium dan asam klorida membentuk gas hidrogen. Persamaan reaksinya:



Berikut ialah beberapa Contoh Reaksi yang Menghasilkan Gas:

Jenis Gas Contoh Reaksi



4. Evaporasi

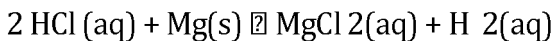
Beberapa contoh reaksi dengan proses evaporasi yang menghasilkan produk stabil berikut:

- Ca^{2+} dan SO_4^{2-} mengendap sebagai $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (gypsum)
- HCO_3^- berkurang karena terbentuk CaCO_3 (aragonit)
- Mg^{2+} dan K^+ menurun sedikit

5. Reaksi Asam Basa

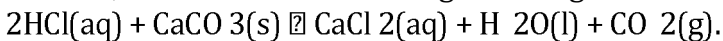
Asam

Zat yang bersifat asam memiliki rasa masam, misalnya : cuka (asam asetat), asam lemon (asam sitrat). Menyebabkan perubahan warna pada zat warna tumbuhan, misalnya : lakmus biru menjadi merah. Bereaksi dengan logam tertentu seperti seng, magnesium dan besi menghasilkan gas hidrogen. Reaksi khas :



Bereaksi dengan karbonat dan bikarbonat seperti :

Na_2CO_3 , CaCO_3 dan NaHCO_3 menghasilkan gas CO_2 .



Sifat khas asam lainnya adalah jika dilarutkan asam dalam air bersifat elektrolit yang kuat.

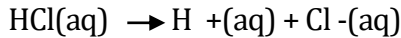
Basa :

Memiliki rasa pahit, terasa licin, misalnya : sabun yg mengandung basa. Menyebabkan perubahan warna pada zat warna tumbuhan, misalnya : lakmus merah menjadi biru. Larutan basa dalam air menghantarkan arus listrik.

Asam dan Basa Bronsted

Johanes Brønsted(1932) menyatakan asam sebagai donor proton dan basa sebagai akseptor proton

Misalnya reaksi :

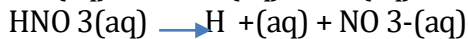
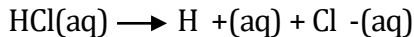


Ion H^+ + kehilangan elektron(proton) dalam bentuk terhidrasi. Sehingga ionisasi asam klorida sebaiknya dinyatakan sebagai :



Proton terhidrasi H_3O^+ disebut ion hidronium.

Asam – asam yang umum digunakan di lab adalah asam klorida, asam nitrat, asam asetat, asam sulfat dan asam fosfat. HCl , HNO_3 dan CH_3COOH adalah asam monoprotik yaitu setiap satuan asam menghasilkan satu ion hidrogen dalam ionisasi :



Asam- Basa Lewis

Asam adalah senyawa penerima (akseptor) pasangan elektron, sedangkan basa adalah senyawa pemberi (donor) pasangan elektron. Reaksi asam- basa Lewis tergolong reaksi pembentukan ikatan koordinasi. Contoh reaksi BF_3 (asam Lewis) dengan NH_3 (basa Lewis).

Kekuatan Asam- Basa

Asam dapat dibedakan menjadi asam kuat dan asam lemah, begitu pula basa. Reaksi ionisasi asam kuat, secara umum dapat ditulis :

$\text{HxA(aq)} \rightarrow \text{xH}^+(\text{aq}) + \text{Ax}^-(\text{aq})$. Yang termasuk asam kuat, meliputi: HCl , HBr , HI , HNO_3 , H_2SO_4 , HClO_4 , dll. Reaksi asam kuat bersifat satu arah karena asam kuat mudah terionisasi dalam air.

Reaksi ionisasi asam lemah, secara umum dapat ditulis :

$\text{HzB(aq)} \rightleftharpoons \text{zH}^+(\text{aq}) + \text{B}^{\text{z}-}(\text{aq})$. Yang termasuk asam lemah, meliputi: CH_3COOH , HF , HCN , H_2CO_3 , dll. Reaksi asam lemah bersifat reversibel karena asam lemah tidak terionisasi sempurna di dalam air.

Basa kuat meliputi senyawa- senyawa hidroksida alkali dan beberapa hidroksida alkali tanah. Selain hidroksida- hidroksida tersebut semuanya tergolong basa lemah.

Asam kuat dan basa kuat dalam air mudah terionisasi, dengan derajat ionisasi 1, sehingga jumlah ion-ionnya relatif banyak. Akibatnya, larutan asam kuat dan basa kuat mudah menghantarkan arus listrik, sehingga disebut larutan elektrolit kuat. Sebaliknya, larutan basa lemah dan asam lemah sukar terionisasi (0,0 1), sehingga tergolong larutan elektrolit lemah. Senyawa-senyawa yang dapat bertindak sebagai asam (melepaskan H^+) dan juga dapat bertindak sebagai basa (melepaskan OH^-) disebut senyawa amfoter. Senyawa-senyawa amfoter, meliputi: $Be(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $Zn(OH)_2$, dll.

Penetralan Asam-Basa

Reaksi penetralan (neutralization reaction) merupakan reaksi antara asam dan basa. Reaksi asam basa dalam medium air sebagai berikut:

Asam + basa $\rightarrow$ garam + air

contoh : $HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

Persamaan ioniknya :

$H^+(aq) + Cl^-(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq) + H_2O(l)$

$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$

Baik Na^+ maupun Cl^- merupakan ion-ion pendamping.

Contoh reaksi penetralan asam-basa, lainnya :

$HF(aq) + KOH(aq) \rightarrow KF(aq) + H_2O(l)$

$H_2SO_4(aq) + 2NaOH(aq) \rightarrow Na_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$

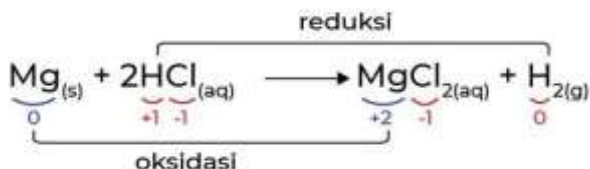
$HNO_3(aq) + NH_3(aq) \rightarrow NH_4NO_3(aq)$

6. Reaksi Redoks

Reaksi Redoks di Laut

Redoks (singkatan dari reaksi reduksi/oksidasi) adalah istilah yang menjelaskan berubahnya bilangan oksidasi (keadaan oksidasi) atom-atom dalam sebuah reaksi kimia. Hal ini dapat berupa proses redoks yang sederhana seperti oksidasi karbon yang menghasilkan karbon dioksida, atau reduksi karbon oleh hidrogen menghasilkan metana(CH_4), ataupun ia dapat berupa proses yang kompleks seperti oksidasi gula pada tubuh manusia melalui rentetan transfer elektron yang rumit. Dalam

reaksi redoks terjadi perpindahan elektron secara berurutan dari satu spesies kimia ke spesies kimia lainnya, yang sesungguhnya terdiri atas dua reaksi yang berbeda, yaitu oksidasi (kehilangan elektron) dan reduksi (memperoleh elektron). Istilah redoks berasal dari dua konsep, yaitu reduksi dan oksidasi. Oksidasi merupakan pelepasan elektron oleh sebuah molekul, atom, atau ion reduksi menjelaskan penambahan elektron oleh sebuah molekul, atom, atau ion. Oksidasi dan reduksi tepatnya merujuk pada perubahan bilangan oksidasi karena transfer elektron yang sebenarnya tidak akan selalu terjadi. Sehingga oksidasi lebih baik didefinisikan sebagai peningkatan bilangan oksidasi, dan reduksi sebagai penurunan bilangan oksidasi. Dalam prakteknya, transfer elektron akan selalu mengubah bilangan oksidasi, namun terdapat banyak reaksi yang diklasifikasikan sebagai "redoks" walaupun tidak ada transfer elektron dalam reaksi tersebut (misalnya yang melibatkan ikatan kovalen).



Berlaku sebagai Oksidator : HCl dan Reduktor : Mg
HCl tereduksi dengan mengoksidasi Mg, sementara Mg teroksidasi dengan mereduksi HCL.

Kita dapat menulis keseluruhan reaksi ini sebagai dua reaksi setengah berikut:

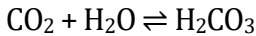
reaksi oksidasi : $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e$

dan reaksi reduksi : $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

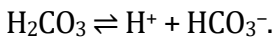
Penganalisaan masing-masing reaksi setengah akan menjadikan keseluruhan proses kimia lebih jelas. Karena tidak terdapat perbuahan total muatan selama reaksi redoks, jumlah elektron yang berlebihan pada reaksi oksidasi haruslah sama dengan jumlah yang dikonsumsi pada reaksi reduksi.

7. Reaksi Kesetimbangan

Laut mengandung sekitar 36.000 gigaton karbon, dimana sebagian besar dalam bentuk ion bikarbonat. Karbon anorganik, yaitu senyawa karbon tanpa ikatan karbon-karbon atau karbon-hidrogen, adalah penting dalam reaksinya di dalam air. Pertukaran karbon ini menjadi penting dalam mengontrol pH di laut dan juga dapat berubah sebagai sumber (source) atau lubang (sink) karbon. Karbon siap untuk saling dipertukarkan antara atmosfer dan lautan. Pada daerah upwelling, karbon dilepaskan ke atmosfer. Sebaliknya, pada daerah downwelling karbon (CO₂) berpindah dari atmosfer ke lautan. Pada saat CO₂ memasuki lautan, asam karbonat terbentuk:



Reaksi ini memiliki sifat dua arah, mencapai sebuah kesetimbangan kimia. Reaksi lainnya yang penting dalam mengontrol nilai pH lautan adalah pelepasan ion hidrogen dan bikarbonat. Reaksi ini mengontrol perubahan yang besar pada pH:



4.4 Ciri – Ciri Reaksi Kimia Lingkungan Perairan

1. Terjadi perubahan warna

Pada reaksi kimia, reaktan diubah menjadi produk. Perubahan yang terjadi dapat disebabkan adanya pemutusan ikatan-ikatan antaratom reaktan dan pembentukan ikatan-ikatan baru yang membentuk produk. Untuk memutuskan ikatan diperlukan energi. Untuk membentuk ikatan yang baru, dilepaskan sejumlah energi. Jadi, pada reaksi kimia terjadi perubahan energi. Reaksi kimia yang menghasilkan energi dalam bentuk panas disebut dengan reaksi eksotermis. Reaksi yang menyerap energi panas disebut dengan reaksi endotermis (Pratiwi, N., Hariyadi, S., Bagoes Soegesty, N., 2020). Contoh : Api dapat menghangatkan tubuh yang kedinginan dan ketika bernafas panas yang ada dalam tubuh akibat berolahraga dikeluarkan sehingga tubuh menjadi dingin.

2. Terjadi perubahan suhu

Pada reaksi kimia, reaktan diubah menjadi produk. Perubahan yang terjadi dapat disebabkan adanya pemutusan ikatan-ikatan antaratom pereaksi dan pembentukan ikatan-ikatan baru yang membentuk produk. Untuk memutuskan ikatan diperlukan energi. Reaksi kimia yang menghasilkan energi dalam bentuk panas disebut dengan reaksi eksotermis, sedangkan reaksi yang menyerap energi panas disebut reaksi endotermis.

Reaksi kimia terjadi pada suatu ruang yang kita sebut dengan sistem, tempat di luar sistem disebut dengan lingkungan. Pada reaksi eksotermis, terjadi perpindahan energi panas dari sistem ke lingkungan. Pada reaksi endotermis terjadi perpindahan energi panas dari lingkungan ke sistem.

3. Terjadi pembentukan endapan

Ketika mereaksikan dua larutan dalam sebuah tabung reaksi, kadang-kadang terbentuk suatu senyawa yang tidak larut, berbentuk padat, dan terpisah dari larutannya. Padatan itu disebut dengan endapan (presipitat).

4. Terjadi pembentukan gas

Secara sederhana, dalam reaksi kimia adanya gas yang terbentuk ditunjukkan dengan adanya gelembung-gelembung dalam larutan yang direaksikan. Adanya gas dapat diketahui dari baunya yang khas, seperti asam sulfida (H_2S) dan amonia (NH_3) yang berbau busuk

4.5 Karakteristik Perairan terkait dengan reaksi-reaksi kimia yang terjadi

1. **Suhu** : Suhu mempunyai pengaruh yang besar terhadap kelarutan oksigen. Pembuangan limbah yang dilakukan pada badan air dapat menimbulkan kenaikan suhu sehingga akan mempengaruhi aktivitas hidrologis di dalamnya. Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan laut (altitude), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh

terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Suhu juga sangat berperan mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Organisme akuatik memiliki kisaran suhu tertentu (batas atas dan bawah) yang disukai bagi pertumbuhannya. Misalnya algae dari filum Chlorophyta dan diatom akan tumbuh dengan baik pada kisaran suhu berturut-turut 30-35oC dan 20- 30oC. Filum Cyanophyta lebih dapat bertoleransi terhadap kisaran suhu yang lebih tinggi dibandingkan Chlorophyta dan diatom.

2. **Kecerahan** : Kecerahan dapat diidentifikasi dari tingkat kekeruhan air dengan alat sechidisk. Kekeruhan terdapat pada kebanyakan air permukaan akibat suspensi lempung, silt, organik dan anorganik, plankton, dan mikroorganisme lain. Kekeruhan pada perairan tergenang, misalnya danau, lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi yang berupa koloid dan partikel-partikel halus, sedangkan kekeruhan pada sungai yang sedang banjir disebabkan oleh bahan tersuspensi yang berukuran lebih besar, yang berupa lapisan permukaan tanah yang terbawa oleh aliran air pada saat hujan. Kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi, misalnya pernafasan dan daya lihat organisme akuatik, serta juga dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air(Khairul., 2017). Tingginya nilai kekeruhan juga dapat mempersulit usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air.
3. **Total Dissolved Solids** : TDS Selama perjalanannya air dapat melarutkan dan membawa kandungan material wahana yang dilaluinya. Sehingga selain mengandung unsur-unsur, air dapat pula mengandung material yang terkandung di dalamnya. Pengukuran suspensi dilakukan dengan dua cara, yaitu pengendapan dan pemisahan, cara pengendapan didasari oleh prinsip perubahan berat jenis suatu zat. Artinya karena berat jenis suatu material yang terlarut dalam air lebih besar daripada berat jenis air itu sendiri, maka jika dидiamkan beberapa saat maka material tersebut lambat laun akan mengendap. Dengan mengetahui

besarnya endapan tersebut secara tidak langsung dapat diketahui besarnya suspensi (Purnamaningtyas, S. E., & Tjahjo, 2017). Sementara itu cara pemisahan dilakukan dengan mendasarkan prinsip bahwa jika banyaknya material yang tersuspensi dapat diketahui beratnya, maka secara langsung dapat diketahui suatu suspensi pada suatu contoh air.

4. **Derajat Keasaman (pH):** Kadar asam atau basa suatu larutan ditunjukkan melalui pH, yaitu konsentrasi ion hidrogen efektif atau merupakan aktivitas ion hidrogen. Ion hidrogen merupakan faktor utama untuk mengetahui suatu reaksi kimiawi. Ion hidrogen selalu ada dalam keseimbangan dinamis dengan air, yang membentuk suasana untuk semua reaksi kimiawi yang berkaitan dengan masalah pencemaran air di mana sumber ion hidrogen tidak pernah habis. Ion hidrogen tidak hanya unsur molekul H_2O saja tetapi juga merupakan unsur dari senyawa lain, hingga jumlah reaksi tanpa H^+ dikatakan sedikit saja. pH mempengaruhi toksisitas suatu senyawa kimia. Senyawa amonium yang dapat terionisasi banyak ditemukan pada perairan yang memiliki pH rendah. Amonium bersifat tidak toksik (innocuous). Namun, pada suasana alkalis tinggi (pH tinggi) lebih banyak ditemukan amonia. Amonia yang tak terionisasi ini lebih mudah terserap ke dalam tubuh organisme akuatik dibandingkan amonium.
5. **Amonia (NH_3):** amonia merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH_4 pada pH rendah dan amonium. Amoniak berasal dari air seni dan tinja serta hasil oksidasi zat organik secara mikrobiologis, yaitu yang berasal dari air buangan industri dan penduduk. Karena rasanya tidak enak, maka kadarnya dalam air minum harus nol.
6. **Phospat (PO_4):** Phospat terdapat dalam air alam atau limbah sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat, dan fosfat-organik. Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi, atau terikat di dalam sel organisme air. Fosfat dapat berasal dari limbah penduduk, industri, dan pertanian. Pemilihan senyawa fosfat yang akan dianalisa

tergantung dari keperluan pemeriksaan dan keadaan badan air. Kimia Perairan 6 Untuk sampel air alam yang jernih dan diperuntukkan bagi air minum, misalnya mungkin hanya diperlukan pemeriksaan fosfat atau ortofosfat terlarut.

7. ***Dissolved Oxygen (DO)***: Atmosfer bumi mengandung oksigen sekitar 210 ml/liter. Adanya oksigen terlarut di dalam air sangat penting untuk menunjang kehidupan organisme air. Kemampuan air untuk membersihkan pencemaran secara alamiah banyak tergantung pada cukup tidaknya oksigen terlarut (DO). Oksigen terlarut dalam air berasal dari udara dan proses fotosintesa tumbuh-tumbuhan air. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap oksigen terlarut dalam air antara lain temperatur, tekanan udara, dan kadar mineral dalam air. Peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10%. Dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik dapat mengurangi kadar oksigen terlarut hingga mencapai nol (anaerob). Semakin tinggi suhu maka kelarutan oksigen berkurang. Kelarutan oksigen dan gas lain juga berkurang dengan meningkatnya salinitas sehingga kadar oksigen di laut lebih rendah daripada di perairan tawar. Di perairan danau, oksigen lebih banyak dihasilkan oleh fotosintesis algae yang banyak terdapat pada mintakat epilimnion (Arifin, 2018). Pada perairan tergenang yang dangkal dan banyak ditumbuhi tanaman air pada zona litoral, keberadaan oksigen lebih banyak dihasilkan oleh aktivitas fotosintesis tumbuhan air.

8. ***Biochemical Oxygen Demand (BOD)***: Biochemical Oxygen Demand merupakan suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organis yang terlarut dan sebagian zat-zat organis tersuspensi di dalam air. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat buangan air penduduk atau industri dan mendesain sistem pengolahan biologis bagi air yang

tercemar. BOD hanya menggambarkan bahan organik yang dapat dikomposisi secara biologis (bioagredable). Bahan organik ini dapat berupa lemak, protein, kanji (strach), glukosa, aldehida, ester, dsb. Dekomposisi selulosa secara biologis berlangsung relatif lambat. Bahan organik merupakan hasil pembusukan tumbuhan dan hewan yang telah mati atau hasil buangan dari limbah domestik dan industri

9. ***Chemical Oxygen Demand (COD)***: *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dalam hal ini K₂Cr₂O₇ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin. 2018. Kondisi Limnologis Waduk Koto Tibun Kabupaten Kampar Provinsi Riau Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia. *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), 1–8.
- Bella, H. M., & Rahayu, S. 2021. Alih Fungsi Lahan Hutan Menjadi Lahan Pertanian Di Desa Berawang, Kecamatan Ketol, Kabupaten Aceh Tengah. *Pros. SemNas. Peningkatan Mutu Pendidikan*, 2(1), 88–91
- Clair N. Sawyer, P. L. 2003. *Chemistry for environmental engineering and science*. New York: McGraw-Hill Companies
- Emilia, I., & Mutiara, D. 2019. Parameter Fisika, Kimia Dan Bakteriologi Air Minum Alkali Terionisasi Yang Diproduksi Mesin Kangen Water Leveluk SD 501. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 16(1), 67. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v16i1.2845>
- Khairul. 2017. Studi Faktor Fisika Kimia Perairan Terhadap Biota Akuatik Di Ekosistem Sungai Belawan. 3, 1132–1140. <https://doi.org/10.31227/osf.io/r2uy8>
- Nurlatifah, A., & Purwaningsih, A. 2018. Kajian Banjir Bandang Di Bima Menggunakan Data Gsmapi (Study of Flash Flood in Bima Using Gsmapi Data). 19(2011), 7–12.
- Purnamaningtyas, S. E., & Tjahjo, D. W. H. 2017. Pengamatan Kualitas Air Untuk Mendukung Perikanan Di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 14(2), 173. <https://doi.org/10.15578/jppi.14.2.2008.173-180>
- Pratiwi, N., Hariyadi, S., Bagoes Soegesty, N., & Yuni Wulandari, D. 2020. Penentuan Status Trofik Melalui Beberapa Pendekatan (Studi Kasus: Waduk Cirata). *Jurnal Biologi Indonesia*, 16(1), 89–98. <https://doi.org/10.47349/jbi/16012020/89>
- Salim, D., Yuliyanto, Y., & Baharuddin, B. 2017. Karakteristik Parameter Oseanografi Fisika-Kimia Perairan Pulau Kerumputan Kabupaten Kotabaru Kalimantan Selatan. *Jurnal Enggano*, 2(2), 218–228. <https://doi.org/10.31186/jenggano.2.2.218-228>

BAB 5

REAKSI-REAKSI KIMIA DI PERAIRAN

Oleh Kasta Gurning

5.1 Pendahuluan

Peraian salah satu bagian yang tidak terpisahkan dari sistem lingkungan dan kehidupan. Lingkungan perairan secara alami mengandung zat-zat terlarut yang melibatkan reaksi-reaksi kimia yang terjadi. Mengetahui kondisi reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam sistem perairan berkaitan erat dengan konsentrasi zat terlarut dan interaksi atau aktivitas zat terlarut dalam medium air. Air sebagai medium atau pelarut utama memiliki sifat-sifat penting yang mendukung terjadinya berbagai reaksi dalam lingkungan perairan. Sifat-sifat penting air yang dimaksudkan antara lain:

1. air dapat membentuk ikatan hidrogen;
2. merupakan pelarut yang sangat baik dalam proses biologis makhluk hidup;
3. memiliki konstanta dielektri tertinggi dibandingkan dengan pelarut lain yang memungkinkan tingginya kelarutan zat-zat ionik dan ionisasinya;
4. memiliki tegangan permukaan yang tertinggi dibandingkan pelarut lainnya;
5. ketika 2 atom hidrogen (H) berikatan dengan 1 atom oksigen menjadi molekul H_2O , mampu membentuk molekul asimetris dengan muatan positif di satu sisi dan muatan negatif di sisi lainnya (membentuk polaritas ikatan);
6. tidak berwarna dan lain sebagainya (Koumanova, 2006).

Proses kimia perairan disamping jenis dan konsentrasi zat terlarut juga dipengaruhi oleh mikroorganisme yang terdapat di dalam air. Proses reaksi-reaksi kimia perairan sebagian besar terjadi di "perairan alami" seperti di laut, sungai, danau, dan bagian lapisan bawah tanah yang mengandung air (lapisan akuifer bawah tanah) (Manahan, 2006). Kualitas perairan berkaitan erat ditunjukkan

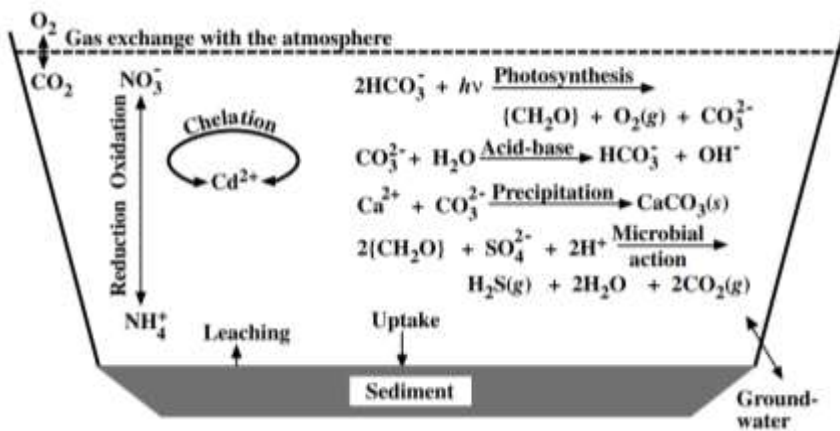
dengan kondisi kualitas air itu sendiri. Suatu lingkungan perairan dinyatakan kondisi baik atau tercemar tercermin dari parameter-parameter kualitas air antara lain parameter fisik, kimia dan biologis (Sitorus *et al.*, 2021).

5.2 Reaksi-reaksi kimia di perairan

Reaksi-reaksi kimia yang terjadi di perairan dapat berupa reaksi biologis (reaksi biotik) dan reaksi abiotik. Reaksi biologis atau biotik yaitu reaksi kimia yang terjadi dengan melibatkan makhluk hidup, seperti reaksi fotosintesis, respirasi, dan reaksi pembusukan (oksidasi) yang melibatkan peran mikroorganisme. Reaksi abiotik yang dimaksudkan yaitu reaksi-reaksi kimia di perairan yang terjadi tanpa melibatkan makhluk hidup, seperti reaksi asam-basa, reduksi-oksidasi, dan reaksi hidrolisis. Jenis reaksi-reaksi kimia yang terjadi juga tidak terlepas dari berbagai zat terlarut yang ada di perairan. Banyaknya zat yang terlarut dalam lingkungan perairan tentu akan mempengaruhi keberlangsungan ekosistem yang ada. Kualitas lingkungan perairan (tercemar atau tidak) sangat tergantung kepada kualitas air itu sendiri. Kualitas lingkungan perairan tersebut dilihat dari sifat fisik, kimia dan biologis dari air. Sifat fisik yang mempengaruhi kualitas air antara lain suhu dan kekeruhan, sifat kimia meliputi salinitas, tingkat keasaman (pH), oksigen yang terlarut dan logam berat. Sifat biologis terlihat dari kemampuan alga dan fitoplankton untuk dapat hidup di lingkungan perairan tersebut (Rino Pratama *et al.*, 2016; Weiner, 2008). Kesemuanya parameter tersebut nantinya akan dibahas lebih lanjut di BAB selanjutnya.

Proses biologis memainkan peran penting dalam berbagai reaksi kimia di perairan. Misalnya, alga yang menjalani fotosintesis dapat meningkatkan pH air dengan menghilangkan CO_2 dalam air, sehingga mengubah ion HCO_3^- menjadi ion CO_3^{2-} ; ion ini selanjutnya bereaksi dengan Ca^{2+} dalam air untuk mengendapkan CaCO_3 . Fenomena reaksi kimia yang terjadi dalam perairan membentuk kesetimbangan secara termodinamik dalam kondisi alamiah, akan tetapi pada kondisi tertentu misalnya jenis bahan pencemar dan konsentrasi yang tinggi akan mempengaruhi kondisi kesetimbangan dan menghasilkan berbagai reaksi kimia dalam lingkungan perairan. Secara umum reaksi kimia yang terjadi di lingkungan perairan dan

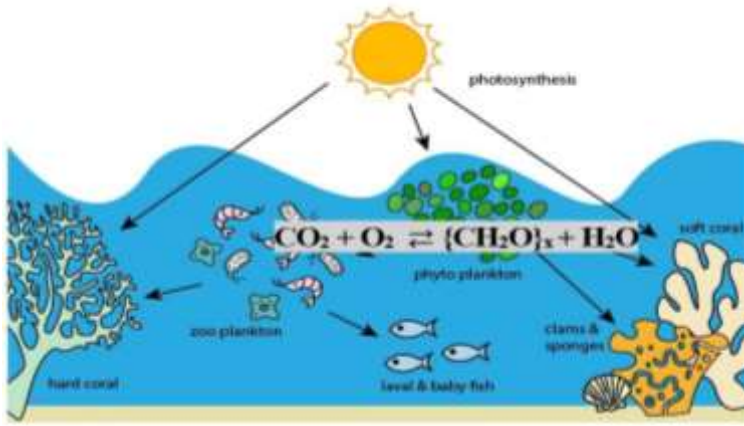
keterkaitannya dengan lapisan tanah dan atmosfer ditunjukkan pada Gambar 5.1 (Manahan, 2000). Beberapa reaksi kimia di lingkungan perairan akan di uraikan pada pokok bahasan ini.



Gambar 5.1. Gambar reaksi kimia secara yang terjadi lingkungan perairan (Manahan, 2000)

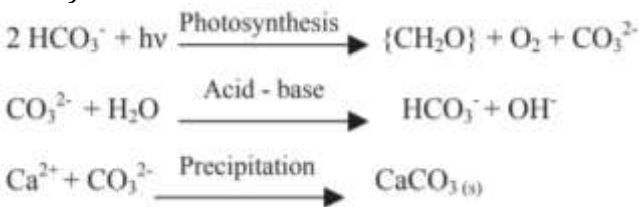
5.2.1 Reaksi fotosintesis

Reaksi-reaksi kimia di perairan yang melibatkan komponen biotik antara lain yaitu proses reaksi fotosintesis, respirasi dan oksidasi yang melibatkan mikroorganisme. Proses fotosintesis ini juga dibedakan menjadi dua bagian yaitu dengan melibatkan oksigen (aerob) dan tanpa oksigen (anaerob). Proses reaksi aerob pada fotosintesis umumnya terjadi di perairan dangkal atau permukaan air dengan bantuan sinar matahari (Gambar 5.2), sedangkan reaksi anaerob terjadi pada lingkungan perairan dengan atau tanpa bantuan sinar matahari. Reaksi fotosintesis pada lingkungan perairan terjadi pada semua tumbuhan hijau yang mengandung klorofil yang dalam hal ini fitoplanton.



Gambar 5.2. Proses reaksi fotosintesis (tanda panah ke kanan) dan respirasi (tanda panah ke kiri)
 (https://answers.seneye.com/en/Aquarium_help/What_is_Plankton%3F)

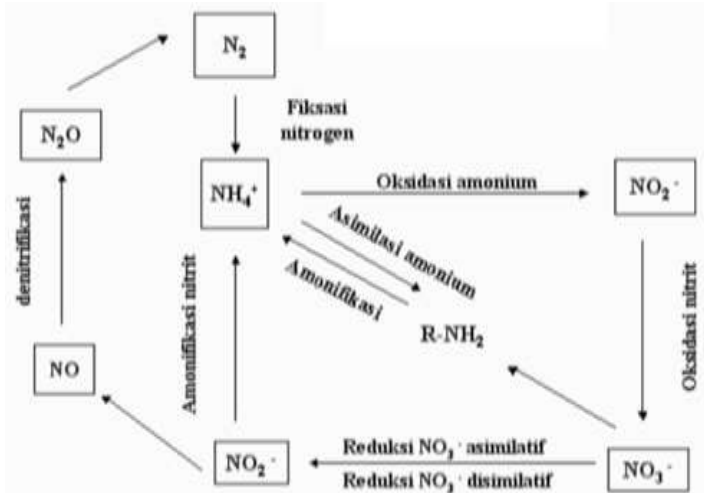
Reaksi fotosintesis yang terjadi dengan oksigen yang terjadi pada fitoplanton pada umumnya sama seperti yang terjadi pada tumbuhan secara umum. Sebagian bakteri dan alga dapat melakukan reaksi fotosintesis tanpa oksigen dengan bantuan sinar matahari dengan memfiksasi karbon anorganik dari ion HCO_3^- dalam bentuk biomassa dalam proses menghasilkan CO_3^{2-} yang dilanjutkan reaksi asam-basa dan reaksi pengendapan dengan ion calcium dan membentuk padatan calcium karbonat (Koumanova, 2006).



5.2.2 Reaksi siklus nitrogen

Nitrogen merupakan senyawa yang terkandung di biosfer. Atmosfir memiliki kandungan sekitar 78% dan pada lingkungan perairan persenyawaan nitrogen dapat berupa nitrogen organik dan anorganik. Persenyawaan yang terdapat dalam lingkungan antara

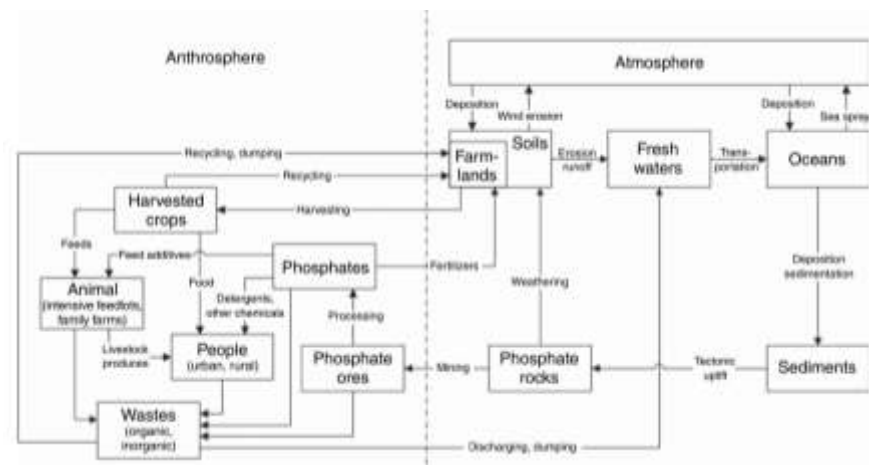
lain amonia (NH_3), ion amonium (NH_4^+), ion nitrit (NO_2^-), dan oin nitrat (NO_3^-) (Hasanuddin, 2011; Hayakawa *et al.*, 2013). Nitrogen organik bersumber dari makhluk hidup yang seperti asam amino, protein, dan urea dari sisa metabolisme makhluk hidup (berupa urin). Keberadaan urea juga dalam lingkungan juga dapat bersumber dari penggunaan pupuk anorganik yang digunakan manusia untuk tanaman. Semua persenyawaan nitrogen tersebut di lingkungan mengalami transformasi atau yang lebih dikenal dengan siklus nitrogen. Siklus nitrogen yang terjadi dalam lingkungan ditunjukkan pada Gambar 5.3 (Hastuti, 2011). Penggunaan pupuk urea dalam lingkungan perairan akan menjadi limbah akan membentuk amonium nitrat (NH_4NO_3) sebagai pengikat oksigen sehingga akan berdampak pada sistem ekosistem lingkungan perairan yang dikenal dengan istilah *eutrofikasi* (Hendrawan *et al.*, 2021; Larasati *et al.*, 2021). Eutrofikasi merupakan pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrient yang berlebihan dalam ekosistem air yang berakibat tidak terkontrolnya pertumbuhan tumbuhan dipermukaan air yang membuat terjadinya kekurangan oksigen dalam air dan terbatasnya intensitas sinar matahari ke perairan yang membuat sistem ekosistem dalam lingkungan perairan terganggu (Nur *et al.*, 2019).



Gambar 5.3. Reaksireaksi yang terjadi dalam siklus nitrogen (Hastuti, 2011).

5.2.3 Reaksi siklus fosfor

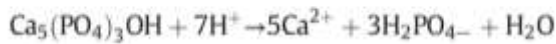
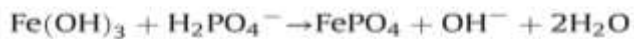
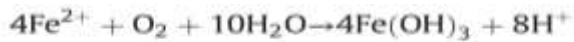
Fosfor merupakan elemen penting dalam ekosistem perairan. Fosfor menjadi unsur hara pembatas yang mengendalikan produksi primer (produksi energi), khususnya di banyak ekosistem perairan (tawar dan laut). Konsentrasi fosfor yang tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan alga dan makrofita yang berlebihan serta masalah kualitas air yang terkait (*eutrofikasi*). Oleh karena itu, penting untuk penilaian dan pengelolaan ekosistem perairan yang berkelanjutan. Fosfor organik mengacu pada beragam kelompok senyawa kimia yang mengandung atom karbon dan fosfor dalam molekul yang sama. Fosfor dilingkungan mengalami siklus atau transformasi. Siklus fosfor yang terjadi dilingkungan (Gambar 5.4) (Baldwin, 2013; Liu *et al.*, Chen, 2008).



Gambar 5.4. Siklus forfor dan sumbernya
(Liu and Chen, 2008)

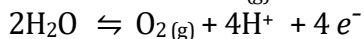
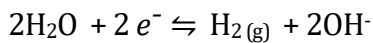
Penambahan kandungan fosfor di lingkungan dapat bersumber dari pupuk anorganik dan organik (pupuk kandang) dan degradasi serta dekomposisi bahan organik dari makhluk hidup. Fosfor banyak di temukan di lingkungan dalam bentuk batuan dan sedimen di laut sebagai persenyawaan garam fosfat. Garam fosfat yang dilepaskan dari batuan melalui pelapukan biasanya larut dalam air tanah dan akan diserap tanaman (makhluk hidup). Persenyawaan fosfor yang terbentuk pada lapisan sedimen hasil

reaksinya dengan kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), besi (Fe^{3+}), dan aluminium (Al^{3+}). Reaksi fosfor sangat bergantung pada tingkat keasaman. Fosfor terlarut dalam larutan di tanah bereaksi dengan Fe dan Al membentuk persenyawaan dengan kelarutan rendah. Reaksi yang terjadi antara forfor dengan Fe dan reaksi penglarutan persenyawaan forfor yang mengandung Ca yang terdapat pada batuan dengan kondisi asam sebagai berikut (Zhu *et al.*, 2018):



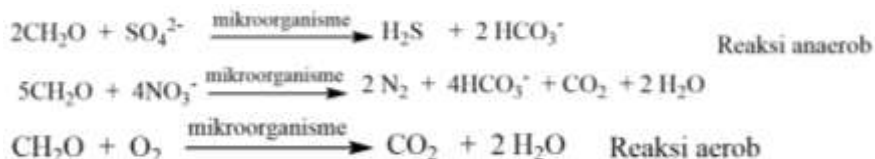
5.2.4 Reaksi reduksi- oksidasi

Reaksi reduksi-oksidasi (redoks) merupakan reaksi kimia yang umum terjadi dalam sistem lingkungan (lingkungan perairan, tanah dan operasi remediasi) (Rich and Maier, 2015). Reaksi reduksi-oksidasi dalam air melibatkan perpindahan elektron antar spesies kimia. Ketika aktivitas elektron relatif tinggi, spesies kimia termasuk air cenderung menerima elektron mengalami reaksi reduksi. Ketika aktivitas elektron rendah, maka air cenderung melepaskan eltron dengan mengalami reaksi oksidasi (Manahan, 2003).



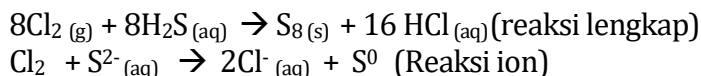
Banyak reaksi reduksi-oksdiiasi yang terjadi di perairan yang dikatalisis oleh bakteri. Misalnya, bakteri melakukan reaksi mengubah nitrogen anorganik menjadi ion amonium (NH_4^+) dilapisan badan air yang kekurangan oksigen. Pada lapisan permukaan bakteri mengubah nitrogen anorganik menjadi ion nitrat (NO_3^-). Reaksi reduksi-oksidasi digunakan bakteri dalam air untuk menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan reproduksi (Koumanova, 2006). Beberapa bakteri memerlukan oksigen untuk kebutuhan metabolisme disebut bakteri aerob. Bakteri anaerob lainnya mengekstraksi oksigen dari sumber seperti NO_3^- , SO_4^{2-} dan

materi lain yang direpresentasikan sebagai $\{CH_2O\}$ (Koumanova, 2006; Wen *et al.*, 2017). Reaksi paling umum yang dimediasi bakteri dalam air adalah oksidasi bahan organik (Aryasa *et al.*, 2023):



Oksigen sebagai agen pengoksidasi yang paling umum yang terdapat dalam lingkungan. Ketika potensi redoks yang terukur dalam air bernilai positif menunjukkan kondisi oksidasi yang terdapat oksigen terlarut (DO) tinggi yang memungkinkan banyaknya spesies logam dan organik yang teroksidasi. Kondisi ini menyebabkan terjadinya perubahan komposisi alamiah dan dapat dijadikan sebagai indikator toksisitas dan kelarutan dalam lingkungan perairan (Weiner, 2008). Kondisi oksidasi atau reduksi dalam air ditunjukkan dengan besaran yang terukur yang dikenal dengan potensial redoks. Potensial reduksi – oksidasi (Potensial Redoks) mengukur ketersediaan elektron yang dipertukarkan antar spesies kimia yang ada dalam lingkungan perairan. Ketika elektron dipertukarkan membuat spesies bilangan oksidasi dari persenyawaan atau atom kimia menjadi berubah. Spesies kimia yang bersifat donor elektron akan disebut dengan reduktor atau spesies yang mengalami reaksi oksidasi, sedangkan spesies kimia yang bersifat aseptor elektron disebut dengan oksidator atau spesies yang mengalami reaksi reduksi (Weiner, 2008). Misalnya, klorin merupakan suatu spesies zat kimia yang bertindak sebagai pengoksidasi yang kuat dan banyak digunakan dalam proses pengolahan air dan limbah. Klorin sebagai pengoksidasi kuat dibandingkan oksigen mampu mengoksidasi berbagai spesies zat kimia yang berbahaya khususnya di lingkungan perairan menjadi suatu spesi zat kimia yang tidak berbahaya. Misalnya oksidasi senyawa hidrogen sulfida (H_2S) di lingkungan dengan klorin menghasilkan endapan belerang, sehingga bisa dipisahkan atau di eliminasi dari lingkungan dengan penyaringan. Senyawa H_2S di lingkungan merupakan polutan yang menyebabkan pencemaran air

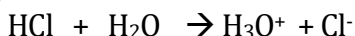
dan udara (aroma telur busuk) disaat dioksidasi klorin akan mengurangi dan menghilangkan keberadaan cemaran H_2S . Reaksi yang terjadi melalui reaksi redoks sebagai berikut (Weiner, 2008):



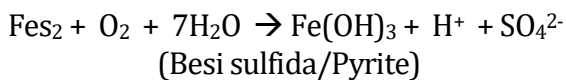
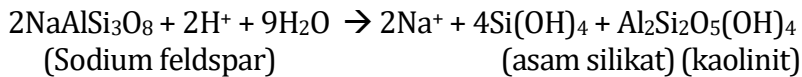
Dari persamaan reaksi itu terlihat jelas bahwa yang bertindak sebagai agen pengoksidasi yaitu Cl_2 dengan bilangan oksidasi 0 menjadi Cl^- dengan bilangan oksidasi -1 (reaksi reduksi) dan sebagai agen pereduksi yaitu S^{2-} dengan bilangan oksidasi -2 menjadi S^0 bilangan oksidasi 0 (reaksi oksidasi).

5.2.5 Reaksi asam basa

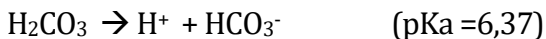
Reaksi kimia asam-basa sangat berkaitan erat dengan sifat zat kimia itu sendiri yang didasarkan pada kekuatan sifat asamnya (*power of hidrogen*). Berdasarkan sifat kekuatan asamnya, kita mengetahui ada 3 teori yang mendasarinya yaitu (1) teori Arrhenius, (2) teori Bronsted-Lowry, dan (3) teori Lewis. Teori Arrhenius menyatakan bahwa zat yang bersifat asam yaitu semua zat yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hidrogen (H^+), sedangkan basa yaitu suatu zat yang jika dilarutkan dalam air menghasilkan ion hidroksida (OH^-). Teori Bronsted-Lowry ditinjau dari perpindahan proton (ion H^+), dimana asam yaitu donor proton dan basa itu aseptor proton. Teori Lewis ditinjau dari pasangan elektron, dimana asam yaitu aseptor pasangan elektron sedangkan basa yaitu donor pasangan elektron. Berdasarkan definisi tersebut dikatakan suatu zat mengalami reaksi asam-basa jika salah spesies kimia mendonorkan proton (ion H^+) ke spesies kimia yang lainnya. Donor proton yang menyumbangkannya ion H^+ adalah asam dan akseptor proton yang menerima ion H^+ adalah basa. Artinya bahwa dalam suatu reaksi itu ada spesies kimia yang bersifat asam dan ada yang bersifat basa. Misalnya, jika suatu asam seperti asam klorida (HCl), dilarutkan dalam air, air bertindak sebagai basa dengan menerima proton yang disumbangkan oleh HCl . Reaksi asam basa ditulis sebagai.



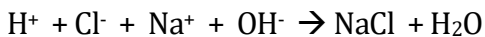
Reaksi asam-basa dan reaksi yang lain dapat terjadi sangat tergantung dari berbagai jenis zat terlarut atau terdapat di lingkungan perairan. Reaksi lain misalnya, pelapukan dari berbagai batuan karena ekspansi dan kontraksi termal atau abrasi fisik batuan yang disebabkan oleh air dan dan pelapukan batuan pirit (*pyrite*) dengan air dan oksigen.



Reaksi lain yang terjadi di lingkungan perairan yaitu disosiasi asam karbonat dari gas karbon dioksida yang terlarut dalam air pada kondisi pH 5,6 (Clark *et al.*, Macquarrie, 2002).



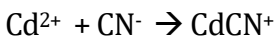
Hasil dari reaksi asam-basa yaitu garam. Garam yang terbentuk dapat membentuk garam yang memiliki kelarutan yang tinggi dalam air sehingga berwujud cair, dan jika garam yang terbentuk memiliki kelarutan yang rendah dalam air maka akan membentuk padatan dan mengendap di lapisan tanah. Lingkungan perairan yang memiliki kandungan garam yang paling tinggi yaitu di laut. Contoh reaksi asam basa yang menghasilkan garam dengan kelarutan yang tinggi dalam air yaitu :



Garam NaCl yang dihasilkan dalam air akan membentuk ion natrium (Na^+) dan ion klorida (Cl^-) hal ini karena persenyawaan garam tersebut (NaCl) memiliki kelarutan yang tinggi dalam air sehingga membentuk ion-ionnya. Contoh lain yaitu garam natrium karbonat (Na_2CO_3).

5.2.6 Pembentukan senyawa kompleks dan khelasi

Reaksi pembentukan senyawa kompleks dan khelasi di lingkungan perairan dimungkinkan terjadi mengingat keberadaan logam (khususnya logam berat) yang terlarut. Ion logam dalam bentuk ion terhidrasi dinyatakan dengan rumus umum $M(H_2O)_x^{n+}$, sehingga air air bertindak sebagai ligan dalam persenyawaan kompleksnya. Persenyawaan kompleks lain dapat terbentuk disaan ligan yang lain terdapat dalam lingkungan perairan misalnya ligan ion sianida (CN^-) dan ion cadmium (Cd^{2+}) yang bersumber dari limbah dan terdapat dalam lingkungan perairan, maka ion cadmium akan bereaksi dengan ion sianida sebagai berikut (Manahan, 2003).



Senyawa yang terbentuk yaitu senyawa kompleks dengan CN^- bertindak sebagai ligan bukan air. Beberapa ligan dapat bertindak sebagai agen pengkhelat karena dapat memiliki kemampuan untuk dapat berikatan dengan dua atau lebih ion logam dan membentuk senyawa kompleks yang sangat stabil. Agen pengkhelat dalam persenyawaan ini dapat dari persenyawaan organik atau anion. Selain kompleks logam dan khelat, jenis spesies logam penting lainnya yang penting bagi lingkungan terdiri dari senyawa organologam. Ini berbeda dari kompleks dan khelat karena bagian organik terikat pada logam melalui ikatan karbon-logam dan ligan organik seringkali tidak mampu berada sebagai spesies terpisah yang stabil. Kompleksasi, khelasi, dan pembentukan senyawa organologam mempunyai pengaruh yang kuat terhadap logam di lingkungan. Misalnya, kompleksasi dengan ligan bermuatan negatif dapat mengubah kation logam terlarut, yang mudah terikat dan tidak dapat bergerak melalui proses pertukaran ion di dalam tanah, menjadi anion, seperti $Ni(CN)_4^{2-}$, yang tidak terikat kuat oleh tanah. Persenyawaan kompleks lain yang dapat terjadi dalam lingkungan perairan semuanya tergantung dari logam-logam yang terlarut yang ada dalam lingkungan perairan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryasa, I.W.T., Ngibad, K., Asnawi, I., Rahmi, H., Gurning, K., Fahmi, A., Sinardi, *et al.* 2023. *Kimia Ramah Lingkungan*, edited by Sari, M., Pertama., CV. Get Press Indonesia, Padang.
- Baldwin, D.S. 2013. "Organic phosphorus in the aquatic environment", *Environmental Chemistry*, Vol. 10 No. 6, pp. 439–454, doi: 10.1071/EN13151.
- Clark, J.H. and Macquarrie, D.J. 200. *Handbook of Green Chemistry and Technology*, Blackwell Science.
- Hasanuddin. 2011. "Kondisi pH terhadap denitrifikasi air limbah nitrogen menggunakan reaktor berbatuan isian batu belerang dan batu kapur", *Inovasi*, Vol. 8 No. 2, pp. 237–247.
- Hastuti, Y.P. 2011. "Nitrifikasi dan denitrifikasi di tambak", *Jurnal Akuakultur Indonesia*, Vol. 10 No. 1, pp. 89–98.
- Hayakawa, A., Hatakeyama, M., Asano, R., Ishikawa, Y. and Hidaka, S. 2013. "Nitrate reduction coupled with pyrite oxidation in the surface sediments of a sulfide-rich ecosystem", *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, Blackwell Publishing Ltd, Vol. 118 No. 2, pp. 639–649, doi: 10.1002/jgrg.20060.
- Hendrawan, A.K.F., Afiati, N. and Rahman, A. 2021. "Laju nitrifikasi pada bioremediasi Air limbah organik menggunakan *Chlorella* sp. dan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi", *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, Institut Pertanian Bogor, Vol. 11 No. 2, pp. 309–323, doi: 10.29244/jpsl.11.2.309-323.
- Koumanova, B. 2006. "Fate of chemicals in the aquatic environment", in Simeonov, L. and Chirila, E. (Eds.), , Springer.
- Larasati, N.N., Wulandari, S.Y., Maslukah, L., Zainuri, M. and Kunarso. 2021. "Kandungan pencemar deterjen dan kualitas air di perairan muara sungai Tapak, Semarang", *Indonesian Journal of Oceanography*, Vol. 3 No. 1, pp. 1–13.
- Liu, Y. and Chen, J. 2008. *Phosphorus Cycle*, Elsevier.
- Manahan, S.E. 2000. *Environmental Chemistry*, 7th ed., Lewis Publishers.

- Manahan, S.E. 2003. *Toxicological Chemistry and Biochemistry*, Lewis Pub.
- Manahan, S.E. 2006. *Green Chemistry and the Ten Commandments of Sustainability*, 2nd ed., ChemChar Research, Inc.
- Nur, A., Alfionita, A., Kaseng, E.S., Program, A., Pendidikan, S. and Pertanian, T. 2019. "Pengaruh eutrofikasi terhadap Kualitas Air di Sungai Jeneberang", *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, Vol. 5, pp. 9–23.
- Rich, V.I. and Maier, R.M. 2015. "Aquatic Environments", *Environmental Microbiology: Third Edition*, Elsevier Inc., pp. 111–138, doi: 10.1016/B978-0-12-394626-3.00006-5.
- Rino Pratama, D., Yusuf, M., Helmi, M. and Perairan selatan Kabupaten, A. 2016. "Kajian kondisi dan sebaran kualitas air di perairan selatan kabupaten Sampang, provinsi Jawa Timur", *Jurnal Oseanografi*, Vol. 5 No. 4, pp. 479–488.
- Sitorus, E., Sutrisno, E., Armus, R., Gurning, K., Fatma, F., Parinduri, L., Chaerul, M., *et al.* 2021. *Proses Pengolahan Limbah*, edited by Watrianthos, R., 1st ed., Yayasan Kita Menulis, Medan.
- Weiner, E.R. 2008. *Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A Practical Guide*, CRC Press.
- Wen, M., Ma, Z. and Jiang, P. 2017. "Study on redox zones of petroleum hydrocarbon contamination in groundwater environment", *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1820, American Institute of Physics Inc., doi: 10.1063/1.4977297.
- Zhu, J., Li, M. and Whelan, M. 2018. "Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review", *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., Vol. 612, pp. 522–537, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.095.

BAB 6

POLUTAN, PENCEMARAN AIR DAN PENJERNIHAN AIR

Oleh Mohammad Istnaeny Hudha

6.1 Pendahuluan

Salah satu sumber daya alam yang memainkan peran krusial dan sangat penting dalam kehidupan adalah air. Air berperan sebagai penyelenggara kehidupan untuk semua makhluk yang ada di atas permukaan bumi. Sebesar komponen penyusun di tubuh manusia adalah air. Begitu juga dengan komponen yang ada di alam, air memiliki komposisi yang cukup besar yaitu sekitar 70%. Tanpa air kehidupan di dunia akan musnah. Jumlah air yang ada di bumi tetap, mengalami perubahan dari satu bentuk ke bentuk lainnya, melalui suatu proses perputaran air yang disebut siklus air. Siklus air adalah fenomena alam yang terus-menerus terjadi di lingkungan, di mana air yang ada di laut, danau, rawa, dan tempat lainnya menguap dan bermetamorfosis menjadi uap. Setelah mengalami proses kondensasi dan presipitasi, air kembali ke permukaan bumi dalam bentuk hujan, termasuk salju. Dari rangkaian siklus ini, terbentuklah air bersih (potable water) yang dianggap relatif aman untuk dikonsumsi oleh manusia dan hewan. Terkait dengan kondisi tersebut, peran manusia dalam menjaga kondisi air agar tidak tercemar menjadi suatu tugas yang tidak boleh diabaikan. Pencemaran yang terjadi di perairan akan mengakibatkan polusi, konsekuensinya kehidupan manusia pun akan terganggu. Pencemaran perairan biasanya terjadi karena kontaminan antropogenik dimana kemampuan air mendukung komunitas penyusun biotik menurun.

6.2 Polutan

Polutan merupakan bahan kimia atau material yang dapat menambah konsentrasi diatas kondisi normal sehingga dapat mendatangkan kerusakan pada lingkungan. Pencemar air tidak hanya membahayakan satu spesies organisme, melainkan juga memiliki efek negatif terhadap semua jenis organisme dan ekosistem serta kualitas air. Suatu perairan dikatakan tercemar apabila terjadi penambahan material atau bahan kimia dalam jumlah besar, sehingga tidak layak digunakan. Pada umumnya pencemaran disebabkan oleh aktivitas manusia. Identifikasi yang paling mudah adalah dengan cara melakukan pengamatan berkurangnya jumlah spesies binatang air.

Secara umum ada tiga macam polutan (Suyono, 2014), diantaranya adalah :

1. Polutan yang dapat diserap oleh lingkungan dalam jumlah kecil atau sama sekali tidak mampu diserap lingkungan karena terjadi akumulasi, sering disebut *stock pollutant*
2. Polutan yang mampu diserap oleh lingkungan dan tidak meyebabkan kerusakan lingkungan jika kadarnya berlebih. Biasanya polutan ini dapat diubah menjadi zat yang tidak berbahaya. Sering disebut dengan nama *fund pollutant*
3. Polutan yang dapat mengganggu lingkungan seperti logam berat, polutan organik persiten dsb. Sering disebut sebagai *notable pollutant*

Adapun sumber polusi yang biasanya masuk ke perairan ada dua jenis yaitu polusi alam yang berasal dari faktor alam dan polusi antropogenik yang dihasilkan oleh aktivitas manusia (Effendi, 2003)

Definisi pencemaran air dijabarkan dalam Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 02/MENLH/I/1998, yang mendefinisikan pencemaran sebagai proses masuknya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, kurang atau tidak dapat berfungsi lagi dengan peruntukannya. Definisi ini juga dipertegas dalam UU No. 3 Tahun 1997, yang menyatakan pencemaran air adalah menurunnya kualitas air akibat masuknya makhluk hidup, zat, energi ke dalam air akibat aktivitas

manusia. Kondisi tersebut dapat terjadi karena akibat kegiatan manusia, contohnya kebiasaan membuang sampah ke perairan.

Air yang berada di alam tidak berada pada kondisi murni karena air merupakan salah satu jenis pelarut bagi beberapa komponen. Air disebut mengalami polusi bila jumlah bahan asing dalam air memiliki jumlah yang melampaui batasan yang telah ditetapkan untuk penggunaan dalam kegiatan tertentu. Adanya objek asing dalam jumlah melebihi kondisi normal, maka air tersebut mengalami polusi.

Salah satu indikator bila air mengandung polutan adalah timbulnya rasa tertentu. Dimana rasa biasanya berkorelasi dengan bau, sehingga bila air memiliki bau tertentu yang tidak normal maka biasanya air akan memiliki rasa tertentu pula. Terdapat beberapa petunjuk yang bisa digunakan sebagai parameter, bahwa air tersebut terkena polusi atau mengandung polutan, diantaranya adalah :

1. Fisis

Adalah parameter yang dapat diamati berdasarkan fisiknya misalnya tingkat kejernihan, suhu, warna dan adanya rasa atau bau

2. Kimiawi

Merupakan pengamatan yang dilakukan secara kimiawi misalnya keberadaan senyawa kimia yang larut dalam air yang memengaruhi tingkat keasaman (pH) air

3. Biologis

Merupakan pengamatan yang dilakukan berdasarkan adanya mikroorganisme yang ada dalam perairan, diantaranya adalah adanya bakteri patogen dalam air

Beberapa usaha atau aktivitas sehari-hari yang bisa dilakukan agar meminimalisir tingkat polusi air, diantaranya adalah :

1. Mengurangi pemakaian pupuk kimia dan beralih menggunakan pupuk organik
2. Melarang penggunaan peledak untuk menangkap ikan
3. Memproses terlebih dahulu limbah cair industri sebelum dilepaskan ke sungai

4. Memilih bahan baku dalam suatu produksi yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui
5. Memastikan tidak adanya kebocoran pada saat eksplorasi minyak di lepas pantai

Buangan limbah cair yang dibuang ke perairan dikelompokkan dalam dua golongan, yaitu buangan limbah yang diketahui secara pasti sumber awalnya dapat berasal dari limbah industri maupun domestik, serta campuran limbah yang tidak dapat diidentifikasi dengan pasti. Biasanya merupakan hasil limpasan dari limbah pertanian maupun limbah pemukiman

6.3 Pencemaran Air

Menurut Peraturan Pemerintah No 20 Tahun 1990, menyebutkan bahwa pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas dari air tersebut turun hingga batas tertentu yang menyebabkan air tidak berguna lagi sesuai dengan peruntukannya.

Ada beberapa sumber yang menyebabkan terjadinya polusi air, diantaranya adalah :

1. Limbah industri, merupakan limbah yang timbul dari suatu proses produksi dapat berwujud limbah cair atau padat, seperti limbah cair proses pencucian bahan baku, limbah sisa produksi
2. Limbah pertanian seperti penggunaan pupuk kimia
3. Limbah domestik/rumah tangga dari kegiatan sehari-hari seperti limbah cair dari Masak Mandi Cuci (MCK), limbah cucian, limbah cair kegiatan memasak.

Untuk dapat mengetahui tingkat pencemaran air, dapat dipakai beberapa indikator yang meliputi :

1. Indikator secara Kimia
 - a. Tingkat keasaman (pH)
Persyaratan tingkat keasaman bagi kehidupan biota air, berkisar pada 6,5 – 7,5. Pada pH dibawah 7 maka air bersifat asam dan diatas pH 7 air bersifat basa.

Pembuangan limbah ke badan sungai akan mempengaruhi nilai tingkat keasaman sehingga akan mengganggu kehidupan biota tersebut.

b. Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO)

Dissolved Oxygen merupakan jumlah oksigen terlarut dalam air yang berasal dari fotosintesa dan absorpsi atmosfer/udara. Oksigen terlarut di suatu perairan sangat berperan dalam proses penyerapan makanan oleh makhluk hidup dalam air yang kemudian menghasilkan energi untuk pembiakan dan pertumbuhan. Untuk mengetahui kualitas air dalam suatu perairan, salah satunya adalah oksigen terlarut (DO). Semakin besar jumlah oksigen terlarut (DO), maka kualitas air semakin baik, jika kadar oksigen terlarut yang terlalu rendah akan menimbulkan bau yang tidak sedap akibat degradasi anaerobik yang mungkin saja terjadi. Kadar oksigen terlarut yang rendah di perairan akan memicu peningkatan kadar toksisitas zink, lead sianida, hydrogen sulfida dan ammonia. Pada permukaan perairan, biasanya kadar DO akan lebih tinggi karena adanya proses fotosintesis dan proses difusi antara air dengan udara bebas. Sebaliknya kadar oksigen terlarut semakin menurun dengan bertambahnya kedalaman karena oksigen lebih banyak digunakan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik serta pernafasan. Kadar ideal bagi perairan memiliki kadar oksigen terlarut sekitar 5 ppm (Effendi, 2003)

c. Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand*, BOD)

Biochemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan (membelah) materi organik. Bahan organik dijadikan sebagai sumber makanan dalam suatu rangkaian reaksi yang kompleks. Secara umum BOD digunakan sebagai salah satu indikator untuk menilai tingkat pencemaran perairan. Dimana nilai BOD dipengaruhi oleh suhu, jenis

kandungan bahan organik, suhu, keberadaan mikroba dan plankton. Perairan yang tidak tercemar memiliki kadar BOD sekitar 0,5 – 7,0 ppm. Perairan yang mempunyai BOD lebih dari 10 ppm dianggap telah mengalami pencemaran (Effendi 2003)

- d. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*, COD)

Chemical Oxygen Demand merupakan Pengukuran jumlah oksigen yang setara dari materi organik dan anorganik dalam sampel air, yang dapat dioksidasi oleh agen pengoksidasi kuat seperti contohnya bichromate. COD umumnya digunakan untuk mengukur bahan organik atau anorganik yang mampu dioksidasi dalam perairan alami, limbah domestic dan industri. Konsentrasi COD pada perairan yang tidak mengalami pencemaran berada dalam rentang ± 20 mg/l

2. Indikator secara Fisika

- a. Temperatur

Temperatur suatu perairan terpengaruh oleh musim, sirkulasi udara, ketinggian permukaan air laut, aliran, dan kedalaman

- b. Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid*, TSS)

Total suspended solid biasanya tertahan pada sarngan yang memiliki diameter pori sekitar 0,45 μm . TSS melibatkan keberadaan lumpur dan pasir halus yang memiliki kemampuan mengurangi intensitas cahaya yang tersebar di dalam air.

Penyebab Pencemaran Air

Sumber penyebab terjadinya pencemaran, dibedakan menjadi dua katagori yaitu sumber kontaminan langsung dan tidak langsung. Sumber kontaminan langsung timbul dari pembuangan limbah cair industri, lokasi pembuangan sampah akhir (TPA), rumah tangga, dan sejenisnya. Di sisi lain, sumber kontaminan tidak langsung melibatkan zat pencemar yang masuk ke dalam perairan melalui tanah, air tanah, atau atmosfer dengan perantara air hujan.

Dampak yang ditimbulkan oleh adanya pencemaran memiliki karakter yang berbeda-beda sesuai sumber pencemarannya, misalnya:

1. Peningkatan kadar nutrisi yang menghasilkan eutrofikasi.
2. Sampah organik menyebabkan peningkatan kebutuhan oksigen dalam air yang menerima sampah tersebut, menyebabkan penurunan kadar oksigen yang dapat memiliki dampak serius pada seluruh ekosistem.
3. Pencemar industri melibatkan unsur-unsur seperti logam berat, zat toksik organik, minyak, nutrisi, dan partikel padat.

Dampak Pencemaran Air

1. Dampak terhadap kehidupan biota air.
Ketersediaan oksigen terlarut dalam air dapat menurun akibat tingginya tingkat pencemaran dalam suatu perairan. Kehidupan dalam air yang bergantung pada oksigen terpengaruh dan mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Akibatnya, bakteri mengalami kematian, dan proses alami penyaringan air yang seharusnya terjadi pada air limbah menjadi terhambat.
2. Dampak terhadap kualitas air tanah
Pencemaran air pada tanah diukur melalui faecal coliform, dapat dinilai dengan melihat hasil survei sumur dangkal, yang menunjukkan adanya pencemaran air dalam skala yang signifikan. Beberapa studi yang telah dilakukan juga menunjukkan indikasi terjadinya pencemaran tersebut.
3. Dampak terhadap Kesehatan
Dampak dari pencemaran air terhadap kesehatan dapat menyebabkan penyebaran berbagai penyakit, termasuk:
 - a. Air berfungsi sebagai lingkungan hidup bagi mikroba patogen.
 - b. Air dapat menjadi tempat berkembang biak dan penyebaran penyakit.
 - c. Ketersediaan air yang tidak mencukupi dapat menghambat kemampuan individu untuk menjaga kebersihan diri.

- d. Air berperan sebagai tempat hidup bagi vektor penyakit.
4. Dampak terhadap estetika lingkungan
Peningkatan jumlah zat organik yang dibuang ke dalam lingkungan perairan akan menyebabkan pencemaran yang ditandai oleh aroma yang tajam. Selain itu, terdapat tumpukan yang dapat mengurangi keindahan lingkungan.

6.4 Penjernihan Air

Penjernihan air merupakan tahapan proses pengolahan air dengan tujuan agar air memenuhi kriteria sesuai kebutuhannya, misalnya untuk dikonsumsi sebagai air minum, air proses industri, untuk kepentingan medis dan sebagainya. Proses penjernihan air dapat diartikan sebagai transformasi sifat fisik, kimia, dan biologis air mentah untuk memenuhi standar penggunaan sebagai air minum. Secara keseluruhan, penjernihan air bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi kadar pencemar pada kadar tertentu agar memenuhi persyaratan sesuai kepentingan dan kebutuhannya. Salah satu pemanfaatan tersebut adalah mengembalikan air yang telah dipakai dalam suatu proses kembali ke sumber air tanpa menimbulkan dampak atau pengaruh yang merugikan terhadap kualitas lingkungan.

Proses penjernihan air memiliki tujuan, diantaranya adalah:

1. Mengurangi total suspended solid yang berkorelasi terhadap tingkat kekeruhan
2. Mengurangi bau, rasanya, dan perubahan warna
3. Mengurangi serta menghilangkan mikroorganisme
4. Menurunkan jumlah bahan yang dapat larut dalam air
5. Menurunkan tingkat kesadahan
6. Menstabilkan tingkat keasaman (pH)

Tahapan Penjernihan Air

Terdapat beberapa langkah dalam proses penyaringan air, diantaranya adalah :

1. Sedimentasi atau pengendapan
Pengendapan adalah tahapan awal pemisahan air dengan menggunakan gaya gravitasi untuk memisahkan partikel-

padat dalam air, di mana partikel yang memiliki berat jenis lebih tinggi daripada air akan mengendap di dasar wadah. Proses pengendapan juga dapat dilakukan dengan menambahkan koagulan dan flokulan untuk mempercepat pengendapan

2. Penyaringan

Penyaringan disebut juga dengan filtrasi, adalah teknik pemisahan partikel-padat yang terlarut dalam air berdasarkan ukurannya, dengan tujuan memisahkan air dari partikel-padatan seperti kayu, daun, pasir, dan lumpur. Pada proses filtrasi tingkat lanjut, biasanya ukuran partikel yang dipisahkan memiliki ukuran yang sangat kecil, misalnya dalam skala mikron

3. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pemisahan dimana ion tertahan di bagian permukaan zat penyerap (adsorban)

4. Absorpsi

Absorpsi merupakan penyerapan bahan-bahan tertentu yang terlarut dalam air dimana proses pengikatannya sampai pada partikel penyerapnya. Bahan penyerap yang digunakan disebut dengan absorben. Absorben inilah yang akan digunakan sebagai filter. Absorben yang banyak digunakan adalah karbon aktif seperti arang batok kelapa dan batu bara

DAFTAR PUSTAKA

- Deazy Rahmawati, 2011. Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diwak di Bergas Kabupaten Semarang dan Upaya Pengendalian Pencemaran Sungai, Thesis, Undip Semarang
- Effendi, Hefni, 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. Kep-02/MENLH/I/1998, 1998. Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan, Jakarta
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 736/MENKES/PER/VI/2010, 2010, Tatat Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum. Jakarta
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 20 Tahun 1990, 1990, Pengendalian Pencemaran Air, Jakarta.
- Salmin, 2000. *Kadar Oksigen Terlarut di Perairan Sungai dadap, Goba, Muara Karang dan Teluk Banten.: For a-minifera sebagai Bioindikator Pencemaran*, P3O-LIPI, Jakarta
- Suyono, 2014. *Pencemaran Kesehatan Lingkungan*. Penerbit Buku Kedokteran EGC: Jakarta
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 1997, 1997. Pengelolaan Lingkungan Hidup, Jakarta
- Tarwaka, 2008, Keselamatan dan Kesehatan Kerja: Manajemen dan Implementasi K3 di Tempat Kerja, Harapan Press, Surakarta

BAB 7

GEOSFER DAN KIMIA TANAH

Oleh Efrinda Ari Ayuningtyas

7.1 Fenomena Geosfer dalam Perspektif Geografi

7.1.1 Definisi dan Sejarah Geografi

Geografi merupakan ilmu yang mempelajari tentang bumi yang di dalamnya memuat unsur-unsur di permukaan bumi atau geosfer yang meliputi hidrosfer, litosfer, pedosfer, biosfer, antroposfer, dan atmosfer yang dipelajari melalui pendekatan keruangan atau spasial, ekologi, dan kompleks wilayah. Definisi umum tersebut sejalan dengan perspektif lain yang menyebutkan bahwa geografi adalah salah satu bidang ilmu yang secara saintifik bersifat komprehensif dan objek materialnya sangat luas (Holt-Jensen, 2003). Ketiga pendekatan tersebut merupakan sebuah katrol untuk menganalisis berbagai fenomena dan permasalahan di muka bumi. Hal inilah yang membedakan geografi dengan bidang ilmu lainnya (Suharsono dan Budi, 2006).

Peran geografi sangat besar bagi dunia dan ini dimulai sejak abad ke 12 melalui pembuatan peta dunia yang memuat informasi jalur perdagangan dan fisiografis muka bumi seperti gunung, lembah, dan sungai yang kemudian dimanfaatkan oleh Christopher Colombus hingga penemuan benua Amerika pertama kali (Effendi dan Akmal, 2020). Hingga saat ini, geografi masih eksis bahkan penerapannya dimanfaatkan oleh rumpun ilmu lainnya. Adapun eksistensinya lebih kepada konsep ruang seperti unsur keruangan, hubungan antar ruang, dan dinamika keruangan (Kavouras, 2000). Dalam hal ini, permasalahan seperti alih fungsi penggunaan lahan merupakan salah satu eksistensi geografi dalam konteks keruangan dalam berbagai keterkaitan dan dampak perubahan lainnya dari waktu ke waktu.

Geografi pada hakekatnya terus mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan ilmu dan teknologi serta peningkatan kompleksitas permasalahan yang ditemukan di lapangan. Pada

masa abad ketiga dan kedua sebelum masehi yaitu pada masa Yunani dan Romawi kuno, Eratosthenes (276-196 SM) telah banyak mengkaji tentang ilmu geografi, sehingga kemudian melalui karya besarnya yaitu *Geographika*, beliau diangkat menjadi “Bapak Geografi”. Selanjutnya menurut (Rosenberg, 2006) menyebutkan sejarah perkembangan geografi diteruskan oleh Alexander von Humboldt yang kemudian dianggap sebagai “*founder of modern geography*” atau dikenal dengan “pendiri Geografi modern”. Beliau mencetuskan adanya pengembangan geografi menjadi dua cabang ilmu yaitu geografi fisik dan geografi manusia yang hingga saat ini keduanya terintegrasi di dalam geografi regional.

Kompleksitas kelimuan geografi sering ditemukan bersinggungan dengan rumpun ilmu lainnya, sehingga terkadang para peneliti membutuhkan keahlian dan keterampilan khusus agar dapat mengintegrasikan berbagai pendekatan pada saat memecahkan berbagai fenomena kebumian secara lebih spesifik. Tentu hal ini dilakukan untuk menjaga keutuhan jati diri kelimuan geografi agar tidak luntur di kemudian hari. Hal ini selaras dengan pemikiran Yunus (2008) yang menggambarkan bahwa aplikasi ilmu geografi cenderung terus berkembang dalam kaitannya dengan cabang dan rumpun ilmu lainnya yang di satu sisi memberikan kontribusi nyata tiga pendekatan geografi sebagai solusi yang substantif, tetapi di sisi yang lain ternyata berpotensi menghilangkan jati diri keilmuan geografi jika pengembangan dilakukan secara berlebihan. Lebih lanjut Hartono (2018) menambahkan bahwa seiring perkembangan zaman, maka geografi cukup pada memberikan kontribusi pada perkembangan ilmu dan teknologi. Dengan kata lain, para geografer tinggal mengoptimalkan perannya dalam berkontribusi secara kritis, konstruktif, dan aplikatif. Pada era sekarang ini, sangat perlu adanya fokus kajian yang tidak hanya sekedar mempelajari, tetapi lebih kepada menganalisis dan mencari solusi terbaik atas suatu permasalahan antara manusia dan lingkungan yang konteksnya berkaitan erat dengan pembangunan wilayah yang bermanfaat dan berkelanjutan. Inilah inti dasar kemampuan seorang geografer untuk mengeksplorasi pemikiran dan telaah mendalam tentang sebuah fenomena kebumian.

7.1.2 Geosfer : Esensi dari Ruang Lingkup Geografi

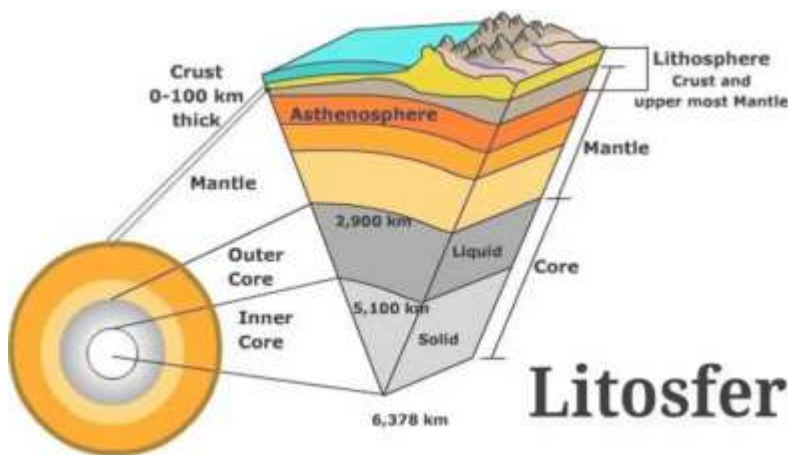
Fenomena geosfer adalah objek kajian dalam bidang keilmuan geografi. Secara definitif, geosfer adalah *sphere* atau lapisan di permukaan bumi, di bawah, dan di atas permukaan bumi. Adapun yang termasuk di dalam geosfer antara lain mencakup litosfer, pedosfer, biosfer, hidrosfer, atmosfer, dan antroposfer. Keseluruhan dari bagian geosfer tersebut pada umumnya menjadi objek kajian yang dianalisis menggunakan pendekatan geografi, sehingga akan saling berkaitan dan mempengaruhi.

Bagian atmosfer yang pertama adalah atmosfer. Lapisan atmosfer sangat besar pengaruhnya bagi keberlangsungan bumi. Keberadaan atmosfer sebagai selimut bumi menjadikan bumi lebih stabil, terlindung dari bahaya sinar ultraviolet matahari dan tabrakan benda-benda luar angkasa seperti meteor, hingga stabilitas suhu permukaan bumi antara siang dan malam lebih terjaga. Dengan adanya atmosfer, siklus hidrologi sebagai aktor alam dalam menjaga sirkulasi air tetap berlangsung sebagaimana mestinya di samping juga berdampak pada stabilitas unsur-unsur meteorologi dan klimatologi di permukaan bumi seperti cuaca, iklim, dan angin. Dinamika atmosfer tentu berpengaruh terhadap keberlangsungan kehidupan makhluk hidup yaitu biosfer. Dengan demikian, komponen atmosfer memiliki interrelasi dengan komponen geosfer lainnya yaitu biosfer, hidrosfer, dan pedosfer.

Lapisan bumi paling luar adalah kulit bumi atau litosfer (Gambar 7.1). Dalam bahasa Yunani, litosfer berasal dari kata *lithos* yang berarti batuan dan *sphere* yang artinya lapisan. Dengan kata lain, litosfer adalah lapisan terluar dari bumi yang tersusun atas batuan dan mineral yang berasal dari magma di dalam bumi. Bahan penyusun litosfer ini berinteraksi langsung terhadap cuaca dan iklim, sehingga pada proses geologi yang berlangsung mengakibatkan batuan-batuan penyusun litosfer tersebut mengalami degradasi, pelapukan, dan erosi membentuk lapisan tanah. Bahan induk tanah hasil pelapukan batuan inilah yang memegang peranan penting kehidupan tumbuhan. Dalam proses pembentukan tanah ini juga menjadikan tanah sebagai habitat bagi organisme lain.

Hasil pelapukan batuan terbentuk tanah yang kemudian lapisan tanah ini disebut sebagai pedosfer. Tanah sebagai komponen utama penyusun pedosfer adalah bahan alam yang terbentuk dari campuran hasil pelapukan batuan induk, bahan organik dan mineral,

Bagian geosfer lainnya adalah hidrosfer yang merupakan lapisan air di permukaan bumi yang meliputi sungai, danau, laut, salju atau gletser, airtanah, dan uap air. Keberadaan senyawa air adalah sangat vital bagi kehidupan makhluk hidup. Selain itu, tanpa adanya air di permukaan bumi, maka proses pelapukan batuan dan pembentukan tanah juga tidak mungkin terjadi karena air adalah media utama dalam proses tersebut. Dengan melihat relasi tersebut, maka hidrosfer berkaitan erat dengan litosfer dan pedosfer serta biosfer dan antroposfer di permukaan bumi.



Gambar 7.1. Struktur Interior Bumi

Sumber : <https://www.gurupendidikan.co.id/litosfer/>

7.2 Pendekatan Geografi dan Geografi Fisik

7.2.1 Pendekatan Geografi

Perspektif Geografi memandang fenomena geosfer adalah sebagai objek kajian berdasarkan *landscape* kewilayahan yang di dalamnya memuat unsur-unsur sebab akibat yang berdampak pada keberlangsungan sistem alam akibat aktivitas manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Segala bentuk perubahan tersebut

pada umumnya mengarah kepada kerusakan ekologis yang dapat dianalisis secara spasial menggunakan teknik geospasial sebagai wujud interaksi antara manusia dengan alam yang kemudian dapat dikaji secara komprehensif dengan analisis kompleks wilayah. Sebagai contoh, kejadian banjir di Kabupaten Hulu Sungai Tengah, Kalimantan Selatan pada tahun 2021 silam adalah salah satu bentuk dampak nyata dari aktivitas perubahan pada sistem alam. Nafarin, dkk (2016) menyebutkan dalam risetnya bahwa banjir yang terjadi tersebut berada pada wilayah dengan kepadatan penduduk yang tinggi dan periodik banjir yang berulang. Dengan demikian, maka hal tersebut sejalan dengan konsep dasar bahwa bencana banjir sebagai objek kajian Geografi dapat dianalisis secara mendalam dengan pendekatan Geografi yaitu : (1) ekologi, (2) keruangan, dan (3) kompleks wilayah. Lebih lanjut Gonzalves dan Mohan (2011) menjelaskan bahwa pengelolaan daerah rawan bencana salah satunya adalah dengan pendekatan berbasis masyarakat yang merupakan objek sekaligus subjek risiko dalam konteks bencana, sehingga dapat berperan secara aktif untuk mengidentifikasi, menganalisis, memantau, dan menilai risiko bencana di wilayah mereka.

Menurut Bintarto (1976) menjelaskan bahwa :

“Geografi adalah suatu ilmu pengetahuan yang mempelajari kaitan, sesama antara manusia, ruang, ekologi, kawasan dan perubahan-perubahan yang terjadi sebagai akibat dari kaitan sesama tersebut. Pengertian ruang disini ialah sesuatu yang menyediakan akomodasi dan memungkinkan aktivitas, sedangkan pengertian ekologi dalam rangka definisi geografi merupakan suatu studi mengenai interelasi antara organisme dengan lingkungan. Istilah kawasan dalam hal ini diartikan sebagai suatu daerah yang memiliki homogenitas sosial, ekonomi, kultur, demografi dan sebagainya”.

Berdasarkan teori tersebut, maka dapat digambarkan bahwa segala bentuk aktivitas manusia pada dasarnya tidak dapat dilepaskan dari keruangan wilayah dan seluruh unsur-unsur di dalamnya. Sebagai contoh, pembukaan lahan di kawasan Pegunungan Meratus Kalimantan Selatan adalah langkah yang ditempuh untuk memperluas lokasi tambang batubara. Banyak

penduduk pendatang bermukim di sekitar wilayah tambang karena adanya kebutuhan akan tempat tinggal sebagai pekerja tambang. Di sisi lain, peningkatan jumlah dan luas lahan permukiman serta jasa dan perdagangan seperti misalnya pertokoan dan warung makan adalah bentuk efek domino dari adanya aktivitas pertambangan di wilayah tersebut. Hal yang tidak kalah menarik untuk dibahas adalah dampak negatif dari semua aktivitas tersebut terhadap stabilitas ekologi. Kejadian banjir di Kalimantan Selatan tahun 2021 adalah salah satu contoh dampak ekologi yang semestinya menjadi perhatian bersama. Secara langsung maupun tidak langsung, adanya aktivitas manusia di kawasan hulu DAS, memberikan pengaruh terhadap siklus hidrologi dan stabilitas fungsi lahan di dalam DAS itu sendiri. Lebih lanjut, dalam tujuan untuk menganalisis kompleksitas permasalahan lingkungan seperti contoh di atas, maka perlu adanya pendekatan Geografi untuk dapat lebih terstruktur dan komprehensif. Menurut Bintarto (1976), pendekatan Geografi meliputi tiga tahap yaitu :

1. Pendekatan keruangan (*spatial approach*)

Pendekatan yang menitikberatkan pada kajian rangkaian fenomena geosfer dalam satu ruang. Sebagai contoh, keruangan yang akan dikaji adalah Daerah Aliran Sungai (DAS). Analisis keruangan adalah analisis yang khas dalam Geografi karena membahas aspek-aspek keruangannya meliputi faktor lokasi, alam, dan sosial budayanya. Pendekatan inilah yang membedakan ilmu Geografi dengan bidang ilmu lainnya.

2. Pendekatan ekologi (*ecological approach*)

Pendekatan ini menitikberatkan pada analisis hasil interaksi faktor-faktor penentu di dalam sebuah sistem atau keruangan, sehingga di dalamnya bekerja sebuah fungsi yang memberikan hubungan sebab akibat dan dampak positif negatif terhadap sistem itu sendiri.

3. Pendekatan kompleks wilayah

Pendekatan ini mengkombinasikan antara keruangan dan ekologi. Dalam sebuah wilayah yang disebut sebagai sebuah sistem keruangan akan memiliki hubungan saling terkait dengan wilayah di sekitarnya.

7.3 Pendekatan Geografi Fisik

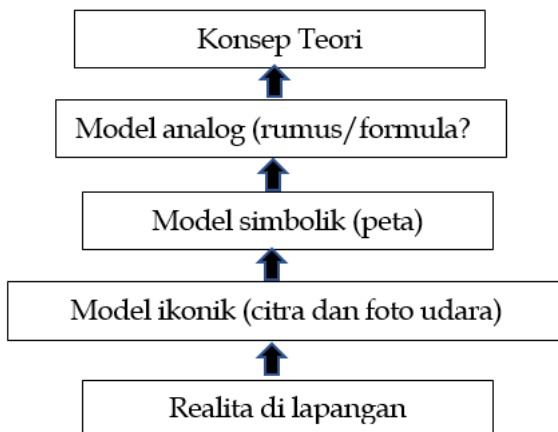
Geografi fisik adalah cabang ilmu Geografi yang mengkaji objek fenomena permukaan bumi yang di dalamnya termasuk unsur biotik non manusia dan abiotik yang berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Terkadang dari definisi tersebut, objek kajian Geografi Fisik masih overlap dengan bidang ilmu lain karena cakupannya yang sangat luas. Dalam membedakannya, maka pendekatan Geografi seperti pada sub bab sebelumnya telah dijelaskan, tetap menjadi objek formal dalam kajian Geografi Fisik. Namun, secara lebih detil masih perlu tambahan penanda lainnya yang mencirikan kajian Geografi Fisik. Berikut adalah pendekatan yang dimaksud :

1. Sistem

Kajian Geografi Fisik menerapkan pendekatan sistem untuk dapat menganalisis melalui hasil interaksi antar komponen (Strahler and Strahler, 2006). Fenomena permukaan bumi sebagai objek kajian tentu merupakan contoh interaksi antar fenomena dan komponen yang membentuk sebuah sistem. Dalam definisinya, sistem merupakan suatu rangkaian hubungan antara fenomena, kejadian, dan objek yang saling berinteraksi (Blij and Muller, 1993). Fenomena permukaan bumi meliputi unsur geosfer antara lain litosfer, biosfer, hidrosfer, pedosfer, dan atmosfer. Keterkaitan antar kelima unsur geosfer tersebutlah suatu fenomena di permukaan bumi telah membentuk sistem, misalnya ekosistem hutan. Dalam ekosistem hutan terdapat atmosfer berupa hujan dan panas matahari yang berperan dalam proses pelapukan batuan atau litosfer, sehingga membantu pembentukan lapisan tanah atau pedosfer. Selain itu, curah hujan juga merupakan sumber utama dalam keberlangsungan siklus hidrologi sebagai unsur hidrosfer. Keberlangsungan kehidupan biosfer di dalam ekosistem hutan juga tergantung pada stabilitas hidrosfer yang pada prosesnya terjadi evapotranspirasi untuk kembali ke atmosfer, berulang begitu seterusnya.

2. Model

Model dalam pendekatan Geografi Fisik merupakan hasil cipta karya dari sebuah realita di lapangan yang sifatnya kompleks agar dapat teramati secara lebih sederhana, sehingga mudah untuk dianalisis (Bilj and Muller, 1993). Pendekatan model memegang peranan penting untuk mengamati baik sebagian maupun keseluruhan dari permukaan bumi secara spasial. Dalam konteks ini, maka model dalam pendekatan Geografi Fisik yang dimaksud adalah peta. Peta merupakan perangkat paling penting karena menyederhanakan konteks fenomena geosfer yang dapat mengilustrasikan konsep teori dan realita di lapangan.



Gambar 7.2. Model Jembatan Antara dalam Ilmu Geografi
(Sumber: Haggett, 2001 dan Sutanto 1995 dengan modifikasi)

3. Skala

Menurut Strahler and Strahler (2006), pengertian skala pada pendekatan geografi adalah mengacu pada tingkatan struktur organisasi berbagai fenomena permukaan bumi yang dikaji beserta variasinya. Skala ini tentunya merepresentasikan ukuran dan pola objek-objek di

permukaan bumi dimana semakin besar skala, maka akan semakin tinggi tingkat kedetilan informasi dari objek yang dikaji, dan sebaliknya. Skala ini sangat diperlukan dalam rangka menyederhanakan ukuran fenomena permukaan bumi ke dalam model bidang datar atau peta. Kaitannya dengan pendekatan geografi secara umum, skala ini digunakan dalam aspek keruangan atau spasial. Luasan keruangan suatu fenomena permukaan bumi dapat lebih mudah diselesaikan melalui analisis peta dengan skala tertentu sesuai dengan peruntukannya. Jika diamati secara definitif, skala merupakan jarak perbandingan antara dua lokasi secara horisontal di permukaan bumi dengan satuan jarak pada peta. Selanjutnya menurut Blij and Muller (1993), ukuran kajian tersebut dapat dikonversi menjadi tingkat paling kecil yaitu skala administrasi seperti desa hingga ke tingkat global.



Gambar 7.3. Skema Kajian Penyusun Geografi Fisik
(Sumber : Blij dan Muller, 1993; dengan modifikasi)

7.4 Tanah sebagai Pedosfer, Bagian dari Geosfer

7.4.1 Pembentukan Tanah

Tanah adalah tubuh alam yang sifatnya gembur menyelimuti permukaan bumi yang memiliki sifat fisik dan kimia serta morfologi yang berbeda-beda tergantung pada batuan induk penyusunnya sebagai akibat dari proses pembentukan tanah. Faktor-faktor pembentuk tanah menurut Jenny (1941) antara lain iklim, organisme, bahan induk, relief, dan waktu serta juga dipengaruhi oleh faktor-faktor pembentuk tanah yang sifatnya lokal, misalnya aktivitas manusia seperti pembuatan terasering pada lahan pertanian. Perlakuan pada tanah semacam itu akan berpengaruh

pada drainase dan perkolasi tanah yang tentu akan berdampak pada perubahan struktur dan komposisi fisik dan kimia tanah di dalam morfologi tanah.

Salah satu unsur iklim adalah curah hujan yang tentu mempengaruhi reaksi dalam tanah. tingginya curah hujan suatu wilayah khususnya di kawasan tropis dapat mengakibatkan pencucian kation basa pada tanah permukaan menuju lapisan tanah di bawahnya. Akibatnya, lapisan *top soil* menjadi lebih didominasi oleh ion Al dan H yang dicirikan oleh pH tanah semakin asam hingga mencapai 4,5 atau lebih rendah. Akibat dari kondisi masam tersebut, maka proses dekomposisi mikrobiologis bahan organik tanah menjadi semakin berkurang. Dampaknya bagi pertanian adalah semakin lambatnya proses pelapukan seresah daun atau pembusukan sisa tanaman di dalam tanah, sehingga unsur hara dalam tanah juga berkurang. Berbeda dengan wilayah yang cenderung kering, proses pencucian kation tidak berlangsung cepat, sehingga tanah-tanahnya didominasi oleh tanah bersifat basa.

Jenis bahan induk tanah yang berasal dari litologi batuan penyusun suatu wilayah juga mempengaruhi perkembangan tanah di atasnya. Sebagai contoh, batuan beku seperti batupasir dan kuarsa akan melapuk dengan sangat lambat. Hasil pelapukannya adalah tanah dengan tekstur pasir, cenderung masam, dan umumnya kurang subur. Berbeda halnya dengan batuan beku basa atau batuan sedimen umumnya menghasilkan lapukan batuan berupa tanah dengan tekstur cenderung halus berlempung, bersifat basa, dan relatif subur. Lain halnya dengan batuan kapur seperti *limestone* yang masih padas keras akan melapuk lebih lama dan menghasilkan tanah pasir yang tipis seperti tanah *terra rossa*.

Faktor pembentuk tanah lainnya adalah organisma yang juga berpengaruh cukup besar. Struktur tanah sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah dan derajat unsur hara dimana keduanya adalah hasil aktivitas dari organisme yang hidup di dalam tanah. Keberadaan dan jenis vegetasi yang hidup di atas tanah turut mempengaruhi sifa-sifat tanah. Unsur nitrogen dapat terikat ke dalam tanah oleh mikroorganisme hidup dalam tanah yang bersimbiosis dengan tanaman. Contoh lainnya adalah jenis tanaman cemara yang lebih sedikit dalam mengikat kation logam

seperti K, Mg, dan Ca, sehingga kandungan unsur tersebut di dalam tanah di bawahnya cenderung rendah dibandingkan dengan tanah yang di atasnya tumbuh subur vegetasi berdaun lebar yang lebih banyak mengandung unsur basa seperti pohon jati. Dengan kata lain, pohon berdaun kecil akan lebih berpengaruh pada pencucian unsur basa dalam tanah akibat hujan yang jatuh karena kanopinya yang rendah.

Relief atau topografi adalah konfigurasi permukaan bumi yang memberikan pengaruh terhadap pembentukan dan perkembangan tanah melalui proses seperti : (1) perbedaan besar kecilnya infiltrasi air ke dalam tanah; (2) pengaruhnya terhadap tinggi rendahnya tingkat erosi tanah; dan (3) pengaruhnya terhadap gerakan air yang melarutkan bahan-bahan di dalam tanah. Bentuk relief juga mempengaruhi perkembangan tanah, misalnya cekungan atau dataran akan berbeda sifat tanahnya dimana kawasan dengan relief cekungan cenderung akan banyak menampung air di permukaan dan airtanah. Akibatnya, tanah akan berwarna keabuan atau banyak ditemukan bercak merah seperti mottling karena banyak ditemukan genangan di kawasan tersebut. Selain itu, kawasan dengan topografi miring akan cenderung banyak mengalami erosi, sehingga tanah akan lebih tipis dibandingkan pada kawasan dataran atau di daerah lembah.

Penjelasan terhadap pembentukan tanah oleh faktor-faktor di atas pada dasarnya memberikan gambaran bahwa tanah sifatnya adalah dinamis karena terus mengalami pelapukan, pencucian, hingga perpindahan tempat akibat erosi. Akibatnya, tanah akan terus bertambah tua dan semakin tipis. Mineral-mineral tanah juga terus mengalami pelapukan sampai meninggalkan mineral-mineral yang paling terakhir lapuk seperti kuarsa karena paling padas. Semakin tua usia tanah menggambarkan perkembangan tanah semakin lanjut yang ditandai dengan profil tanahnya yang semakin banyak dan berkembang, sehingga dikenal dengan tanah muda, tanah dewasa, dan tanah tua. Sebagai contoh tanah muda seperti Aluvial, tanah dewasa seperti tanah Inceptisol, dan tua contohnya adalah Ultisol.

7.4.2 Sifat Kimia Tanah

1. Koloid Tanah

Koloid tanah merupakan bahan mineral dan organik tanah yang berukuran sangat halus dan luas permukaan yang tinggi per satuan massa tanahnya. Koloid tanah dibagi menjadi koloid organik atau humus dan koloid anorganik atau liat. Keberadaan koloid tanah berperan penting dalam penyerapan air dan unsur hara. Koloid tanah didominasi oleh mineral *phyllosilicates*, koloid organik, *hydrous oxides*, dan mineral Fe, Mn, dan Al.

Koloid organik dikenal sebagai humus. Koloid organik tersusun oleh C, H dan O. Ciri-ciri koloid organik atau humus adalah sifatnya yang amorf, memiliki KTK lebih tinggi daripada mineral liat atau liat jenis montmorilonit serta mudahnya untuk dihancurkan daripada tanah liat. Dalam keadaan asam, muatan H^+ pada humus diikat kuat oleh gugus karboksil dan phenol, sedangkan jika kondisi semakin basa maka ikatan tersebut melemah. Dengan kata lain, dengan peningkatan pH tanah, maka disosiasi H^+ akan meningkat pula, sehingga muatan-muatan negatif dalam koloid humus ikut meningkat. Jika dilihat dari kelarutannya dalam asam dan alkali, maka humus tersusun atas tiga jenis utama yaitu asam fulvik, asam humin, dan asam humik.

Koloid anorganik atau dikenal dengan koloid liat tersusun oleh Al, Si dan O. Bentuk kristal pada koloid liat terbentuk dengan sangat baik misalnya terdapat pada kaolinit, haolisit, monmorilonit, dan ilit. Kaolinit dan haolisit dapat ditemukan pada tanah merah dan tanah coklat yang mencirikan drainasenya yang masih baik. Adapun tanah monmorilonit dicirikan oleh sifat tanahnya yang mudah kembang kerut pada musim kemarau dan hujan. Tanah semacam itu contohnya adalah tanah Vertisol. Sedangkan koloid ilit terdapat pada tanah dengan bahan induk yang kaya akan mineral mika serta belum mengalami perkembangan tanah tingkat lanjut.

Berikut adalah ciri-ciri dari koloid liat :

- a. Mudah terbentuk kristal
- b. Mudah mengalami substitusi isomorfik

- c. Banyak muatan negatif di dalamnya, dengan sebagian kecil muatan positif
- d. Mudah menyerap air dan melakukan pertukaran kation
- e. Luas permukaan tanah yang tinggi karena ukuran partikelnya yang sangat halus
- f. Kandungan garamnya bersifat masam
- g. Berukuran lebih kecil dari 1 mikron atau 0,001 mm.

Koloid liat banyak mengandung muatan negatif karena beberapa hal seperti berikut :

- a. Kelebihan muatan negatif pada ujung kristal Si-tetrahedron atau Al-oktahedron
- b. Adanya disosiasi H^+ dari gugus OH pada ujung kristal
- c. Terdapat substitusi isomorfik

Mineral liat pada Kaolinit mengikat kuat dengan H^+ , sehingga mineral liat ini tidak mudah untuk mengalami kembang kerut bila terjadi perubahan kandungan air. Selain itu, substitusi isomorfik hampir tidak terjadi, sehingga KTK pada tanah Kaolinit cenderung rendah. Muatan negatif tanah Kaolinit dipengaruhi oleh pH dimana muatan negatif akan meningkat apabila pH semakin basa.

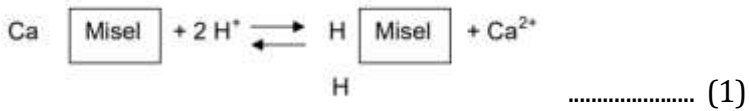
Koloid liat pada tanah montmorilonit terikat lemah oleh unit lain, sehingga mudah mengalami kembang kerut karena kation-kation mengisi antar ruang di dalam ikatan lemah tersebut. Proses pembentukan montmorilonit dipengaruhi oleh banyaknya kandungan Al^{3+} dalam rangkaian Al-oktahedron yang kemudian tersubstitusi oleh Mg^{2+} . Akibatnya, banyak membentuk kelebihan muatan negatif yang ditandai oleh tingginya kadar KTK pada tanah montmorilonit. Apabila pH tanah kurang dari 6, maka muatan hasil substitusi isomorfik pada tanah ini cenderung stabil, berbeda apabila pH lebih dari 6. Sedangkan pada koloid liat terbentuk akibat proses alterasi mineral mika. Mineral ini mampu memfiksasi unsur K pada larutan tanahnya. Muatan negatif yang tinggi pada tanah liat disebabkan oleh adanya substitusi Si^{4+} dari Si-tetrahedron oleh Al^{3+} .

2. Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Definisi Kapasitas tukar kation (KTK) dalam ilmu tanah dapat dimaknai sebagai kemampuan tanah untuk menyerap, melepaskan kembali, dan menukarkan kation ke dalam larutan tanah. Nilai KTK umumnya dalam satuan miliequivalen yang dijerap tanah per satuan 100 gram berat tanah (me/100 gr). Kapasitas Tukar Kation adalah salah satu sifat kimia tanah yang berkaitan erat dengan kesuburan tanah. Tanah yang subur dicirikan oleh kandungan bahan organik dan kadar liat yang tinggi, dan sebaliknya tanah yang berpasir cenderung rendah bahan organiknya, sehingga relatif tidak subur. Beberapa faktort yang mempengaruhi tingkat KTK tanah adalah:

- a. pH tanah;
- b. Tekstur tanah atau kadar fraksi liat/lempung;
- c. Jenis mineral liat/koloid anorganik;
- d. Kadar brahan organik; dan
- e. Proses pengapuran dan pemupukan yang diterapkan pada tanah.

Pertukaran kation dalam tanah adalah proses alami dan justru merupakan salah satu reaksi yang penting bagi kesuburan tanah. Sebagai contoh, unsur hara yang terjerap dalam tanah dapat ditukar dengan unsur Barium (Ba) atau Amonium (NH_4^+) dan nilai pertukaran ini setara dengan unsur hara yang terkandung dalam koloid tanah. Komponen dalam tanah yang mempunyai muatan adalah koloid liat atau lempung dan bahan organik tanah. muatan negatif lempung dan bahan organik tersebut mengikat kation (ion bermuatan positif) dalam tanah, sehingga terjadi proses elektronetralitas dan terbentuk keseimbangan kimia. Proses netralisasi ion bermuatan positif oleh ion bermuatan negatif inilah disebut sebagai *electric double layer*, sedangkan kation yang tertukar disebut *exchangeable cations*, dan proses pertukarannya disebut *cations exchange*. Berikut ini adalah skema sederhana proses pertukaran kation dalam tanah :



Pada formula di atas, ion Ca dan H dapat terjadi pertukaran yang ekuivalen. Bila ion Ca mengalami penambahan atau ion H mengalami penurunan, maka reaksi akan bergerak ke arah kiri. Proses ini biasanya terjadi saat tanah mengalami pengapuran. Sebaliknya, apabila ion H mengalami penambahan dan ion Ca mengalami penurunan, maka reaksi akan bergerak ke arah kanan. Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa satuan KTK dinyatakan dalam miliekuivalen per 100 gram berat tanah. Nilai itu menggambarkan bahwa tanah yang mampu menyerap H sebesar 1 mg/100 gr, maka nilai KTK nya setara dengan 10 ppm. Jika kemudian diasumsikan bobot tanah seluas 1 hektar adalah 312 kg, maka tanah tersebut mampu menyerap ion H sebanyak 20 kg/ha. Kesimpulannya adalah nilai kapasitas tukar kation tanah tergantung pada jumlah dan jenis liat, kandungan bahan organik, dan pH tanah. Berikut adalah nilai KTK pada masing-masing koloid tanah :

Tabel 7.1. Nilai KTK Koloid Tanah

Koloid	KTK me/100 gr
Bahan organik	100-300
Vermikulit	100-300
Montmorilonit	60-100
Chlorit	20-40
Illit	20-40
Kaolinit	2-16
Sesquoksida	0

3. Kejenuhan Basa (KB)

Kation yang terdapat dalam koloid tanah dapat dibedakan menjadi kation basa dan asam. Kation basa antara lain seperti K+, Na+, CA2+, dan Mg2+, sedangkan untuk kation asam yaitu H+ dan Al3+. Perbandingan antara jumlah kation basa dengan nilai KTK dalam tanah inilah yang disebut sebagai

kejenuhan basa (KB). Nilai kejenuhan basa juga menggambarkan kesuburan tanah. Kadar KB dalam tanah dibagi menjadi dua yaitu :

- a. *Eutric* atau tanah subur : KB >50%
- b. *Dystric* atau tanah tidak subur : KB <50%

Namun, pada umumnya kejenuhan basa dibagi menjadi tiga golongan yaitu :

- a. Rendah, <20 %
- b. Sedang, 20-60 %
- c. Tinggi, >60%

$$\% \text{ KB} = \frac{\text{jumlah kation basa}}{\text{jumlah kation basa+asam}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$\% \text{ KB} = \frac{\text{jumlah kation basa}}{\text{Kapasitas Tukar Kation (KTK)}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Kation basa adalah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Kation basa ini sifatnya mudah tercuci, sehingga apabila ditemukan tanah di lapangan dengan kandungan KB yang tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut tanah subur dan belum mengalami pencucian tanah / *leaching*. Kejenuhan basa juga berkaitan erat dengan pH tanah. Nilai KB dan pH umumnya adalah berbanding lurus. Tanah dengan nilai KB yang rendah, berarti pH tanah nya rendah, dan ini berarti jerapan di dalam larutan tanah banyak terisi oleh kation-kation asam. Hal ini menjadi peringatan bagi petani karena jika jumlah kation asam terlalu banyak, terutama Al^{3+} , maka akan menjadi racun bagi tanaman. Kandungan KB dalam tanah ini dipengaruhi oleh curah hujan dimana tanah di wilayah beriklim kering, KB lebih besar dibandingkan tanah beriklim basah.

DAFTAR PUSTAKA

- Blij, H.J. de and Muller, Peter O. 1993. *Physical Geography of The Global Environment*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Bintarto. 1976. Pengantar Geografi Pembangunan. UGM: Yogyakarta
- Gonslaves, J. & Priyanka, M. (ed). 2011. *Strengthening Resilience in Post –disaster Situations*, New Delhi: Academic Foundation.
- Haggett, P.2001. *Geography A Global Synthesis*. Essex : Prentice Hall.
- Hartono, T. H. P. 2018. Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografi Untuk Pengelolaan Potensi Sumberdaya Lokal Dan Pembelajaran Geografi. Prosiding, 3.
- Holt-Jensen, A. 2003. Achievements of spatial science. In *Companion Encyclopedia of Geography* (pp. 846–864). Routledge.
- Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation : A System of Quantitative Pedology*. The Dover Edition, 1994. Dover Publ.Inc. New York
- Strahler, A. and Strahler, A., 2006. *Introducing Physical Geography*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Suharsono, S., & Budi, T. P. 2006. Penajaman Dan Kejelasan Objek Kajian Dalam Disiplin Ilmu Geografi. *Majalah Geografi Indonesia*, 20(2), 187–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.22146/mgi.13306>
- Sutanto, 1994. *Penelitian Geografi*. *Majalah Geografi Indonesia*, Tahun 8-9 Nomor 14- 15. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, h. 89-101.
- Yunus, H. S. 2008. *Dinamika wilayah periurban: determinan masa depan kota*. Pustaka Pelajar.

BAB 8

POLUTAN DAN PENCEMARAN TANAH

Oleh Sariwahyuni

8.1 Pendahuluan

Sumber daya alam yang dimiliki Indonesia sangat melimpah. Keberlimpahan ini termasuk kesuburan tanahnya yang luar biasa, karena Indonesia berada di wilayah dengan geologi yang relatif muda, yang dihiasi oleh banyak gunung berapi aktif yang secara terus-menerus menyuburkan tanah dengan kandungan unsur hara yang melimpah.

Namun demikian, seiring berjalannya waktu, kesuburan tanah di Indonesia sering kali dimanfaatkan tanpa memenuhi standar yang berlaku saat ini dan tanpa mengatasi dampak jangka panjang dari operasi pengolahan tersebut.

Inisiatif pengembangan industri dan pertambangan, misalnya, telah memberikan manfaat bagi masyarakat setempat dengan memberikan mereka peluang kerja tambahan. Sayangnya, dampak negatif yang merugikan masyarakat dan lingkungan seringkali terjadi setelah pencapaian tersebut.

Berkurangnya areal pertanian, polusi tanah dan air, dan berkurangnya hasil panen merupakan dampak yang mungkin timbul dari berkembangnya kawasan industri di dalam dan sekitar kawasan pertanian. Ada juga dampak tidak langsung, seperti terganggunya kenyamanan masyarakat dan kesehatan ekosistem. Kerusakan tanah, erosi, sedimentasi, dan bahkan kekeringan mungkin disebabkan oleh operasi penambangan. Bentang alam sering kali hancur atau berubah akibat penambangan terbuka, sehingga meninggalkan lubang-lubang besar di dalam tanah. Ekstraksi bijih dari tambang memerlukan penggunaan alat berat untuk mengupas lapisan atas tanah dan melakukan penggalian besar-besaran, namun operasi rehabilitasi dan reklamasi biasanya diabaikan oleh manajemen perusahaan pertambangan.

Limbah industri yang mencemari lahan pertanian mengandung unsur kimia berbahaya yang dapat mencemari badan air, merusak tanah dan tanaman, serta berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan makhluk hidup, sehingga dampak tersebut harus ditanggapi dengan serius.

Mengingat fakta ini, diperlukan kajian khusus yang mendalam mengenai polutan dan pencemaran tanah, begitu pula kajian mengenai dampak selanjutnya terhadap ekosistem.

8.2 Tanah dan Fungsinya

8.2.1 Konsep Tanah

Komponen mineral dan biologi tanah membentuk sebagian kerak bumi. Ini penting bagi kehidupan di Bumi karena membantu tanaman berkembang dengan menyalurkan air dan nutrisi ke akarnya.

Akar tanaman mampu menyerap oksigen karena komposisi tanah yang berpori. Banyak mikroorganisme menguntungkan ditemukan di dalam tanah dan berperan penting dalam menjaga jasa ekosistem.

Istilah "tanah" berasal dari kata Latin "solum", yang berarti "lantai" atau "pondasi", dalam bahasa Prancis Kuno. Dengan demikian, tanah dapat dipandang sebagai landasan atau landasan menurut akar etimologisnya..

Teori hukum minimum Liebig menjelaskan konsep mengenai tanah sebagai teori keseimbangan. Ini menyatakan bahwa tanah berfungsi sebagai cadangan nutrisi yang suatu saat akan diserap oleh tanaman. Keberadaan nutrisi ini dapat digantikan melalui pemberian pupuk kapur, pupuk kandang, atau pupuk kimia.

8.2.2 Fungsi Tanah

Tanah memiliki berbagai peran penting dalam ekosistem dan kehidupan manusia. Ini meliputi:

- 1. Tempat Pertumbuhan Tanaman:** Tanah adalah tempat di mana tanaman tumbuh dan berkembang. Ini menyediakan

- akar tanaman dengan nutrisi, air, dan oksigen yang diperlukan untuk pertumbuhan yang sehat.
2. **Sumber Nutrisi:** Tanah juga mengandung berbagai macam unsur hara, baik mikro maupun makro, yang merupakan nutrisi esensial bagi tanaman. Ini mencakup unsur seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan banyak lainnya.
 3. **Habitat Mikroorganisme:** Tanah adalah rumah bagi beragam mikroorganisme yang mendukung siklus nutrisi dan kehidupan ekosistem. Mikroorganisme ini berperan dalam mendekomposisi bahan organik, merangsang pertumbuhan tanaman, dan menjaga keseimbangan ekosistem tanah.
 4. **Penyaring dan Penetralisir Pencemar:** Tanah berfungsi sebagai sistem penyangga, sehingga jika ada senyawa beracun atau pencemar di dalamnya, tanah dapat menyaring dan menetralkan bahan-bahan tersebut.
 5. **Fungsi Umum Tanah:**
 - a. Memberikan landasan untuk konstruksi seperti bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya.
 - b. Berperan sebagai tempat berdiri bagi berbagai jenis tanaman.
 - c. Menyediakan dan menyimpan air yang dapat diakses oleh tanaman.
 - d. Berfungsi sebagai habitat untuk berbagai organisme tanah, baik yang bermanfaat (seperti mikroorganisme yang mendukung pertumbuhan tanaman) maupun yang mungkin merugikan (seperti hama dan penyakit tanaman).

Tanah memainkan peran penting dalam mempertahankan kehidupan dan melestarikan ekosistem. Dengan pengetahuan ini, kita dapat lebih menjaga dan melestarikan sumber daya yang tak ternilai ini.

8.2.3 Fungsi Bagi Tanaman

Tanah adalah sumber daya alam yang esensial, memberikan dasar bagi kehidupan di daratan bumi. Selain menjadi media yang sangat penting untuk menanam tanaman, tanah juga memiliki peran yang bervariasi dalam mendukung ekosistem tanah. Berikut adalah beberapa fungsi kunci tanah:

1. **Media Tumbuh Akar Tanaman:** Tanah adalah tempat utama bagi pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman. Ini memberikan penopang yang diperlukan agar tanaman bisa tumbuh dengan kuat dan berfungsi sebagai saluran penyerapan nutrisi dan air yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman.
2. **Penyedia Kebutuhan Primer:** Tanaman bergantung pada tanah untuk kebutuhan dasarnya, yang disediakan oleh tanah dalam bentuk air dan nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Kebutuhan ini harus terpenuhi agar tanaman dapat menjalani proses metabolisme yang esensial selama pertumbuhan mereka.
3. **Penyedia Kebutuhan Sekunder:** Tanah menyediakan berbagai unsur hara tambahan yang dibutuhkan tanaman selain kebutuhan intinya. Vitamin, hormon, asam organik, antibiotik, dan racun adalah contoh bahan kimia yang dapat membantu melindungi tanaman dari patogen dan keadaan lingkungan yang merugikan.
4. **Habitat Biota Tanah:** Tanah adalah rumah bagi beragam organisme, baik yang memberikan kontribusi positif maupun negatif bagi tanaman dan ekosistem. Mikroorganisme tanah seperti bakteri dan jamur berperan dalam dekomposisi bahan organik dan memperlancar siklus nutrisi.

Melalui berbagai fungsi ini, tanah mendukung keberlangsungan ekosistem daratan, menyediakan dasar bagi pertumbuhan tanaman, dan mempengaruhi produktivitas lingkungan pertanian. Pemeliharaan kesehatan dan kualitas tanah sangat penting untuk mempertahankan ekosistem dan memenuhi kebutuhan pangan jangka panjang.

8.3 Pencemaran Tanah

Tanah didefinisikan sebagai “salah satu komponen tanah yang berupa lapisan atas kerak bumi yang terdiri dari bahan mineral dan bahan organik” berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 150 Tahun 2000 tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa di Indonesia. Indonesia. Semua bentuk kehidupan bergantung pada kualitas fisik, kimia, dan biologis yang disediakan oleh tanah.

Kontaminasi permukaan tanah dari zat berbahaya atau beracun dapat dihilangkan melalui penguapan, curah hujan, atau rembesan. Polusi bawah tanah terdiri dari zat-zat berbahaya yang larut ke dalam tanah dan akhirnya menetap di sana. Racun-racun ini dapat mencemari tanah, air, dan udara, yang semuanya dapat berdampak pada manusia.

Namun, aktivitas manusia semakin menyebabkan kerusakan tanah, dan hal ini sangat buruk. Kerusakan tanah untuk produksi biomassa didefinisikan dalam PP No. 150 Tahun 2000 sebagai penyimpangan dari tingkat dasar kualitas tanah.

Ketika bahan kimia sintetis menyusup ke dalam tanah dan mengubah ekosistem normalnya, hal ini disebut pencemaran tanah. Beberapa faktor, antara lain kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri, penggunaan pestisida, rembesan air permukaan yang tercemar ke lapisan bawah permukaan, kecelakaan kendaraan yang melibatkan pengangkutan minyak, bahan kimia, atau limbah, serta penimbunan dan pembuangan limbah secara ilegal. limbah industri, berkontribusi terhadap polusi ini. langsung turun ke dalam bumi.

8.4 Sumber Polutan Pencemaran Tanah

Agar kehidupan di Bumi dapat bertahan, tanah memainkan peran yang sangat penting. Tumbuhan, seperti yang diketahui semua orang, adalah mata rantai pertama dalam rantai makanan. Tumbuhan merupakan sumber makanan utama bagi semua makhluk hidup di bumi.

Meskipun sebagian sumber makanan kita ditemukan di laut, sebagian besar makanan kita berasal dari daratan. Oleh

karena itu, kita wajib mengambil tindakan untuk melindungi lingkungan agar dapat terus menopang kehidupan. Namun pencemaran tanah juga disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti halnya pencemaran air dan udara.

Berbagai jenis sampah, baik di rumah maupun di industri, berkontribusi terhadap pencemaran tanah.

8.4.1 Limbah Domestik

Limbah domestik dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk:

1. Pemukiman penduduk
2. Perdagangan, pasar, tempat usaha, hotel, dan sejenisnya
3. Kelembagaan seperti kantor pemerintahan dan swasta
4. Wisata

Limbah domestik ini dapat berwujud limbah padat dan cair.

1. **Limbah padat** Contoh sampah non biodegradable antara lain kantong plastik, kaleng aluminium, botol air mineral plastik, dan sampah anorganik lainnya yang tidak dapat dicerna oleh mikroba.
2. **Limbah cair** bisa berupa apa saja mulai dari kotoran, deterjen, minyak, hingga cat. Kualitas air tanah terganggu dan mikroorganisme tanah dapat mati jika limbah cair masuk ke dalam tanah.

8.4.2 Limbah Industri

Limbah industri, dalam konteks ini, merujuk pada sisa-sisa aktivitas industri yang dianggap tidak memiliki nilai dalam proses produksi. Jenis limbah ini sangat bervariasi dan tergantung pada jenis produk yang dihasilkan oleh suatu industri tertentu. Sebagai contoh, dalam industri tekstil, limbah yang dihasilkan tidak hanya terbatas pada limbah padat seperti potongan kain, tetapi juga mencakup limbah cair dari proses pewarnaan kain. Di sisi lain, industri pangan umumnya menghasilkan limbah organik dan sisa-sisa dari proses pengolahan pangan.

Limbah industri seringkali mengandung bahan-bahan berbahaya atau beracun, baik dalam hal sifat, konsentrasi,

maupun jumlahnya. Limbah ini dapat memberikan dampak yang berpotensi membahayakan lingkungan, kesehatan manusia, dan kelangsungan hidup makhluk hidup lainnya, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Material yang sering ditemukan dalam limbah industri umumnya melibatkan senyawa organik yang dapat terurai secara alami, mudah menguap, dan dapat berbentuk padatan tersuspensi yang bersifat toksik, parasit, dan sejenisnya. Oleh karena itu, setiap perusahaan diwajibkan untuk menjalankan pengelolaan limbah industri yang sesuai dengan peraturan dan izin yang berlaku.

8.4.3 Limbah Pertanian

Pupuk sintetis, seperti urea, digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan perkembangan tanaman, sedangkan pestisida, seperti DDT, digunakan untuk membasmi serangga yang memakan tanaman tersebut. Jika petani menggunakan terlalu banyak pupuk, hal ini dapat merusak struktur tanah, mengurangi kesuburan, dan pada akhirnya menghambat pertumbuhan tanaman tertentu karena lebih sedikit unsur hara yang terlarut dari tanah. Sementara itu, pestisida mempunyai dampak buruk terhadap mikroorganisme tanah yang menguntungkan selain sasarannya, yaitu hama tanaman. Penggunaan pestisida yang terus-menerus dan berlebihan dapat menyebabkan munculnya hama tanaman yang resisten terhadap pestisida. Kesuburan tanah sangat bergantung pada jumlah organisme tanah.

8.5 Akibat Tanah Tercemar

8.5.1 Pada Kondisi Tanah Sendiri

Pencemaran dapat diakibatkan oleh pembuangan sampah rumah tangga berupa lindi (air sampah), bau yang tidak sedap, dan kondisi yang tidak sedap dipandang. Penataan lahan dan penggunaan lahan lainnya mungkin terhambat oleh penumpukan sampah dari kegiatan ini. Tempat pembuangan sampah juga melepaskan gas yang berpotensi berbahaya, termasuk nitrogen dan asam sulfida. Tumpukan sampah dapat membahayakan ekosistem tanah, kehidupan tanaman, dan tanah itu sendiri jika terdapat bahan

kimia beracun seperti merkuri, kromium, dan arsenik. Jenis puing lainnya, seperti oksida logam, dapat menjadi beracun jika terlarut atau tidak larut dalam air permukaan tanah.

Kemampuan akar tanaman dalam menembus sampah anorganik dan perkolasi air sama-sama menurunkan kemampuan tanah dalam menahan air dan mineral. Karena kurangnya mikroorganisme tanah, perkembangan tanaman mungkin terhambat akibat ketersediaan unsur hara yang tidak mencukupi.

Limbah cair rumah tangga, seperti feses, deterjen, oli bekas, dan cat, dapat merusak kualitas air tanah dan membunuh mikroorganisme tanah jika meresap ke dalam tanah. Pembusukan, yang dipicu oleh penimbunan, menimbulkan bau berbahaya dan asap berbahaya dari limbah padat industri seperti padatan, lumpur, dan bubur dari aktivitas pengolahan. Penyimpanan limbah padat dalam jangka panjang juga dapat menyebabkan erosi permukaan tanah, pencemaran air tanah, dan peningkatan bahaya kebakaran.

Jika masuk ke dalam tanah, limbah cair dari usaha pelapisan logam dapat merusak mikroorganisme tanah dan mengganggu kesuburan tanah karena adanya bahan kimia berbahaya seperti tembaga, timbal, perak, krom, arsenik, dan boron.

8.5.2 Pada kesehatan

Jenis polutan, jalur masuknya ke dalam tubuh, dan kerentanan populasi yang terpapar, semuanya memainkan peranan penting dalam menentukan dampak kesehatan dari pencemaran tanah. Beberapa dampak pencemaran terhadap kesehatan manusia antara lain:

1. **Kromium:** Bahan kimia karsinogenik seperti kromium serta banyak pestisida dan herbisida menimbulkan ancaman terhadap kesehatan manusia dalam skala global.
2. **Timbal:** Timbal sangat berbahaya, terutama bagi anak-anak, karena dapat menyebabkan kerusakan otak permanen. Selain itu, timbal diketahui menyebabkan kerusakan pada ginjal masyarakat umum.

3. **Benzena:** Risiko leukemia dapat meningkat akibat paparan benzena dalam waktu lama dengan dosis tertentu.
4. **Merkuri (air raksa):** penyakit pada ginjal mungkin disebabkan oleh merkuri dan siklodiena, dan beberapa bentuk penyakit ginjal yang disebabkan merkuri tidak dapat disembuhkan.
5. **PCB dan Siklodiena:** PCB dan siklodiena terkait dengan keracunan hati.
6. **Organofosfat dan Karbamat:** Penyakit saraf dan otot dapat disebabkan oleh kontak dengan organofosfat dan karbamat.
7. **Pelarut Mengandung Klorin:** Pelarut yang mengandung klorin telah dikaitkan dengan penyakit saraf, serta kelainan pada hati dan ginjal.

Sakit kepala, pusing, kelelahan, iritasi mata, dan ruam kulit hanyalah beberapa gejala yang mungkin timbul akibat paparan bahan kimia seperti yang disebutkan di atas. Kontaminasi tanah bisa berakibat fatal, tapi hanya jika tertelan dalam jumlah yang cukup.

8.5.3 Pada Ekosistem

Pencemaran tanah juga berdampak buruk terhadap lingkungan. Bahkan pada konsentrasi rendah, keberadaan senyawa beracun atau berbahaya dapat mengubah susunan kimiawi tanah secara drastis. Dengan kata lain, perubahan ini dapat mengubah proses metabolisme bakteri asli dan spesies tanah lainnya. Hilangnya spesies penting tertentu dalam rantai makanan mungkin berdampak buruk bagi predator dan organisme lain di rantai makanan.

Bahan kimia mungkin berdampak kecil pada organisme tanah yang berada di dasar rantai makanan, namun bahan kimia tersebut dapat terakumulasi dan terkonsentrasi pada makhluk hidup yang berada jauh di atas rantai makanan. Akumulasi DDT pada burung telah menimbulkan beberapa dampak berikut, seperti rusaknya cangkang telur, meningkatnya angka kematian anak ayam, dan kemungkinan punahnya spesies tersebut.

Perubahan metabolisme tanaman merupakan konsekuensi lain dari kontaminasi tanah yang dapat

mengurangi hasil pertanian. Akibatnya, kemampuan tanaman untuk mencegah erosi lapisan tanah menjadi berkurang, sehingga berdampak luas terhadap upaya konservasi tanah. Polutan utama di dalam tanah mungkin mempunyai waktu paruh yang lama, dan dalam situasi tertentu, turunan kimia dapat timbul.

8.6 Penanggulangan Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah dapat diatasi dengan metode remediasi dan bioremediasi.

8.6.1 Remediasi

Remediasi mengacu pada tindakan memulihkan lahan setelah kontaminasi. Remediasi tanah dapat dilakukan secara in-situ (di lokasi) atau ex-situ (jauh dari lokasi). Membersihkan tanah di lokasi yang tercemar disebut pembersihan di tempat. Teknik ini, yang melibatkan pembersihan dan ventilasi (injeksi udara), seringkali lebih hemat biaya dan mudah.

Untuk melakukan pembersihan di luar lokasi, tanah yang terkontaminasi harus digali dan dipindahkan ke lokasi yang aman. Polutan dihilangkan dari tanah di lokasi yang aman. Kotoran tersebut terlebih dahulu dimasukkan ke dalam wadah kedap udara, kemudian bahan kimia pembersih disuntikkan ke dalam wadah tersebut. Tangki tersebut kemudian dipompa ke fasilitas pengolahan air limbah di mana kotoran yang terlarut dalam bahan kimia pembersih dapat dihilangkan. Pembersihan semacam ini, yang dilakukan jauh dari lokasi aslinya, seringkali lebih memakan waktu dan biaya.

8.6.2 Bioremediasi

Bioremediasi adalah praktik penggunaan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri untuk mendekontaminasi tanah yang telah terkontaminasi polusi. Polutan dipecah dalam proses bioremediasi menjadi zat yang lebih aman atau tidak beracun seperti karbon dioksida dan air. Bioremediasi biasanya menggunakan empat metode utama:

1. Stimulasi aktivitas mikroorganisme asli di lokasi yang tercemar dengan menambahkan nutrisi, mengatur kondisi redoks, mengoptimalkan pH, dan sebagainya.
2. Inokulasi (penanaman) mikroorganisme yang memiliki kemampuan biotransformasi khusus di lokasi yang tercemar.
3. Penggunaan enzim terikat (*immobilized enzymes*).
4. Pemanfaatan tanaman (*phytoremediation*) untuk menghilangkan atau mengubah pencemar.

Proses bioremediasi harus memperhatikan faktor-faktor seperti suhu tanah, ketersediaan air, nutrisi (N, P, K), rasio C:N yang sebaiknya kurang dari 30:1, dan ketersediaan oksigen. Pengelolaan limbah domestik yang berlimpah memerlukan perlakuan khusus untuk mencegah pencemaran tanah. Langkah-langkah yang dapat diambil meliputi:

1. Memisahkan sampah menjadi organik yang dapat diurai oleh mikroorganisme (*biodegradable*) dan sampah yang tidak dapat diurai oleh mikroorganisme (*nonbiodegradable*). Oleh karena itu, memisahkan sampah menjadi dua wadah yang berbeda, yaitu organik dan anorganik, sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir adalah tindakan bijak.
2. Sampah organik yang dapat diurai dapat diolah, seperti dijadikan bahan urukan dengan penutupan tanah sehingga tanah dapat digunakan kembali. Selain itu, dapat dijadikan kompos atau digunakan dalam pembuatan biogas dari kotoran hewan.
3. Mengurangi penggunaan pupuk sintetis dan pestisida.
4. Mengolah limbah industri sebelum dibuang ke sungai atau laut.
5. Mengurangi penggunaan bahan yang tidak dapat diurai oleh mikroorganisme (*nonbiodegradable*) dengan menggantinya dengan bahan ramah lingkungan seperti daun pisang atau daun jati sebagai bahan kemasan atau pembungkus.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriano, D.C and M.A. Elrashidi, 2006. Interaction of Contaminant with Soil Component and Environmental Restoration. World Congress of soil science. Mexico.
- Ali Hanafiah, Kemas. 2005. Dasar- dasar Ilmu Tanah. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Bachri, Moch. 1995. Geologi Lingkungan. CV. Aksara, Malang.
- Budiyanto, M.A.K., 2002. Mikrobiologi Terapan. Universitas Muhammadiyah Malang
- Isroi. 2008. Kompos. Bogor: Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia
- Latifah, S. 2005. Kegiatan reklamasi tanah pada bekas tambang. Tesis Program Kehutanan Jurusan Manajemen Hutan. Universitas Sumatera Utara
- McArmand Zurhaar. 2008. Pencemaran Tanah. Rineka Cipta. Jakarta
- Soeriaatmadja, R.E., 2000. Ilmu Lingkungan, ITB Bandung
- Sutedjo, M.M., A.G. Kartasapoetra, dan R.D.S. Sastroatmodjo. 2001. Mikrobiologi Tanah. Rineka Cipta. Jakarta.
- Wardhana, W.A., 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan, Andi Offset Yogyakarta, Jakarta.
- Yong,, R.N., A. Mohammed and B.P. Warkentin. 1992. Wastes and Contaminant, Principles of Contaminant Transport in Soil. Elsevier. Amsterdam.

BAB 9

EKONOMI SIRKULAR DAN ANALISIS LINGKUNGAN (LIMBAH MAKANAN)

Oleh Patmawati

9.1 Pendahuluan

Ekonomi sirkular tidak hanya menjadi peluang dalam mengurangi limbah dan memperbaiki lingkungan bagi Negara kita di Indonesia yang tengah berupaya dalam pemulihan pasca pandemi covid-19 disertai dengan kebijakan pemulihan dalam memperkuat struktur ekonomi yang mencakup semua operasi para pelaku usaha atau bisnis yang masih memberikan dampak negatif pada lingkungan. Sehingga berbagai upaya bersama antara ekonomi dan lingkungan pada sektor utama penghasil limbah (makanan, minuman, tekstil, konstruksi, perdagangan grosir dan eceran serta peralatan listrik dan elektronik) menjadi hal utama dari proses pemulihan ekonomi untuk menurunkan limbah dalam melestrasikan lingkungan.(Bappenas, 2021).

Limbah makanan yang paling utama yaitu dihindari sehingga hilangnya sumber daya dan dampak lingkungan hidup dari atas ke bawah dalam mengukur dampak lingkungan yang dihasilkan dari limbah makanan diantaranya menimbulkan pemansan global hingga penipisan persediaan air (Tonini, Albizzati and Astrup, 2018).

Di kutip dari www.liputan6.com bahwa deviasi suhu permukaan yang melonjak dangat luar biasa bahkan gelombang panas yang parah dirasakan sebagian bedar daerah di Indonesia. Peningkatan suhu menjadi pemicu utam terjadinya kebakaran hutam hal tentu sangat mengkhawatirkan mengingat el Nino akan menguat. Jika tidak dibarengi dengan penghematan energi yang lebih kuat, maka perubahan hanya akan menjadi sia-sia belaka dan hal ini sudah menjadi peringatan dini kepada kita bahwa peristiwa ekstrem di tahun ini. (Ferida, 2023)

Tampaknya perilaku menyisakan makanan masih sering dilakukan bahkan masih dianggap mudah dilakukan oleh sebagian orang. Sebenarnya makanan yang terbuang akan menjadi limbah dan menimbulkan permasalahan serius atas berbagai macam kerugian yang ditimbulkan khususnya pada lingkungan. Makanan menjadi kebutuhan yang sangat esensial bagi manusia karena sangat berperan penting bagi kelangsungan hidup akan tetapi pada kenyataannya makanan yang sudah dikonsumsi lebih banyak terbuang dan berakhir di tempat pembuangan sampah atau menjadi makanan ternak.

Sekitar sepertiga makanan diproduksi hampir disemua negara hilang atau terbuang yang setara dengan 1,3 miliar ton sampah makanan yang dihasilkan dalam setiap tahun (Li *et al.*, 2022) . Sampah makanan atau sampah organik merupakan penyumbang terbesar terhadap timbulan sampah di Indonesia. Besarnya limbah juga berdampak kesehatan sehingga diperlukan sebuah terobosan baru terkait pada penanganan yang mengarah pada kesadaran masyarakat.

Sampah yang sumbernya dari sisa makanan atau biasa juga disebut dengan *food waste* merupakan ancaman besar sehingga menjadi penting untuk diperhatikan dan diutamakan dalam proses pengurangannya. Problematika terkait limbah makanan hampir terjadi pada semua sisi kehidupan manusia oleh karena timbulan sampah makanan di masing-masing wilayah memerlukan teknik pengolahan yang canggih dan ramah lingkungan serta mudah untuk diterapkan.

Istilah *food waste* lebih merujuk pada adanya limbah makanan. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2021 diantara semua jenis limbah yang terbuang oleh aktivitas manusia adalah sisa makanan. Yang dikonsumsi sebesar 29,1 persen dari total limbah yang ada. (DLHK Polewali Mandar, 2022)

Cara kita menghasilkan dan menggunakan makanan tidak berkelanjutan. Sebagian besar tinggi kesadaran akan pentingnya mengurangi pemborosan makanan. Banyak individu mengalami kekurangan nutrisi dan kelaparan dengan angka mencapai 16,82 persen. Angka kebutuhan pangan terus meningkatkan secara

signifikan karena sesungguhnya kita membutuhkan 70% lebih banyak makanan dibandingkan dengan apa yang saat ini dikonsumsi (Jamaludin, Elmaky and Sulaiman, 2022).

Banyak sekali sampah makanan yang terjadi pada tingkat konsumsi yang melebihi jumlah sampah yang dihasilkan pada saat panen, pengolahan, dan distribusi makanan. Oleh karena itu, perhatian utama saat ini adalah untuk menentukan faktor penyebab tersisanya makanan. Limbah makanan merupakan isu yang sulit dikarenakan berbagai faktor yang terhubung dengan satu sama lain dapat memberikan pengaruh terhadap masalah ini.

Dalam buku kesehatan lingkungan dan bencana dijelaskan bahwa manusia untuk pemenuhan kebutuhan pangan dalam mendukung agar tetap sehatm produktif dan sejahtera sehingga dapat menunjang asupan gizi. (Sari *et al.*, no date) Berdasarkan kekhawatiran ini, maka dibutuhkan sebuah kajian khusus terkait dengan peran masing-masing lini kehidupan manusia dalam hal penanganan masalah sampah atau limbah makanan (food loss) baik yang meliputi pemerintah, pelaku bisnis, masyarakat dan akademisi.

Konsekuensi terhadap penggunaan model ekonomi sirkular diperlukan metode dan lingkup studi analisis lingkungan sehingga menjadi alat sebagai dasar pengendalian dan pengelolaan lingkungan hidup. (Li *et al.*, 2022) Teknik melingkar yang diterapkan untuk memurnikan lingkungan dan meregenerasi bahan mentah yang dikembangkan untuk mengurangi dampak lingkungan akibat aktivitas manusia sehari-hari. Konsep dari ekonomi sirkular adalah sebuah respon dari aspirasi untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan dalam konteks besarnya tekanan produksi dan konsumsi terhadap sumber daya alam dan lingkungan. Hingga saat ini sistem ekonomi sirkular berperan dalam model pengelolaan sampah yang linear di mana setiap material sampah dikelola secara maksimal.

9.2 perilaku yang menghasilkan Limbah Makanan

Perilaku seringkali muncul sebagai penyebab utama adanya sisa-sisa makanan berlebihn setiap harinya sehingga berdampak pada munculnya limbah makanan. Hal ini diperparah dengan tidak di imbanginya perilaku pengelolaan sampah makanan yang baik.

Limbah makanan juga di picu dari banyaknya jumlah anggota keluarga serta kebiasaan belanja secara berlebih dan tidak adanya pemilahan berdasarkan jenis sampah yang dihasilkan.

Perilaku pembuangan sisa makanan bukan merupakan fenomena baru, tetapi tetap menjadi masalah besar di kalangan masyarakat. Hal tersebut dapat terjadi karena tidak adanya perencanaan kebutuhan makanan sehingga masyarakat cenderung berlebihan dalam membeli atau menimbun makanan. Sehingga sisa makanan tidak dapat di hindari dalam proses pemenuhan kebutuhan manusia meski memiliki pertimbangan di antaranya masa ketahanan pangan yang dapat mempengaruhi keamanan pangan jika tetap dikonsumsi. (Lutviyani, Farkha and Firdausi, 2022).

Perilaku masyarakat yang sering menjadi pendorong munculnya sisa-sisa makanan dalam kehidupan sehari-hari yang berdampak pada munculnya sampah makanan, terlebih lagi perilaku tersebut tidak di imbangi dengan perilaku pengelolaan yang baik. Pemahaman yang lebih baik tentang perilaku pengelolaan limbah makanan ini dapat digunakan untuk membantu memaksimalkan efisiensi pengelolaan makanan sehingga dibutuhkan pendekatan pengetahuan mendalam mengenai faktor perilaku masyarakat dalam pengelolaan limbah/sampah makanan tersebut.(Bambang Hermanu, 2022a)

Limbah makanan pada hakikatnya terkait dengan meningkatnya tantangan ketahanan pangan, kelestarian sumber daya dan lingkungan serta pada perubahan iklim yang terjadi di masa sekarang ini. Jika aliran limbah makanan terjadi pada tahap konsumsi pada akhir rantai makanan, maka pendekatan yang paling efektif sekarang ini terkait penanganan limbah makanan yang terbuang membutuhkan keseriusan yang sangat penting, meski beberapa pelaku usaha baik di instansi pemerintah maupun swasta menangani makanan yang terbuang pada hewan ternak yang secara fenomenal berfungsi sebagai bio-prosesor dalam mengubah makanan yang tidak dapat dikonsumsi lagi menjadi bahan lain yang layak menghasilkan. (Dou, Toth and Westendorf, 2018)

Pada tahun 2050 masa yang akan datang, diperkirakan bahwa bumi kita akan dihuni oleh 9,6 miliar jumlah populasi

manusia. (Bambang Hermanu, 2022b). Fakta bahwa masyarakat berpenghasilan menengah di Negara berkembang sebagai pekerja akan menyiratkan paradigma sampah makanan rumah tangga memprihatinkan disebabkan sampah makanan akan hidup berdampingan kerawanan pangan. Studi hasil penelitian terkait tentang perilaku masyarakat yang tinggal di wilayah perkotaan menghasilkan lebih banyak limbah makanan dibandingkan di wilayah pedesaan sehingga faktor demografi merupakan salah satu pendekatan yang mempengaruhi limbah makanan sehingga dari sisi demografi diantaranya karena jumlah anggota keluarga dan kemampuan finansial yang dimiliki yang berdampak pada timbulnya limbah makanan baik pada skala rumah tangga atau fasilitas umum lainnya. (Bhatia and Sharma, 2023)

Fenomena limbah makanan ini diperparah dengan kondisi penduduk miskin di Indonesia mencapai angka 27.542,77 ribu jiwa dari total jumlah penduduk 237,6 juta jiwa sehingga menempatkan Indonesia pada posisi peringkat kedua di dunia dalam jumlah limbah makanan kategori besar (Bambang Hermanu, 2022a).

Perilaku masyarakat yang sering menjadi pendorong munculnya sisa-sisa makanan dalam kehidupan sehari-hari yang berdampak pada munculnya sampah makanan, terlebih lagi perilaku tersebut tidak diimbangi dengan perilaku pengelolaan yang baik. Pemahaman yang lebih baik tentang perilaku pengelolaan limbah makanan ini dapat digunakan untuk membantu memaksimalkan efisiensi pengelolaan makanan sehingga dibutuhkan pendekatan pengetahuan mendalam mengenai faktor perilaku masyarakat dalam pengelolaan limbah/sampah makanan tersebut. (Bambang Hermanu, 2022a)

Tabel 9.1. limbah makanan berdasarkan teori perilaku dan pengelolaan limbah makanan yang diidentifikasi

Sumber	Lingkup analisis geografis	Metodologi	Fokus analisis
(Nikolaus, Nickols-Richardson and Ellison, 2018)	Amerika Serikat	Analisis inductive thematic	Persepsi, keyakinan dan perilaku terkait dengan makanan yang terbuang pada orang dewasa usia 18 hingga 24 tahun yang di dominasi oleh jenis kelamin perempuan
(Gorzeń-Mitka <i>et al.</i> , 2020)	Amerika Serikat	Metode bibliometrics dengan menganalisis 2202 catatan dari database scopus tentang pengelolaan limbah makanan dengan bantuan perangkat lunak VOS viewer.	Kata kunci basis data tentang pengetahuan, distribusi topik secara visual pada bidang penelitian pengelolaan limbah makanan.
(Abdelradi, 2018)	Mesir	Pemodelan persamaan struktural	Persepsi individu tentang sisa makanan yang berhubungan dengan jumlah makanan terbuang

Sumber	Lingkup analisis geografis	Metodologi	Fokus analisis
			percuma di tingkat rumah tangga.
(Mattar <i>et al.</i> , 2018)	Lebanon	Wawancara terstruktur pada 1264 rumah tangga untuk menilai sikap dan perilaku terhadap limbah makanan melalui statistik regresi logistik	Faktor perilaku pada generasi limbah makanan rumah tangga secara signifikan berkontribusi terhadap limbah makanan melalui perilaku dan kepercayaan
(Schanes, Dobernig and Gözet, 2018)	Global	Studi empiris tentang Identifikasi limbah makanan	Integrasi analisis limbah makanan untuk serangkaian kebijakan bagi pelaku bisnis dan pengecer
(Grasso <i>et al.</i> , 2019)	Denmark dan Spanyol	Dengan menggunakan model persamaan struktural berdasarkan analisis konfirmatori variabel limbah makanan yang terbuang	Karakteristik sosio demografi dalam memprediksi perilaku limbah makanan di Eropa
(Amirudin and Gim, 2019)	Malaysia	Model konseptual melalui	Tiga jalur signifikan untuk menghubungkan

Sumber	Lingkup analisis geografis	Metodologi	Fokus analisis
		pengumpulan data PLS-SEM	pemborosan makanan pada tingkat usaha, kepedulian lingkungan dan kepentingan harga.
(van der Werf, Seabrook and Gilliland, 2019)	London	Kuesioner dan self-report dengan menggunakan path-analysis	perilaku pemborosan barang berdasarkan teori perilaku terencana

Sekiranya masih banyak masyarakat yang melakukan limbah makanan maka akan menimbulkan dampak yang besar bagi lingkungan di antaranya dapat menghasilkan gas metana sehingga berpotensi sebagai gas rumah kaca, dan dengan demikian merupakan salah satu kendala utama yang harus di atasi dalam upaya mengatasi perubahan iklim. (Bretter et al., 2023) Selain itu menyebabkan kurangnya jumlah zat gizi yang tersedia di antaranya yang terbuang berkisar 102 Kkal, 7gr protein, 1,9gr serta, 75,7mg kalsium. (Azizah et al., 2021).

9.3 Implikasi Kebijakan

Limbah makanan bisa saja berasal dari makanan yang diolah secara berlebihan. Bercermin dari negara maju, jika pola konsumsinya sama dengan pola konsumsi negara berkembang dalam menghasilkan limbah makanan sehingga jumlah per kapita per tahunnya akan semakin bertambah. Hal ini lah yang menyebabkan bahwa implikasi di negara-negara berkembang terhadap pencegahan limbah makanan yang mengalami urbanisasi

perekonomian untuk mempromosikan pangan yang efektif dan efisien.

Pengambilan keputusan dalam kebijakan publik dan bisnis memerlukan alat untuk menangani berbagai sumber kompleksitas dalam transisi ekonomi sirkular yang bertujuan untuk memisahkan pertumbuhan ekonomi dari ekstraksi sumber daya dan pemborosan. (Kalmykova, Sadagopan and Rosado, 2018).

Model implikasi kebijakan secara langsung dalam hal pengelolaan limbah makanan skala rumah tangga di berbagai negara berkembang secara pesat yang dipengaruhi oleh masyarakat yang berpindah dari desa ke kota untuk memperbaiki perekonomian. Campuran pemerintah dalam mempromosikan pangan yang efektif dan efisien merupakan salah satu teknik dalam membantu pencegahan makanan rumah tangga menjadi limbah yang berlebih. Pengambil kebijakan program perbaikan pendidikan dan perubahan perilaku melalui penanaman karakter sadar minim sampah dan memanfaatkan limbah berdasarkan standar keamanan pangan (Bhatia and Sharma, 2023).

Ekonomi sirkular merupakan salah satu upaya untuk mengurangi limbah dan memperbaiki lingkungan. (Fadhillah and Fahreza, 2023). Perilaku pembuangan sisa makanan bukan merupakan fenomena baru, tetapi tetap menjadi masalah besar di kalangan masyarakat. Hal tersebut dapat terjadi karena tidak adanya perencanaan kebutuhan makanan sehingga masyarakat cenderung berlebihan dalam membeli atau menimbun makanan. Sehingga sisa makanan tidak dapat di hindari dalam proses pemenuhan kebutuhan manusia meski memiliki pertimbangan di antaranya masa ketahanan pangan yang dapat mempengaruhi keamanan pangan jika tetap dikonsumsi. (Lutviyani, Farkha and Firdausi, 2022). Salah satu strategi Uni Eropa adalah mencapai netralitas iklim dengan bergerak menuju ekonomi sirkular dengan pengelolaan limbah yang lebih baik, termasuk mengurangi limbah dan kehilangan makanan, menggunakan kembali atau mendaur ulang produk untuk keberlanjutan sistem pangan (Focker et al., 2022).

Ekonomi sirkular didefinisikan sebagai metode untuk mengelola sirkularitas sumber daya, efisiensi, dan optimalisasi yang

menganjurkan penggunaan limbah sebagai sumber daya untuk menghasilkan nilai. Di beberapa negara berkembang masih menganut sistem ekonomi linear, yaitu model ambil, buat dan buang. Sehingga alternatifnya pada produksi, konsumsi dan buang menjadi pemborosan. (Cosenza, De Andrade and De Assunção, 2020). Selain sistem ini mencemari lingkungan, model ini juga menghasilkan limbah yang sangat besar dan penggunaan sumber daya yang tidak efisien. Model ekonomi sirkular, disisi lain melibatkan produksi, konsumsi, membuang limbah untuk daur ulang untuk sistem produksi lebih lanjut dan sebagian besar diatur oleh konsep daur ulang, kurangi dan penggunaan kembali (3R). (Ahmed, Mahmud and Acet, 2022). Dengan demikian ekonomi sirkular adalah salah satu cara pembangunan yang paling ramah lingkungan dan berkelanjutan.

9.4 Dampak Negatif Limbah Makanan

Setiap saat makanan yang terbuang pada semua sumber daya berakhir dan terbuang sia-sia. Dampak meningkatnya limbah makanan secara perhitungan mengalami penurunan status gizi sehingga menimbulkan kualitas yang rendah hal ini juga berefek pada kesehatan, kejenuhan dan produktivitas konsumen. Selain itu makanan yang tidak dikonsumsi terdapat biaya lingkungan yang harus dibayar. Selain itu meningkatnya limbah makanan juga menyumbang terjadi gas rumah kaca yang lebih dikenal dengan gas metana. Yang sifatnya lebih berbahaya dari pada CO₂. Jika bumi memiliki kelebihan gas rumah kaca seperti metana, CO₂, yang menyerap radiasi infra merah dan memanaskan atmosfer bumi sehingga menyebabkan pemanasan global dan menyebabkan perubahan iklim. Sehingga memang perlu kesadaran masing-masing individu, karena ketika kita berhenti membuang makanan (menimbulkan sisa makanan) maka kita dapat mencegah 11% emisi gas rumah kaca dari sistem pangan kita.

Kerugian dari timbunan Limbah makanan Indonesia pada tahun 2000-2019 diestimasikan sebesar 213-551 triliun rupiah/tahun, pemborosan menghasilkan biaya tambahan yang diperlukan untuk membuang limbah makanan sehingga konsep ekonomi sirkular dapat membantu para pelaku usaha untuk

memperoleh lebih banyak pendapatan dan sedikit biaya (Lugo, Kimita and Nishino, 2022). Data jumlah timbunan sampah sebesar 34,303,208.69 ton/tahun yang terdiri dari jumlah komposisi sampah berdasarkan jenis sampah yang paling mendominasi sebanyak 40,7% dari jenis Sisa Makanan, 13,3% dari jenis kayu/ranting/daun, 11,1% jenis sampah kertas/karton, 17,8% jenis sampah plastik dan 7,2% termasuk jenis sampah lainnya (termasuk logam, kain, kaca, karet/kulit). (Kehutanan, Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah and Sampah, 2022). Tanpa pengendalian di estimasikan timbunan Limbah makanan Indonesia pada tahun 2024 dapat mencapai 344kg/kapita/Tahun.

Tabel 9.2. Rincian komposisi limbah makanan yang dapat dihindari dan dihasilkan oleh sektor pengolahan, grosir, eceran dan grosir dan rumah tangga yang dihasilkan limbah dalam jumlah per tahun (kKg/tahun)

Kategori makanan	Produk makanan	Pengolahan	Grosir dan eceran	Layanan makanan	Rumah tangga
Daging dan produk daging	Ayam	88,5	54,1	90,6	63,5
	Daging sapi	47,5	22,9	38,3	26,9
	Domba/daging kambing	16,2	8,0	13,4	9,4
Susu dan produk susu	Susu	145,8	107,8	0,0	80,5
	Keju	75,3	8,1	0,0	6,1
	Mentega	5,0	2,9	0,0	2,2
	Yoguth	4,8	14,4	0,0	10,7
Ikan dan produk ikan	Ikan	24,0	7,4	10,9	9,2
Buah dan sayur	Jeruk	0,0	9,4	14,3	10,1
	Apel	0,3	27,1	40,9	28,8

Kategori makanan	Produk makanan	Pengolahan	Grosir dan eceran	Layanan makanan	Rumah tangga
	Pir	1,1	7,6	11,5	8,1
	Pisang	0,0	42,8	64,7	45,6
	Salad	5,2	10,0	15,2	10,7
Lainnya	Kembang gula	34,8	58,8	0,0	21,8
Total limbah makanan yang dapat di hindari		448,50	381,30	299,80	333,60

Sumber: (Tonini, Albizzati and Astrup, 2018) dan (Dou, Toth and Westendorf, 2018)

Dampak yang paling mengkhawatirkan akibat adanya timbulan limbah makanan diantaranya berupa ancaman kelangkaan pangan, disebabkan karena semakin meningkatnya sumber makanan yang tidak terolah dan digunakan sebagaimana mestinya. Bagaimana mestinya diatasi sehingga dampaknya tidak dirasakan oleh anak cucu kita sehingga menjadi tugas bersama dalam mengatasi limpahan limbah makanan. Diantara lain membeli makanan dengan tidak berlebihan, menerapkan konsep 6R, menyiapkan menu makanan dengan rencana yang baik dan tersusun, dan melakukan pengomposan.

Penerapan ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah makanan di rumah sakit, dapat membawa manfaat seperti pengurangan limbah, penghematan biaya dan pengurangan dampak lingkungan. Namun implementasinya mungkin memerlukan perubahan struktural dalam rantai pasokan dan investasi dalam pelatihan tenaga kesehatan.

Model ekonomi sirkular merupakan suatu pendekatan untuk mengelola sumber daya secara berkelanjutan dengan mengurangi limbah dan memperpanjang umur pakai produk. Dalam konteks penanganan limbah makanan di rumah sakit, model ekonomi sirkular dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk mengurangi dampak lingkungan penggunaan sumber daya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelradi, F. 2018. 'Food waste behaviour at the household level: A conceptual framework', *Waste Management*, 71, pp. 485–493. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.001>.
- Ahmed, Z., Mahmud, S. and Acet, D.H. 2022. 'Circular economy model for developing countries: evidence from Bangladesh', *Heliyon*, 8(5), p. e09530. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09530>.
- Amirudin, N. and Gim, T.H.T. 2019. 'Impact of perceived food accessibility on household food waste behaviors: A case of the Klang Valley, Malaysia', *Resources, Conservation and Recycling*, 151(May), p. 104335. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.011>.
- Azizah, N. *et al.* 2021. 'Faktor Yang Berhubungan Total Food Loss and Waste (Flw) Pada Karyawan Pt. Camiloplas Jaya Makmur Selama Pandemi Covid-19', *Jurnal Gizi dan Pangan Soedirman*, 5(2), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.20884/1.jgipas.2021.5.2.4766>.
- Bambang Hermanu. 2022a. 'Pengelolaan Limbah Makanan (Food Waste) Berwawasan Lingkungan Environmentally Friendly Food Waste Management', *Jurnal Agrifoodtech*, 1(1 SE-Articles), pp. 1–11. Available at: <https://jurnal2.untagsmg.ac.id/index.php/Agrifoodtech/article/view/52>.
- Bambang Hermanu. 2022b. 'Pengelolaan Limbah Makanan (Food Waste) Berwawasan Lingkungan Environmentally Friendly Food Waste Management', *Jurnal Agrifoodtech*, 1(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.56444/agrifoodtech.v1i1.52>.
- Bappenas. 2021. 'Manfaat Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan dari Ekonomi Sirkular di Indonesia', *Ja Nuary*, 202, p. 12.
- Bhatia, A. and Sharma, S. 2023. 'Identifying determinants of household food waste behavior in urban India', *Cleaner Waste Systems*, 6(April), p. 100105. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100105>.

- Bretter, C. *et al.* 2023. 'Food waste interventions: Experimental evidence of the effectiveness of environmental messages', *Journal of Cleaner Production*, 414(November 2022), p. 137596. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137596>.
- Cosenza, J.P., De Andrade, E.M. and De Assunção, G.M. 2020. 'A circular economy as an alternative for Brazil's sustainable growth: Analysis of the national solid waste policy', *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, 9(1), pp. 1–28. Available at: <https://doi.org/10.5585/GEAS.V9I1.16147>.
- DLHK Polewali Mandar. 2022. 'Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (DIKPLHD)', *Perpustakaan.menlhk.go.id*, p. 244. Available at: <http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/images/docs/ikplhd-CILACAP 2019.pdf>.
- Dou, Z., Toth, J.D. and Westendorf, M.L. 2018. 'Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications', *Global Food Security*, 17(November 2017), pp. 154–161. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.12.003>.
- Fadhillah, M.H. and Fahreza, M. 2023. 'Pendekatan Ekonomi Sirkular sebagai Model Pengembangan Bisnis melalui Pemanfaatan Aplikasi pada Usaha Kecil dan Menengah Pasca Covid-19', 14(1), pp. 55–67.
- Ferida, K. 2023. 'Ahli Ungkap Potensi 2023 Jadi Tahun Terpanas dalam Sejarah Bumi', *Liputan6.Com* [Preprint]. Available at: <https://www.liputan6.com/global/read/5320778/ahli-ungkap-potensi-2023-jadi-tahun-terpanas-dalam-sejarah-bumi?page=2>.
- Focker, M. *et al.* 2022. 'Review of food safety hazards in circular food systems in Europe', *Food Research International*, 158(May). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111505>.
- Gorzeń-Mitka, I. *et al.* 2020. 'Mapping the structure of food waste management research: A co-keyword analysis', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), pp. 1–34. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph17>

134798.

- Grasso, A.C. *et al.* 2019. 'Socio-demographic predictors of food waste behavior in Denmark and Spain', *Sustainability (Switzerland)*, 11(12), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.3390/su10023244>.
- Jamaludin, H., Elmaky, H.S.E. and Sulaiman, S. 2022. 'The future of food waste: Application of circular economy', *Energy Nexus*, 7(December 2021), p. 100098. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100098>.
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M. and Rosado, L. 2018. 'Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools', *Resources, Conservation and Recycling*, 135(November 2017), pp. 190–201. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>.
- Kehutanan, K.L.H. dan, Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, L. dan B. and Sampah, D.P. 2022. *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. Available at: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>.
- Li, J. *et al.* 2022. 'Green environment and circular economy: A state-of-the-art analysis', *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, p. 102106. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102106>.
- Lugo, S.D.R., Kimita, K. and Nishino, N. 2022. 'Circular Food Economy framework: Challenges and initiatives', *Procedia CIRP*, 112(March), pp. 28–33. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.019>.
- Lutviyani, A., Farkha, F. and Firdausi, H. 2022. 'Tinjauan Limbah Makanan Terhadap Lingkungan dalam Persepektif Islam dan Sains', *Interkoneksi Islam dan Sains*, 4, pp. 49–53.
- Mattar, L. *et al.* 2018. 'Attitudes and behaviors shaping household food waste generation: Lessons from Lebanon', *Journal of Cleaner Production*, 198, pp. 1219–1223. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.085>.

- Nikolaus, C.J., Nickols-Richardson, S.M. and Ellison, B. 2018. 'Wasted food: A qualitative study of U.S. young adults' perceptions, beliefs and behaviors', *Appetite*, 130(August 2017), pp. 70–78. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.07.026>.
- Sari, M. *et al.* (no date) *BENCANA*.
- Schanes, K., Dobernig, K. and Gözet, B. 2018. 'Food waste matters - A systematic review of household food waste practices and their policy implications', *Journal of Cleaner Production*, 182, pp. 978–991. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030>.
- Tonini, D., Albizzati, P.F. and Astrup, T.F. 2018. 'Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK', *Waste Management*, 76, pp. 744–766. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.032>.
- van der Werf, P., Seabrook, J.A. and Gilliland, J.A. 2019. 'Food for naught: Using the theory of planned behaviour to better understand household food wasting behaviour', *Canadian Geographer*, 63(3), pp. 478–493. Available at: <https://doi.org/10.1111/cag.12519>.

BIODATA PENULIS



Drs. Bambang Suhartawan, M.MT

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

Penulis lahir di Blitar tanggal 13 Pebruari 1964. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Kimia Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Cenderawasih Jayapura pada tahun 1989. Pendidikan Pasca Sarjana diperoleh dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Manajemen Teknik Lingkungan pada tahun 2002. Penulis adalah dosen tetap dengan status PNS-DPK pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Sains dan Teknologi Jayapura.

BIODATA PENULIS



Dr. Nururrahmah Hammado, M. Si
Dosen Program Studi Teknik Lingkungan
Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 9 Mei 1978. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia di Universitas Negeri Makassar pada tahun 2002, menyelesaikan pendidikan S2 pada Program Studi Ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin tahun 2006, dan menyelesaikan pendidikan S3 pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan tahun 2022. Penulis memiliki bidang kajian riset terkait pencemaran air, *waste treatment*, bahan alam, dan *renewable energy*.

BIODATA PENULIS



Sri Magfirah HS, S.Si., M.Ling.

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan
Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa

Penulis lahir di Polmas tanggal 26 Januari 1996. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup, Konsentrasi Teknologi Lingkungan, Universitas Hasanuddin, dengan predikat *Cumlaude*. Penulis mulai menekuni kimia lingkungan sejak menjalani proses magang di Laboratorium Kimia, Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKLPP) Kelas I Makassar. Penulis kemudian tertarik untuk menempuh pendidikan S2 di bidang lingkungan dengan meneliti tentang *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) dalam bioremediasi air limbah domestik. Judul penelitian ini telah terpilih dalam program pendanaan Penelitian Pascasarjana-Penelitian Tesis Magister (PPS-PTM) pada tahun anggaran 2020. Penulis berharap akan terus menghasilkan karya-karya baik dalam bentuk penelitian, pengabdian masyarakat, ataupun dalam penulisan buku yang ilmunya dapat bermanfaat bagi setiap pembacanya.

BIODATA PENULIS



Prof.Dr.Wayan Budiarsa Suyasa
Dosen sdi Universitas udayana

Penulis memiliki nama lengkap Prof.Dr.Wayan Budiarsa Suyasa, dilahirkan di Denpasar, Bali pada tanggal 03 Maret 1967. Riwayat pendidikan sarjana ditempuh selama 4 tahun di prodi Kimia Universitas Udayana, gelar Magister dan Doktor dibidang kimia lingkungan diperoleh dari Institut Pertanian Bogor. Penulis memperoleh jabatan guru besar pada tahun 2011 dibidang kimia lingkungan di Universitas udayana yang menjadi tempatnya sebagai dosen. Berbagai mata kuliah dibidang kimia lingkungan diampu di prodi sarjana kimia, magister kimia, magister dan doktor ilmu lingkungan hingga sekarang. Penulis juga telah menulis beberapa buku dari hasil penelitian dan pengembangan pembelajaran. beberapa dengan topik terkait kimia lingkungan yaitu pengolahan air limbah, sampah, pengelolaan lingkungan, amdal baik secara mandiri maupun berkolaborasi.

BIODATA PENULIS



Kasta Gurning

Dosen Program Studi Farmasi
Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Senior Medan

Penulis lahir di Simpang Tiga, 11 Juli 1989 kabupaten Toba, Provinsi Sumatera Utara. Penulis merupakan anak ke sepuluh dari dua belas bersaudara pasangan G. Gurning dan S. br. Sitorus. Pendidikan Sarjana ditempu di Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Negeri Medan Tahun 2007-2011 dengan gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.). Pendidikan Magister di Program Studi Ilmu Kimia (Konsentrasi Kimia Organik) Universitas Gadjah Mada Tahun 2012-2014 dengan gelar *Master of Science* (M.Sc.), dan Program Studi Pendidikan Sains (konsentrasi Pendidikan Kimia) di PPs Universitas Negeri Yogyakarta Tahun 2013-2015 dengan gelar Magister Pendidikan (M.Pd.). Sejak Tahun 2015 bekerja sebagai Dosen Tetap di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Senior Medan sampai sekarang. Penulis aktif melakukan publikasi ilmiah baik di jurnal nasional dan internasional, serta menerbitkan tulisan dalam bentuk Buku Ajar, Buku Monograf dan Buku Referensi. Penulis terhitung sejak Agustus 2022 sedang menempu pendidikan Program Studi Doktor di Universitas Gadjah Mada dengan konsentrasi Kimia Organik Bahan Alam melalui Beasiswa Pendidikan Indonesia Program Akademik Tahun 2022.

BIODATA PENULIS



Ir. Mohammad Istnaeny Hudha, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang

Penulis lahir di Lamongan tanggal 03 September 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia ITN pada tahun 1997 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 1999. Pada tahun 2022 menempuh studi profesi Insinyur di Program studi Teknik Kimia Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin Kalimantan Selatan. Penulis menekuni bidang Pengolahan Limbah Industri, Teknik Reaksi Kimia dan Kesehatan Keselamatan Kerja. Saat ini sedang mendalami tentang Process Safety dan menjadi Trainer Hazard Operability Study (Hazop) serta Analisa Mengenai Dampak Lingkungan. Email : istnaeny.hudha@lecturer.itn.ac.id

BIODATA PENULIS



Efrinda Ari Ayuningtyas, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Geografi
Universitas Lambung Mangkurat

Penulis lahir di Yogyakarta, 4 April 1990. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Geografi dan Ilmu Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada dan S2 pada program studi Magister Perencanaan dan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai (MPPDAS), Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis sebelumnya meniti karir sebagai dosen tetap non PNS di Program Studi Penginderaan Jauh dan SIG, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada dari tahun 2016-2018. Hingga saat ini, penulis merupakan dosen tetap Program Studi Geografi, Universitas Lambung Mangkurat. Adapun bidang keahlian penulis adalah Geografi Fisik dan Lingkungan dengan beberapa spesifik bidang ilmu yang diajarkan antara lain Geomorfologi, Geologi Umum, Ilmu Tanah, Erosi dan Konservasi Lahan, Ekonomi Lingkungan, Pengelolaan Dampak Lingkungan, Hidrologi, Meteorologi dan Klimatologi, Kualitas Air, dan Kualitas Udara.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Sariwahyuni, SP., M.Si

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Watampone tanggal 18 Juni 1975. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Mineral Politeknik ATI Makassar. Menyelesaikan Pendidikan Strata 1 di Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tahun 1997, Magister Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin pada tahun 2000 dan Doktoral bidang Sistem Pertanian di Universitas Hasanuddin tahun 2012.

BIODATA PENULIS



Patmawati, SKM., M.Kes

Dosen Program Studi kesehatan masyarakat
Fakultas kesehatan masyarakat
Universitas Al Asyariah Mandar

Penulis lahir di Polewali Mandar, tanggal 22 Mei 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kesehatan masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Al Asyariah Mandar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kesehatan Masyarakat Universitas Al Asyariah Mandar dan melanjutkan S2 pada Jurusan Magister Kesehatan Lingkungan, di Fakultas Kesehatan Masyarakat di Universitas di Ponegoro dan saat ini sedang menempuh pendidikan Program Doktor (S3) Ilmu Kesehatan Masyarakat, Universitas Hasanuddin, Makassar melalui bantuan beasiswa BPI Kemendikbudristek. Penulis menekuni bidang Menulis di bidang lingkungan dan kesehatan masyarakat. Beberapa penelitian telah dihasilkan dan publikasi di jurnal-jurnal yang bereputasi. Tanggung jawab lain yang di emban adalah sebagai Pengelola Jurnal terakreditasi nasional sinta, beberapa karya fenomenal lainnya diantaranya telah bergabung menulis buku KESEHATAN LINGKUNGAN BENCANA, Implementation of Circular Economy and Integrated Waste Management for Community Health Systematic Review. Dan lain sebagainya.