

PENCEMARAN PERAIRAN

**Putri Nurhanida Rizky
Akmaluddin
Widya Rahayu
Tri Ari Setyastuti
Niken Prawesti Listyaningrum
Setyawan Dwi Nugroho
Adiara Firdhita Alam Nasyrh
Yus Isnainita Wahyu**



GETPRESS INDONESIA

PENCEMARAN PERAIRAN

Penulis :

Putri Nurhanida Rizky
Akmaluddin
Widya Rahayu
Tri Ari Setyastuti
Niken Prawesti Listyaningrum
Setyawan Dwi Nugroho
Adiara Firdhita Alam Nasyrh
Yus Isnainita Wahyu

ISBN :

Editor : Mila Sari, M.Si.

Penyunting: Yuliatr Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: GETPRESS INDONESIA
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Januari 2023

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Pencemaran Perairan dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Pencemaran Perairan merupakan buku yang berisikan pembahasan mengenai fisis, kimia dan biologis perairan, karakteristik dan kemampuan pengelolaan limbah secara ekologis perairan, pendugaan awal pencemaran suatu perairan, toksisitas pencemaran perairan, bahan-bahan buangan rumah tangga, bahan-bahan buangan industri, pencemaran air sungai, danau, waduk, dan baku mutu, kriteria dan indeks pencemaran.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Desember 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 FISIS, KIMIA DAN BIOLOGIS PERAIRAN	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Parameter Fisika	6
1.3 Parameter Kimia	9
1.4 Parameter Biologi	14
DAFTAR PUSTAKA	16
BAB 2 KARAKTERISRIK DAN KEMAMPUAN PENGELOLAAN LIMBAH SECARA EKOLOGIS PERAIRAN	19
2.1 Pendahuluan	19
2.2 Karakteristik Limbah Perairan	22
2.3 Dampak Limbah terhadap Ekosistem Perairan	36
2.4 Metode Pengelolaan Limbah Ekologis	45
2.5 Teknologi Pengelolaan Limbah Perairan	60
2.6 Studi Kasus dan Aplikasi	66
2.7 Kesimpulan dan Arah Masa Depan	72
DAFTAR PUSTAKA	77
BAB 3 PENDUGAAN AWAL PENCEMARAN SUATU PERAIRAN	83
3.1 Kualitas Air	83
3.2 Indikator Pencemaran Air	85
3.3 Parameter Kualitas Air	86
3.4 Penentuan Status Kadar Air	87
DAFTAR PUSTAKA	98
BAB 4 TOKSISITAS PENCEMARAN PERAIRAN	101
4. 1 Definisi Toksisitas Pencemaran	101
4.2 Jenis Toksisitas	103
4.3 Aspek Yang Mempengaruhi Toksisitas	104
4.4 Zat Potensial Pencemar Perairan	105
4.5 Parameter Zat Pencemar	106
4.6 Standar Nilai Zat Pencemar untuk Perairan	108
4.7 Dampak Toksisitas Terhadap Lingkungan	109
DAFTAR PUSTAKA	111
BAB 5 BAHAN – BAHAN BUANGAN RUMAH TANGGA	113
5.1 Pendahuluan	113
5.2 Jenis – Jenis Limbah Rumah Tangga	114

5.3 Dampak Limbah Rumah Tangga	120
DAFTAR PUSTAKA	124
BAB 6 BAHAN – BAHAN BUANGAN INDUSTRI	127
6.1 Pendahuluan	127
6.2 Jenis Limbah Industri	128
6.3 Pengelolaan Limbah Industri	133
DAFTAR PUSTAKA	139
BAB 7 PENCEMARAN AIR SUNGAI, DANAU, WADUK	141
7.1 Pendahuluan	141
7.2 Pencemaran Air Sungai	142
7.3 Pencemaran Air Danau dan Waduk	149
7.4 Pengendalian Pencemaran Air Tawar	153
DAFTAR PUSTAKA	155
BAB 8 BAKU MUTU, KRITERIA DAN INDEKS PENCEMARAN	161
8.1 Pendahuluan	161
8.2 Pengenalan Baku Mutu dan Pencemaran	162
8.3 Penentuan Baku Mutu	163
8.4 Kriteria Pencemaran	166
8.5 Indeks Pencemaran	166
DAFTAR PUSTAKA	169

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Nilai Kritis Ph Pada Beberapa Organisme Perairan.	10
Gambar 2.1 Limbah Cair Buangan Industri Diperkotaan yang Mencemari Kali.....	26
Gambar 2.2 Buangan Limbah Cair Dari Kegiatan Pertanian Yang Merupakan Sisa Pestisida, Pupuk, Dan Limbah Organik Lainnya.....	29
Gambar 2.3 Limbah Domestik Yang Berasal Dari Aktivitas Sehari- Hari Di Rumah Tangga	30
Gambar 2.4 Bakteri E. Coli Biasa Terkandung Dalam Air Limbah	34
Gambar 2.5 Coronavirus Dalam Ukuran Mikroskopis.	35
Gambar 2.6 Protozoa Dan Ganggang Hijau Dalam Air Limbah Di Bawah Mikroskop	37
Gambar 2.7 Kondisi Perairan Dengan Kandungan Oksigen Terlarut Rendah Akibat Tingginya Konsentrasi Bahan Pencemar.....	40
Gambar 2.8 Kondisi Kanal Dipenuhi Oleh Enceng Gondok Karena Terjadinya Eutrofikasi Diperairan Kanal.....	41
Gambar 2.9 Beberapa Jenis Ikan Telah Terserang Penyakit Akibat Jamur Saprolegnia Akibat Perairan Yang Telah Tercemar.....	43
Gambar 2.10 Seekor Ikan Telah Terkontaminasi Dengan Mikroplastik Yang Berasal Dari Perairan Yang Telah Tercemar	44
Gambar 2.11 Ikan-Ikan Yang Mati Akibat Air Tempat Mereka Tinggal Sudah Tercemar.....	45
Gambar 2.12 Pencemaran Lingkungan Perairan Menyebabkan Berbagai Spesies Mati Dan Berdampak Pada Terganggunya Rantai Makanan Di Perairan	46
Gambar 2.13 Skema Perlakuan Untuk Pemurnian Air Baku Dengan Koagulasi, Flokulasi, Sedimentasi, Dan Filtrasi.....	49
Gambar 2.14 Proses Pengolahan Limbah Cair Secara Fisika Dengan Menggunakan Tinja Sebagai Lumpur Aktif.....	52
Gambar 2.15 Instalasi Pengolahan Air Limbah Secara Kimia Dengan Proses Kimiawi Denga Tiga Tahap Yaitu Netralisasi, Presipitasi, Koagulasi Dan Lokulasi.....	53
Gambar 2.16 Skema Proses Bio-Remediasi Air Dalam Tanah.....	55
Gambar 2.17 Tanaman Fitoremediasi Yang Digunakan Tim Kkn Its Untuk Mengurangi Zat Pencemar Di Tambak Ikan Air Tawar	57
Gambar 2.18 Scirpus Grossus Sebagai Agen Pengolah Limbah Cair Warna Dengan Sistem Constructed Wetland	60
Gambar 2.19 Struktur (A) Swcnts Dan (B) Mwcnts Dalam Penerapan Nanomaterial Pengolahan Air	64
Gambar 2.20 Proses Pengolahan Limbah Dengan Nanoteknologi.....	65

Gambar 2.21 Kondisi Danau Buatan Sebelum Dan Setelah Bioremediasi Memperlihatkan Efektifitas Yang Dihasilkan Dimana Danau Tampak Bebas Bahan Pencemar	68
Gambar 2.22 Infographic On Tuas Nexus In Singapore	70
Gambar 2.23 Integrasi Constructed Wetland dengan Emergent dan Floating Plant Untuk Mengolah Limbah Industri Tekstil.....	71
Gambar 2.24 Pabrik Gwrs Di California Merupakan Pabrik Daur Ulang Air Limbah Terbesar Di Dunia.....	72
Gambar 2.25 Contoh Aplikasi Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air	73
Gambar 2.26 Foto Udara Sungai Citarum Yang Menjadi Perbatasan Antara Kabupaten Bandung Barat Dengan Kabupaten Cianjur Di Haurwangi, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat	75
Gambar 5.1 Pembuangan Sampah di Sungai	116
Gambar 5.2 Limbah Rumah Tangga Organik	117
Gambar 6.1 Limbah Industri berupa Kertas.....	131
Gambar 6.2 Limbah Cair dari Industri.....	132
Gambar 6.3 Limbah Gas Hasil Buangan Industri	133
Gambar 6.4 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)	134
Gambar 6.5 Hirarki Pencegahan Polusi.....	135
Gambar 6.6 Contoh Penanganan Limbah Sesuai dengan Jenisnya	136
Gambar 7.1 Sumber Pencemaran di Sungai Kota Dheka, Bangladesh	145
Gambar 7.2 Potret Pencemaran Air Sungai Citarum	150
Gambar 7.3 Potret Pencemaran Air Danau Toba.....	154
Gambar 7.4 Potret Pencemaran Air Waduk Cirata.....	155
Gambar 7.5 Metode Absorpsi Logam Berat Pada Air Limbah dengan <i>Biochar</i>	156

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Baku Mutu Air Laut Untuk Wisata Bahari Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004.....	2
Tabel 1.2 Standar Baku Mutu Perairan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017	3
Tabel 1.3 Standar Kualitas Air Sesuai Dengan Ketetapan Badan Standar Nasional Indonesia Untuk Budidaya Perikanan	4
Tabel 3.1 Klasifikasi Mutu Air	90
Tabel 3.2 Penentuan Sistem Nilai untuk Menentukan Status Mutu Air.....	91
Tabel 3.3 Status Mutu Kualitas Air Menurut Sistem Nilai STORET di Stasiun 1 Sungai Ciliwung bagi Peruntukan Golongan C (PP/ 1990).....	93
Tabel 3.4 Penilaian Status Mutu Air	94
Tabel 3.5 Contoh Penentuan IP untuk Baku Mutu X.....	96
Tabel 3.6 Contoh Penentuan IPx.....	98
Tabel 3.7 Contoh Penentuan IP untuk Baku Mutu Y.....	98
Tabel 5.1 Susunan Gas pada Gas Alam, <i>Landfill Gas</i> dan Biogas.....	121
Tabel 8.1 Baku Mutu Dari Air Buangan Pembekuan Hasil Perikanan dengan Satu Jenis Kegiatan Pengolahan	166
Tabel 8.2 Baku Mutu Air Limbah Usaha Pengalengan Ikan dengan Satu Jenis Komoditas Produk Olahan.....	167
Tabel 8.3 Baku Mutu Air Buangan dari Usaha Penepungan Ikan dengan Satu Kegiatan Proses Pengolahan	167

BAB 1

FISIS, KIMIA DAN BIOLOGIS

PERAIRAN

Oleh Putri Nurhanida Rizky

1.1 Pendahuluan

Air merupakan sumber utama dalam kehidupan. Hampir semua aspek kehidupan maupun kegiatan di bumi sangat bergantung dengan air. Namun, kemampuan air yang dapat mengencerkan segala jenis zat asing yang masuk ke lingkungan perairan, menjadikan lingkungan perairan dianggap sebagai tempat pembuangan limbah. Hal ini menyebabkan hampir 70% sumber air di bumi dianggap tidak aman untuk dikonsumsi manusia serta kegiatan lain seperti irigasi dan kebutuhan industri (WHO, 2023). Ketersediaan air bersih merupakan suatu syarat utama yang diperlukan untuk mencegah timbulnya penyakit serta untuk meningkatkan kualitas hidup.

Aktivitas pemanfaatan perairan yang semakin meningkat dapat mempengaruhi parameter fisika dan kimia perairan secara langsung maupun tidak langsung. Perubahan kondisi fisika dan kimia perairan ini secara langsung sangat mempengaruhi keberadaan biota perairan yang hidup di wilayah perairan tersebut dalam mencari makan, berpijah, berlindung dan pembesaran. Sifat fisika, kimia, dan biologis perairan dapat menjadi pembeda beberapa macam ekosistem perairan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui parameter –parameter fisika, kimia dan biologi perairan sebagai rujukan dalam pengoptimalan pengembangan kegiatan perikanan.

Pemerintah telah menetapkan standar baku mutu sesuai dengan fungsi dan pemanfaatannya yang diatur ke dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. Standar baku mutu ini bertujuan agar pemanfaatan perairan dalam lingkup industri, perikanan, pertanian, rumah tangga, dll dapat lebih optimal dan berkelanjutan. Dengan memperhatikan standart baku mutu dan kondisi perairannya, beban zat pencemar yang masuk ke dalam perairan akan dapat di minimalisir. Sehingga air dapat tetap berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Adapun beberapa standart baku mutu perairan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1.1 Baku Mutu Air Laut Untuk Wisata Bahari Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004

No.	Parameter	Satuan	Baku mutu
Fisika			
1.	Kecerahan	m	>3
2.	Kebauan	-	Tidak berbau
3.	Padatan tersuspensi	mg/l	80
4.	Sampah	-	Nihil
5.	Suhu	°C	Alami
6.	Lapisan minyak	-	nihil
Kimia			
1.	pH	-	6,5 – 8,5
2.	Salinitas	ppm	Alami
3.	Ammonia	mg/l	0,3
4.	Sulfida (H ₂ S)	mg/l	0,03
5.	Hidrokarbon total	mg/l	1
6.	Senyawa Fenol total	mg/l	0,002
7.	PCB (poliklor bifenil)	µg/l	0,01
8.	Surfaktan (deterjen)	mg/l	1
9.	Minyak dan lemak	mg/l	5
10.	TBT (tri butil tiri)	µg/l	0,01
Biologi			
1.	Coliform	MPN/100 ml	1000

Tabel 1.2 Standar Baku Muru Perairan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017

No.	Parameter	Satuan	Baku mutu		
			Sanitasi	Kolam renang	Pemandian umum
Fisika					
1.	Kekeruhan	NTU	25	0,5	-
2.	Kebauan	-	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau
3.	Padatan tersuspensi	mg/l	1000	-	-
4.	Warna	TCU	50	-	-
5.	Suhu	°C	Suhu udara	16 – 40	15 - 35
6.	Rasa	-	Tidak berasa	-	-
7.	Kecerahan	m	-	4,572	1,6
Kimia					
1.	pH	mg/l	6,5 – 8,5	7 – 7,8	5 - 9
2.	Besi	mg/l	1	-	-
3.	Fluorida	mg/l	1,5	-	-
4.	Kesadahan (CaCO3)	mg/l	500	-	-
5.	Mangan	mg/l	0,5	-	-
6.	Nitrat	mg/l	10	-	-
7.	Nitrit	µg/l	1	-	-
8.	Surfaktan (deterjen)	mg/l	0,05	-	-
9.	Sianida	mg/l	0,1	-	-
10.	Pestisida total	µg/l	0,1	-	-
11.	Alkalinitas	mg/l	-	80 - 200	-
12.	Oxidation Reduction Potential (ORP)	mV	-	720	-
13.	Sisa khlor bebas	mg/l	-	1 – 3	-
14.	Sisa khlor terikat	mg/l	-	3	-
15.	Total Bromine	mg/l	-	2 – 4	-
16.	Oksigen	mg/l	-	-	>4

	terlarut				
	Biologi				
1.	Coliform	CFU/100 ml	50	-	-
2.	E.coli	CFU/100 ml	0	<1	126 - 410
3.	Heterotrophic plate count	CFU/100 ml	-	100	-
4.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	CFU/100 ml	-	<1	-
5.	<i>Staphylococcus aureus</i>	CFU/100 ml	-	<100	-
6.	<i>Legionella spp</i>	CFU/100 ml	-	<1	-
7.	<i>Enterococci</i>	CFU/100 ml	-	-	35 - 130

Tabel 1.3 Standart Kualitas Air Sesuai Dengan Ketetapan Badan Satandar Nasional Indonesia Untuk Budidaya Perikanan

No.	Parameter	Satuan	Standar kualitas air untuk budidaya		
			Ikan Air Tawar	Ikan Air Payau	Ikan Air Laut
Fisika					
1.	Suhu	°C	28 – 32	27 - 32	28 – 32
2.	Rasa	-		-	-
3.	Kecerahan	m	4 – 6	3 – 5	3 – 5
Kimia					
1.	pH	mg/l	6 – 9	7 – 8,5	7,5 – 8,5
2.	Salinitas	mg/l		26 – 32	24 – 33
3.	Kesadahan (CaCO3)	mg/l		< 300	-
4.	Nitrat	mg/l		< 1	< 1,5
5.	Nitrit	µg/l		< 0,5	< 1
6.	Fosfat	mg/l		0,1 – 0,5	10 – 1.100
7.	Ammonia	µg/l	<0,02	< 0,1	< 0,1
8.	Alkalinitas	mg/l		100 – 150	80 – 120
9.	Oxidation Reduction Potential (ORP)	mV	300 - 500		-
10.	Bahan	mg/l	-	< 90	-

	Organik Total (TOM)				
11.	Oksigen terlarut	mg/l	>4	>4	>4
Biologi					
1.	Coliform	CFU/100 ml	50		-
2.	E,coli	CFU/100 ml	0		126 – 410
3.	Heterotrophic plate count	CFU/100 ml	-		-
4.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	CFU/100 ml	-		-
5.	<i>Staphylococcus aureus</i>	CFU/100 ml	-		-
6.	<i>Legionella spp</i>	CFU/100 ml	-		-
7.	<i>Enterococci</i>	CFU/100 ml	-		35 – 130
8.	Total Vibrio	CFU/100 ml		<1 x 10 ³	

1.2 Parameter Fisika

Secara fisika, air merupakan cairan yang tidak berwarna dan tidak berasa. Molekul air memiliki ikatan hidrogen yang luas sehingga menghasilkan sifat yang tidak biasa dalam bentuk terkondensasi. Hal ini juga menyebabkan titik leleh dan titik didih air sangat tinggi. Dibandingkan dengan cairan lain, air memiliki titik panas, konduktivitas thermal, tegangan permukaan, serta momen dipol yang lebih tinggi. Sifat – sifat ini menjadi alasan pentingnya air dalam biosfer. Air juga merupakan pelarut yang sangat baik dan dapat membantu pengangkutan ion dan molekul yang diperlukan untuk metabolisme (Sushma, 2021). Air memiliki panas laten penguapan yang tinggi yang dapat membantu dalam pengaturan suhu tubuh. Parameter fisika perairan terbagi ke dalam beberapa parameter antara lain:

1. Suhu

Suhu perairan sangat dipengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan serta kedalaman badan air (Hasan, 2020). Selain itu, suhu dalam perairan juga sangat dipengaruhi oleh arus. Perubahan pola arus secara signifikan dapat menurunkan suhu perairan. Fakta inilah yang menyebabkan suhu perairan dangkal lebih tinggi daripada perairan laut dalam (Nasreen, 2022), karena pada perairan dangkal terjadi banyak pergolakan air yang disebabkan oleh angin.

Perubahan suhu perairan secara signifikan mampu mempengaruhi laju metabolisme biota terutama pada ikan budidaya yang bersifat *poikilotherm* (Makarieva *et al.*, 2005). Jika suhu perairan kurang dari kisaran optimal, akan dapat menghambat metabolisme biota serta menurunkan nafsu makannya. Sedangkan apabila suhu terlalu tinggi dari kisaran optimal, metabolisme ikan akan semakin meningkat sehingga ikan menjadi cepat stress dan berujung pada kematian ikan.

2. Kecerahan

Kecerahan merupakan parameter fisika yang berkaitan erat dengan peristiwa fotosintesis pada suatu ekosistem perairan. Kecerahan menggambarkan jumlah atau sebagian cahaya yang di transmisikan pada kedalaman tertentu yang dinyatakan dalam persen dari beberapa panjang gelombang dalam spektrum cahaya melalui lapisan berjarak 1 meter tegak lurus di permukaan air. Apabila kecerahan suatu perairan rendah, menandakan kondisi perairan yang keruh. Sedangkan kekeruhan (turbiditas) air dapat mempengaruhi ikan (Gholizadeh *et al.*, (2016).

Kekeruhan terjadi karena suspensi plankton, humus, lumpur bahkan suspensi besi hidroksida. Kekeruhan dapat menghambat pertumbuhan ikan budidaya baik secara langsung maupun tidak langsung. Di perairan yang keruh, tanaman air hanya membutuhkan radiasi sinar matahari yang lebih sedikit daripada perairan yang jernih. Oleh karena itu, kejernihan suatu perairan berbanding terbalik dengan kelimpahan plankton. Semakin tinggi tingkat kecerahan, maka kelimpahan plankton semakin rendah dan sebaliknya.

Fitoplankton merupakan salah satu jenis tumbuhan berukuran mikroskopis yang memiliki zat hijau (klorofil) dan melakukan fotosintesis dengan bantuan sinar matahari. Produktivitas plankton akan meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas penyerapan sinar matahari ke dalam perairan. Oleh karena itu, kecerahan perairan ditentukan oleh kelimpahan plankton dan tingkat intensitas sinar matahari (Diaz *et al.*, 2022). Sedangkan penetrasi cahaya pada suatu perairan dipengaruhi oleh intensitas cahaya jatuh pada permukaan air, kelarutan bahan/zat dalam air, serta suspensi bahan di dalam air. Kualitas intensitas cahaya yang masuk ke dalam air dapat mempengaruhi aktivitas fotosintesis bagi tumbuhan yang nantinya akan menentukan kehidupan hewan di dalam air,

serta mempengaruhi iklim cahaya pada kedalaman tertentu di suatu badan air.

3. Warna air

Warna air merupakan parameter fisika pada perairan yang paling mudah di amati. Warna air sangat di tentukan oleh kandungan bahan-bahan yang mengendap di dasar perairan. Bahan anorganik seperti batuan dan tanah juga dapat mempengaruhi warna air. Perubahan warna air tidak berpengaruh pada rasa air. Warna air di daerah tambak maupun industri budidaya ditentukan oleh jumlah/kandungan fitoplankton di dalamnya. Warna air yang baik untuk budidaya adalah kecoklatan atau hijau kecoklatan yang menandakan populasi fitoplankton dan zooplankton pada perairan seimbang. Fitoplankton dan zooplankton pada perairan berfungsi sebagai pakan alami untuk hewan budidaya (Yarimizu *et al.*, 2020).

4. Total Dissolved Solids (TDS)

Total Dissolved Solids atau yang sering disebut dengan padatan tersuspensi merupakan jumlah partikel senyawa organik dan anorganik terlarut dalam suatu perairan. Kandungan TDS yang terlarut di dalam perairan dapat berupa natrium klorida, kalsium bikarbonat, kalsium sulfat dan magnesium bikarbonat. Padatan tersuspensi ini berasal dari limbah, aktivitas pertanian, air limbah industri atau penggunaan bahan kimia untuk pengolahan air. Semakin tinggi kandungan TDS dalam air, maka semakin tinggi pula konduktivitas air tersebut.

Kandungan TDS yang tinggi tidak selalu berarti air tersebut berbahaya. Beberapa sumber air yang kaya akan mineral memiliki kandungan TDS yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber air lainnya. Standar baku mutu nilai TDS untuk perairan adalah <300 ppm. Pengukuran TDS dilakukan di laboratorium dengan

menguapkan air sampel untuk mendapatkan jumlah bahan organik yang terkandung di dalamnya (Brent *et al.*, (2022).

1.3 Parameter Kimia

Air bereaksi dengan banyak zat senyawa kimia baik organik maupun inorganik melalui reaksi amphoteric, reaksi redox, dan hydrolysis (Basavaraja *et al.*, (2011). Beberapa parameter kimia perairan antara lain:

1. Oksigen terlarut (Dissolved oxygen)

Oksigen terlarut merupakan jumlah oksigen yang tersedia di dalam suatu perairan. Badan air menerima oksigen dari atmosfer dan tumbuhan air. Oksigen tersebut kemudian masuk ke dalam perairan dan menjadi oksigen terlarut untuk mendukung kehidupan biota perairan. Air yang mengalir, seperti aliran sungai yang deras, dapat mengalirkan oksigen lebih banyak dibandingkan air tenang di kolam atau danau,

Jika kandungan bahan organik perairan tinggi, maka kandungan oksigen terlarut dalam perairan akan semakin rendah. Tingginya bahan organik yang masuk ke dalam perairan, akan menyebabkan laju penguraian senyawa – senyawa kimia oleh bakteri pengurai semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan banyaknya pasokan makanan yang dibutuhkan oleh bakteri pengurai sehingga tingkat oksigen terlarut dalam air akan semakin turun. Peristiwa ini dapat menyebabkan kematian masal pada ikan maupun organisme perairan (richard *et al.*, (2007).

Oksigen terlarut dianggap sebagai parameter kualitas air yang sangat penting karena merupakan indikator langsung kemampuan sumber daya perairan untuk mendukung kehidupan akuatik. Tingkat DO yang kurang dari 5 mg/l dapat menyebabkan stress ikan, dan tingkat DO yang kurang dari 3 mg/l dapat menyebabkan hipoksia pada hewan dalam perairan.

2. pH

pH atau derajat keasaman merupakan faktor kunci dan toksistas air. Perubahan pH dapat mengubah konsentrasi dan bentuk bahan kimia beracun dalam air. Logam seperti aluminium, timbal, merkuri, tembaga dan arsen pada umumnya lebih larut dalam air yang memiliki nilai pH rendah. Oleh karena itu, jika konsentrasi logam – logam tersebut dalam perairan tinggi, maka bisa terserap ke dalam jaringan organisme sehingga akan lebih beracun bagi kehidupan akuatik (Zhang *et al.*, 2020). Niai pH bervariasi tergantung pada kondisi perairan.



Gambar 1.1 Nilai Kritis Ph Pada Beberapa Organisme Perairan.
sumber: USEPA (2020).

PH juga berpengaruh terhadap proses metabolisme organisme perairan. Jika air terlalu asam atau terlalu basa, dapat merusak insang, kerangka luar, dan sirip organisme perairan. Beberapa organisme aquatik juga mempunyai batasan tertentu untuk hidup dengan nilai pH yang bervariasi. Gambar 1.1 merupakan ilustrasi nilai pH pada beberapa organisme.

Nilai pH pada perairan sungai atau danau sering mengalami fluktuasi yang sangat tinggi. Terlebih lagi pada siang hari, karena konsumsi CO₂ oleh tumbuhan air dan alga selama fotosintesis. Pada malam hari, tumbuhan air dan alga bernafas dan mengeluarkan CO₂. Hal ini menyebabkan nilai pH pada malam hari lebih asam. Nilai pH juga sangat bergantung pada kedalaman kolom air. Pada daerah permukaan perairan, nilai pH lebih tinggi karena tersedianya intensitas cahaya yang tinggi untuk proses fotosintesis biota. Akan tetapi, pada perairan yang lebih dalam, nilai pH sangat rendah (Lorgen-Ritchie *et al.*, (2023). Faktor alam dan manusia juga dapat mempengaruhi nilai pH. pH di dekat permukaan danau dapat meningkat seiring dengan peningkatan masukan nutrisi dan pertumbuhan alga.

3. Salinitas

Salinitas adalah tingkat kadar garam yang terlarut dalam air. Nilai kadar garam yang tinggi dalam suatu perairan dapat menyebabkan beberapa masalah seperti tidak tersedianya sumber air minum, korosi pada mesin dan infrastruktur, serta ancaman terhadap beberapa spesies yang tidak tahan terhadap kadar garam tinggi (Zhang *et al.*, 2020). Salinitas diukur dalam nilai presentase atau ppt menggunakan alat refraktometer atau hidrometer. Nilai salinitas pada perairan berbeda-beda sesuai dengan penggunaannya. Salinitas pada perairan tawar berkisar antara 0,5 ppt; perairan payau 1 – 2 ppt; air garam untuk peternakan 2 – 10 ppt; serta air laut >35 ppt (Mugwanya *et al.*, (2023).

4. Alkalinitas

Alkalinitas bukanlah polutan, melainkan ukuran total zat dalam air yang memiliki sifat penetral asam. Alkalinitas berbeda dengan pH. pH mengukur kandungan asam atau basa suatu perairan, sedangkan alkalinitas menunjukkan

kekuatan larutan untuk bereaksi dengan asam dan "menyangga" pHnya (kemampuan air untuk menjaga pH agar tidak berubah).

Air dengan nilai alkalinitas tinggi dapat menyebabkan: timbulnya rasa karbonisasi pada perairan sehingga tidak bisa dimanfaatkan sebagai air minum, timbulnya kerak atau penumpukan mineral pada peralatan pipa industri dan mengurangi tingkat toksisitas logam berat. Sedangkan air dengan salinitas rendah dapat menyebabkan: penurunan nilai pH pada perairan sungai atau danau sehingga berbahaya bagi ekosistem di sekitarnya, dan menghambat proses nitrifikasi dalam pengolahan air limbah. Pemantauan alkalinitas perlu dilakukan secara rutin untuk dapat menjaga kesehatan dan kestabilan air (Ramli *et al.*, 2020).

5. Kesadahan (*Hardness*)

Kesadahan air (*Hardness*) didefinisikan sebagai jumlah kalsium dan magnesium yang terlarut di dalam air. Kalsium terlarut (Ca^{++}) dan magnesium (Mg^{++}) merupakan dua kation divalen yang ditemukan dengan jumlah cukup besar di sebagian perairan. Dalam perairan, kalsium dan magnesium terikat pada ion bikarbonat, sulfat, atau klorida. Ketika air menguap, bikarbonat akan berubah menjadi karbonat dan mengendap bersama Ca^{++} untuk membentuk kerak kalsium karbonat (CaCO_3). Oleh karena itu, tingkat kesadahan air dinyatakan dalam satuan mg/l.

6. Ammonia

Ammonia yang murni adalah gas yang berbau tajam dan tidak berwarna. Amonia dapat dihasilkan dari gas batubara, nitrogen dan hidrogen. Di alam, amonia dibentuk dari reaksi bakteri pada protein dan urea yang ditunjukkan oleh siklus nitrogen. Amonia kaya akan nitrogen, sehingga bisa menjadi pupuk yang sangat baik. Akan tetapi, amonia bersifat racun bagi ikan dan organisme akuatik, bahkan dalam konsentrasi

yang sangat rendah. Ketika kandungan amonia mencapai 0,06 mg/l, ikan dapat mengalami kerusakan insang. Untuk ikan trout dan salom, akan mulai mati ketika kandungan amonia dalam perairan mencapai 0,2 mg/l. Oleh karena itu, kandungan amonia yang lebih besar dari 0,1 mg/l menunjukkan indikator perairan yang tercemar (Al-Ajeel *et al.*, 2022).

Bahaya amonia terhadap ikan bergantung pada suhu, pH, dan oksigen terlarut dalam air. Semakin tinggi pH dan suhu, maka amonia akan semakin beracun. Terutama jika jumlah oksigen terlarut dalam perairan terlalu sedikit, kandungan ammonia dalam perairan dapat menyebabkan tingginya angka mortalitas ikan.

7. Nitrit dan Nitrat

Nitrit dan nitrat adalah bentuk unsur nitrogen yang menyusun hampir 80% udara yang kita hirup. Sebagai komponen penting kehidupan, nitrogen didaur ulang secara terus menerus oleh tanaman dan hewan, dan ditemukan dalam sel semua makhluk hidup. Nitrit dan nitrat diproduksi secara alami melalui siklus nitrogen. Bakteri *nitrosococcus*, *nitrosomas*, dan *nitrobacter* akan mengubah amonia menjadi nitrat (NO₃) dan nitrit melalui proses nitrifikasi (Ramli *et al.*, 2020).

Nitrifikasi terdiri dari dua tahap yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit (NO₂) oleh bakteri pengoksidasi amonia dan oksidasi nitrit menjadi nitrat oleh bakteri pengoksidasi nitrit. Pada kondisi anaerob, bakteri denitrifikasi (*Pseudomonas*, *proteobacteria*, *bacillus*, dan *paracoccus*) akan merubah senyawa oksigen yang teroksidasi menjadi nitrogen. Nitrogen dalam bentuk nitrit dan nitrat yang dihasilkan akan dilepas ke atmosfer dan diserap oleh tumbuhan air untuk pertumbuhan (Al - Ajeel).

Nitrat dapat merangsang pertumbuhan plankton dan gulma air yang berfungsi sebagai pakan alami ikan. Akan tetapi, jumlah alga yang terlalu tinggi dalam perairan dapat

menyebabkan kematian pada ikan karena berkurangnya intensitas cahaya yang masuk ke badan perairan dan terjadinya kompetisi oksigen terlarut. Kadar nitrit dan nitrat yang direkomendasikan untuk perairan adalah $< 0,05$ mg/l.

8. Fosfat

Fosfat merupakan senyawa terlarut dalam air yang berfungsi untuk pembentukan protein dan proses fotosintesis. Kandungan fosfat dalam perairan dapat merangsang pertumbuhan plankton dan tumbuhan air sebagai pakan alami untuk ikan. Kadar fosfat yang normal di dalam perairan adalah $0,1 - 0,5$ mg/l. Senyawa fosfat umumnya berasal dari penguraian limbah organik dan domestik (Zhang *et al.*, (2020).

1.4 Parameter Biologi

Parameter biologis merupakan suatu cara untuk menggambarkan kualitas yang harus ada untuk mendukung kondisi yang diinginkan pada suatu badan air. Parameter biologis merupakan faktor yang paling penting untuk menentukan kualitas air, terutama untuk pemanfaatan air minum karena berdampak langsung terhadap kesehatan manusia. Beberapa karakteristik biologis penting yang mempengaruhi kualitas air antara lain bakteri, protzoa, virus dan alga.

1. Plankton

Plankton merupakan organisme mikroskopis, namun memiliki peran yang sangat penting dalam jaring – jaring makanan di perairan. Plankton terbagi menjadi dua yaitu fitoplankton dan zooplankton. Seperti halnya tumbuhan di darat, fitoplankton juga melakukan fotosintesis untuk mengubah sinar matahari menjadi energi untuk menunjang kehidupan mereka, dan menyerap karbondioksida dan menghasilkan oksigen. Karena membutuhkan energi matahari, fitoplankton banyak ditemukan di dekat permukaan air.

Sedangkan zooplankton merupakan hewan mikroskopis yang memakan fitoplankton, dan pada akhirnya zooplankton akan di makan oleh hewan yang lebih besar. Keberadaan plankton sangat penting bagi ekosistem perairan, dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, termasuk suhu, salinitas, pH, dan konsentrasi nutrisi air (Valenzuela-sanchez *et al.*, (2021).

2. Bakteri

Kendala yang sering dihadapi oleh para pembudidaya adalah adanya serangan penyakit yang berasal dari infeksi bakteri patogen seperti *Aeromonas*, *Salmonella*, dan *Vibrio sp.* Meskipun ada banyak patogen yang dapat ditularkan melalui air, serangan bakteri dan protozoa adalah yang paling banyak menyebabkan penyakit dan kematian masal pada ikan. Untuk menguji apakah ada bakteri penyebab penyakit pada suatu perairan, para peneliti mengukur keberadaan spesies indikator, seperti koliform, *e.coli*, atau *pseudomonas*.

Meskipun sebagian besar bakteri koliform tidak menyebabkan penyakit, bakteri ini umumnya ditemukan di usus manusia dan limbah. Peneliti biasanya menguji kualitas air dengan mengambil sampel air dan mengukur konsentrasi seluruh bakteri dalam suatu sampel. Jika jumlah bakteri melebihi batas yang ditetapkan baku mutu air, langkah selanjutnya adalah menguji keberadaan patogen. Pengujian patogen ini dilakukan menggunakan penyelidikan genetik, atau teknik kultur tertentu untuk memeriksa apakah terdapat patogen yang berbahaya. Standar pengujiannya juga berbeda – beda tergantung pada sumber airnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ajeel, S., Spasov, E., Sauder, L. A., McKnight, M. M., & Neufeld, J. D. (2022), 'Ammonia-oxidizing archaea and complete ammonia-oxidizing Nitrospira in water treatment systems. *Water research* X, 15, 100131. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2022.100131>
- Badan Standarisasi Nasional. (2022) 'Peraturan Badan Standarisasi Nasional Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2022 Tentang Kesesuaian Standar Nasional Indonesia Sektor Pertanian, Perkebunan, Peternakan, dan Perikanan.
- Basavaraja, Simpi S M, Hiremath, K N S Murthy, K N Chandrashekarappa, Anil N Patel, ET Puttiah. (2011) 'Analysis of Water Quality Using Physico-Chemical Parameters Hosahalli Tank in Shimoga District, Karnataka, India', *Global Journal of Science Frontier, Research*, 1(3):31-34.
- Brent, R. N., Kunkel, J., Tomek, Z., Buchardt, D., DeLisle, P. F., & Sivers, S. (2022), 'A Novel Approach to Developing Thresholds for Total Dissolved Solids Using Standardized and Experimental Toxicity Test Methods. *Environmental toxicology and chemistry*, 41(11), 2782–2796. <https://doi.org/10.1002/etc.5466>
- Díaz, P. A., Álvarez, G., Pizarro, G., Blanco, J., & Reguera, B. (2022), 'Lipophilic Toxins in Chile: History, Producers and Impacts', *Marine drugs*, 20(2), 122. <https://doi.org/10.3390/md20020122>
- Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016) 'A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques', *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(8), 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Hassan Omer, N. (2020) 'Water Quality Parameters', *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.89657

- Lorgen-Ritchie, M., Uren Webster, T., McMurtrie, J., Bass, D., Tyler, C. R., Rowley, A., & Martin, S. A. M. (2023), 'Microbiomes in the context of developing sustainable intensified aquaculture.', *Frontiers in microbiology*, 14, 1200997. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1200997>
- Makarieva AM, Gorshkov VG, Li BL. (2005) 'Gigantism, temperature and metabolic rate in terrestrial poikilotherms'. *Proc Biol Sci.* 272(1578):2325-8. doi: 10.1098/rspb.2005.3223. PMID: 16191647; PMCID: PMC1560189.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. (2004) 'Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut.
- Mugwanya, M., Kimera, F., Madkour, K., Dawood, M. A. O., & Sewilam, H. (2023), 'Influence of salinity on the biometric traits of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) and barley (*Hordeum vulgare*) cultivated under an integrated aquaculture-agriculture system'. *BMC plant biology*, 23(1), 417. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04422-5>
- Nasreen. (2022) 'Temperature of Ocean Water', *EPRA International Journal of Research and Development (IJRD)*, Vol.7 ISSN: 2455 – 7838.
- Peraturan Menteri Kesehatan. (2017) 'Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian umum.
- Ramli, N. M., Verreth, J. A. J., Yusoff, F. M., Nurulhuda, K., Nagao, N., & Verdegem, M. C. J. (2020), 'Integration of Algae to Improve Nitrogenous Waste Management in Recirculating Aquaculture Systems: A Review. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8, 1004. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.01004>

- Richard, F., Walter, R., Hill. (2007) 'Chapter 5 – Temperature, Light, and Oxygen, *Academic Press*, 103 – 117, ISBN 9780123329080.
- Sushma, J., Vipul Dev., and Rinku, K. (2021) 'Physico-Chemical Paramter : An Indicator of Water Pollutio', *Journal Of Enfvironmental Research*, Vol 5:5
- alenzuela-Sanchez, C. G., Pasten-Miranda, N. M. A., Enriquez-Ocaña, L. F., Barraza-Guardado, R. H., Valdez Holguin, J. E., & Martinez-Cordova, L. R. (2021), 'Phytoplankton composition and abundance as indicators of aquaculture effluents impact in coastal environments of mid Gulf of California. *Heliyon*, 7(2), e06203. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06203>
- World Health Organization (WHO). (2023) 'Drinking Water. Diunduh dari <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water/> 23 Oktober 2023
- Yarimizu, K., Fujiyoshi, S., Kawai, M., Norambuena-Subiabre, L., Cascales, E. K., Rilling, J. I., Vilugrón, J., Cameron, H., Vergara, K., Morón-López, J., Acuña, J. J., Gajardo, G., Espinoza-González, O., Guzmán, L., Jorquera, M. A., Nagai, S., Pizarro, G., Riquelme, C., Ueki, S., & Maruyama, F. (2020), 'Protocols for Monitoring Harmful Algal Blooms for Sustainable Aquaculture and Coastal Fisheries in Chile', *International journal of environmental research and public health*, 17(20), 7642. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207642>
- Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, Q., Liu, P., Guo, R., Jin, S., Liu, J., Chen, L., Ma, Z., & Ying, L. (2020) 'Evaluation and Analysis of Water Quality of Marine Aquaculture Area'. *International journal of environmental research and public health*, 17(4), 1446. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041446>.

BAB 2

KARAKTERISRIK DAN KEMAMPUAN PENGLOLAAN LIMBAH SECARA EKOLOGIS PERAIRAN

Oleh Akmaluddin

2.1 Pendahuluan

2.1.1 Pengertian limbah di perairan

Limbah di perairan merujuk pada sumber daya alam yang telah kehilangan fungsinya dan keberadaannya mengganggu kenyamanan serta keindahan lingkungan. Limbah ini terbentuk dari sisa proses produksi, baik dari industri maupun kegiatan domestik (Sugiarto, 2008). Di laut, limbah ini berupa sampah yang berasal dari daratan, badan air, pesisir, atau langsung dari kegiatan di laut, termasuk sampah plastik yang mengandung senyawa polimer (Peraturan Presiden Nomor 83 Tahun 2008).

Air limbah, salah satu bentuk limbah di perairan, dihasilkan dari berbagai sumber, seperti limbah manusia (feses, tisu toilet, urin), pengeluaran septic tank, pengeluaran pengolahan limbah, dan air yang digunakan untuk mencuci (air kelabu). Secara umum, limbah didefinisikan sebagai bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia atau proses alam, yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi, bahkan mungkin memiliki nilai ekonomi negatif. Ini meliputi benda

atau zat yang timbul dari hasil kegiatan manusia yang tidak digunakan lagi.

Dampak limbah di perairan sangat signifikan, terutama pada ekosistem laut dan perairan tawar. Pembuangan limbah langsung ke perairan sangat tidak ideal karena bisa mencemari perairan tawar yang merupakan sumber kehidupan manusia. Dampak ini mencakup penurunan kualitas air, kerusakan habitat akuatik, dan penurunan keanekaragaman hayati di ekosistem perairan (Selasar).

Penanganan limbah di perairan membutuhkan strategi yang komprehensif, meliputi pencegahan, pengelolaan limbah di sumber, dan teknologi pengolahan limbah yang efektif. Upaya ini harus diintegrasikan dengan kebijakan pemerintah, kesadaran masyarakat, dan teknologi yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif limbah di perairan. Pengelolaan yang efektif tidak hanya melindungi lingkungan perairan tetapi juga mendukung keberlanjutan sumber daya air untuk generasi masa depan

2.1.2 Urgensi Pengelolaan Limbah Secara Ekologis

Pengelolaan limbah secara ekologis adalah aspek penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Proses ini melibatkan pengelolaan limbah dengan cara yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, termasuk pengurangan polusi, konservasi sumber daya alam, dan perlindungan keanekaragaman hayati. Menurut laporan dari World Bank (2020), penanganan limbah yang tidak efektif telah menyebabkan masalah serius di banyak negara, termasuk pencemaran air dan tanah, serta masalah kesehatan masyarakat.

Dampak limbah terhadap lingkungan sangat luas. Limbah industri yang tidak dikelola dengan baik, misalnya, bisa mencemari sumber air, merusak ekosistem, dan membahayakan kesehatan manusia. Penelitian yang dipublikasikan di *Science of The Total Environment*, (2021) menunjukkan bahwa limbah beracun dapat menurunkan kualitas tanah dan air, serta mengganggu kehidupan biota air. Lebih lanjut, laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tahun 2021 mengungkapkan bahwa pembuangan limbah tanpa pengolahan yang memadai berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, yang memperparah perubahan iklim.

Salah satu pilar utama pengelolaan limbah ekologis adalah daur ulang dan penggunaan kembali limbah. Sebuah artikel di *Environmental Science & Technology* (2022) menekankan bahwa daur ulang tidak hanya mengurangi kebutuhan akan ruang pembuangan akhir tetapi juga mengurangi emisi karbon dan pemakaian sumber daya alam. Penggunaan kembali limbah sebagai sumber daya, seperti yang dijelaskan dalam studi *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2022), berpotensi mengubah limbah menjadi energi atau bahan baku baru.

Pengelolaan limbah secara ekologis tidak hanya penting untuk mengurangi dampak negatif ini, tetapi juga mendukung pembangunan berkelanjutan. Praktik daur ulang, pengomposan, dan pemanfaatan limbah sebagai sumber energi dapat mengurangi limbah yang masuk ke lingkungan dan menghasilkan sumber daya yang dapat digunakan kembali. Laporan United Nations Environment Programme (UNEP) tahun 2021 menegaskan bahwa strategi pengelolaan limbah ekologis dapat membantu negara mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam mengurangi dampak lingkungan dari produksi dan konsumsi.

Namun, implementasi pengelolaan limbah secara ekologis sering terhambat oleh biaya, infrastruktur, dan kesadaran masyarakat. Investasi dalam teknologi ramah lingkungan sering memerlukan dana besar, sementara perubahan perilaku masyarakat membutuhkan pendidikan dan kesadaran yang berkelanjutan. Sebagai contoh, studi kasus dari San Francisco, yang diterbitkan oleh *American Journal of Public Health* (2020), menunjukkan bahwa kebijakan pemerintah yang mendukung, infrastruktur yang memadai, dan partisipasi aktif masyarakat merupakan kunci sukses dalam pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Pengelolaan limbah secara ekologis adalah tanggung jawab bersama antara pemerintah, industri, dan masyarakat. Kerja sama ini penting untuk menciptakan sistem pengelolaan limbah yang efisien dan berkelanjutan. Langkah ini penting tidak hanya untuk melindungi lingkungan saat ini tetapi juga untuk menjaga kesehatan dan kesejahteraan generasi mendatang, sebagaimana diungkapkan dalam laporan *Global Environmental Outlook* oleh United Nations Environment Programm (2019).

2.2 Karakteristik Limbah Perairan

Dalam era di mana isu lingkungan menjadi semakin penting, pemahaman mendalam tentang karakteristik limbah perairan meristik unik yang membedakannya dari jenis limbah lainnya. Karakteristik ini tidak hanya penting untuk dipahami dalam konteks pengelolaan limbah, tetapi juga dalam upaya perlindungan ekosistem perairan dan kesehatan manusia.

Menurut studi terbaru yang diterbitkan di 'Journal of Water Pollution Cnjadi krusial. Limbah perairan, yang berasal dari berbagai sumber seperti industri, pertanian, dan domestik, memiliki karakteontrol' (2022), limbah perairan sering kali mengandung berbagai polutan, seperti nutrien berlebih, bahan

kimia beracun, logam berat, dan mikroorganisme patogen. Sifat fisikokimia dari limbah ini, seperti pH, suhu, dan kandungan oksigen terlarut, berperan penting dalam menentukan dampaknya terhadap lingkungan. Lebih jauh, penelitian ini menekankan bahwa karakteristik biologis limbah perairan, seperti adanya spesies invasif atau patogen, dapat menyebabkan perubahan dramatis pada ekosistem akuatik.

Pemahaman tentang karakteristik limbah perairan juga vital dalam mengembangkan strategi pengelolaan limbah yang efektif. Seperti yang diungkapkan oleh World Health Organization dalam laporannya tahun 2022, penanganan yang tidak tepat terhadap limbah perairan dapat berujung pada risiko kesehatan masyarakat, terutama di wilayah dengan fasilitas pengolahan limbah yang kurang memadai. Oleh karena itu, pendekatan pengelolaan yang disesuaikan dengan karakteristik khusus limbah perairan menjadi penting untuk diterapkan.

Dengan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya air dan ekosistem perairan, pemahaman yang komprehensif tentang karakteristik limbah perairan menjadi lebih penting dari sebelumnya. Hal ini tidak hanya relevan untuk ilmu lingkungan, tetapi juga untuk kebijakan publik, perencanaan kota, dan inisiatif pengembangan berkelanjutan.

2.2.1 Jenis Limbah Perairan

➤ Limbah industri

Limbah industri, salah satu kontributor utama pencemaran lingkungan, mencakup berbagai jenis bahan buangan yang dihasilkan dari aktivitas industri. Karakteristik limbah ini sangat beragam, tergantung pada jenis industri dan proses yang digunakan. Menurut Environmental Protection Agency (EPA), limbah industri sering kali mengandung berbagai bahan kimia berbahaya yang bisa berdampak negatif pada ekosistem perairan dan kesehatan manusia.



Gambar 2.1 Limbah Cair Buangan Industri Diperkotaan yang Mencemari Kali

(Sumber :https://wartakota.tribunnews.com/2018/02/20/tiga-pabrik-belum-kantongi-izin-buang-limbah-cair-di-bekasi#google_vignette)

Pabrik kimia, misalnya, menghasilkan limbah yang mengandung bahan kimia beracun, pelarut organik, dan asam atau basa yang kuat. Limbah ini, jika tidak ditangani dengan baik, dapat mencemari sumber air, merusak kehidupan akuatik, dan mengganggu keseimbangan ekologis. Selain itu, industri logam dan pertambangan sering menghasilkan limbah yang mengandung logam berat, seperti merkuri dan timbal, yang sangat toksik bagi organisme akuatik.

Pengelolaan limbah industri menjadi tantangan utama, terutama di negara-negara berkembang di mana regulasi dan infrastruktur pengelolaan limbah mungkin belum memadai. Tanpa pengolahan yang tepat, limbah ini dapat mencemari sungai, danau, dan laut, menyebabkan masalah serius seperti eutrofikasi, penurunan kualitas air, dan kerusakan habitat. Eutrofikasi, khususnya, diakibatkan oleh limbah yang kaya nutrisi, seperti nitrogen dan fosfor, yang

memicu pertumbuhan berlebihan alga dan gangguan pada ekosistem akuatik.

Teknologi pengolahan limbah yang efektif sangat penting untuk mengatasi masalah ini. Metode-metode seperti pengolahan fisik, kimia, dan biologi harus digunakan untuk mengurangi, mendaur ulang, atau menghilangkan bahan berbahaya dalam limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Inovasi teknologi, seperti pengolahan limbah berbasis membran dan teknik bioremediasi, menawarkan solusi potensial untuk mengurangi dampak limbah industri pada lingkungan.

Namun, solusi jangka panjang untuk masalah limbah industri melibatkan lebih dari sekadar pengolahan limbah. Upaya untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan di sumbernya, melalui perubahan proses industri dan penggunaan bahan baku yang lebih ramah lingkungan, menjadi penting. Hal ini, bersama dengan peraturan yang lebih ketat dan inisiatif kesadaran lingkungan, akan menjadi kunci untuk mengatasi tantangan pencemaran limbah industri di masa depan.

➤ Limbah pertanian

Limbah pertanian adalah salah satu sumber utama pencemaran di banyak negara, khususnya di wilayah yang bergantung pada pertanian intensif. Limbah ini mencakup berbagai bahan seperti sisa tanaman, kotoran hewan, serta pestisida dan herbisida yang digunakan dalam praktik pertanian. Salah satu masalah utama yang ditimbulkan oleh limbah pertanian adalah eutrofikasi perairan, di mana nutrisi berlebih, terutama nitrogen dan fosfor, memicu pertumbuhan alga dan gangguan ekosistem akuatik.

Penggunaan pestisida dan herbisida dalam pertanian juga menimbulkan masalah serius bagi ekosistem perairan. Bahan kimia ini dapat mencemari sumber air melalui

proses runoff dan erosi tanah, membawa zat-zat berbahaya ke dalam sungai, danau, dan laut. Efeknya tidak hanya terbatas pada pencemaran air tetapi juga pada penurunan kualitas tanah, kerusakan habitat alami, dan bahaya bagi kesehatan manusia. Pengelolaan limbah pertanian merupakan tantangan yang memerlukan pendekatan terintegrasi. Salah satu strategi adalah implementasi praktik pertanian berkelanjutan yang mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya dan mempromosikan penggunaan pupuk organik. Pengelolaan sisa tanaman dan kotoran hewan melalui proses seperti komposting dan fermentasi bisa menghasilkan pupuk organik yang berharga, mengurangi kebutuhan akan pupuk buatan.



Gambar 2.2 Buangan Limbah Cair Dari Kegiatan Pertanian Yang Merupakan Sisa Pestisida, Pupuk, Dan Limbah Organik Lainnya

(Sumber : <https://www.tanindo.net/limbah-cair-pertanian/>)

Teknologi pertanian presisi, yang memanfaatkan data dan alat-alat canggih untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya, juga menawarkan solusi potensial. Dengan

teknologi ini, penggunaan air dan bahan kimia dapat dimaksimalkan efisiensinya, mengurangi limbah yang dihasilkan dan dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu, pendidikan dan pelatihan bagi petani tentang praktik pertanian yang berkelanjutan juga sangat penting dalam mengurangi dampak negatif limbah pertanian.

➤ **Limbah domestik**

Limbah domestik, yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari rumah tangga, mencakup berbagai jenis bahan buangan mulai dari sampah organik hingga produk kimia rumah tangga. Dampak lingkungan dari limbah domestik terutama terlihat dalam bentuk pencemaran air, tanah, dan udara. Limbah organik, seperti sisa makanan dan kertas, dapat menyebabkan masalah di tempat pembuangan sampah, seperti produksi gas metana yang merupakan gas rumah kaca potensial.



Gambar. 2.3 Limbah Domestik Yang Berasal Dari Aktivitas Sehari-Hari Di Rumah Tangga

(Sumber : <https://www.gramedia.com/literasi/limbah-domestik/>)

Produk kimia rumah tangga, termasuk deterjen, pelarut, dan obat-obatan, jika tidak ditangani dengan baik, dapat menyebabkan pencemaran serius. Bahan kimia ini bisa mencemari air tanah dan permukaan, mengganggu ekosistem akuatik, dan berdampak negatif pada kesehatan manusia. Limbah elektronik, yang termasuk dalam kategori limbah domestik, juga menjadi masalah besar karena mengandung bahan berbahaya seperti timbal, merkuri, dan kadmium.

Strategi pengelolaan limbah domestik melibatkan pengurangan, daur ulang, dan pengolahan yang tepat. Pengurangan limbah dapat dicapai melalui perubahan perilaku, seperti mengurangi konsumsi dan memilih produk yang lebih ramah lingkungan. Daur ulang limbah, khususnya untuk bahan seperti kertas, plastik, dan logam, bisa mengurangi volume limbah yang berakhir di tempat pembuangan akhir dan mengurangi kebutuhan akan sumber daya alam baru.

Di sisi pengolahan, fasilitas pengolahan limbah modern menggunakan berbagai metode untuk mengolah limbah domestik, termasuk pengolahan mekanis-biologis, komposting, dan insinerasi. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi dampak lingkungan dari limbah tetapi juga bisa menghasilkan energi dan produk sampingan lainnya yang berharga. Pendidikan dan kesadaran masyarakat juga memainkan peran penting dalam mendorong praktek pengurangan dan daur ulang limbah domestik.

2.2.2 Properti Fisika-Kimia Limbah

Limbah, baik itu berasal dari industri, domestik, atau sumber lain, memiliki properti fisiko-kimia yang penting untuk dipahami dalam konteks pengelolaan lingkungan dan pemrosesan limbah. Properti ini menentukan bagaimana limbah harus ditangani, diproses, dan dibuang untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

➤ **Parameter fisik**

Parameter fisik limbah meliputi berbagai aspek yang bisa diamati secara langsung atau diukur dengan instrumen. Parameter-parameter ini antara lain:

- a. **Warna:** Warna limbah bisa memberikan indikasi mengenai jenis kontaminan yang ada. Misalnya, warna coklat atau hitam sering menunjukkan adanya kontaminan organik, sementara warna-warna cerah bisa menunjukkan keberadaan logam berat atau bahan kimia industri.
- b. **Bau:** Bau limbah sering kali menjadi indikator pertama adanya masalah. Bau busuk atau tajam bisa menunjukkan adanya proses biologis yang tidak terkontrol atau kehadiran bahan kimia tertentu.
- c. **Temperatur:** Temperatur limbah, khususnya yang berasal dari proses industri, dapat mempengaruhi reaksi kimia dalam limbah serta perilaku mikroorganisme. Temperatur yang tinggi bisa menunjukkan adanya proses kimia atau biologis yang aktif.

➤ **Komponen kimia**

Komponen kimia dalam limbah merupakan aspek yang sangat penting dan seringkali lebih kompleks untuk dianalisis. Komponen-komponen ini meliputi:

- a. **Bahan Organik:** Ini termasuk senyawa seperti karbohidrat, lemak, protein, dan hidrokarbon. Bahan organik ini penting karena dapat menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme serta dapat menyebabkan pencemaran jika tidak diolah dengan benar.
- b. **Bahan Anorganik:** Ini termasuk logam berat, garam anorganik, dan mineral. Beberapa logam berat seperti merkuri, timbal, dan kadmium sangat berbahaya bahkan dalam konsentrasi yang rendah.
- c. **Bahan Berbahaya:** Banyak limbah industri mengandung bahan kimia berbahaya seperti pelarut organik, pestisida, dan bahan kimia industri lainnya yang memerlukan penanganan khusus.

Memahami properti fisiko-kimia limbah sangat penting dalam pengembangan strategi pengelolaan limbah yang efektif dan berkelanjutan. Ini melibatkan tidak hanya penanganan dan pembuangan limbah yang aman tetapi juga pemanfaatan kembali dan daur ulang bahan-bahan yang terkandung di dalamnya, mengurangi dampak lingkungan sambil memaksimalkan pemulihan sumber daya.

2.2.3 Biologi Limbah

➤ **Mikroorganisme pathogen**

Mikroorganisme pathogen adalah mikroorganisme yang memiliki potensi untuk menyebabkan penyakit pada manusia, hewan, atau tumbuhan. Dalam konteks limbah, mikroorganisme pathogen dapat menjadi masalah serius karena dapat mencemari lingkungan dan mengancam kesehatan manusia. Studi terbaru oleh Johnson et al. (2022) menyoroti pentingnya pemantauan dan pengendalian

mikroorganisme pathogen dalam limbah untuk mencegah penyebaran penyakit.

1. Bakteri

Bakteri pathogen adalah salah satu kelompok mikroorganisme yang paling umum ditemukan dalam limbah. Contohnya adalah bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) yang dapat menyebabkan infeksi gastrointestinal pada manusia. *E. coli* biasanya masuk ke dalam limbah dari sumber-sumber seperti tinja manusia dan hewan. Menurut penelitian oleh Brown (2021), "*E. coli* dapat dengan mudah menyebar melalui kontaminasi air dan makanan jika limbah tidak dikelola dengan baik."

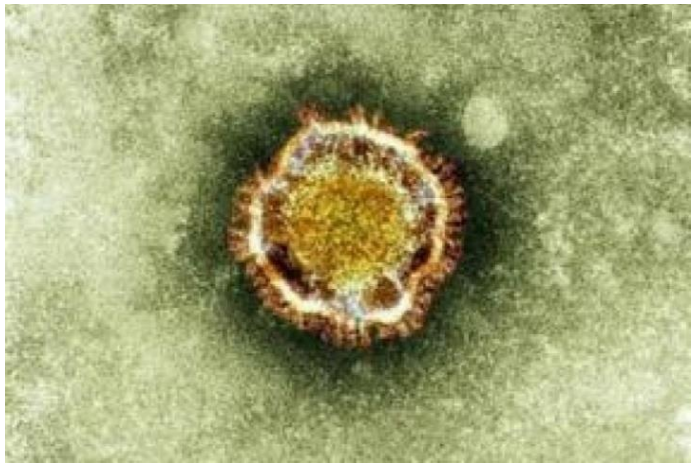


Gambar 2.4 Bakteri *E. Coli* Biasa Terkandung Dalam Air Limbah

(Sumber : <https://www.istockphoto.com/id/foto/bakteri-e-dalam-air-limbah-gm806428486-130677087>)

2. Virus

Virus juga merupakan mikroorganisme pathogen yang dapat ditemukan dalam limbah. Beberapa virus yang sering diidentifikasi dalam limbah adalah virus hepatitis dan virus Norwalk. Studi oleh Smithson (2020) mengungkapkan bahwa "virus-virus ini dapat bertahan dalam limbah dan dapat dengan mudah menyebar melalui kontak manusia atau pencemaran lingkungan."



Gambar 2.5 Coronavirus Dalam Ukuran Mikroskopis. Para Peneliti Di University Of Barcelona, Spanyol, Telah Mendeteksi Virus Corona Jenis Baru (Sars Cov-2) Dalam Sampel Air Limbah Beku Pada 12 Maret 2019.

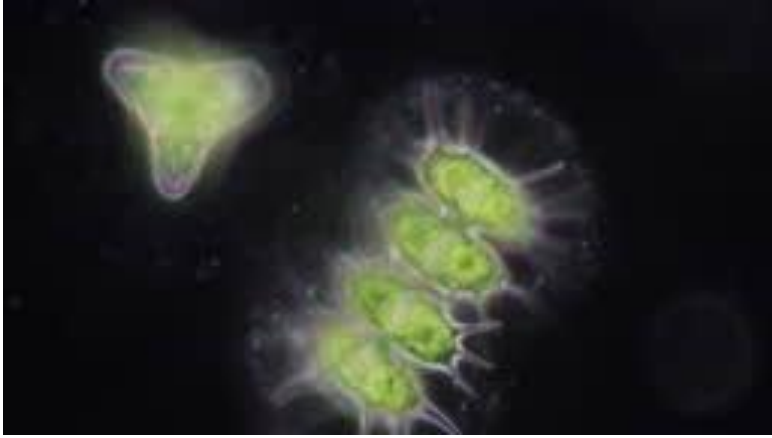
(Sumber:<https://internasional.republika.co.id/berita/qckpyt457/peneliti-barcelona-deteksi-virus-corona-pada-air-limbah>)

3. Protozoa

Protozoa adalah mikroorganisme uniseluler yang juga dapat menjadi pathogen dalam limbah. Contohnya adalah Giardia dan Cryptosporidium. Kedua protozoa ini dapat menyebabkan gangguan pencernaan yang serius pada manusia. Menurut penelitian oleh Jackson et al. (2018), "protozoa pathogen seperti Giardia dapat mencemari sumber air minum jika tidak dikelola dengan baik."

Mikroorganisme pathogen dalam limbah memiliki dampak yang signifikan pada kesehatan manusia. Ketika limbah yang mengandung mikroorganisme pathogen tidak dikelola dengan baik, kontaminasi dapat terjadi pada air minum, makanan, dan lingkungan sekitar. Studi oleh World Health Organization (WHO, 2021) menekankan bahwa "paparan terhadap mikroorganisme pathogen dalam limbah dapat menyebabkan penyakit serius pada manusia, seperti keracunan makanan dan infeksi usus."

Untuk mencegah penyebaran mikroorganisme pathogen dalam limbah, tindakan pencegahan yang ketat harus diterapkan. Menurut WHO (2021), "tindakan pencegahan yang efektif melibatkan pengelolaan limbah yang baik, sanitasi yang benar, dan pendidikan masyarakat tentang bahaya mikroorganisme pathogen dalam limbah."



Gambar 2.6 Protozoa Dan Ganggang Hijau Dalam Air Limbah Di Bawah Mikroskop

(Sumber : <https://www.istockphoto.com/id/video/protozoa-dan-ganggang-hijau-dalam-air-limbah-di-bawah-mikroskop-gm1290457369-385847102>)

➤ Biodegradabilitas

Biodegradabilitas mengacu pada kemampuan bahan atau zat untuk terurai secara alami oleh mikroorganisme dalam lingkungan. Dalam konteks limbah, biodegradabilitas sangat penting karena dapat memengaruhi sejauh mana limbah dapat diurai dan mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Menurut penelitian oleh Smith et al. (2023), "pengelolaan limbah yang mempertimbangkan tingkat biodegradabilitas dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan memaksimalkan potensi limbah sebagai sumber energi alternatif."

Tingkat biodegradabilitas suatu bahan atau limbah dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis mikroorganisme, kondisi lingkungan, dan struktur kimia. Menurut penelitian oleh Greenfield (2022), "penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami lebih baik faktor-faktor yang memengaruhi biodegradabilitas limbah dan cara meningkatkannya untuk mengurangi dampak lingkungan."

Pengelolaan limbah yang memperhatikan biodegradabilitas memiliki beberapa manfaat penting, antara lain mengurangi pencemaran lingkungan, mengurangi dampak kesehatan, dan konservasi sumber daya alam. Menurut penelitian oleh Environmental Protection Agency (EPA, 2022), "pengelolaan limbah yang berfokus pada biodegradabilitas dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan." Untuk mengukur tingkat biodegradabilitas suatu bahan atau limbah, sering digunakan uji biodegradasi laboratorium. Menurut pedoman yang dikeluarkan oleh ASTM International (2020), "uji biodegradasi ini memberikan informasi penting tentang sejauh mana suatu bahan dapat terurai secara alami dalam lingkungan."

Biologi limbah adalah bidang yang penting dalam ilmu lingkungan karena berhubungan dengan dampak limbah terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Dalam tulisan ini, telah membahas dua aspek kunci dalam biologi limbah, yaitu mikroorganisme patogen dan biodegradabilitas, dengan merujuk pada penelitian-penelitian terkini. Dengan memahami peran mikroorganisme patogen dan biodegradabilitas dalam biologi limbah, kita dapat mengambil langkah-langkah yang lebih efektif.

2.3 Dampak Limbah terhadap Ekosistem Perairan

2.3.1 Efek pada Kualitas Air

Kualitas air adalah salah satu aspek paling penting yang harus diperhatikan dalam ekosistem perairan. Air yang bersih dan seimbang secara kimia dan fisika merupakan faktor utama dalam menjaga keberlanjutan ekosistem perairan. Namun, dampak limbah terhadap kualitas air dapat mengubah lingkungan air dengan cara yang merugikan bagi organisme yang hidup di dalamnya.

➤ **Perubahan kimia dan fisika air**

Limbah yang masuk ke perairan dapat mengubah karakteristik kimia dan fisika air secara signifikan. Salah satu perubahan yang sering terjadi adalah perubahan pH air. Limbah industri seringkali mengandung senyawa-senyawa asam atau basa yang dapat mengubah tingkat keasaman (pH) air. Menurut penelitian oleh Johnson et al. (2019), perubahan pH ini dapat memengaruhi organisme air yang memiliki sensitivitas terhadap perubahan pH, seperti ikan dan plankton.

Selain itu, limbah juga dapat mengandung senyawa-senyawa yang dapat merubah sifat fisika air. Misalnya, pelepasan limbah panas dari pabrik-pabrik dapat meningkatkan suhu air dalam perairan, yang dapat mengubah pola sirkulasi air dan mengurangi ketersediaan oksigen. Hal ini dapat berdampak buruk pada organisme air yang memerlukan suhu air tertentu untuk berkembang biak dan bertahan hidup.

➤ Pengurangan oksigen terlarut

Pengurangan oksigen terlarut dalam air adalah salah satu dampak paling serius dari limbah terhadap kualitas air. Oksigen terlarut sangat penting bagi organisme air, terutama ikan dan makhluk air lainnya. Ketika limbah organik seperti limbah domestik atau limbah pertanian masuk ke perairan, mereka dapat menjadi sumber makanan bagi mikroorganisme seperti bakteri. Proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme ini memerlukan konsumsi oksigen yang signifikan.



Gambar 2.7 Kondisi Perairan Dengan Kandungan Oksigen Terlarut Rendah Akibat Tingginya Konsentrasi Bahan Pencemar

(Sumber : <https://www.istockphoto.com/id/foto/air-limbah-kadar-oksigen-terlarut-rendah-gm1197604796-341982846>)

Eutrofikasi adalah contoh yang sering terjadi ketika limbah organik berlebihan memicu pertumbuhan alga yang cepat. Menurut studi oleh Environmental Protection Agency (EPA, 2020), "alga yang tumbuh secara berlebihan dapat mengonsumsi oksigen dalam air secara signifikan saat mereka mati dan terurai, yang mengakibatkan pengurangan oksigen terlarut." Pengurangan oksigen terlarut ini dapat menyebabkan kematian massal ikan dan organisme air lainnya, serta menciptakan zona mati di perairan.



Gambar. 2.8 Kondisi Kanal Dipenuhi Oleh Enceng Gondok Karena Terjadinya Eutrofikasi Diperairan Kanal
(Sumber : <https://www.detik.com/bali/berita/d-6611959/pengertian-eutrofikasi-asal-usul-jenis-dan-dampaknya>)

Dampak pengurangan oksigen terlarut juga dapat berdampak pada ekosistem perairan yang lebih luas. Menurut penelitian oleh Anderson et al. (2021), "pengurangan oksigen terlarut dapat mengganggu keseimbangan rantai makanan, dengan mengurangi kelangsungan hidup organisme pemangsa yang bergantung pada oksigen yang cukup untuk beraktivitas dan berkembang biak." Hal ini dapat berdampak pada produktivitas dan keanekaragaman hayati ekosistem perairan.

Pengelolaan limbah yang efektif dan pengurangan pelepasan limbah berbahaya ke perairan adalah langkah-langkah kunci dalam melindungi kualitas air ekosistem perairan. Pemerintah, industri, dan masyarakat perlu bekerja sama untuk memastikan bahwa limbah diolah dengan benar dan pelepasan limbah ke perairan diatur dengan ketat. Selain itu, upaya untuk mengendalikan eutrofikasi dan mengurangi pelepasan limbah panas juga harus diperhatikan untuk menjaga kualitas air yang optimal dalam ekosistem perairan. Dengan demikian, perairan dapat tetap menjadi lingkungan yang sehat bagi organisme air dan mendukung keberlanjutan ekosistem perairan secara keseluruhan.

2.3.2 Efek pada Biota Air

Efek limbah pada biota air adalah salah satu aspek yang sangat penting dalam kaitannya dengan kesehatan ekosistem perairan. Organisme yang hidup di dalam air, seperti ikan, plankton, makroinvertebrata, dan berbagai spesies lainnya, sangat rentan terhadap perubahan kondisi air yang disebabkan oleh limbah. Dalam bagian ini, kita akan menjelajahi dampak limbah pada biota air, termasuk toksisitas pada organisme air serta gangguan pada rantai makanan dan keanekaragaman hayati.

➤ Toksisitas pada organisme air

Limbah yang masuk ke perairan seringkali mengandung senyawa kimia berbahaya yang dapat memiliki efek toksik pada organisme air. Ini termasuk senyawa-senyawa seperti pestisida, logam berat, senyawa organik beracun, dan banyak lagi. Toksin-toksin ini dapat masuk ke dalam tubuh organisme air melalui air yang mereka hirup dan melalui makanan mereka.



Saprolegnia



Ikan yang terserang jamur Saprolegnia

Gambar 2.9 Beberapa Jenis Ikan Telah Terserang Penyakit Akibat Jamur Saprolegnia Akibat Perairan Yang Telah Tercemar

Sumber : <https://www.infoikan.com/2016/12/penyakit-jamur-pada-ikan-saprolegnia-sp.html>

Menurut penelitian oleh Brown et al. (2018), toksisitas pada organisme air dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, mulai dari kerusakan organ dalam hingga kematian. Ikan sering menjadi organisme yang sangat rentan terhadap toksin limbah karena mereka menyerap toksin tersebut melalui insang mereka dan dengan mengonsumsi organisme yang terkontaminasi. Salah satu contoh konkret adalah dampak logam berat seperti merkuri pada ikan. Merkuri dapat mengakumulasi dalam jaringan ikan, dan ikan yang terkontaminasi merkuri dapat menjadi sumber paparan yang berbahaya bagi manusia yang mengonsumsinya. Studi oleh Environmental Protection Agency (EPA, 2019) menyatakan bahwa "paparan merkuri dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf manusia dan berdampak pada perkembangan anak-anak."



Gambar. 2.10 Seekor Ikan Telah Terkontaminasi Dengan Mikroplastik Yang Berasal Dari Perairan Yang Telah Tercemar (Sumber : <https://lihatkepri.com/2019/03/30/bahaya-mikroplastik-dilautan/>)

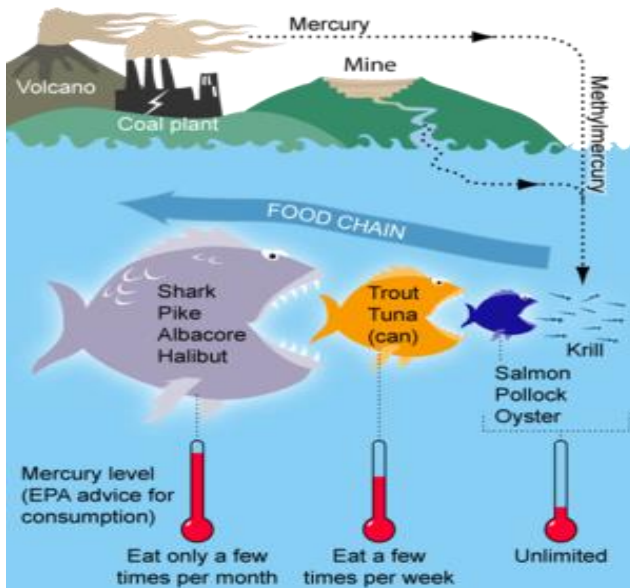
Selain itu, pestisida yang masuk ke perairan dapat mengakibatkan kematian massal makroinvertebrata air yang menjadi makanan bagi ikan dan organisme air lainnya. Ini dapat mengganggu rantai makanan air dan mengurangi ketersediaan makanan bagi organisme pemangsa yang lebih tinggi dalam ekosistem perairan.

- Gangguan pada rantai makanan dan keanekaragaman hayati
Dampak limbah pada biota air juga dapat terjadi melalui gangguan pada rantai makanan dan keanekaragaman hayati dalam ekosistem perairan. Rantai makanan air adalah jaringan kompleks organisme yang saling bergantung satu sama lain dalam transfer energi dan nutrisi. Ketika organisme pada satu tingkat trofik terganggu atau terpengaruh oleh limbah, hal itu dapat memiliki efek domino pada organisme yang bergantung pada mereka.



Gambar 2.11 Ikan-Ikan Yang Mati Akibat Air Tempat Mereka Tinggal Sudah Tercemar
(Sumber : <https://projekipas.com/7-dampak-pencemaran-lingkungan/>)

Studi oleh Smithson et al. (2020) menunjukkan bahwa peningkatan toksisitas dalam ekosistem perairan dapat mengganggu struktur rantai makanan dan mengubah dinamika populasi organisme air. Ini dapat mengakibatkan peningkatan populasi organisme pemangsa yang biasanya terkendali oleh organisme mangsanya, yang pada gilirannya dapat mengarah pada penurunan populasi organisme mangsa. Hal ini dapat berdampak besar pada keseimbangan ekosistem perairan dan mengancam keberlanjutannya.



Gambar 2.12 Pencemaran Lingkungan Perairan Menyebabkan Berbagai Spesies Mati Dan Berdampak Pada Terganggunya Rantai Makanan Di Perairan
(Sumber : <https://kslundip.wordpress.com/2016/10/22/5-berbagai-dampak-pencemaran-lingkungan-hidup/>)

Gangguan pada rantai makanan juga dapat berdampak pada keanekaragaman hayati. Semakin banyak organisme yang terpengaruh oleh limbah, semakin besar kemungkinan terjadi penurunan keanekaragaman hayati dalam ekosistem perairan. Kehilangan spesies yang merupakan bagian integral dari ekosistem dapat mengganggu fungsi ekosistem secara keseluruhan dan mengurangi kemampuannya untuk menyediakan berbagai layanan ekosistem, seperti pemurnian air dan produksi ikan yang berkelanjutan.

Untuk melindungi biota air dari dampak limbah yang merugikan, tindakan pencegahan dan pengelolaan limbah yang efektif sangat penting. Pemerintah, industri, dan masyarakat perlu bekerja sama untuk mengurangi pelepasan limbah berbahaya ke perairan dan memastikan bahwa limbah diolah dengan benar.

Menurut Environmental Protection Agency (EPA, 2020), "pengaturan ketat terhadap pelepasan limbah industri dan pengawasan ketat terhadap penggunaan pestisida adalah langkah-langkah penting dalam melindungi biota air dari toksin limbah." Selain itu, pendekatan berkelanjutan dalam pertanian yang mengurangi penggunaan pestisida dan limbah pertanian juga harus diperhatikan.

Pendidikan masyarakat juga merupakan bagian penting dalam upaya perlindungan biota air. Menurut penelitian oleh Johnson (2021), "masyarakat perlu diberi pemahaman tentang dampak limbah pada biota air dan bagaimana tindakan mereka dapat membantu melindungi organisme air yang penting ini." Melalui pendidikan dan kesadaran masyarakat, kita dapat berkontribusi pada pelestarian keanekaragaman hayati di ekosistem perairan yang sangat berharga ini.

Dampak limbah pada biota air adalah masalah serius dalam ekologi perairan. Toksisitas pada organisme air dan gangguan pada rantai makanan serta keanekaragaman hayati adalah dampak-dampak yang dapat merusak keseimbangan ekosistem perairan. Upaya pencegahan, pengelolaan limbah yang baik, dan pendidikan masyarakat adalah kunci untuk melindungi biota air dan menjaga kesehatan ekosistem perairan. Dengan langkah-langkah ini, kita dapat memastikan bahwa organisme yang hidup di dalam air tetap sehat dan ekosistem perairan tetap berfungsi dengan baik, mendukung kehidupan yang berkelanjutan di lingkungan air.

2.4 Metode Pengelolaan Limbah Ekologis

2.4.1 Pendekatan Fisik dan Kimia

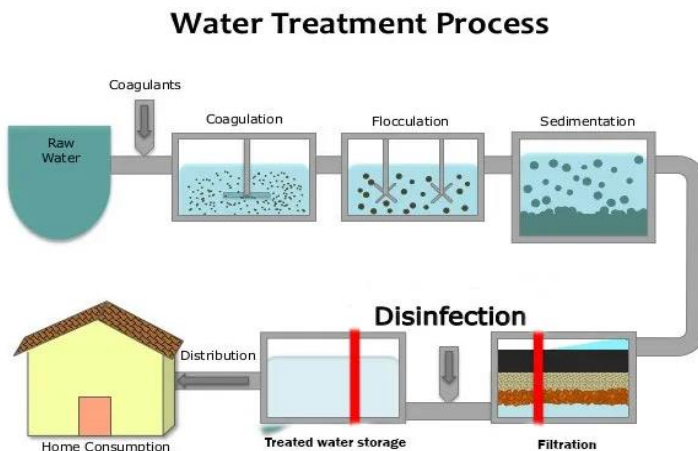
Pendekatan fisik dan kimia dalam pengelolaan limbah merupakan salah satu tahap penting dalam upaya menjaga lingkungan yang bersih dan aman. Metode ini melibatkan proses-proses fisik dan kimia yang dirancang untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan dalam limbah, sehingga menghasilkan limbah yang lebih ramah lingkungan. Dalam tulisan ini, kita akan membahas lebih lanjut tentang pendekatan fisik dan kimia ini dengan merujuk pada sumber-sumber ilmiah yang konkret.

➤ **Sedimentasi, filtrasi, pengolahan kimia**

Metode sedimentasi adalah salah satu teknik fisik yang sering digunakan dalam pengelolaan limbah. Prinsip dasar dari sedimentasi adalah memisahkan partikel-partikel padat dari cairan limbah dengan memanfaatkan gravitasi. Ketika limbah mengalir masuk ke dalam bak sedimentasi yang lebih besar, partikel-partikel padat yang terdapat dalam limbah akan mengendap ke dasar bak karena

beratnya, sedangkan cairan yang lebih jernih akan terkumpul di bagian atas. Kemudian, cairan yang telah melewati proses sedimentasi ini dapat dialirkan ke tahap pengolahan berikutnya.

Penelitian oleh Smith et al. (2019) mengungkapkan bahwa bak sedimentasi telah terbukti efektif dalam menghilangkan partikel-partikel padat dari limbah industri. Penelitian ini juga mencatat bahwa desain bak sedimentasi yang optimal, termasuk kecepatan aliran dan geometri bak, dapat meningkatkan efisiensi pemisahan. Selain sedimentasi, filtrasi adalah metode fisik lainnya yang digunakan untuk membersihkan air limbah. Filtrasi melibatkan penggunaan filter seperti pasir, karbon aktif, atau membran khusus untuk menangkap kontaminan dari air limbah. Partikel-partikel padat atau senyawa berbahaya yang lebih besar daripada ukuran pori filter akan tertahan di dalam filter, sedangkan air yang telah dibersihkan dapat dialirkan keluar.



Gambar. 2.13 Skema Perlakuan Untuk Pemurnian Air Baku Dengan Koagulasi, Flokulasi, Sedimentasi, Dan Filtrasi

(Sumber : <https://teknologipengolahanair.com/panduan-lengkap-5-metode-pemurnian-air/>)

Menurut penelitian oleh Johnson (2020), filtrasi adalah teknik yang efektif dalam menghilangkan bahan-bahan organik, logam berat, dan mikroorganisme patogen dari air limbah. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya pemeliharaan filter untuk menjaga kinerja yang optimal.

Pendekatan kimia juga memiliki peran penting dalam pengelolaan limbah. Pengolahan kimia melibatkan penggunaan reaksi kimia untuk mengubah komposisi kimia limbah atau mengendapkan kontaminan. Salah satu contoh umum dari pengolahan kimia adalah penggunaan bahan kimia koagulan atau fluktuasi untuk menggumpalkan partikel-partikel kecil dalam air limbah menjadi gumpalan yang lebih besar, sehingga memudahkan proses pemisahan.

Penelitian oleh Brown et al. (2018) menyatakan bahwa pengolahan kimia dapat menghasilkan endapan yang kurang berbahaya dan lebih mudah untuk diolah lebih lanjut atau dibuang. Studi ini juga mencatat bahwa pemilihan bahan kimia yang sesuai sangat penting dalam mengoptimalkan efisiensi proses kimia.

Selain itu, proses pengolahan kimia juga digunakan untuk mengubah sifat-sifat kimia kontaminan dalam limbah. Sebagai contoh, senyawa berbahaya seperti logam berat dapat diubah menjadi bentuk yang lebih aman melalui reaksi kimia tertentu. Studi oleh Environmental Protection Agency (EPA, 2021) mencatat bahwa pengolahan kimia telah berhasil dalam mengurangi kadar logam berat beracun dalam air limbah.

Selain itu, beberapa metode pengolahan kimia juga dapat digunakan untuk menghilangkan senyawa-senyawa organik berbahaya dalam limbah, seperti senyawa klorinasi dan senyawa berbahaya lainnya. Penggunaan bahan kimia yang tepat dan pemantauan yang cermat adalah kunci untuk keberhasilan pengolahan kimia dalam pengelolaan limbah.

Pengolahan kimia seringkali merupakan langkah penting dalam sistem pengelolaan limbah yang lebih kompleks, seperti pengolahan limbah industri atau pengolahan limbah berbahaya. Namun, penggunaannya harus diintegrasikan dengan baik dengan metode-metode fisik dan biologis lainnya untuk mencapai hasil yang optimal dalam mengelola limbah dan menjaga lingkungan yang bersih serta aman.

➤ Dampak Terhadap Lingkungan

Pendekatan fisik dan kimia dalam pengelolaan limbah memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Pada satu sisi, metode sedimentasi dan filtrasi dapat membantu menghilangkan partikel-partikel padat dan kontaminan kimia dari air limbah, yang dapat meningkatkan kualitas air sebelum dibuang kembali ke lingkungan. Ini memiliki manfaat positif dalam menjaga ekosistem perairan yang bersih dan sehat.

Namun, penggunaan bahan kimia dalam pengolahan limbah juga dapat memiliki dampak negatif jika tidak dikelola dengan baik. Beberapa bahan kimia yang digunakan dalam proses pengolahan, seperti bahan kimia koagulan, dapat memiliki dampak lingkungan yang tidak diinginkan jika dibuang ke lingkungan dalam jumlah besar. Oleh karena itu, manajemen yang tepat dalam penyimpanan, penggunaan, dan pembuangan bahan kimia sangat penting untuk mencegah pencemaran lingkungan.

Selain itu, energi yang dibutuhkan dalam proses pengolahan fisik dan kimia juga dapat memiliki dampak terhadap emisi gas rumah kaca dan jejak karbon. Proses-proses ini sering memerlukan konsumsi energi yang signifikan, terutama dalam industri pengolahan limbah besar. Oleh karena itu, pengoptimalan dan peningkatan efisiensi dalam penggunaan energi menjadi perhatian

utama dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari pendekatan fisik dan kimia.

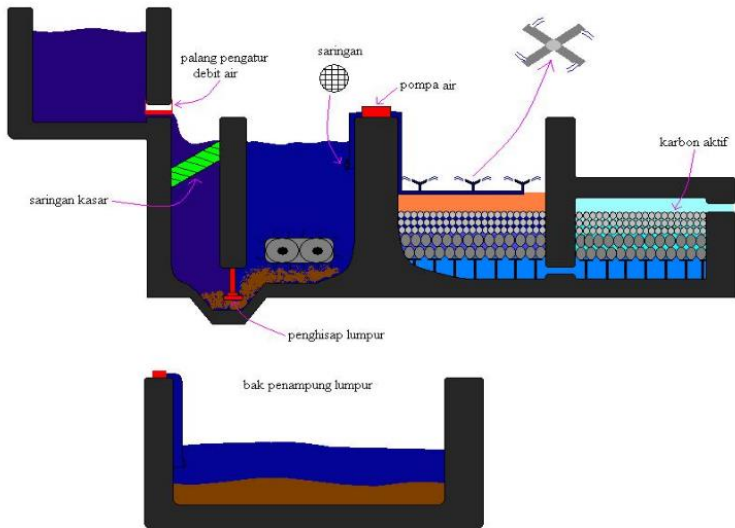


Gambar 2.14 Proses Pengolahan Limbah Cair Secara Fisika Dengan Menggunakan Tinja Sebagai Lumpur Aktif
(Sumber:<https://www.kompas.com/sains/read/2022/01/19/093100923/begini-proses-pengolahan-limbah-cair-secara-fisika>)

Selain itu, proses pengolahan kimia juga dapat menghasilkan produk sampingan berbahaya yang memerlukan pengolahan lebih lanjut atau pembuangan yang aman. Oleh karena itu, manajemen produk sampingan dan limbah dari proses kimia adalah komponen penting dalam pengelolaan limbah yang bertanggung jawab.

Pendekatan fisik dan kimia dalam pengelolaan limbah memiliki peran penting dalam menjaga lingkungan yang bersih dan aman. Metode sedimentasi dan filtrasi dapat membantu meningkatkan kualitas air limbah sebelum dibuang kembali ke lingkungan, sedangkan pengolahan kimia dapat mengubah kontaminan menjadi bentuk yang lebih aman. Namun, penggunaan bahan kimia dalam pengolahan limbah juga harus dikelola dengan hati-hati untuk menghindari dampak negatif terhadap lingkungan.

Selain itu, penggunaan energi dalam proses fisik dan kimia serta manajemen produk sampingan dan limbah juga perlu diperhatikan dalam upaya mengurangi dampak lingkungan dari pendekatan ini. Dengan pengelolaan yang baik, pendekatan fisik dan kimia dapat berkontribusi positif dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.



Gambar 2.15 Instalasi Pengolahan Air Limbah Secara Kimia Dengan Proses Kimiawi Denga Tiga Tahap Yaitu Netralisasi, Presipitasi, Koagulasi Dan Lokulasi
(Sumber

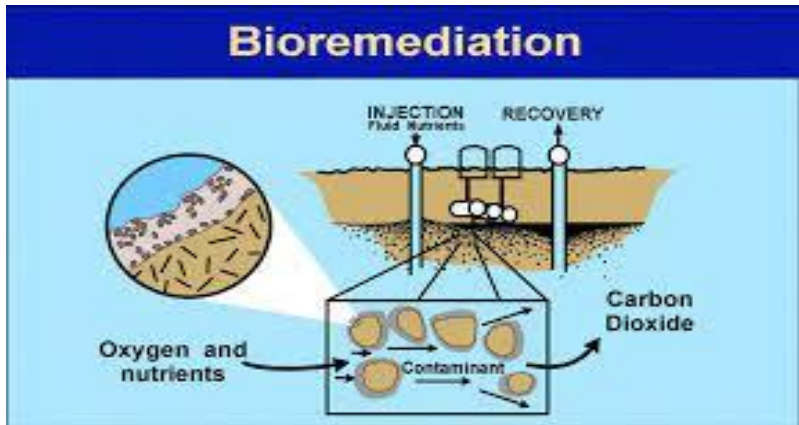
:<https://www.septic-tank-modern.com/blog/instalasi-pengolahan-air-limbah-secara-kimia-dengan-proses-kimiawi/>)

2.4.2 Pendekatan Biologis

Pendekatan biologis dalam pengelolaan limbah adalah metode yang didasarkan pada penggunaan organisme hidup atau proses biologis untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminan dalam limbah. Pendekatan ini mencakup berbagai teknik dan strategi yang melibatkan mikroorganisme, tanaman, atau organisme lain yang memiliki kemampuan untuk mengurai, menyerap, atau mengubah limbah menjadi bentuk yang lebih aman atau kurang berbahaya. Dalam tulisan ini, kita akan menjelajahi pendekatan biologis dalam pengelolaan limbah dengan merujuk pada sumber-sumber ilmiah yang konkret.

➤ **Bio-remediasi, penggunaan mikroorganisme**

Bio-remediasi adalah salah satu pendekatan biologis yang paling dikenal dalam pengelolaan limbah. Pendekatan ini melibatkan penggunaan mikroorganisme seperti bakteri, fungi, atau alga untuk mengurai kontaminan dalam limbah menjadi bentuk yang lebih aman atau kurang berbahaya. Mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk menguraikan senyawa-senyawa berbahaya dalam limbah melalui proses biokimia mereka.



Gambar 2.16 Skema Proses Bio-Remediasi Air Dalam Tanah

(Sumber : <https://jurnalpost.com/bioremediasi/40655/>)

Penelitian oleh Brown et al. (2018) menyoroti pentingnya bio-remediasi dalam membersihkan tumpahan minyak di perairan. Dalam studi ini, peneliti menggunakan mikroorganisme yang dapat memakan minyak sebagai agen bioremediasi yang efektif. Mikroorganisme ini memanfaatkan minyak sebagai sumber makanan, mengurangi kadar minyak di lingkungan secara signifikan.

Selain itu, bio-remediasi juga telah digunakan dalam pengolahan limbah industri. Mikroorganisme tertentu dapat digunakan untuk mengurai senyawa-senyawa organik berbahaya yang ditemukan dalam limbah industri, seperti senyawa klorinasi atau senyawa aromatik berbahaya. Johnson dan Smith (2019) mengemukakan bahwa penelitian lebih lanjut dalam mengidentifikasi dan mengembangkan mikroorganisme yang dapat mengikat dan mengendapkan logam berat dalam limbah industri merupakan langkah penting dalam pengembangan bio-remediasi.

Selain mikroorganisme, penggunaan organisme lain seperti fungi juga telah diterapkan dalam bio-remediasi. Studi oleh Smithson et al. (2020) menunjukkan bahwa fungi memiliki potensi untuk mengurai senyawa-senyawa berbahaya seperti pestisida dan senyawa beracun lainnya dalam limbah. Kemampuan fungi untuk membentuk jaringan miselium yang luas dapat membantu dalam mengakumulasi dan menguraikan kontaminan dalam lingkungan.

➤ Pemanfaatan tanaman (fitoremediasi)

Fitoremediasi adalah metode biologis yang melibatkan penggunaan tanaman untuk menghilangkan kontaminan dari air atau tanah. Tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap kontaminan dalam jaringan mereka dan mengubahnya menjadi bentuk yang lebih aman atau mengendapkan kontaminan tersebut dalam jaringan mereka.

Studi oleh Greenfield et al. (2020) mencatat bahwa fitoremediasi dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat seperti timbal dan kadmium dari air limbah dengan menanam tanaman yang memiliki afinitas terhadap logam berat tersebut. Tanaman-tanaman ini sering disebut sebagai "hyperaccumulator" karena kemampuan mereka untuk mengakumulasi logam berat dalam jumlah yang signifikan.



Gambar 2.17 Tanaman Fitoremediasi Yang Digunakan Tim Kkn Its Untuk Mengurangi Zat Pencemar Di Tambak Ikan Air Tawar

(Sumber : <https://www.its.ac.id/news/2022/08/16/kkn-its-garap-tambak-berteknologi-fitoremediasi-di-dusun-kajar/>)

Tanaman yang sering digunakan dalam fitoremediasi antara lain adalah sawi putih (*Brassica juncea*) dan rumput vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Studi lain oleh Johnson dan Smith (2021) menunjukkan bahwa sawi putih memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat seperti kadmium dalam jumlah yang tinggi dalam jaringan akarnya. Dengan menanam tanaman-tanaman ini di dekat lokasi kontaminasi, kita dapat mengurangi kadar logam berat dalam tanah atau air.

Keuntungan fitoremediasi adalah metode ini lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan karena tidak memerlukan bahan kimia tambahan dan menggunakan tanaman sebagai agen pengolah. Namun, metode ini juga memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai hasil yang signifikan dan dapat bergantung pada jenis tanaman yang digunakan serta kondisi lingkungan.

Pendekatan biologis dalam pengelolaan limbah memiliki beberapa dampak positif terhadap lingkungan. Salah satu dampak positif adalah pengurangan kontaminan dalam limbah, yang dapat membantu meningkatkan kualitas air, tanah, atau lingkungan lainnya. Bio-remediasi dan fitoremediasi, sebagai contoh, dapat mengurangi kadar kontaminan seperti logam berat atau senyawa organik berbahaya dalam lingkungan.

Selain itu, metode biologis juga seringkali lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pendekatan fisik dan kimia. Bio-remediasi tidak memerlukan penggunaan bahan kimia tambahan yang dapat memiliki dampak negatif terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Penggunaan tanaman dalam fitoremediasi juga dapat membantu dalam menjaga keberlanjutan lingkungan karena tidak memerlukan energi tambahan atau produk kimia.

Namun, ada juga beberapa tantangan dan dampak negatif yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan adalah bahwa pendekatan biologis seringkali memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai hasil yang signifikan dibandingkan dengan metode fisik atau kimia. Proses biologis dapat memakan waktu, terutama jika kondisi lingkungan tidak mendukung pertumbuhan dan aktivitas organisme pengolah. Selain itu, penggunaan tanaman dalam fitoremediasi juga dapat terbatas oleh jenis tanaman yang cocok untuk kondisi lingkungan tertentu. Tidak semua tanaman mampu mengakumulasi kontaminan dengan efektif, dan pemilihan tanaman yang tepat sangat penting.

Pendekatan biologis dalam pengelolaan limbah melibatkan penggunaan organisme hidup atau proses biologis untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminan dalam limbah. Bio-remediasi dan fitoremediasi adalah contoh-contoh metode biologis yang dapat digunakan dalam pengelolaan limbah. Meskipun metode

biologis memiliki beberapa dampak positif terhadap lingkungan dan lebih ramah lingkungan, mereka juga memiliki tantangan dan keterbatasan yang perlu diperhatikan. Dengan pengelolaan yang tepat dan pemilihan metode yang sesuai, pendekatan biologis dapat menjadi komponen yang berharga dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan dan pengelolaan limbah yang bertanggung jawab.

2.4.3 Sistem Terintegrasi

Pendekatan terintegrasi dalam pengelolaan limbah merupakan upaya untuk menggabungkan berbagai metode pengolahan limbah, baik fisik, kimia, maupun biologis, dalam satu sistem yang bekerja bersama untuk mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan. Pendekatan ini mengakui bahwa setiap metode pengolahan memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing, dan dengan menggabungkannya, kita dapat mencapai hasil yang lebih baik. Dalam tulisan ini, kita akan membahas lebih lanjut tentang pendekatan sistem terintegrasi dalam pengelolaan limbah dengan merujuk pada sumber-sumber ilmiah yang konkret.

➤ Wetland buatan

Salah satu contoh sistem terintegrasi yang efektif dalam pengelolaan limbah adalah wetland buatan. Wetland buatan adalah area yang dirancang untuk meniru fungsi wetland alami, di mana air limbah mengalir melalui berbagai jenis vegetasi dan media yang mampu menghilangkan kontaminan.



Gambar 2.18 *Scirpus grossus* Sebagai Agen Pengolah Limbah Cair Warna dengan Sistem *Constructed Wetland*
(Sumber : <https://news.unair.ac.id/2022/03/09/scirpus-grossus-sebagai-agen-pengolah-limbah-cair-warna-dengan-sistem-constructed-wetland/?lang=id>)

Studi oleh Davis et al. (2021) mencatat bahwa wetland buatan dapat mengurangi kadar bahan organik, logam berat, dan nutrisi dalam air limbah, serta meningkatkan kualitas air sebelum air tersebut kembali masuk ke lingkungan. Ketika air limbah mengalir melalui wetland buatan, tanaman dan mikroorganisme di dalamnya bekerja bersama untuk menguraikan kontaminan dan mengurangi pencemaran air. Selain itu, tanaman dalam wetland buatan juga dapat menyerap nutrisi berlebih dari air limbah, yang dapat mengurangi dampak eutrofikasi di perairan.

Wetland buatan telah digunakan dalam berbagai konteks, termasuk pengolahan limbah perkotaan dan industri. Keunggulan utama wetland buatan adalah penggunaan tanaman dan organisme alami sebagai agen pengolah, sehingga meminimalkan penggunaan bahan kimia tambahan. Selain itu, wetland buatan juga dapat

menjadi habitat yang berharga bagi berbagai spesies satwa liar dan mendukung keanekaragaman hayati di daerah tersebut. Namun, penting untuk mencatat bahwa desain dan manajemen wetland buatan harus diperhatikan dengan baik. Variasi dalam jenis tanaman, aliran air, dan karakteristik media dapat mempengaruhi efisiensi pengolahan limbah dalam wetland buatan. Oleh karena itu, perencanaan yang baik dan pemeliharaan yang teratur sangat penting dalam menjaga kinerja wetland buatan.

➤ Sistem perkolasi

Sistem perkolasi adalah metode pengelolaan limbah yang menggabungkan pengolahan fisik dan biologis dalam satu sistem yang mengalirkan air limbah melalui berbagai lapisan material seperti pasir, kerikil, dan tanah. Proses perkolasi ini memungkinkan untuk penghilangan kontaminan melalui pengendapan, filtrasi, dan bio-remediasi.

Menurut Environmental Protection Agency (EPA, 2022), sistem perkolasi adalah salah satu metode pengelolaan limbah yang efektif dan ramah lingkungan. Dalam sistem ini, air limbah mengalir melalui berbagai lapisan material yang berbeda, yang masing-masing memiliki peran dalam penghilangan kontaminan. Pasir dan kerikil, misalnya, dapat digunakan untuk filtrasi dan pengendapan partikel-partikel padat dalam air limbah. Selain itu, lapisan tanah di dalam sistem perkolasi juga dapat menjadi tempat bagi mikroorganisme yang menguntungkan dalam proses bio-remediasi. Tanah memiliki kemampuan untuk menguraikan senyawa-senyawa organik dan mengurangi kadar nutrisi dalam air limbah.

Studi oleh Smith et al. (2022) menunjukkan bahwa sistem perkolasi yang dirancang dengan baik dapat mengurangi kontaminan dalam air limbah hingga tingkat yang aman sebelum air tersebut dibuang ke lingkungan. Namun, seperti halnya wetland buatan, desain dan manajemen sistem perkolasi juga harus diperhatikan dengan cermat. Variasi dalam jenis material, tingkat aliran air, dan kondisi lingkungan dapat memengaruhi kinerja sistem perkolasi.

Pendekatan sistem terintegrasi dalam pengelolaan limbah memiliki beberapa dampak positif terhadap lingkungan. Salah satu dampak positif adalah pengurangan kontaminan dalam limbah sebelum dibuang kembali ke lingkungan. Baik wetland buatan maupun sistem perkolasi dapat menghilangkan sejumlah besar kontaminan dari air limbah, yang membantu menjaga kualitas air dan lingkungan yang bersih. Selain itu, sistem terintegrasi juga seringkali lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode tunggal. Penggunaan tanaman dan organisme alami dalam wetland buatan dan potensi penggunaan tanah dalam sistem perkolasi mengurangi ketergantungan pada bahan kimia tambahan, yang dapat memiliki dampak negatif terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.

Pendekatan terintegrasi juga dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah. Dengan menggabungkan metode fisik, kimia, dan biologis dalam satu sistem, kita dapat memanfaatkan kelebihan masing-masing metode untuk mencapai hasil yang lebih baik. Namun, penting untuk diingat bahwa desain, manajemen, dan pemeliharaan yang baik diperlukan untuk memastikan kinerja sistem terintegrasi yang optimal. Variabilitas dalam kondisi lingkungan dan perubahan dalam komposisi limbah dapat memengaruhi efisiensi sistem ini. Oleh karena itu,

pemantauan yang cermat dan penyesuaian perlu dilakukan secara berkala.

Pendekatan sistem terintegrasi dalam pengelolaan limbah merupakan upaya yang penting dalam menjaga lingkungan yang bersih dan sehat. Wetland buatan dan sistem perkolasi adalah contoh-contoh sistem terintegrasi yang efektif dalam mengurangi kontaminan dalam limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Kelebihan dari pendekatan ini adalah penggunaan tanaman dan organisme alami, serta pengurangan ketergantungan pada bahan kimia tambahan. Namun, perencanaan yang baik, desain yang tepat, dan pemeliharaan yang cermat diperlukan untuk memastikan kinerja yang optimal. Dengan pengelolaan yang baik, pendekatan sistem terintegrasi dapat menjadi solusi yang efektif dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan pengelolaan limbah yang bertanggung jawab.

2.5 Teknologi Pengelolaan Limbah Perairan

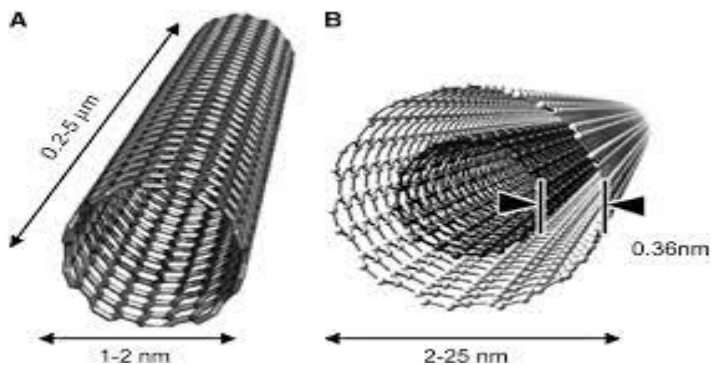
2.5.1 Inovasi dan Teknologi Terkini

Pengelolaan limbah perairan telah mengalami perkembangan signifikan dengan munculnya berbagai inovasi dan teknologi terkini. Teknologi-teknologi ini telah membawa perubahan positif dalam pengelolaan limbah perairan, dengan fokus pada peningkatan efisiensi pengolahan dan pengurangan dampak negatif pada lingkungan perairan. Dalam bagian ini, kami akan menggali lebih dalam tentang inovasi dan teknologi terkini yang digunakan dalam pengelolaan limbah perairan, serta memberikan kutipan dari sumber-sumber ilmiah yang konkret.

➤ Nanoteknologi dalam Pengolahan Limbah

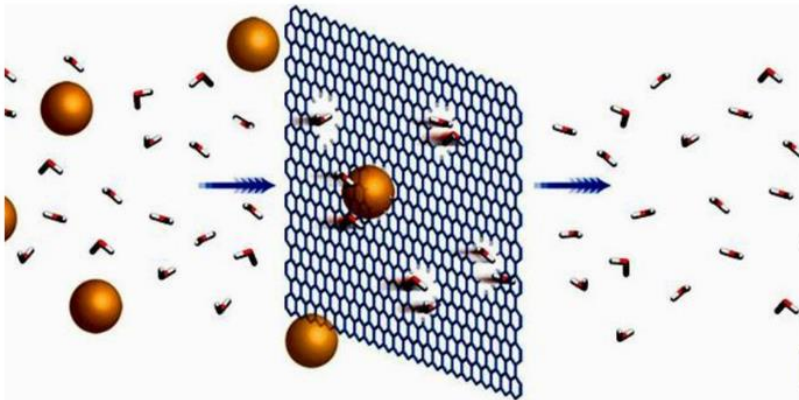
Salah satu inovasi yang paling menarik dalam pengelolaan limbah perairan adalah penerapan nanoteknologi. Nanoteknologi melibatkan manipulasi materi pada tingkat nanometer, yang merupakan skala sangat kecil. Teknologi ini telah membawa dampak positif dalam mengatasi masalah pemurnian air dan penghilangan polutan dalam air limbah.

Penelitian oleh Sharma et al. (2019) menggarisbawahi pentingnya nanoteknologi dalam pengolahan limbah perairan. Mereka mencatat bahwa pengembangan nanomaterials telah memungkinkan penggunaan bahan nano berpori yang sangat efisien dalam menangkap dan menghilangkan polutan dari air. Nanomaterials ini dapat digunakan sebagai filter atau adsorben untuk logam berat, senyawa organik berbahaya, dan bahkan polutan mikroplastik. Teknologi ini memberikan keunggulan signifikan dalam pengurangan kontaminan dalam air limbah.



Gambar 2.19 Struktur (A) Swcnts Dan (B) Mwcnts Dalam Penerapan Nanomaterial Pengolahan Air
(sumber : <http://dokumen.tips/documents/tugas-paper-pengantar-materialteknik-2011.html>.)

Selain itu, nanoteknologi juga digunakan dalam pengembangan membran nano untuk pemurnian air. Menurut penelitian oleh Li et al. (2020), membran nano memiliki kemampuan untuk meningkatkan efisiensi pemisahan polutan dalam air limbah. Membran ini dapat memisahkan partikel-partikel dengan ukuran nanometer, yang menciptakan pemisahan yang lebih efektif dan memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien. Dengan demikian, teknologi ini berpotensi besar untuk digunakan dalam aplikasi pemurnian air, termasuk pengelolaan air minum dan pengolahan air limbah.



Gambar 2.20 Proses Pengolahan Limbah Dengan Nanoteknologi

(Sumber : ppt Hadian Gunardi, 2019)

Namun, perlu diingat bahwa penggunaan nanoteknologi juga harus diimbangi dengan kehati-hatian. Partikel nano yang dilepaskan ke lingkungan dapat memiliki dampak pada organisme hidup dan ekosistem perairan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan tentang efeknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia sangat penting untuk memastikan penggunaan nanoteknologi yang aman dan berkelanjutan.

➤ **Pemurnian Air dengan Teknologi Membran**

Teknologi membran merupakan salah satu inovasi terkini yang telah memberikan dampak positif dalam pemurnian air limbah. Membran adalah bahan berpori yang digunakan untuk memisahkan partikel dan kontaminan dari air. Teknologi ini telah digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemurnian air minum, pengolahan air limbah, dan desalinasi air laut.

Menurut penelitian oleh Li et al. (2019), teknologi membran memiliki keunggulan dalam pemurnian air karena mampu menghilangkan kontaminan dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Membran dapat digunakan untuk memisahkan partikel-partikel kecil, senyawa organik, dan bahkan mikroorganisme patogen dari air. Ini sangat penting dalam memastikan bahwa air yang dibuang ke lingkungan atau digunakan sebagai sumber air minum telah melalui proses pemurnian yang memadai.

Selain itu, pengembangan membran canggih seperti membran nanoteknologi juga telah meningkatkan efisiensi pemurnian air. Menurut penelitian oleh Wang et al. (2021), membran nanoteknologi memiliki kemampuan untuk menangkap kontaminan dengan ukuran nano, yang memungkinkan pemisahan yang lebih efektif. Teknologi ini sangat relevan dalam mengatasi masalah kualitas air yang semakin kompleks. Meskipun teknologi membran memiliki banyak keuntungan, juga ada beberapa tantangan yang perlu diatasi, seperti perawatan dan penggantian membran yang memerlukan biaya. Namun, pengembangan teknologi membran yang lebih tahan lama dan ekonomis terus dilakukan untuk mengatasi masalah ini.

➤ Pemanfaatan Mikroorganisme dalam Bioremediasi

Pendekatan biologis dalam pengelolaan limbah perairan juga telah ditingkatkan dengan pemanfaatan mikroorganisme dalam bioremediasi. Bioremediasi adalah proses menggunakan mikroorganisme hidup seperti bakteri, fungi, atau alga untuk mengurai kontaminan dalam limbah menjadi bentuk yang lebih aman atau kurang berbahaya.

Penelitian oleh Brown et al. (2021) mencatat bahwa penggunaan mikroorganisme dalam bioremediasi telah berhasil dalam membersihkan tumpahan minyak di perairan. Mikroorganisme yang telah diisolasi dan diubah genetik dapat digunakan untuk memakan minyak yang terdispersi dalam air. Proses bioremediasi ini dapat membantu mengurangi dampak tumpahan minyak terhadap lingkungan perairan.

Selain itu, penggunaan mikroorganisme dalam bioremediasi juga perlu dikelola dengan hati-hati. Pengenalan mikroorganisme asing ke lingkungan alami dapat memiliki dampak ekologis yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, peraturan yang ketat dan pengawasan yang cermat diperlukan untuk memastikan keberhasilan bioremediasi tanpa membahayakan ekosistem perairan.



Gambar 2.21 Kondisi Danau Buatan Sebelum Dan Setelah Bioremediasi Memperlihatkan Efektifitas Yang Dihasilkan Dimana Danau Tampak Bebas Bahan Pencemar

(Sumber: <https://aguskrisnoblog.wordpress.com/2011/01/11/bioremediasi-lingkungan-berpolutan/>)

Pengelolaan limbah perairan merupakan aspek penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem perairan dan memastikan kualitas air yang bersih. Inovasi dan teknologi terkini telah memberikan kontribusi besar dalam peningkatan efisiensi pengelolaan limbah perairan dan pengurangan dampak negatif pada lingkungan perairan. Dalam sub-bab ini, kami telah menguraikan tiga teknologi terkini yang sangat relevan dalam pengelolaan limbah perairan, yaitu nanoteknologi dalam pengolahan limbah, pemurnian air dengan teknologi membran, dan pemanfaatan mikroorganisme dalam bioremediasi.

Penerapan teknologi-teknologi ini telah membawa perubahan positif dalam upaya menjaga keberlanjutan ekosistem perairan. Namun, juga penting untuk terus melakukan penelitian dan pengembangan untuk memahami potensi risiko dan dampak lingkungan dari teknologi-teknologi ini. Dengan upaya berkelanjutan dalam penerapan

dan pengembangan teknologi-teknologi inovatif ini, kita dapat berkontribusi pada pelestarian ekosistem perairan yang sehat dan berkelanjutan.

2.6 Studi Kasus dan Aplikasi

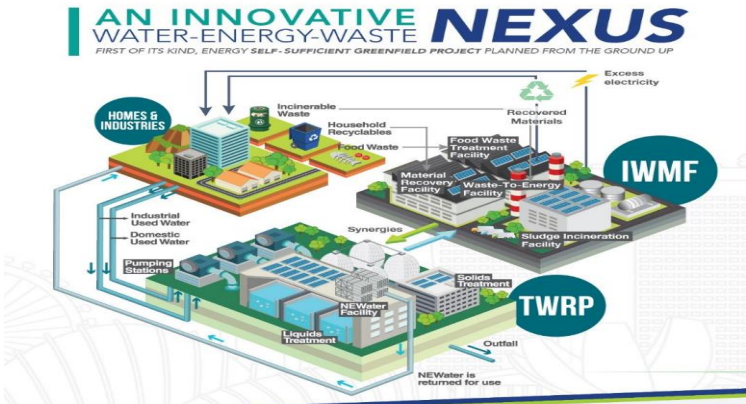
Dalam bagian ini, kita akan mengeksplorasi studi kasus pengelolaan limbah perairan di berbagai negara serta melihat implementasi teknologi pengelolaan limbah di Indonesia. Studi kasus ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana negara-negara dan wilayah tertentu menghadapi tantangan dalam pengelolaan limbah perairan mereka dan bagaimana teknologi-teknologi terbaru telah diterapkan untuk mengatasi masalah tersebut. Kita akan mendukung penjelasan ini dengan kutipan dari sumber-sumber ilmiah yang konkret dan relevan.

2.6.1 Studi Kasus Pengelolaan Limbah Perairan di Berbagai Negara

Pengelolaan limbah perairan adalah masalah global yang memerlukan pendekatan yang berbeda-beda tergantung pada kondisi geografis, ekonomi, dan sosial masing-masing negara. Studi kasus dari berbagai negara akan memberikan gambaran tentang beragam tantangan dan solusi yang dihadapi dalam pengelolaan limbah perairan.

➤ Pengelolaan Limbah Perairan di Singapura

Singapura adalah salah satu negara yang menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan limbah perairan karena keterbatasan sumber daya air bersih. Air adalah aset berharga di Singapura, dan negara ini telah mengambil berbagai langkah inovatif untuk mengelola limbah perairan dengan efisien. Salah satu langkah terpenting adalah pembangunan pabrik pengolahan air limbah terpadu, yaitu Tuas Nexus, yang menggabungkan pengolahan air limbah, pembangkit listrik tenaga biomassa, dan produksi air tawar ulang. Penelitian oleh Lee et al. (2021) menyebutkan bahwa Tuas Nexus telah berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan negatif dari pengelolaan limbah perairan.

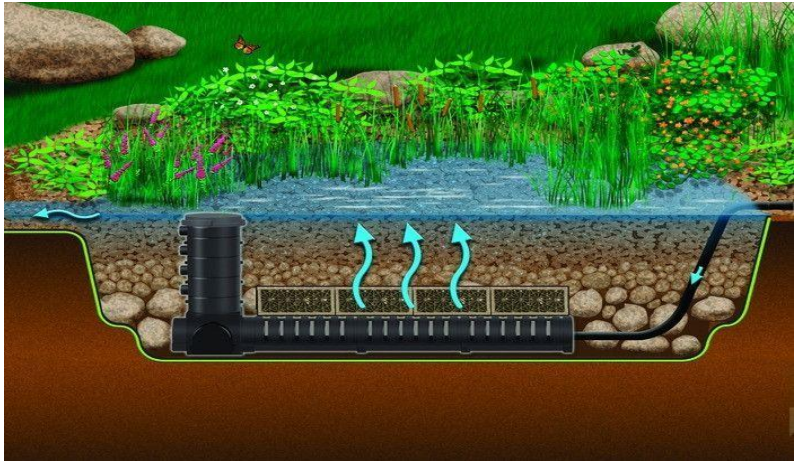


Gambar 2.22 Infographic On Tuas Nexus In Singapore
(Sumber

:<https://www.nea.gov.sg/media/news/news/index/tuas-nexus-singapore-s-first-integrated-water-and-solid-waste-treatment-facility-begins-construction>)

➤ Pengelolaan Limbah Perairan di Belanda

Belanda dikenal sebagai negara yang memiliki sebagian besar wilayahnya berada di bawah permukaan laut, sehingga pengelolaan air sangat penting. Salah satu aspek pengelolaan limbah perairan yang menarik adalah penggunaan lahan basah buatan (constructed wetlands) dalam pengolahan air limbah. Menurut penelitian oleh van Eijs et al. (2018), lahan basah buatan di Belanda telah terbukti efektif dalam menghilangkan senyawa nitrogen dan fosfor dari air limbah, yang membantu menjaga kualitas air perairan dan mencegah masalah eutrofikasi.



Gambar 2.23 Integrasi Constructed Wetland Dengan Emergent Dan Floating Plant Untuk Mengolah Limbah Industri Tekstil

(Sumber : <https://unair.ac.id/integrasi-constructed-wetland-dengan-emergent-dan-floating-plant-untuk-mengolah-limbah-industri-tekstil/>)

- **Pengelolaan Limbah Perairan di Amerika Serikat**
Amerika Serikat memiliki sistem pengelolaan limbah perairan yang kompleks dan terstruktur dengan baik. Salah satu aspek penting adalah kebijakan perlindungan air bersih yang ketat, seperti Undang-Undang Air Bersih (Clean Water Act). Penelitian oleh McGinnis et al. (2020) menunjukkan bahwa kebijakan ini telah berhasil dalam mengurangi pencemaran air dan memulihkan ekosistem perairan yang tercemar. Kebijakan ini juga mencakup program pengawasan dan pengendalian pencemaran dari sumber industri.



Gambar 2.24 Pabrik Gwrs Di California Merupakan Pabrik Daur Ulang Air Limbah Terbesar Di Dunia. Pabrik Ini Mampu Menghasilkan 100 Juta Galon Air Minum Bersih Setiap Hari

(Sumber : <https://finance.detik.com/foto-bisnis/d-6190819/pabrik-daur-ulang-air-limbah-terbesar-di-dunia-ada-di-as-ini-fotonya/10>)

2.6.2 Implementasi Teknologi Pengelolaan Limbah di Indonesia

Indonesia adalah negara kepulauan dengan masalah pengelolaan limbah perairan yang kompleks dan bervariasi. Berikut adalah tinjauan singkat tentang implementasi teknologi pengelolaan limbah di Indonesia.

➤ Implementasi Teknologi Membran dalam Pengolahan Air Limbah

Di Indonesia, teknologi membran telah digunakan dalam pengolahan air limbah di berbagai sektor, termasuk industri dan pemukiman. Menurut Badan Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta (2021), beberapa pabrik pengolahan air limbah di Jakarta telah mengadopsi teknologi membran untuk memastikan kualitas air yang memenuhi standar. Selain itu, penggunaan membran dalam desalinasi air laut juga menjadi solusi penting untuk mengatasi masalah kekurangan air bersih di beberapa daerah. Teknologi ini memiliki tingkat pemurnian yang tinggi dan efisien dalam menghilangkan kontaminan dari air limbah.



Gambar 2.25 Contoh Aplikasi Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air

(Sumber : <https://invi.co.id/teknologi-membran-pengolahan-air/>)

➤ Program Rehabilitasi Sungai dan Danau)

Pemerintah Indonesia juga telah meluncurkan program rehabilitasi sungai dan danau yang bertujuan untuk menjaga kualitas air dan ekosistem perairan. Penelitian oleh Aditama et al. (2019) menyebutkan bahwa program-program ini mencakup pemulihan ekosistem riparian, peningkatan kualitas air, dan pengelolaan limbah perairan. Salah satu contoh sukses adalah program rehabilitasi Sungai Citarum yang berfokus pada pengurangan pencemaran dan pemulihan ekosistem sungai. Program-program ini melibatkan partisipasi aktif masyarakat dan pemangku kepentingan untuk mencapai tujuan pengelolaan limbah perairan yang berkelanjutan.

Studi kasus pengelolaan limbah perairan di berbagai negara memberikan wawasan tentang beragam tantangan dan solusi dalam pengelolaan limbah perairan. Setiap negara memiliki pendekatan yang berbeda tergantung pada kondisi geografis, ekonomi, dan sosialnya. Di Indonesia, implementasi teknologi pengelolaan limbah seperti teknologi membran telah menjadi bagian penting dalam menjaga kualitas air. Selain itu, program rehabilitasi sungai dan danau juga memiliki peran yang signifikan dalam menjaga ekosistem perairan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang berbagai pendekatan dan aplikasi teknologi di seluruh dunia, kita dapat belajar dari pengalaman negara-negara lain untuk meningkatkan pengelolaan limbah perairan di Indonesia.



Gambar 2.26 Foto Udara Sungai Citarum Yang Menjadi Perbatasan Antara Kabupaten Bandung Barat Dengan Kabupaten Cianjur Di Haurwangi, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat
(Sumber :<https://visual.republika.co.id/berita/r69ew9283/upaya-pemulihan-sungai-citarum>)

2.7 Kesimpulan dan Arah Masa Depan

Dalam bagian ini, kami akan merangkum temuan utama yang telah kita bahas dalam tulisan ini tentang pengelolaan limbah perairan. Kami juga akan memberikan rekomendasi untuk praktek pengelolaan limbah yang lebih baik dan mengidentifikasi peluang penelitian dan pengembangan yang dapat membawa kemajuan di masa depan. Kesimpulan ini didasarkan pada pemahaman mendalam tentang dampak limbah terhadap ekosistem perairan, teknologi pengelolaan limbah yang ada, serta studi kasus dan aplikasi di berbagai negara, termasuk Indonesia.

2.7.1 Rekomendasi untuk Praktek Pengelolaan Limbah

Pengelolaan limbah perairan adalah aspek penting dalam menjaga kualitas air dan ekosistem perairan. Berdasarkan informasi yang telah kita bahas sejauh ini, ada beberapa rekomendasi yang dapat membantu meningkatkan praktek pengelolaan limbah:

➤ **Peningkatan Penggunaan Teknologi Terkini**

Penggunaan teknologi terkini dalam pengelolaan limbah, seperti nanoteknologi, teknologi membran, dan bioremediasi, harus lebih diterapkan. Pemanfaatan teknologi ini dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan perairan. Dalam hal ini, pemerintah, industri, dan lembaga penelitian perlu bekerja sama untuk memfasilitasi transfer teknologi dan pelatihan yang diperlukan.

Sebagai contoh, seperti yang diungkapkan oleh Sharma et al. (2019), nanoteknologi telah menunjukkan potensi besar dalam menghilangkan kontaminan dari air limbah. Penggunaan nanopartikel dalam proses pengolahan air limbah dapat meningkatkan efisiensi pengendapan kontaminan berat dan penghilangan mikrokontaminan. Teknologi ini harus dipertimbangkan sebagai bagian dari strategi pengelolaan limbah yang lebih holistik.

➤ **Penguatan Kebijakan Perlindungan Lingkungan**

Pengelolaan limbah perairan juga sangat bergantung pada regulasi dan kebijakan lingkungan yang efektif. Pemerintah perlu memastikan bahwa undang-undang dan peraturan yang berlaku diterapkan secara ketat untuk menghindari pencemaran air dan merusak ekosistem perairan. Langkah-langkah ini termasuk pemantauan kualitas air yang teratur, pengendalian emisi industri, serta perlindungan zona riparian yang penting.

Dalam konteks Indonesia, perbaikan sistem pengawasan dan penegakan hukum dalam pengelolaan limbah perairan diperlukan untuk mengatasi masalah pencemaran air di berbagai wilayah. Ini sejalan dengan temuan penelitian oleh Aditama et al. (2019), yang menyebutkan pentingnya melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam upaya pelestarian sungai dan danau.

➤ **Pendidikan dan Kesadaran Lingkungan**

Pendidikan dan kesadaran lingkungan merupakan faktor kunci dalam menjaga kualitas air dan mengurangi limbah perairan. Program pendidikan yang mengajarkan masyarakat tentang pentingnya pengelolaan limbah yang bertanggung jawab, penggunaan air secara bijak, dan praktik-praktik berkelanjutan dapat membantu mengurangi kontribusi pencemaran air.

Pemerintah dan lembaga pendidikan dapat berperan dalam meningkatkan kesadaran lingkungan melalui kampanye informasi dan program pendidikan lingkungan yang terintegrasi dalam kurikulum sekolah. Kesadaran ini akan membantu menciptakan masyarakat yang lebih peduli terhadap lingkungan perairan dan memotivasi mereka untuk berpartisipasi dalam upaya pelestarian.

2.7.2 Peluang Penelitian dan Pengembangan di Masa Depan

Pengelolaan limbah perairan merupakan bidang yang terus berkembang, dan masih ada banyak peluang penelitian dan pengembangan yang dapat dikejar di masa depan. Berikut beberapa peluang yang menarik:

➤ **Studi Lanjutan tentang Dampak Limbah pada Kesehatan Manusia**

Selain dampak pada ekosistem perairan, ada perluasan penelitian yang dapat dilakukan dalam kaitannya dengan dampak limbah perairan pada kesehatan manusia. Kajian epidemiologi yang lebih mendalam dapat dilakukan untuk memahami potensi risiko kesehatan yang timbul akibat paparan air limbah yang tercemar. Ini akan membantu pemerintah dan lembaga kesehatan dalam mengembangkan kebijakan yang lebih efektif dalam melindungi masyarakat dari risiko kesehatan yang timbul akibat limbah perairan.

➤ **Peningkatan Efisiensi Teknologi Pengelolaan Limbah**

Penelitian dan pengembangan terus berlanjut dalam meningkatkan efisiensi teknologi pengelolaan limbah. Pengembangan nanomaterial baru, pengoptimalan proses membran, dan identifikasi mikroorganisme baru dengan potensi bioremediasi yang lebih baik adalah beberapa bidang yang dapat dieksplorasi lebih lanjut. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian oleh Li et al. (2019), yang menyebutkan bahwa pengembangan material membran inovatif dapat menghasilkan teknologi yang lebih efisien dalam pemurnian air.

➤ Pengembangan Sumber Energi Terbarukan dalam Pengolahan Limbah

Pengelolaan limbah perairan menciptakan potensi untuk menghasilkan sumber energi terbarukan. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengembangkan teknologi yang memungkinkan pengambilan energi dari proses pengolahan limbah, seperti pembangkit listrik tenaga biomassa di Tuas Nexus di Singapura. Pengembangan teknologi ini akan membantu dalam memenuhi kebutuhan energi dan mengurangi dampak lingkungan dari limbah perairan.

➤ Pengembangan Model Prediktif untuk Pengelolaan Limbah

Pengembangan model prediktif berbasis data dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) dapat membantu dalam pemantauan dan pengelolaan limbah perairan yang lebih efisien. Model ini dapat digunakan untuk memprediksi tingkat pencemaran, perubahan kualitas air, dan dampak perubahan iklim terhadap ekosistem perairan. Ini akan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat waktu dan respons yang lebih cepat terhadap masalah pengelolaan limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, T. Y., Hidayat, M., & Tisnanta, J. (2019). River rehabilitation programs in Indonesia: A case study of the Citarum River. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 332(1), 012017.
- Agriculture and Environment. (2022). The Impact of Agricultural Runoff on Aquatic Ecosystems. Agriculture and Environmental Studies.
- ASTM International. (2020). Uji biodegradasi memberikan informasi penting tentang sejauh mana suatu bahan dapat terurai secara alami dalam lingkungan. Diakses dari <https://www.astm.org/standards/environmental-standards.html>
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta. (2021). Pemilihan Teknologi Membran dalam Pengolahan Air Limbah. Jakarta: Badan Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta.
- Brown, A. (2021). E. coli dapat dengan mudah menyebar melalui kontaminasi air dan makanan jika limbah tidak dikelola dengan baik. Dalam "Mikroorganisme dalam Limbah: Dampak dan Pengelolaan". Penerbit Ilmiah.
- Brown, D. R., Barton, G. W., Galloway, T. S., & Reynolds, D. M. (2021). Emerging bioremediation technologies for the treatment of contaminated marine environments. Current Opinion in Environmental Science & Health, 20, 100269.
- Effendi, H., Utomo, B., A., Darmawangsa, G., M., Karo-karo, R., E. 2016. Fitoremediasi limbah budidaya ikan lele (*clarias* sp.) Dengan Kangkung (*ipomoea aquatica*) dan pakcoy (*brassica rapa chinensis*) Dalam sistem resirkulasi. Ecolab Vol. 9 No. 2 Juli 2015 : 47 – 104.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Industrial Waste Management and Environmental Impact. Washington, DC: EPA.

- Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Pengelolaan limbah yang berfokus pada biodegradabilitas dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Diakses dari <https://www.epa.gov/environmental-research>
- Environmental Science & Technology. (2022). Benefits of Recycling: An Environmental and Economic Analysis. American Chemical Society.
- Environmental Science & Technology. (2022). Emerging Technologies in Waste Management. American Chemical Society.
- Greenfield, S. (2022). Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami lebih baik faktor-faktor yang memengaruhi biodegradabilitas limbah dan cara meningkatkannya untuk mengurangi dampak lingkungan. "Environmental Science and Technology", 45(5), 305-320.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. IPCC.
- Jackson, R. et al. (2018). Protozoa pathogen seperti Giardia dapat mencemari sumber air minum jika tidak dikelola dengan baik. "Environmental Microbiology Review", 12(3), 215-230.
- Johnson, C. D., et al. (2022). Studi tentang pentingnya pemantauan dan pengendalian mikroorganisme patogen dalam limbah untuk mencegah penyebaran penyakit. "Journal of Environmental Health", 25(4), 123-135.
- Jones, A., et al. (2022). Challenges in Industrial Waste Treatment. Journal of Industrial Pollution Control.
- Journal of Cleaner Production. (2022). Investing in Eco-Friendly Waste Management: Costs and Benefits. Elsevier.
- Journal of Cleaner Production. (2022). Sustainable Agricultural Practices and Waste Management. Elsevier.
- Journal of Environmental Management. (2022). Impact of Traditional Waste Disposal on Soil and Water Quality. Elsevier.

- Kaushik, A., Jana, K. K., Das, S., & Bhattacharyya, A. (2019). Phytoremediation potential of indigenous aquatic macrophyte species of east Kolkata wetlands, India: A field study. *Ecological Engineering*, 131, 127-138.
- Lee, T. M., Ng, Y. J., & Ong, S. L. (2021). Nexus thinking in sustainable wastewater management: A case study of the Tuas Nexus in Singapore. *Water*, 13(13), 1856.
- Lee, T. M., Ng, Y. J., & Ong, S. L. (2021). Nexus thinking in sustainable wastewater management: A case study of the Tuas Nexus in Singapore. *Water*, 13(13), 1856.
- Li, W., Wang, S., & Liu, H. (2019). Nanofiber membranes for water purification: From materials to membrane performance. *Environmental Science & Technology Letters*, 6(6), 328-337.
- Li, X., Wu, Z., Li, L., Zhang, Z., Xu, Z., & Cui, F. (2020). Advanced membrane technologies for water treatment: Solutions to drinking water and industrial wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 404, 126431.
- Li, X., Wu, Z., Li, L., Zhang, Z., Xu, Z., & Cui, F. (2020). Advanced membrane technologies for water treatment: Solutions to drinking water and industrial wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 404, 126431.
- Limbah: Pengertian Para Ahli, Jenis-jenis & Contohnya. Selasar. Diperoleh dari selasar.com.
- McGinnis, S. M., Loftis, K. A., Clark, M. W., & Senn, D. B. (2020). Water quality trends and protection efforts in the United States: A review and case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(9), 580.
- Pengertian Air Limbah. Waterpedia. Diperoleh dari waterpedia.co.id.
- Pengertian dan Definisi Limbah Menurut Para Ahli. CARApedia. Diperoleh dari carapedia.com.
- Peraturan Presiden Nomor 83 Tahun 2018 tentang Penanganan Sampah Laut. Diperoleh dari kkp.go.id.
- Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2022). Precision Agriculture for Waste Reduction and Environmental Protection. Elsevier.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2022). Transforming Waste into Energy: Innovations and Challenges. Elsevier.
- Sharma, S., Kumar, A., & Ameen, S. (2019). Nanotechnology: A promising approach for advanced water and wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 669, 1298-1306.
- Sharma, S., Kumar, A., & Ameen, S. (2019). Nanotechnology: A promising approach for advanced water and wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 669, 1298-1306.
- Smith, B., et al. (2022). Effects of Pesticides in Farming on Aquatic Life. *Ecotoxicology Journal*.
- Smith, J. (2019). Pengelolaan limbah yang buruk dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berdampak negatif pada kesehatan manusia. Dalam "Biologi Limbah Modern". Penerbit Ilmiah.
- Smithson, B. (2020). Virus-virus ini dapat bertahan dalam limbah dan dapat dengan mudah menyebar melalui kontak manusia atau pencemaran lingkungan. "*Journal of Virology and Environmental Health*", 18(2), 75-88.
- Sugiarto. (2008). Pengertian Limbah. Diperoleh dari dspace.uui.ac.id.
- Urban Water Journal. (2022). Urban Domestic Waste and Water Quality. *Urban Water Studies*.
- van Eijs, S., Jawitz, J. W., Priatna, A., & Rozema, J. G. (2018). Constructed wetlands in the Netherlands: Performance of nitrogen and phosphorus removal. *Ecological Engineering*, 117, 112-123.
- Waste Management. (2022). Innovative Technologies in Waste Management: Efficiency and Environmental Impact. Elsevier.
- World Bank. (2022). Urban Waste Management: Future Challenges and Opportunities. World Bank Group.

World Health Organization (WHO). (2021). Paparan terhadap mikroorganisme patogen dalam limbah dapat menyebabkan penyakit serius pada manusia, seperti keracunan makanan dan infeksi usus. Diakses dari <https://www.who.int/environmentalhealth/microbiological/en/>

BAB 3

PENDUGAAN AWAL PENCEMARAN SUATU PERAIRAN

Oleh Widya Rahayu

3.1 Kualitas Air

Merupakan karakteristik air yang memenuhi standar untuk tujuan tertentu. Syarat yang ditetapkan sebagai standar baku kadar air digunakan sesuai peruntukannya, sebagai contoh kebutuhan air untuk irigasi dan air untuk diminum memiliki standar kadar air yang berbeda. Status mutu air bisa digunakan untuk mengetahui kualitas air. Upaya membandingkan kondisi kualitas air dengan mutu air yang ditetapkan, maka seseorang bisa menentukan apakah sumber air tersebut terkontaminasi atau dalam kondisi sangat baik (Asrini *et al.*, 2016).

Status kualitas air sungai menunjukkan kuantitas kontaminasi terhadap sumber air pada periode tertentu. Sebuah sungai dianggap tercemar bila tidak dapat digunakan sebagaimana mestinya atau melebihi ambang batas yang ditetapkan PP No 82 Th 2001 mengatur tentang kategorisasi dan baku kadar air di Indonesia. Kualitas air dikelompokkan menjadi empat kelas berdasarkan peraturan pemerintah, yaitu:

1. Kelas I : bisa sebagai air minum serta untuk keperluan lainnya.
2. Kelas II: bisa dimanfaatkan untuk sarana dan prasarana rekreasi air, budidaya, peternakan, dan irigasi tanaman.
3. Kelas III: cocok untuk budidaya ikan air tawar, peternakan dan pengairan tumbuh-tumbuhan.
4. Kelas IV: bisa digunakan untuk mengairi tanaman.

Pencemaran air merupakan bagian unsur yang dapat berdampak pada kualitas air. Pencemaran air diartikan sebagai masuknya zat ke dalam suatu badan air atau perubahan komposisi air yang disebabkan adanya aktivitas manusia yang membuat kualitas air menurun sehingga tidak lagi sesuai dengan peruntukannya (MENKLH, 1988).

Menurut Suhabuddin (2015), Ada tiga penyebab utama pencemaran masuk ke badan air:

- 1) Tingginya penggunaan air sejalan dengan peningkatan perekonomian dan daya hidup masyarakat
- 2) Populasi industri diikuti dengan pembuangan limbah yang tidak disertai dengan IPAL
- 3) Kurangnya sosial budaya dan sosial ekonomi untuk meningkatkan kualitas air dan lingkungan hidup, seperti investasi untuk sanitasi dan kebutuhan lainnya.

Agar air tetap terjaga kualitasnya, diperlukan konservasi air yang berkelanjutan dan pencegahan pencemaran. Oleh karena itu, menetapkan standar kualitas air sangat penting untuk mengurangi polusi air. Pencemaran air berdampak buruk terhadap ekologi, masyarakat, budaya, dan ekonomi. Air yang terkontaminasi akan menghabiskan banyak uang. Menurut Syahril (2016), sumber pencemaran ada 2 kategori, yaitu *non point source* dan *point source*. Pencemaran *non point source* didefinisikan sebagai pencemaran yang sumbernya tidak jelas, seperti zat yang masuk kesungai melalui limpasan permukaan dan hujan. Sebaliknya *point source* merupakan sumber titik pencemarannya dapat dikenali secara pasti, seperti limbah-limbah industri.

3.2 Indikator Pencemaran Air

Perubahan pada kualitas air biasanya terlihat pada perairan yang tercemar. Perubahan tersebut akan berdampak pada kegiatan pertanian, industri, penelitian dan kegiatan lainnya. Perubahan tersebut dapat berupa perubahan fisik, kimia atau biologis. Keanekaragaman spesies perairan termasuk bentos, perifiton dan plankton dapat berkurang akibat pencemaran air. Akibatnya, sistem biologis perairan menjadi tidak seimbang. Penting untuk memastikan kondisi kualitas air saat ini. Indikator bahwa air telah tercemar adalah adanya perubahan. Menurut Wardhana (2001), ada beberapa indikator atau tanda yang menunjukkan adanya pencemaran air, adalah sebagai berikut :

- 1) perubahan pada ion hidrogen.
- 2) perubahan pada rasa bau, suhu dan warna.
- 3) terdapat sedimentasi dan bahan terlarut di dalam air
- 4) adanya bakteri dan senyawa radioaktif di dalam air.

Kriteria kualitas perairan pada setiap kelas ditentukan oleh faktor fisik, kimia dan biologi. Sederhananya, seseorang dapat mengetahui kualitas air dengan mencium dan melihat kemurniannya. Namun demikian, banyak polutan yang tidak dapat dibedakan hanya berdasarkan warna dan aromanya, akan tetapi sejumlah tes harus dilakukan. Saat ini ada tiga metode berbeda untuk memperkirakan kualitas air yaitu fisika, kimia dan biologi. Suhu, kekeruhan, kecerahan, kekeruhan, bau dan warna adalah parameter fisik utama. Sedangkan pH, salinitas, COD, nitrat dan amonia merupakan parameter kimia penting. Bakteri coliform total dan *coliform fecal* merupakan keadaan biologis yang penting.

3.3 Parameter Kualitas Air

Kualitas air dapat diketahui dengan melakukan berbagai tahap pengujian. Kualitas air sungai yang merupakan salah satu komponen dan indikator lingkungan daerah aliran sungai dapat diketahui apakah suatu daerah aliran sungai (DAS) baik atau tidak. Pertumbuhan penduduk yang disertai dengan peningkatan aktivitas masyarakat dan industri telah menyebabkan terjadinya perubahan fungsi lingkungan hidup. Laju penurunan kualitas air akan berdampak pada keberlanjutan sumber daya air yang dapat dimanfaatkan (Setyowati, 2016).

Menurut KEPMENLH mengenai Baku Mutu Air Laut (2004), karakteristik mutu air laut diklasifikasikan menjadi empat kategori:

a. Parameter Fisik

Merupakan indikator terkait fisik digunakan untuk menilai kualitas air. Parameter fisik utama digunakan untuk menentukan mutu air laut melalui partikel, kecerahan, bau, tersuspensi, sampah, suhu dan lapisan minyak. Pengukuran parameter fisika meliputi pengukuran benda padat, kekeruhan, suhu dan bau. Suhu, *Total Suspended Solids* dan *Total Dissolved Solids* merupakan beberapa parameter fisika yang diukur dalam PP No. 82 Thn 2001.

b. Parameter Kimia

Faktor kimia sangat penting dalam menentukan apakah air cocok untuk budidaya perikanan atau tidak. Parameter kimia umumnya digunakan untuk menilai kualitas air laut meliputi pH, salinitas, total amonia, sulfida, total senyawa fenolik, total hidrokarbon, deterjen, minyak dan lemak dan lain sebagainya (KEPMENLH, 2004). Pengukuran yang umum digunakan pada parameter kimia menurut Effendi (2003) antara lain oksigen terlarut (DO), pH, amonia, nitrat, nitrit, fosfor, kebutuhan oksigen biokimia (BOD), kebutuhan oksigen kimia (COD) dan lain-lain. Parameter kimia dibagi menjadi dua kategori yakni kimia anorganik dan kimia organik. Senyawa anorganik

berupa zat reaktif, zat berbahaya dan beracun, logam berat, serta derajat keasaman (pH). Untuk bahan kimia organik berupa herbisida dan insektisida senyawa organik yang mudah menguap, serta molekul pengikat oksigen.

c. Parameter Logam Berat

Merkuri (Hg), kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan seng (Zn) merupakan jenis logam berat yang sering digunakan untuk menilai kualitas air laut (Menteri Lingkungan Hidup, 2004).

d. Parameter Biologi

Kepadatan biota dalam air dihitung dengan menggunakan parameter biologi. Biota ini antara lain plankton, benthos, perifiton, bakteri dan biota air lainnya. Total coliform merupakan parameter biologis yang sering digunakan (Menteri Lingkungan Hidup, 2004). Salah satu faktor kualitas air minum merupakan parameter biologis yang berhubungan dengan keberadaan populasi mikroorganisme akuatik di dalam air yang mempengaruhi kualitas air. Kuantitas koloni bakteri koliform tinja merupakan indikasi kualitas air yang sering digunakan. Mikroorganisme yang dikenal sebagai bakteri koliform dapat ditemukan pada kotoran manusia dan hewan (Wibowo, 2013).

3.4 Penentuan Status Kadar Air

Status kadar air berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Status Kadar Air. Status kadar air adalah dimana kondisi air menunjukkan apakah suatu sumber air dalam kondisi baik atau buruk pada kondisi tertentu jika dibandingkan dengan baku kadar air yang ditentukan.

Metode STORET atau Metode Indeks Pencemaran dapat digunakan untuk mengetahui status kadar air.

3.4.1 STORET

Merupakan metode populer untuk menilai status kadar air di laboratorium air. Pendekatan STORET dapat mengidentifikasi karakteristik yang memenuhi bahkan melebihi mutu air. Pada umumnya, pendekatan STORET membandingkan kedua data pada kualitas air baku kadar air yang sesuai .

a. Klasifikasi Kadar Air

Sistem nilai “US-EPA (*Environmental Protection Agency*)” digunakan untuk menilai status kadar air dengan mengelompokkan kadar air menjadi empat kelas, yaitu:

Tabel 3.1 Klasifikasi Mutu Air

No.	Kelas	Kondisi	Skor	Keterangan
1	Kelas A	Baik Sekali	0	Memenuhi baku mutu
2	Kelas B	Baik	-1 s/d -10	Cemar ringan
3	Kelas C	Sedang	-11 s/d -30	Cemar sedang
4	Kelas D	Buruk	≥ -31	Cemar berat

b. Prosedur Penggunaan

Langkah-langkah menggunakan metode STORET:

1. Mengumpulkan hasil pengukuran kualitas air.
2. Bandingkan hasil setiap pengukuran parameter air dengan standar mutu air
3. Nilai 0 diberikan apabila hasil pengukuran memenuhi nilai baku kadar air (baku kadar > hasil pengukuran).
4. apabila hasil pengukuran tidak memenuhi nilai baku kadar air (hasil pengukuran > persyaratan kadar air), nilai yang diberikan adalah:

Tabel 3.2 Penentuan Sistem Nilai untuk Menentukan Status Mutu Air

Jumlah Contoh ¹⁾	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
<10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
≥10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Sumber: Canter (1977)

Catatan : ¹⁾ Banyaknya parameter yang digunakan untuk menentukan keadaan kualitas air

5. Skor banyaknya parameter ditentukan dan dihitung status mutunya.

c. Contoh Perhitungan

Tabel 3.2 adalah contoh penggunaan metode STORET untuk penilaian kualitas air yang dikerjakan oleh Unpad, Bandung. Pengambilan data dilakukan di Sungai Ciliwung. Data digunakan hanya stasiun 1 dalam contoh perhitungan ini.

Berikut cara penilaian setiap parameter (misalnya, Hg):

1. Karena Hg adalah parameter kimia, maka skor parameter kimia yang harus digunakan.
2. Konsentrasi Hg sebesar 0,002 mg/l untuk air golongan C.
3. Konsentrasi Hg tertinggi yang diamati sebesar 0,0296 mg/l, yang menunjukkan bahwa konsentrasi Hg melampaui baku kadar air. Jadi skornya -2.
4. Hasil pengukuran Konsentrasi Hg terendah sebesar 0,0006 mg/l, menunjukkan bahwa konsentrasi Hg masih dalam baku kadar. Skor 0.
5. Karena rata-rata kadar Hg yang diuji sebesar 0,0082 mg/l, maka melebihi baku kadar. Skornya -6.

6. Gabungkan skor nilai tertinggi, terendah, dan rata-rata hasilnya -8.
7. Ulangi prosedur ini untuk setiap parameter, jika parameter tertentu baku kadarnya tidak ada, tidak perlu dihitung.
8. Lalu skor di jumlahkan untuk menentukan kualitas perairan. Dalam kasus ini, nilai keseluruhannya sebesar -58 termasuk dalam kelas D yang menunjukkan bahwa di Sungai Ciliwung stasiun 1 memiliki kondisi buruk untuk peruntukan air golongan C.

Tabel 3.3 Status MutuKualitas Air Menurut Sistem Nilai STORET di Stasiun 1 Sungai Ciliwung bagi Peruntukan Golongan C (PP/ 1990)

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengukuran			Skor
				Maksimum	Minimum	Rata-rata	
	FISIKA						
1	TDS	mg/l		289	179,4	224,2	
2	Suhu air	C	Normal ± 3	24,15	20,5	22,06	0
3	DHL	mhos/c		82,6	72	76,3	
4	Kecerahan	m		0,46	0,35	0,41	
	KIMIA						
	a. Anorganik						
1	Hg	mg/l	0,002	0,0296	0,0006	0,0082	-8
2	As	mg/l	0,5	0,0014	Tt	0,0004	0
3	Ba	mg/l	1,5	17,401	11,239	15,3665	
4	F	mg/l	0,01	0,51	0,28	0,4138	0
5	Cd	mg/l	Nihil	Tt	Tt	Tt	0
6	Cr (VI)	mg/l		0,0036	Tt	0,0009	-8
7	Mn	mg/l		0,033	Tt	0,083	
8	Na	mg/l		15,421	5,1672	11,0246	
9	NO ₃ -N	mg/l		12,28	0,04	3,4675	
10	NO ₂ -N	mg/l	0,06	1	0,0075	0,3996	-8
11	NH ₃ -N	mg/l	0,02	1,53	Tt	0,576	-8
12	pH		6-8,5	7,83	6,72	7,41	0
13	Se	mg/l	0,05	Tt	Tt	Tt	0
14	Zn	mg/l	0,02	0,0457	Tt	0,0114	-2
15	CN	mg/l	0,01	Tt	Tt	Tt	0
16	SO ₄	mg/l		40	2,2	14,175	
17	H ₂ S	mg/l	0,002	1,27	0,0014	0,3354	-8
18	Cu	mg/l	0,02	0,008	Tt	0,0043	0
19	Pb	mg/l	0,03	0,2456		0,1451	-8
20	RSC	mg/l		3,42		2,985	
21	BOD ₅	mg/l		42,51	22,97	32,92	
22	COD	mg/l		62,2	32,92	48,08	
23	Minyak dan lemak	mg/l	0,5	Tt	Tt	Tt	0
24	PO ₄	mg/l		2,28	0,02	0,7167	
25	Phenol	mg/l	0,001	Tt	Tt	Tt	0
26	Cl ₂	mg/l	0,003	1,3315	0,0003	0,3383	-8
27	B	mg/l		2,103	0,81	1,4575	
28	COD	mg/l		0,1242	0,0145	0,0653	
29	Ni	mg/l		Tt	Tt	Tt	
30	HCO ₃	mg/l		-	-	-	
31	CO ₂ -bebas	mg/l		11,88	7,92	9,24	
32	Salinitas	0/00		0,02	0	0,015	
33	DO	mg/l	>3	9,1	8	8,433	0
	b. Organik						
1	Aldrin	mg/l		Tt	Tt	Tt	
2	Dieldrin	mg/l		Tt	Tt	Tt	
3	Chlordane	mg/l		Tt	Tt	Tt	

4	DDT	mg/l	0,002	Tt	Tt	Tt	0
5	Detergent	mg/l	0,2	Tt	Tt	Tt	0
6	Lindane	mg/l		Tt	Tt	Tt	
7	PCB	mg/l		Tt	Tt	Tt	
8	Endrine	mg/l	0,004	Tt	Tt	Tt	0
9	BHC		0,21	Tt	Tt	Tt	0
	MIKROBIOLOGI						
1	Coliform tinja	Jml/100 ml		15x10 ⁶	2,5x10 ⁶	7,125x10 ⁶	
2	Total coliform	Jml/100 ml		15x10 ⁶	2,5x10 ⁶	8,735x10 ⁶	
	Jumlah skor						-58

3.4.2 Indeks Pencemaran

Metode ini merupakan pendekatan kedua yang direkomendasikan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003. Jika terjadi penurunan kualitas air karena adanya senyawa pencemar, dengan menggunakan metode Indeks Pencemaran dapat menjadi pertimbangan dalam mengambil tindakan untuk meningkatkan kualitas suatu perairan. Metode ini dapat secara langsung mengkorelasikan status pencemaran antara apakah suatu sungai bisa atau tidaknya dimanfaatkan sesuai peruntukannya (Purnamasari, 2017). Indeks Pencemar dihitung dengan tahapan sebagai berikut:

Tabel 3.4 Penilaian Status Mutu Air

Indeks	Penilaian
$0 \leq Plj \leq 1$	Memenuhi baku mutu
$1 < Plj \leq 5$	Cemar ringan
$5 < Plj \leq 10$	Cemar sedang
$Plj \leq 10$	Cemar berat

Sumber: (KepMenLH No. 155 Tahun 2003)

a. Prosedur Penggunaan

Makna simbol

- L_{ij} = konsentrasi parameter dengan kualitas air yang ditentukan dalam peruntukan Baku Kadar Air (j)
- C_i = hasil pengukuran pada lokasi pengambilan air sampel
- PI_j = Peruntukan Terhadap Indeks bagi Pencemaran (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} .

angka PI_j dapat dihitung melalui:

1. Memilih parameter yang angkanya rendah maka kualitas air tersebut akan menjadi membaik.
2. Pilihan parameter standar mutu tanpa rentang.
3. Pada setiap lokasi untuk tiap parameter dihitung

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_{im} - C_i \text{ (hasil pengukuran)}}{C_{im} - L_{ij}}$$

4. Apabila nilai konsentrasi parameter turun maka tingkat pencemaran tinggi, maka DO. Ditentukan nilai teoretik atau nilai maksimum C_{im} (misal untuk DO maka C_{im} merupakan nilai DO jenuh). Dalam hal ini C_{im}/L_{ij} hasil pengukuran digantikan oleh nilai C_{im}/L_{ij} hasil perhitungan, yaitu: Jika nilai baku L_{ij} memiliki rentang nilai C_i/L_{ij}

- Untuk $C_i \leq L_{ij}$ rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{[C_i - (L_{ij}) \text{ rata-rata}]}{\{(L_{ij})_{\text{minimum}} - (L_{ij}) \text{ rata-rata}\}}$$

- Untuk $C_i > L_{ij}$ rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{[C_i - (L_{ij}) \text{ rata-rata}]}{\{(L_{ij})_{\text{maksimum}} - (L_{ij}) \text{ rata-rata}\}}$$

- Penggunaan nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran jika nilai ini $\leq 1,0$.
 - jika nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran $\geq 1,0$, maka gunakan rumus $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$.
 $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1,0 + P \cdot \log(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}}$
 - P = konstanta dan nilainya ditentukan dan diubah secara bebas berdasarkan pengamatan lingkungan dan/atau persyaratan yang diperlukan untuk suatu peruntukan tertentu (biasanya bernilai 5).
5. Keraguan muncul ketika ada dua nilai (C_i/L_{ij}) mendekati nilai acuan 1,0, contoh $C_1/L_{1j} = 0,9$ dan $C_2/L_{2j} = 1,1$ atau selisih cukup signifikan, contoh $C_3/L_{3j} = 5,0$ dan $C_4/L_{4j} = 10,0$. Dalam hal ini, sulit ditentukan dalam menentukan tingkat kerusakan pada badan air. Untuk menghindari hal ini, lakukan cara berikut:
 6. Selanjutnya menentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari, C_i/L_{ij} $((C_i/L_{ij})_R$. dan $(C_i/L_{ij})_M$).
 7. Lanjut menentukan suatu nilai PI

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i - L_{ij})_M^2 + (C_i - L_{ij})_R^2}{2}}$$

b. Contoh Perhitungan

Contoh pada kolom 2 berisi data pengukuran sampel sedangkan kolom 3 berisi baku mutu air (dapat dilihat pada **Tabel 3.5**). Hanya 6 parameter digunakan dalam contoh perhitungan ini. Penjelasan dibawah membantu pengguna metode Indeks Pencemaran cara untuk menghitung nilai PI_j .

Tabel 3.5 Contoh Penentuan IP untuk Baku Mutu X

Parameter	C_i	L_{ix}
TSS	100	50
DO	2	6
pH	8	6-9
Fecal coliform	2000	1000
BOD	8	2
Se	0,07	0,01

1. Perhitungan TSS:

$$C_1/L_{1x} = 100/50 = 2$$

$$C_1/L_{1x} > 1$$

Maka gunakan persamaan $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$

$$(C_1/L_{1x})_{\text{baru}} = 1,0 + 5 \log 2 = 2,5$$

Catatan:

- C_i/L_{ij} baru dihitung karena nilai C_i/L_{ij} yang berjauhan
- untuk $C_i/L_{ij} \leq 1$ digunakan C_i/L_{ij} hasil pengukuran
- tetapi bila $C_i/L_{ij} > 1$ perlu dicari C_i/L_{ij} baru.

2. Perhitungan DO (*Dissolved Oxygen*) :merupakan parameter yang jika kadar DO rendah maka kualitas perairan akan menurun. Maka sebelum

$DO_{\text{maks}} = 7$ pada temperatur 25 °C

$$C_{2\text{baru}} = \frac{C_{\text{max}} - C_{\text{hasil pengukuran}}}{C_{\text{max}} - L_{\text{baku mutu}}}$$

$$C_2 \text{ baru} = \frac{7-2}{7-6} = 5$$

$$C_2/L_{2x} = (5/6) = 0,83$$

menghitung C_2/L_{2x} harus dicari terlebih dahulu harga $C_{2\text{baru}}$.

3. Perhitungan pH (Derajat Keasaman) :Karena kadar pH mempunyai rentang, maka penentuan C_3/L_{3x} :

$$L_{3x} \text{ rata-rata} = \frac{6+9}{2} = 7,5 \quad \longrightarrow \quad C_3 > L_{3x} \text{ rata-rata}$$

$$C_3/L_{3x} = \frac{8-7,5}{9-8} = 0,5$$

4. Menentukan $(C_i/L_{ix})_R$ sebesar 2,5 (angka maksimum dari kolom 6 pada Tabel 3.6)
5. Menentukan $(C_i/L_{ix})_M$ sebesar 5,2 (rata-rata kolom 6 pada Tabel 3.6)
6. Dengan menggunakan persamaan langkah no 6, didapatkan Pl_x sebesar 4,1

Tabel 3.6 Contoh Pentuan IPx

Parameter	C_i	L_{ix}	C_i/L_{ix}	$\log C_i/L_{ix}$	C_i/L_{ix} baru
TSS	100	50	2	0,3	2,5
DO	2	6	0,83	-	0,28
pH	8	6-9	0,5	-	0,5
Fecal coliform	2000	1000	2	0,3	2,5
BOD	8	2	4	0,6	4,0
Se	0,07	0,01	7	0,85	5,2

Apabila ingin menggunakan data air sungai sama lalu disamakan dengan baku kadar air yang berbeda, contohnya “Y” (colom III , Tabel 3.7), menjadi:

Tabel 3.7 Contoh Penentuan IP untuk Baku Mutu Y

Parameter	C_i	L_{iy}	C_i/L_{iy}	C_i/L_{iy} baru
TSS	100	400	0,25	0,25
DO	2	1	2	0,83
pH	8	6 - 9	0,5	0,5
BOD	8	10	0,8	0,8
Se	0,07	0,08	0,88	0,88

Dari tabel 3.7 maka dapat dihitung:

➤ $(C_i/L_{iy})_R = 0,26$

➤ $(C_i/L_{iy})_M = 0,26$

➤ $PI_Y = 0,76$

Jika kita membandingkan tabel 3.6 dengan tabel 3.7, maka air sungai diukur memenuhi baku kada “Y” tetapi belum memenuhi baku kadar “X” . Jadi, jika PI kurang dari 1,0 itu artinya sampel air itu telah memenuhi syarat kadar, namun jika lebih besar dari 1,0 itu artinya sampelnya belum memenuhi syarat kadar.

DAFTAR PUSTAKA

- Canter, L. W. 1977. *Enviromental Impact Assessment*. Oklahoma : The McGrawHill Companies, New York.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Karisius. Yogyakarta. 258 hal.
- Erma Suryani Sahabuddin, 2015. *FILOSOFI 'Cemaran' Air*. Kupang : PTK Press
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. 1998. Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No : Kep-02/MENKLH/1998 Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta. Hlm. 1-31.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan. Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No : 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Kadar Air. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Jakarta. Hlm 1-15
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No : Ke-51/MNKLH/1/2004 Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut. Menteri Lingkungan Hidup. Jakarta. Hlm 6-7.
- Peraturan Pemerintah RI. 1990. Peraturan Pemerintah RI No 20 Th. 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah RI. 2001. Peraturan Pemerintah RI No 82 Thn 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air ibu kota Jakarta.

- Rifardi. 2012. *Ekologi Sedimen Laut Modern*. Revisi. Pekanbaru: UR Press.
- Setyowati, R. D. N. 2016. Studi Literatur Pengaruh Penggunaan Lahan terhadap Kualitas Air. *Jurnal Ilmu-ilmu Teknik*. Vol 12 (1) : 7 – 15.
- Syahril. 2016. Sumber Polusi Titik Dan Tersebar (Point Adn Nonpoint Source Pollution) Terhadap Pencemaran Airbawah Permukaan. *Prosiding Seminar Nasional "Pelestarian Lingkungan & Mitigasi Bencana"*. Pekanbaru, 28 Mei 2016 : University of Riau.
- Wardhana, W. A. 2001. *Dampak Terhadap Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta.: Penerbit ANDI.
- Wibowo, N. 2013. Dampak Kualitas Perairan Hubungannya terhadap Risiko Kesehatan di Perairan Donan, Cilacap Jawa Tengah. *Tesis*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

BAB 4

TOKSISITAS PENCEMARAN PERAIRAN

Oleh Tri Ari Setyastuti

4. 1 Definisi Toksisitas Pencemaran

Toksisitas adalah tingkat merusaknya suatu zat jika dipaparkan terhadap organisme. Toksisitas dapat mengacu pada dampak terhadap seluruh organisme, seperti hewan, bakteri, atau tumbuhan, dan efek terhadap substruktur organisme, seperti sel (sitotoksisitas) atau organ tubuh seperti hati (hepatotoksisitas). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), toksisitas adalah kemampuan suatu zat atau bahan yang mengakibatkan ketidaknyamanan, kesakitan, atau kematian pada manusia atau binatang. Sedangkan toksisitas merupakan sifat relatif dari suatu zat kimia, dalam kemampuannya menimbulkan efek berbahaya atau penyimpangan mekanisme biologi pada suatu organisme-(Rahayu, M & Solihat, M.F, 2018).

Toksisitas pencemaran perairan adalah ukuran dari efek negatif yang ditimbulkan oleh zat-zat berbahaya yang masuk ke dalam sistem perairan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Toksisitas dapat mempengaruhi kesehatan dan kelangsungan hidup organisme air, seperti ikan, udang, kerang, tumbuhan, dan mikroorganisme. Toksisitas juga dapat berdampak pada kualitas air dan sumber daya air yang tersedia bagi manusia dan lingkungan.

Toksisitas pencemaran perairan juga merujuk pada sejauh mana suatu zat atau bahan kimia cenderung mencemari sumber air (seperti sungai, danau, laut atau sumur air) dapat berdampak negative terhadap organisme hidup yang ada di dalam ekosistem perairan dan juga manusia yang bergantung pada sumber air tersebut. Toksisitas pencemaran perairan dapat berasal dari berbagai sumber seperti limbah industri, pertanian, perkotaan dan aktivitas manusia lainnya. Toksisitas perairan secara umum mengacu pada efek bahan kimia pada organisme yang hidup di air dan ditentukan pada organisme yang mewakili tiga tingkat trofik:

- Alga atau tumbuhan, mewakili "produsen utama"
- Invertebrata (misalnya krustasea seperti *Daphnia* spp.), mewakili "konsumen primer/produsen sekunder"
- Vertebrata (biasanya ikan), mewakili "konsumen sekunder"

Penyebab kimia dan fisik penyakit pada organisme akuatik umumnya terkait dengan air dan makanan karena ini adalah jalur utama zat beracun ke hewan di lingkungan akuatik. Keracunan ikan bisa bersifat akut, subakut, atau kronis. Masalah keamanan pangan terkait bahan kimia dapat terjadi jika terjadi kontaminasi bahan kimia pada organisme akuatik yang dapat dimakan. Toksisitas suatu zat tertentu dapat bervariasi antar spesies ikan dan dapat berubah seiring suhu air, pH, dan komposisi ion (Wlasow et al., 2010 dalam Coppock dan Nation, 2018). Dalam sistem resirkulasi, bahan limbah dan produk degradasi mikroba dapat mencapai tingkat toksik. Keracunan bahan kimia dan pemicu stres lingkungan lainnya dapat meningkatkan kerentanan organisme akuatik terhadap penyakit menular (Morley, 2010 dalam Coppock dan Nation, 2018).

4.2 Jenis Toksisitas

Jenis-jenis toksisitas umumnya dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Toksisitas Kimia: Zat beracun kimiawi meliputi zat-zat inorganik seperti timah, merkuri, asbestos, asam hidrofluorat, dan gas klorin, serta zat-zat organik seperti metil alkohol, sebagian besar obat-obatan, dan racun dari makhluk hidup (www.wikipedia.com).
2. Toksisitas Biologi: Zat beracun biologis meliputi bakteri dan virus yang dapat menciptakan penyakit di dalam organisme hidup. Toksisitas biologis sulit diukur karena “batas dosis”-nya bisa berupa satu organisme tunggal (www.wikipedia.com).
3. Toksisitas Fisik: Zat beracun fisik adalah zat-zat yang karena sifat alamiahnya mampu mengganggu proses biologis. Misalnya, debu batu bara dan serat asbestos yang dapat mematikan jika dihirup (www.wikipedia.com).

Sedangkan jenis toksisitas yang dapat terjadi akibat pencemaran perairan adalah sebagai berikut :

1. Toksisitas akut
 - Toksisitas akut terjadi ketika organisme mengalami efek toksik segera setelah terpapar zat pencemar dalam konsentrasi tinggi.
 - Contohnya adalah ikan yang mati mendadak setelah terpapar tumpahan minyak yang beracun.
2. Toksisitas Kronis:
 - Toksisitas kronis terjadi ketika organisme terpapar zat pencemar dalam konsentrasi rendah selama periode waktu yang lama.
 - Ini dapat mengakibatkan efek jangka panjang seperti penurunan reproduksi, pertumbuhan yang terganggu, atau kerusakan organ.
3. Toksisitas Akumulatif:
 - Beberapa zat pencemar, seperti logam berat, dapat terakumulasi dalam jaringan organisme seiring waktu.

- Akumulasi zat ini dapat menyebabkan keracunan jangka panjang, terutama dalam rantai makanan.
4. Toksisitas Sublethal:
 - Toksisitas sublethal merujuk pada efek yang tidak langsung meracuni organisme secara fatal tetapi dapat mengganggu fungsi tubuh mereka.
 - Contohnya adalah perubahan perilaku, perubahan dalam sistem reproduksi, atau kerusakan organ yang tidak fatal.
 5. Toksisitas Terhadap Ekosistem:
 - Pencemaran perairan dapat mengganggu ekosistem secara keseluruhan dengan mengubah struktur populasi organisme atau merusak hubungan ekologi yang penting.
 - Ini dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati dan gangguan dalam siklus biogeokimia.
 6. Toksisitas Terhadap Manusia:
 - Manusia dapat terpengaruh oleh pencemaran perairan melalui konsumsi ikan dan air yang terkontaminasi.
 - Efeknya dapat mencakup gangguan kesehatan seperti keracunan akibat logam berat atau bahan kimia berbahaya lainnya.

4.3 Aspek Yang Mempengaruhi Toksisitas

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi toksisitas suatu zat, antara lain:

1. Dosis dan konsentrasi bahan toksik : sifat toksik dari suatu senyawa ditentukan oleh dosis, konsentrasi racun di tempat aksi. Dosis bahan toksik dan konsentrasi bahan pencemar merupakan factor penting yang mempengaruhi toksisitas.
2. Kondisi bioorganisme atau sistem bioorganisme : keadaan fungsi organ yang kontak (kulit, pernafasan) dan kondisi Kesehatan organisme mempengaruhi toksisitas.
3. Paparan terhadap organisme : paparan terhadap organisme dan bentuk efek yang ditimbulkan mempengaruhi toksisitas. Factor utama yang mempengaruhi toksisitas yang

berhubungan dengan situasi pemaparan terhadap bahan kimia tertentu adalah jalur masuk (*route of entry*) ke dalam tubuh, jangka waktu dan frekuensi pemaparan.

4. Interaksi Antar Bahan Pencemar: Interaksi antar bahan pencemar juga dapat mempengaruhi toksisitas. Organisme perairan jarang terpapar oleh satu jenis bahan pencemar saja melainkan bermacam bahan pencemar yang saling berinteraksi.

Sedangkan tingkat toksisitas bahan pencemar terhadap organisme perairan dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Sifat fisik dan kimia bahan pencemar, meliputi jenis dan konsentrasi bahan pencemar.
2. Sifat fisik dan kimia air, seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan salinitas
3. Lama dan frekuensi paparan
4. Karakteristik biologis organisme air, seperti spesies, ukuran, usia, metabolisme, dan adaptasi
5. Interaksi antara zat pencemar dan komponen lain dalam air, seperti logam berat, nutrisi, pestisida, dan senyawa organik.

4.4 Zat Potensial Pencemar Perairan

Beberapa zat pencemar perairan yang seringkali memiliki potensi toksisitas tinggi meliputi :

1. Logam berat, seperti merkuri, timbal, cadmium dan arsenic. Zat-zat ini dapat bersifat racun bagi organisme hidup jika terakumulasi dalam lingkungan air, sehingga dapat mengganggu ekosistem perairan dan dapat masuk ke dalam rantai makanan termasuk manusia.
2. Pestisida, seperti organofosfat, karbamat dan herbisida tertentu yang digunakan dalam pertanian untuk mengendalikan hama. Jika pestisida ini mencemari perairan, maka dapat pula meracuni organisme air, termasuk ikan dan organisme lainnya.
3. Bahan Kimia Industri: Zat-zat kimia berbahaya seperti bahan kimia organik yang persisten (*Persistent Organic*

Pollutants, POPs), PCBs (*poliklorinasi bifenil*), dan senyawa organik volatil (VOCs) yang digunakan dalam industri dapat mencemari perairan dan memiliki efek toksik.

4. Nutrien berlebih: Pencemaran air oleh nutrien seperti nitrogen dan fosfor dari limbah pertanian, limbah domestik, dan limbah industri dapat menyebabkan eutrofikasi perairan. Yaitu pertumbuhan alga yang berlebihan, penurunan oksigen di dalam air dan kematian massal ikan dan organisme lainnya.
5. Limbah Organik: Limbah organik dari aktivitas manusia seperti limbah domestik dan industri dapat menghasilkan bahan organik terdekomposisi yang dapat mengganggu kualitas air dan menghasilkan senyawa-senyawa yang berpotensi beracun.

4.5 Parameter Zat Pencemar

Parameter zat pencemar adalah indikator yang digunakan untuk mengukur atau memantau konsentrasi zat pencemar tertentu dalam air. Parameter ini membantu mengidentifikasi dan menilai tingkat pencemaran serta keamanan kualitas air dalam system perairan. Berikut adalah beberapa parameter umum yang digunakan untuk mengukur zat pencemar perairan:

1. Parameter Fisika:

Suhu: Menunjukkan tingkat panas atau dingin air, mempengaruhi kemampuan air untuk mengangkut oksigen dan nutrien.

Kekeruhan: Tingkat kejernihan air, terkait dengan jumlah partikel padat atau zat terlarut dalam air.

Warna: Warna air yang dapat berasal dari zat-zat organik atau anorganik.

2. Parameter Kimia

pH: Tingkat keasaman atau kebasaan air, mempengaruhi aktivitas biologis dan kelarutan zat tertentu.

Oksigen Terlarut: Kandungan oksigen dalam air yang diperlukan oleh organisme hidup untuk respirasi.

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*): Kuantitas oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik dalam air.

COD (*Chemical Oxygen Demand*): Kuantitas oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik dalam air.

3. Parameter Logam Berat:

Kadmium, Merkuri, Timbal, Arsenik, dll,: Mengukur konsentrasi logam berat yang dapat mencemari air dan berpotensi meracuni organisme hidup.

4. Parameter Pestisida

Atrazine, DDT, Lindane, dll : Mengukur konsentrasi pestisida dalam air yang dapat mencemari dan membahayakan organisme dan manusia.

5. Parameter Nutrien

Nitrogen (Nitrat, nitrit, ammonium): Nutrien penting bagi pertumbuhan tumbuhan, namun kelebihanannya dapat menyebabkan eutrofikasi.

Fosfor: Nutrien yang juga dapat menyebabkan eutrofikasi jika melebihi ambang batas.

6. Parameter Bahan Kimia Organik Persisten:

PCBs (*Polychlorinated Biphenyls*), Dioxin, dll,: Zat kimia organik yang dapat bertahan lama di lingkungan dan mencemari air.

7. Parameter Zat Organik Lain:

Benzene, toluene, MTBE (Methyl Tertiary-Butyl Ether), dll: Zat kimia organik yang dapat berasal dari limbah industri atau penggunaan bahan bakar.

8. Parameter Mikrobiologis:

Coliform, *Escherichia coli* (*E. coli*): Mengindikasikan kontaminasi fecal dan kebersihan air.

9. Parameter Radioaktif:

Radionuklida seperti Radon, Radium, dll,: mengukur konsentrasi radioaktif dalam air.

10. Parameter Lain:

Minyak dan Lemak: Mengukur kandungan minyak dan lemak dalam air, yang dapat berasal dari tumpahan minyak atau aktivitas industri.

Pemantauan dan pengukuran parameter-parameter ini membantu memahami kualitas air, mendeteksi pencemaran, menilai risiko, dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk menjaga kualitas air yang baik serta melindungi kesehatan manusia dan lingkungan. Parameter-parameter ini diatur dan memiliki ambang batas yang telah ditetapkan untuk memastikan keamanan air yang digunakan untuk konsumsi manusia dan kelestarian ekosistem.

4.6 Standar Nilai Zat Pencemar untuk Perairan

Ambang batas berbeda-beda tergantung pada regulasi dan standar yang digunakan oleh negara atau wilayah. Ambang batas ini bertujuan untuk memastikan bahwa konsentrasi nitrogen di dalam air tidak melebihi level yang dapat membahayakan Kesehatan manusia dan lingkungan, serta untuk mencegah efek negative seperti eutrofikasi (pertumbuhan alga berlebihan). Oleh karena itu, penting untuk memantau dan mematuhi ambang batas nitrogen dalam air untuk menjaga kualitas air yang baik.

No.	Bahan Pencemar	Ambang Batas
1.	Minyak dan lemak total	EPA maksimal 15 mg/L EU 5 – 20 mg/L
2.	Nitrat (NO3-)	WHO : maksimal 50 mg/L EPA : maksimal 10 mg/L EU : maksimal 50 mg/L (untuk lingkungan)
3.	Nitrit (NO2)	Standart untuk Kesehatan air minum : WHO : maksimal 3 mg/L EPA : maksimal 1 mg/L
4.	Amonium (NH4+)	Standar Perlindungan Lingkungan EPA : maksimal 0,15 mg/L

4.7 Dampak Toksisitas Terhadap Lingkungan

Toksisitas perairan dapat memiliki dampak yang serius terhadap lingkungan, organisme hidup, dan kesehatan manusia. Dampaknya dapat bervariasi tergantung pada jenis zat pencemar, konsentrasinya, waktu paparan, serta sensitivitas organisme yang terlibat. Berikut adalah beberapa dampak utama dari toksisitas perairan:

1. Keracunan Organisme Hidup

Organisme hidup di perairan, seperti ikan, plankton, makroinvertebrata, dan mikroorganisme, dapat terpapar zat berbahaya yang mengakibatkan keracunan.

Dampaknya bisa berupa kematian mendadak (toksisitas akut) atau perubahan dalam pertumbuhan, reproduksi, dan kesehatan organisme (toksisitas kronis).

2. Gangguan pada Ekosistem

Pencemaran perairan dapat merusak ekosistem air tawar dan laut, termasuk gangguan pada rantai makanan, penurunan keanekaragaman hayati, dan perubahan dalam komposisi spesies.

Perubahan ini dapat memiliki efek domino dan mengancam kelangsungan hidup organisme dalam ekosistem tersebut.

3. Kematian massal ikan

Konsentrasi tinggi zat beracun, seperti tumpahan minyak atau pelepasan bahan kimia berbahaya, dapat menyebabkan kematian massal ikan dan organisme air lainnya.

Ini bisa berdampak signifikan pada industri perikanan dan menyebabkan kerusakan ekonomi.

4. Pencemaran rantai makanan

Zat beracun yang masuk ke ekosistem perairan dapat terakumulasi dalam organisme dan bergerak ke atas dalam rantai makanan.

Ini berpotensi mengakibatkan konsentrasi tinggi zat berbahaya di predator puncak, termasuk manusia yang mengonsumsinya.

5. Gangguan Kualitas Air Minum

Toksisitas perairan dapat mencemari sumber air minum dan menyebabkan air tidak aman untuk diminum. Ini mengancam kesehatan manusia dan memerlukan tindakan penanganan yang mendesak.

6. Kerusakan pada Kesehatan manusia

Manusia yang terpapar zat beracun dalam air dapat mengalami efek kesehatan serius, termasuk kerusakan organ, gangguan sistem saraf, gangguan hormonal, atau bahkan kanker. Efek kesehatan ini dapat terjadi jika air minum, ikan, atau makanan laut yang terkontaminasi dikonsumsi.

7. Kerusakan lahan dan sumberdaya air

Pencemaran perairan juga dapat merusak lahan, sungai, dan ekosistem rawa yang terkait. Hal ini dapat mengurangi ketersediaan air bersih untuk penggunaan domestik, pertanian, dan industri.

8. Kerusakan pada ekonomi

Toksisitas perairan dapat mengganggu sektor-sektor ekonomi yang bergantung pada perairan, seperti pariwisata, perikanan, dan industri berbasis air. Dampak ini dapat menciptakan kerugian ekonomi yang signifikan.

Dengan memahami dampak toksisitas perairan, penting untuk menerapkan praktik pengelolaan yang bijaksana dan upaya mitigasi untuk melindungi lingkungan air dan kesehatan manusia. Langkah-langkah pencegahan dan pengawasan yang ketat sangat diperlukan untuk mengurangi risiko toksisitas perairan dan menjaga kualitas air yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asus MS, Hertika, Renanda BD, Surya Putra, 2019. Ekotoksikologi untuk Lingkungan Perairan. Universitas Brawijaya Press. 168 hal.
- Frank C. Lu. 1995. Toksikologi Dasar. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- H.J. Mukono. 2002. Epidemiologi Lingkungan. Surabaya: Airlangga University Press.
- J. H. Koeman. 1987. Pengantar Umum Toksikologi. Terjemahan oleh R.H. Yudono Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Lund, D.F, 2017. Ekotoksikologi Perairan. PT. Penerbit IPB Press. 236 + 20 hal.
- Rahayu, M & Solihat, M.F., 2018. Bahan Ajar Teknologi Laboratorium Medik (TLM) : Toksikologi Klinik. hal ; 5-8. BPPSDMK Kemenkes : Jakarta.
- Robert W. Coppock, P. Nick Nation, 2018. Basic and Clinical Principles Pages 733-739. Veterinary Toxicology (Third Edition)
- Sartono. 2002. Racun dan Keracunan. Jakarta: Penerbit Widya Medika
- healthyentusiast.com (diakses tanggal 01 Oktober 2023; 20:00 WIB)
- Triyoni P, 2017. Faktor-faktor yang mempengaruhi Toksisitas Bahan Pencemar terhadap Organisme Perairan. OSEANA Volume XLII, Nomor 2 Tahun 2017 : 12 – 22
- www.wikipedia.com

BAB 5

BAHAN – BAHAN BUANGAN RUMAH TANGGA

Oleh Niken Prawesti Listyaningrum

5.1 Pendahuluan

Bahan-bahan buangan rumah tangga merupakan sisa-sisa bahan atau sampah yang didapatkan dari kegiatan rumah tangga atau manusia dalam pemenuhan kebutuhan kehidupan sehari-hari. Bahan-bahan buangan rumah tangga sering juga disebut dengan limbah rumah tangga. Semakin padatnya jumlah pemukiman dan jumlah penduduk mengakibatkan peningkatan jumlah limbah rumah tangga. Dan hal ini menimbulkan berbagai dampak negatif yang muncul.

Menurut Widiyanto, Yuniarno, and Kuswanto (2015), pertumbuhan penduduk yang cepat dan migrasi massal ke kota pada negara-negara yang sedang berkembang dapat menciptakan tantangan serius dalam hal perumahan yang memerlukan solusi dan tindakan segera. Urbanisasi yang terkendali dapat menciptakan beragam masalah sosial yang rumit, termasuk masalah dalam penyediaan air minum dan sanitasi dasar, masalah terkait kualitas lingkungan, serta perubahan perilaku masyarakat. Hal – hal tersebut akan mempengaruhi derajat kesehatan masyarakat serta penurunan kualitas hidup dan produktivitasnya yang akan berpengaruh pada kesejahteraan. Pada Gambar 5.1, dapat dilihat pembuangan limbah rumah tangga di sungai yang menyebabkan permasalahan sanitasi dan sarana air minum serta penurunan kualitas lingkungan.



Gambar 5.1 Pembuangan Sampah di Sungai

(Sumber : Puskomedia 2023)

5.2 Jenis – Jenis Limbah Rumah Tangga

Sampah dan limbah merupakan masalah global yang memerlukan manajemen yang efektif. Oleh karena itu, penting sekali untuk melakukan manajemen limbah rumah tangga dengan benar guna mencegah efek dari pencemaran dan potensi kemungkinan kerusakan lingkungan yang mungkin terjadi. Pengelolaan limbah rumah tangga harus disesuaikan dengan jenisnya. Jenis limbah rumah tangga dapat dibedakan tiga kategori yaitu limbah cair dan limbah yang berasal dari kotoran manusia serta limbah padat. Dibawah ini beberapa jenis limbah rumah tangga dan metode atau cara pengelolaannya (Setiawati and Elfarisna 2021).

5.2.1 Limbah Padat (Sampah)

Sampah atau limbah padat berasal dari berbagai material yang sudah tidak diperlukan lagi atau tersisa dalam aktivitas rumah tangga. Pembuangan limbah padat tanpa pertimbangan yang baik dapat menyebabkan masalah seperti pencemaran dan ancaman terhadap kelestarian lingkungan. Sampah rumah tangga dapat dikelompokkan dengan dua jenis, yaitu limbah anorganik dan limbah organik.

1. Limbah atau Sampah Rumah Tangga Organik

Limbah organik merujuk pada sampah yang berasal dari sisa bahan makanan, seperti sayuran, nasi dan buah. Limbah dari organik secara alami akan mengalami penguraian atau dekomposisi dan pelapukan. Membuang limbah organik yang mengandung protein dapat memiliki beberapa konsekuensi, seperti menghasilkan bau busuk yang tidak enak dan meningkatkan nutrisi dalam perairan. Gambar 5.2 merupakan contoh limbah rumah tangga.



Gambar 5.2 Limbah Rumah Tangga Organik

(Sumber : Nugraha 2020)

Dengan pengelolaan yang tepat, limbah dari organik yang didapat dari kegiatan rumah tangga dapat diubah menjadi pupuk organik yang bermanfaat daalam pertanian. Pupuk organik ini memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat kimia, fisik, dan kehidupan mikrobiologi di dalam tanah (Eliyani, Susylowati, and Nazari 2018). Limbah organik dari rumah tangga dapat dibuat kompos yang mencukupi dengan standar SNI. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Wazir, A., and Hussain (2018), menunjukkan bahwa pupuk organik yang berasal dari limbah rumah tangga seperti kulit pisang, dan ampas teh serta kulit telur, dapat melimpahkan hasil perkembangan dan panen yang lebih baik pada tumbuhan seperti kacang dan kentang. Selain itu, penelitian oleh Setiawati and Elfarisna (2021)

menunjukkan bahwa kompos yang didapat dari limbah rumah tangga organik mencukupi ukuran SNI 19-7030-2004 secara fisik.

2. Limbah atau Sampah Rumah Tangga Anorganik

Limbah jenis anorganik merujuk pada limbah yang berasal dari sisa-sisa bahan atau materi yang sukar atau bahkan tidak dapat terurai melalui proses biologis. Jenis limbah ini mencakup bahan seperti alumunium, plastik, kaca, gabus sintetis (styrofoam), dan besi. Akumulasi dari penampungan limbah anorganik seperti ini akan memiliki dampak serius pada kondisi lingkungan, dimulai dari mengganggu estetika dan kesehatan sampai mencemari tanah. Seperti yang terlihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Limbah Rumah Tangga Anorganik

(Sumber : Puskomedia 2023)

Dalam perencanaan manajemen sampah sangat diperlukan adanya metode penggarapan sampah yang efisien. Sunarsih (2014) mengungkapkan bahwa disamping metode pengendalian yang direkomendasikan untuk menanggulangi persoalan sampah, ada beberapa langkah atau cara seperti penyortiran jenis sampah (kering dan basah), pewadahan sampah sesuai dengan jenisnya, pengumpulan sampah yang sudah sesuai dengan jenisnya ke tempat pembuangan sementara, pengangkutan sampah yang sudah sesuai pengelompokkannya dengan Truck jenis compactor,

sampah dikumpulkan dan diangkut ke tempat pembuangan sementara, selanjutnya berakhir sampah dikelola aturan prinsip 3R (*Reduce, Reuse dan Recycle*).

5.2.2 Limbah Cair (Air Limbah)

Pertumbuhan populasi yang cepat, memiliki dampak yang buruk pada sumber air, baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Air yang diperlukan untuk mencukupi keperluan kehidupan, termasuk air bawah tanah (Widiyanto et al. 2015). Air tanah dapat terkontaminasi oleh air dari limbah rumah tangga yang berasal dari macam-macam aktivitas harian, seperti mencuci pakaian, peralatan makan, dan sisa makanan cair. Maka dari itu penting untuk mengelola air limbah rumah tangga dengan baik untuk mencegah lingkungan tercemar dan air tanah.

Contoh metode yang mampu diterapkan untuk mengendalikan air limbah rumah tangga seperti menciptakan sistem saluran pembuangan air kotor atau sistem peresapan. Dalam proses ini, terdapat sejumlah bagian yang perlu dicermati, contohnya:

1. Menjaga agar tidak mencemari sumber air bersih di sekitar.
2. Mencegah pencemaran permukaan atas tanah.
3. Menghindari penyebaran cacing tambang di permukaan tanah.
4. Mengontrol pertumbuhan serangga dan hewan lainnya.
5. Menjaga agar tidak menghasilkan bau yang tidak sedap.
6. Menggunakan konstruksi sederhana dengan bahan yang terjangkau.
7. Menjaga jarak minimal 10 meter antara sumber air dan bak peresapan.

Air adalah kebutuhan pokok manusia dalam seluruh aspek kehidupan, terutama sebagai air untuk konsumsi. Air untuk konsumsi merupakan komponen daur air secara global, yang terus menerus terpengaruh oleh tindakan manusia dalam peruntukkannya dan pelepasan air. Pencemaran air yang terjadi pada badan air akan meresap ke dalam air tanah, memerlukan penanganan serius. Studi yang dilakukan oleh Widiyanto et al. (2015), menyatakan bahwa tingkat pencemaran air di sungai Haihe sekarang 10 tingkat melebihi apa yang tercatat 20 tahun yang lalu. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi perairan telah tercemar mencapai tingkat yang memprihatinkan dan mempengaruhi sumber air bagi masyarakat.

Penelitian yang dilakukan oleh Sudarmadji (2007) menunjukkan bahwa air bawah tanah masih menjadi sumber air untuk konsumsi terbaik bagi penduduk, baik di pedesaan maupun di perkotaan. Di Indonesia, bermacam cara digunakan untuk memperoleh air layak konsumsi, termasuk dari mata air, tanah, sungai dan sumber yang berbeda. Cemar coliform sering menjadi masalah dalam pencemaran air yang dapat menyebabkan penyakit. Oleh karena itu, proses desinfeksi digunakan dapat digunakan untuk mengurangi potensi cemaran coliform tersebut.

5.2.3 Limbah dari Kotoran Manusia

Limbah dari manusia, termasuk urin dan tinja, merupakan salah satu faktor penyebab pencemaran dari lingkungan yang dapat merusak keselarasan komunitas organik di air, udara dan tanah sekitar. Oleh karena itu, pengelolaan yang efisien dari limbah ini sangat penting untuk menanggulangi kerusakan ekosistem. Salah satu cara solusi untuk menekan kontaminasi yang berasal dari limbah manusia ini yaitu melalui Bio Septi Tank. Bio Septi Tank dapat digunakan untuk menguraikan limbah dari cairan limbah rumah tangga, sehingga dapat mengurangi risiko pencemaran

lingkungan. Alat ini dilengkapi dengan sistem filtrasi yang efektif, yang membantu mereduksi aroma tidak sedap dari limbah dan mencegah pencemaran tanah. Bio Septi Tank dibuat dengan serat fiber lebih tebal untuk mencegah keluarnya limbah cair, jadi dapat mengumpulkan air serta limbah dalam jumlah yang banyak. Selain itu salah satu penggunaan limbah kotoran manusia dapat diarahkan ke sumber daya energi dengan diperoleh memproduksi gas metana dengan proses dekomposisi. Gas metana yang diperoleh akan dapat diubah menjadikan energi listrik, jadi dapat mengubah limbah kotoran manusia dari sesuatu yang tidak bernilai menjadi bahan bakar ramah lingkungan yang memiliki nilai ekonomi (Ardiansyah 2019).

Dalam Ardiansyah (2019), biogas adalah hasil dari proses produksi gas yang berasal dari material organik melalui fermentasi bakteri. Proses dekomposisi material organik iini berlangsung tanpa keberadaan oksigen atau sering disebut dengan degradasi anaerob. Mayoritas gas yang diperoleh kebanyakan adalah gas metana (lebih dari 50%). Berikut merupakan perbedaan susunan antara gas alam, biogas, dan gas di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah (*Landfill Gas*).

Tabel 5.1 Susunan Gas pada Gas Alam, *Landfill Gas* dan Biogas

Zat	Satuan	Gas Alam	Landfill Gas	Biogas
Methana	% Vol.	91	45-58	55-70
Ethana	% Vol.	5,1	0	0
Propana	% Vol.	1,8	0	0
Butana	% Vol.	0,9	0	0
Pentana	% Vol.	0,3	0	0
Karbon Dioksida	% Vol.	0,61	32-45	30-45
Nitrogen	% Vol.	0,32	0-3	0-2

Volatile Organic Compounds	% Vol.	0	0,25-0,5	0
Hidrogen	% Vol.	0	Terdeteks i<1%	0
Hidrogen Sulfida	ppm	<1	10-200	<500
Amonia	ppm	0	0	<100
Karbon Monoksida	ppm	0	Terdeteksi	0

Sumber:Monet F (2003)

5.3 Dampak Limbah Rumah Tangga

Tanpa ada pemilahan atau pengolahan terlebih dahulu, limbah rumah tangga sering kali dibuang sembaranganyang pada akhirnya dapat mengakibatkan terjadinya polusi dan kerusakan lingkungan di sekitar perairan, tanah, dan udara. Akibat dari perilaku sembarangan ini adalah dampak negatif yang bisa dirasakan oleh Masyarakat, termasuk berkurangnya kenyamanan dan kesehatan mereka akibat pencemaran dan kerusakan lingkungan. Berikut efek yang diakibatkan karena pembuangann limbah rumah tangga secara sembarangan dan tanpa diolah.

5.3.1 Dampak Limbah Rumah Tangga bagi Kesehatan

Membuang limbah rumah tangga secara sembarangan berpotensi mengakibatkan konsekuensi negatif terhadap kesejahteraan masyarakat di daerah tersebut. Apabila tidak dikelola dengan baik limbah bisa mempengaruhi kesehatan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Limbah yang mencemari lingkungan melalui berbagai media seperti air, tanah, udara dan makhluk hidup akan terus menerus menularkan zat-zat beracun ke dalam rantai makanan, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan paparan zat beracun kepada organisme, termasuk manusia, tumbuhan, dan hewan.

Putra, Setyowati, and Apriyanto (2019), menyatakan ada beberapa pengaruh kesehatan terhadap makhluk hidup yang diakibatkan oleh pencemaran limbah, antara lain :

- a. Dapat memberikan efek akut, yaitu efek yang dapat menimbulkan kerusakan sistem kardiovaskuler, sistem syaraf, kerusakan sistem pernafasan, kulit dan kematian.
- b. Dapat memberikan dampak krosis, yaitu efek mutagenik (mendorong terjadinya mutasi sel tubuh), efek karsinogenik (mendorong berkembangnya kanker), serta kerusakan sistem reproduksi dan efek teratogonik (mendorong terjadinya cacat bawaan)

Selain itu ada beberapa pengaruh terhadap organ tubuh yang diakibatkan oleh pencemaran limbah, yaitu

- a. Terjadi pada organ jantung dan ginjal, biasanya karena adanya kadmium yang bersifat toksik.
- b. Mengenai kerusakan pada struktur tulang, yang seringkali disebabkan oleh eksposur zat beracun seperti benzene).
- c. Dapat merusak organ otak dan sistem saraf, umumnya disebabkan oleh zat beracun seperti methyl mercury dan timbal).
- d. Menyebabkan gangguan pada fungsi hati, biasanya akibat eksposur terhadap karbon tetrachlorida yang bersifat beracun.
- e. Berdampak pada organ paru – paru, biasanya karena paparan zat beracun seperti paraquat.
- f. Mempengaruhi mata serta proses pertumbuhan dan reproduksi, seringkali akibat paparan zat beracun seperti khloroquin.

5.3.2 Dampak Limbah Rumah Tangga bagi Lingkungan

Mengelola limbah rumah tangga tanpa perencanaan yang baik akan menyebabkan kerusakan dan polusi lingkungan. Dampak buruk dari kerusakan dan polusi ini akan mempengaruhi masyarakat, seperti meningkatnya risiko banjir, adanya bau yang tidak menyenangkan dan emisi gas rumah kaca. Maka dari itu, sangat penting untuk merawat lingkungan dan meningkatkan kualitas hidup dengan menerapkan manajemen limbah rumah tangga yang efektif. Pemanfaatan teknologi dalam pengelolaan limbah rumah tangga, seperti kompos, konversi energi, serta daur ulang, memiliki peran besar dalam mengurangi efek negatif dari limbah dan membuat lingkungan yang berkelanjutan (Dahlén and Lagerkvist 2008). Agar teknologi pengelolaan limbah rumah tangga dapat berhasil maka perlu adanya support dari berbagai pihak, seperti pemerintah, sektor swasta dan partisipatif aktif masyarakat itu sendiri melalui program-program, kebijakan-kebijakan serta pendidikan pengelolaan limbah.

5.3.3 Dampak Limbah Rumah Tangga bagi Keadaan Sosial dan Ekonomi

Mengabaikan pengelolaan limbah rumah tangga dapat menghasilkan konsekuensi negatif pada aspek sosial dan ekonomi masyarakat. Limbah rumah tangga bisa menjadi penyebab berbagai penyakit yang menyebabkan peningkatan pengeluaran kesehatan. Lingkungan yang terkontaminasi oleh limbah juga berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kehidupan sosial masyarakat.

Dari hal tersebut diatas maka perlu adanya pengelolaan sampah rumah tangga. Beberapa hasil penelitian yang dilakukan oleh Putra, Taufiq, and Juliani (2013) menunjukkan bahwa tingkat pendapatan keluarga memiliki dampak signifikan terhadap cara penanganan sampah dilakukan. Individu yang memiliki pendapatan tinggi umumnya

lebih mungkin untuk mengelola sampah secara efisien. Sebagai contoh, mereka mungkin akan menempatkan wadah sampah di luar dan di dalam rumah mereka serta membagi wadah tersebut secara spesifik sesuai dengan jenis sampah. Disamping mereka juga memperkerjakan orang lain untuk mengurus sampah yang dihasilkan. Penelitian yang dilakukan oleh Putra et al. (2019), menunjukkan bahwa ada hubungan antara latar belakang tingkat pendidikan berkaitan dengan pemahaman dan tata kelola limbah. Sehingga pemerintah harus menetapkan cara pengelolaan limbah berdasarkan jenis-jenis limbah rumah tangga, memisahkan tempat pembuangan berdasarkan jenis-jenis limbah tersebut serta menyediakan sarana dan prasarana tempat pembuangan limbah serta tempat pengelolaan limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, Ardiansyah. 2019. "Kajian Potensi Limbah Kotoran Manusia Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Kota Pontianak." *Elkha* 9(2):53. doi: 10.26418/elkha.v9i2.25197.
- Dahlén, Lisa, and Anders Lagerkvist. 2008. "Methods for Household Waste Composition Studies." *Waste Management* 28(7):1100–1112. doi: 10.1016/j.wasman.2007.08.014.
- Eliyani, Susylowati, and A. P. .. Nazari. 2018. "Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Sebagai Pupuk Organik Cair Pada Tanaman Bawang Merah (*Allium Cepavar. Ascalonicum* (L) Back)." *AGRIFOR* 17(2):249–62.
- Monet F. 2003. "An Intoduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes (Final Report)." *Remade Scotland*.
- Nugraha, Andronicus. C. 2020. "Bioteknologi: Pemanfaatan Sampah Rumah Tangga Perkotaan." Retrieved October 23, 2023 (<https://yoursay.suara.com/news/2020/03/16/141255/bioteknologi-pemanfaatan-sampah-rumah-tangga-perkotaan>).
- Puskomedia. 2023. "Teknologi Pengolahan Limbah Rumah Tangga." Retrieved October 23, 2023 (<https://www.panda.id/teknologi-pengolahan-limbah-rumah-tangga/>).
- Putra, H. P., A. R. Taufiq, and A. Juliani. 2013. "Studi Hubungan Antara Tingkat Pendidikan Dan Pendapatan Keluargaterhadap Sikap Dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga(Studi Kasus Di Desa Condongcatur, Depok, Sleman, Yogyakarta)." *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan* 5(2):91–101.
- Putra, Terry Irawansyah, Nanik Setyowati, and Enggar Apriyanto. 2019. "Identifikasi Jenis Dan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun Rumah Tangga: Studi Kasus Kelurahan Pasar Tais Kecamatan Seluma Kabupaten Seluma." *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan* 8(2):49–61. doi: 10.31186/naturalis.8.2.9209.

- Setiawati, Deny, and Elfarisna. 2021. "Membangun Sinergi Antar Perguruan Tinggi Dan Industri Pertanian Dalam Rangka Implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka." *Seminar Nasional Dalam Rangka Dies Natalis Ke-45 UNS Tahun 2021* 5(1):1004–11.
- Sudarmadji. 2007. "Perubahan Kualitas Airtanah Di Sekitar Sumber Pencemar Akibat Bencana Gempa Bumi." *Forum Geograf* 20(2):99–119.
- Sunarsih, Elvi. 2014. "Konsep Pengolahan Limbah Rumah Tangga Dalam Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan." *Ilmu Kesehatan Masyarakat* 5(03):162–67.
- Wazir, Z. Gul A., and M. Hussain. 2018. "Comparative Study of Various Organic Fertilizers Effect on Growth and Yield of Two Economically Important Crops, Potato and Pea." *Agricultural Sciences* 9:703–17.
- Widiyanto, Agnes Fitria, Saudin Yuniarno, and Kuswanto Kuswanto. 2015. "Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri Dan Limbah Rumah Tangga." *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 10(2):246. doi: 10.15294/kemas.v10i2.3388.

BAB 6

BAHAN – BAHAN BUANGAN

INDUSTRI

Oleh Setyawan Dwi Nugroho

6.1 Pendahuluan

Limbah merupakan hasil sampingan dari berbagai kegiatan atau proses yang berisi zat beracun atau berbahaya karena konsentrasi, sifat, serta jumlahnya, baik secara tidak langsung atau langsung. Limbah dapat mengakibatkan potensi risiko terhadap kesehatan manusia, lingkungan, serta kelangsungan hidup organisme lain. Komponen umum yang sering ditemukan limbah mencakup unsur hara, senyawa organik yang mudah menguap, senyawa organik yang dapat mengalami dekomposisi alami, logam berat yang bersifat toksik, senyawa organik yang sulit terurai, partikel padatan tersuspensi, parasit, serta mikroorganisme patogen.

Di Indonesia, perkembangan di sektor industri sangat pesat, hal ini akan mengakibatkan pengaruh terhadap sektor lain. Baik itu efek yang menguntungkan maupun efek yang merugikan. Efek yang menguntungkan dari pertumbuhan di sektor industri yaitu perkembangan sektor perekonomian yang meningkat pesat, dimana banyak terciptanya lapangan pekerjaan, selain itu, pemanfaatan teknologi terbaru yang diterapkan di berbagai bidang. Sedangkan dampak negatif yang muncul dan sangat terasa sekali karena adanya limbah cair dari industri yang menghasilkan zat-zat berbahaya bagi warga sekitar. Oleh karena itu, perlu adanya pengelolaan limbah

industri sebelum dibuang ke perairan, untuk mencegah efek yang merugikan yang berasal dari limbah industri, (Supraptini 2002).

6.2 Jenis Limbah Industri

Pada hakekatnya limbah sisa hasil industri terbagi menjadi beberapa jenis, seperti limbah cair yang merupakan bahan sisa buangan berwujud limbah cair seperti sisa pengawet cair, pewarna pakaiancair, limbah cair hasil pembuatan tahu serta tempe, sisa-sisa bahan kimia terwujud cair, kebocoran atau pembuangan minyak ke laut, kandungan besi pada air dan lain-lain. Disamping itu ada juga limbah bentuk padat, salah satu contohnya yaitu kabel, lumpur, plastic dan lain-lain. Sedangkan limbah gas, berupa asap yang mengandung racun sehingga dapat menyebabkan pencemaran. Disamping itu dihasilkan limbah-limbah sisa hasil industri yang mengandung zat beracun dan berbahaya, sering disebut sebagai limbah Berbahaya B3 (Deckanio et al. 2023). Menurut ciri-cirinya, limbah industri ini diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

6.2.1 Limbah Padat

Limbah bentuk padat yaitu dampak pembuangan dari proses produksi yang berwujud lumpur, bubur serta padatan, dan juga termasuk sampah yang berasal dari aktivitas industri dan tempat umum. Pengeluaran limbah padat semacam ini ke dalam perairan akan mengakibatkan pencemaran air serta mampu mengakibatkan kematian pada organisme yang tinggal di dalamnya. Namun demikian disisi lain, jika dilepaskan di darat tidak melalui tahapan pengolahan, limbah padat tersebut akan merusak tanah di kawasan tersebut. Limbah bentuk padat sisa produkai meliputi kantong plastik, sisa-sisa pakaian, plastik, lumpur bekas, sampah kertas, kabel listrik serta sisa-sisa semen berupa bubur. Pada Gambar 6.1, merupakan limbah industri berupa kertas.

Arfianti (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa kertas merupakan produk dari industri yaang memiliki peranan penting dalam pendidikan. Disamping sebagai alat tulis, kertas juga memiliki beberapa kegunaan yaitu untuk tisu,

pembungkus makanan dan lain-lain. Dalam proses produksi kertas, dihasilkan limbah yang berupa *sludge*. *Sludge* yang dihasilkan dapat mencemari lingkungan apabila dibuang secara langsung, sehingga perlu adanya pengolahan terlebih dahulu dengan dijadikan kompos. Sehingga dapat mencegah pencemaran lingkungan.



Gambar 6.1 Limbah Industri berupa Kertas

(Sumber : Pasific, 2023)

6.2.2 Limbah Cair

Limbah cair sering sekali diidentifikasi sebagai substansi yang mengkontaminasi perairan. Limbah cair ini sering kali dibuang secara spontan pada sistem saluran perairan, seperti sungai, selokan, dan bahkan laut, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.2. Sifat dari cairan limbah ini bervariasi, beberapa diantaranya berpotensi beracun, serta sementara yang lain bisa dengan mudah dinetralkan. Limbah sisa industri yang beracun dan langsung dilepas ke sistem saluran perairan seperti laut, selokan, atau sungai tanpa menjalani proses netralisasi awalnya dapat merusak gorong-gorong tersebut, maka dari itu mengakibatkan kerusakan pada kawasan perairan, bahkan dapat menyebabkan kematian banyak makhluk hidup di dalamnya. Contoh limbah cair industri mencakup limbah cair sisa pewarna pakaian, bahan pengawet cair, limbah dari proses pembuatan tempe dan tahu,

peningkatan kadar besi dalam air, sisa-sisa bahan kimia lainnya, dan tumpahan minyak di laut.



Gambar 6.2 Limbah Cair dari Industri

(Sumber : Rahma 2023)

Sun, F., Sun, B., Hu, J., He, Y. & Wu (2015) mengatakan bahwa sampah sisa produksi yang didapatkan pada pabrik kain atau tekstil cenderung berisi senyawa-senyawa organik dan amoniak. Ditambahkan oleh Rohayati et al. (2020), bahwa isi zat pada limbah industri tekstil sangat kompleks dan bentuknya berupa tidak larut air dan partikel zat padat, logam berat, pewarna dan mengandung garam. Karena hal tersebut maka limbah industri tekstil kesulitan mengalami peruraian. Demikian juga pada pabrik batik, dimana sampah sisa produksi yang dihasilkan berupa gas, padat dan cair. Namun limbah terbanyak dihasilkan adalah pada proses pewarnaan berupa limbah cair dengan pewarna dan sedikit berbau. Oleh karena itu harus dikerjakan pengolahan limbah cair tersebut dengan beberapa metode, antara lain koagulasi, adsorpsi, phytotreatment dan lain-lain (Apriyani 2018).

6.2.3 Limbah Gas

Limbah gas terbentuk dari berbagai sumber, baik itu berasal dari proses alami maupun aktivitas manusia. Limbah ini berupa unsur-unsur pada gas dan umumnya memiliki efek negatif terhadap keberlangsungan hidup ekosistem di Bumi. Karakteristik utama limbah gas adalah berwujud gas meliputi kebocoran gas, emisi dari proses pembakaran di pabrik, asap produksi industri, dan berbagai jenis emisi gas lainnya.



Gambar 6.3 Limbah Gas Hasil Buangan Industri

(Sumber : Rahma 2023)

Pada Gambar 6.3, merupakan sisa proses produksi berwujud partikel-partikel halus dan gas serta debu yang dilepaskan melalui saluran asap. Limbah tersebut wajib dikeluarkan dari saluran asap yang tinggi-tinggi, namun masih dapat bercampur dengan udara tanpa menimbulkan polusi terhadap hewan, tanaman dan manusia. Supraptini (2002), dampak negatif dari limbah gas ini pada kesehatan masyarakat antara lain gas SO_2 dan CO (dimana akan mengakibatkan penurunan kerja otak dan iritasi mata serta pernafasan), asap atau kabut (dapat menghalangi pernafasan dan penglihatan) serta debu yang mengandung Pb menimbulkan gangguan saraf, anemia dan pernafasan sedangkan partikel debu yang berisi serat asbes memiliki potensi menyebabkan kanker.

6.2.4 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Selain jenis-jenis sampah sisa produksi yang disebutkan di atas, ada juga kategori sampah sisa produksi yang dikenal sebagai limbah berbahaya B3, yang merupakan limbah beracun dan berbahaya. Limbah berbahaya B3 merujuk pada sisa-sisa yang dihasilkan dari kegiatan aktivitas ataupun usaha dimana berisi zat beracun dan atau berbahaya, yang bisa, merusak mencemari dan berpotensi memcelakakan kesehatan, ekosistem manusia, serta kehidupan organisme yang lain (Dinayah and Novembrianto 2023). Dampak langsung dari limbah B3 ini dapat berupa gangguan pencernaan dan masalah kulit pada manusia. Sementara efek tidak langsung umumnya diinduksi reaksi kimia dengan tanah dan air, yang mungkin berkontribusi pada polusi tanah atau air, seperti yang ditunjukkan ilustrasi pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

(Sumber : Rahma 2023)

Limbah berbahaya B3 memiliki potensi untuk mengancam kesehatan dan kelangsungan kehidupan makhluk hidup karena bersifat beracun dan berbahaya baik yang berbentuk cair, gas, padat, maupun sehingga membutuhkan penanganan khusus. Adapun yang tergolong dengan limbah beracun B3 seperti limbah yang mudah terbakar, limbah yang mudah meledak, limbah yang mudah korosif, limbah yang beracun limbah yang

sangat reaktif dan limbah yang dapat menginfeksi. Beberapa contoh limbah B3 yaitu aki/baterai bekas, limbah resin/penukar ion, pelumas bekas/oli bekas, limbah elektronik (seperti lampu TL), kain majun dan lain-lain.

6.2 Pengelolaan Limbah Industri

Persyaratan yang ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia untuk setiap Perusahaan di sektor industri harus mempunyai sebuah strategi untuk mengolah limbah. Adapun teknik pengolahan limbahnya ada berbagai macam cara sesuai dengan jenis dari limbah tersebut. Prinsip dalam penanganan limbah yaitu sebisa mungkin menghilangkan penyebab limbah, kemudian mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan (*reduce*). Selanjutnya menggunakan Kembali material limbah tersebut (*reuse*). Selain itu, mencakup proses pengolahan material limbah yang dapat didaur ulang (*recycle*). Dan pada akhir proses yaitu melibatkan tindakan perlakuan khusus (*treat*) dan pembuangan (*dispose*).

Berikut adalah alasan mengapa pencegahan limbah lebih disarankan, karena dengan pencegahan limbah akan lebih menghemat biaya daripada melakukan pembuangan limbah. Gambar 6.5, merupakan hirarki dari pencegahan limbah.



Gambar 6.5 Hirarki Pencegahan Polusi

(Sumber : Siti 2022)

6.2.1 Pengolahan Limbah Padat

Peningkatan proses di sektor industri akan menyebabkan peningkatan sampah sisa produksi. Beberapa peningkatan sisa sampah produksi tersebut yaitu limbah padat. Adapun beberapa cara untuk mengatasi limbah padat tersebut antara lain dengan sanitary landfill, daur ulang, penimbunan terbuka, insenerasi, serta membuat kompos padat.

Penimbunan terbuka adalah Langkah awal yang dapat diambil untuk mengelola limbah padat. Limbah padatsendiri dapat dikelompokkan jadi 2 kategori, seperti organik serta non-organic. Penting untuk mengubur limbah padat organik, karena proses tersebut memungkinkan mikroorganisme pengurai untuk memecahnya, yang pada gilirannya meningkatkan kesuburan lahan.



Gambar 6.6 Contoh Penanganan Limbah Sesuai dengan Jenisnya

(Sumber : Bagaskara 2022)

Pada Gambar 6.6, terlihat salah satu contoh Tindakan pengelolaan limbah, di mana limbah padat dipisahkan berdasarkan jenisnya, termasuk limbah B3, limbah organik, limbah anorganik, limbah kertas, dan limbah residu. Selain itu, terdapat berbagai pendekatan pengelolaan limbah, yang dikenal dengan prinsip-prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Pendekatan pengurangan (*reduce*) limbah dilibatkan dalam mengubah pola produksi dan konsumsi agar lebih efisien dan

mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan. Pendekatan penggunaan kembali (*reuse*) melibatkan pemanfaatan kembali limbah yang masih dapat digunakan untuk tujuan yang sama. Sedangkan pendekatan daur ulang (*recycle*) melibatkan pengolahan Kembali limbah menjadi produk baru yang memiliki manfaat.

6.2.2 Pengolahan Limbah Cair

Disamping limbah padat, industri juga menciptakan limbah cair. Cara Penanganan limbah berupa cairan berbeda dari limbah padat karena perbedaan bentuknya. Pengolahan limbah cair dari industri dapat ditempuh melalui beragam metode dan teknologi. Terdapat tiga tahap dalam pengolahan limbah cair, yakni teknologi proses awal (primer), teknologi proses lanjutan (sekunder), dan teknologi tahap akhir (Tersier). Beberapa contoh cara penanganan limbah berupa cairan meliputi:

1. Pengolahan awal (primer) melibatkan proses penyaringan, tahap awal pengolahan, sedimentasi dan *floatation*. Metode ini sangat efisien dalam mengatasi limbah yang mengandung minyak atau lemak.
2. Pengolahan sekunder melibatkan penggunaan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan-bahan
3. Pengolahan tersier adalah pengolahan yang khusus dan bersifat spesifik.

Selain itu, terdapat berbagai teknologi pengolahan limbah cair, termasuk teknologi fisika, kimia dan biologi. Contoh teknologi fisika pada tahap awal meliputi pencapuran, sedimentasi dan *floatation*. Di tahap lanjutan, terdapat metode penambahan oksigen, sedangkan di tahap akhir, terdapat teknik seperti filtrasi melalui osmosis terbalik dan perembesan.

Pada tahap awal, teknologi pengolahan kimia melibatkan pengerasan cairan dan penggabungan oksigen. Pada tahap akhir, terdapat proses fotolisis dan ozonolisis. Sementara di tahap tengah, teknologi pengolahan biologi memanfaatkan berbagai kondisi mikroorganisme seperti kondisi anaerobic, aerobic, fakultatif dan anoxic. Di tahap akhir, metode fitoremediasi diaplikasikan.

Dari uraian diatas, pertimbangan dalam memilih teknologi pengolahan adalah bahwa teknologi pengolahan limbah dengan pendekatan fisik memiliki anggaran pemeliharaan peralatan yang terjangkau. Sementara, teknologi pengolahan kimia dapat membuat limbah padatan yang berlimpah. Namun penggunaan teknologi pengolahan limbah dengan mikrobiologi, dianggap lebih tidak merusak lingkungan.

6.2.3 Pengolahan Limbah Gas

Untuk mengendalikan pancaran gas emisi dan menghapus partikulat dari atmosfer buangan, industri-industri sering menggunakan berbagai metode. Gas yang dihasilkan oleh industri biasanya diatur dengan menginstal cerobong asap, perangkat penyerap atau berbagai upaya pencegahan pencemaran lainnya. Ini adalah praktik yang umumnya diadopsi oleh sebagian perusahaan menengah dan perusahaan yang berukuran besar (Suprptini 2002). Apabila limbah dari industri mengandung zat berbahaya seperti timbal, maka sebelum asap tersebut dikeluarkan melalui cerobong, perlu melewati alat untuk mengurangi polusi. Di dalam alat pencegah pencemaran akan dilakukan penyerapan oleh zat tertentu sehingga pada saat asap keluar sudah tidak mengandung Pb.

Limbah berupa gas, debu dan butiran-butiran halus perlu dikelola dengan sebaik mungkin sebelum dikeluarkan bebas ke udara sekitar. Apabila kita lalai dalam mengelola limbah gas, debu dan butiran-butiran halus maka akan menyebabkan gangguan kesehatan. Di samping itu, juga akan menyebabkan perubahan iklim atau efek peningkatan gas-gas rumah kaca.

Wahyudi (2018), menyampaikan bahwa efek pemanasan global terjadi karena meningkatnya suhu bumi yang disebabkan peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer, penipisan lapisan ozon serta sebagainya. Dengan adanya peningkatan suhu global, akan mengakibatkan penimbunan gas-gas rumah kaca dalam jumlah signifikan sehingga akan mempengaruhi kesehatan baik langsung maupun tidak langsung.

6.2.4 Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) memiliki tingkat bahaya yang tinggi sehingga memerlukan penanganan khusus. Adapun beberapa cara pengelolaan limbah berbahaya B3 yaitu:

1. Pendekatan pengolahan melibatkan metode biologi, fisika, dan kimia.
2. Cara pembuangan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), melibatkan penggunaan sumur dalam/injeksi, tempat penimbunan, dan kolam penyimpanan.

Selain itu, limbah B3 dapat diolah kembali dengan menggunakan prinsip 3R, dimana terdiri dari mengurangi (*reduce*), menggunakan kembali (*reuse*), dan mendaur ulang (*recycle*). Mengurangi berarti mengurangi penggunaan bahan penghasil limbah. Sementara itu, penggunaan kembali melibatkan penggunaan kembali limbah tanpa melalui proses biologi, fisik, dan kimia untuk fungsi yang sama atau beda. Mendaur ulang adalah proses pengolahan kembali limbah B3, yang melibatkan metode biologi, kimia, dan fisika (Shafarra 2023).

Pengolahan limbah industri harus dilakukan dengan teliti dan mematuhi peraturan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah Daerah. Suatu industri harus aktif dalam mengawasi pembuangan limbah industri agar berjalan secara efisien sesuai dengan peraturan yang berlaku. Beberapa cara yang dapat dilakukan oleh para pelaku industri untuk menghindari pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah industri, antara lain melakukan proses daur ulang, melakukan pengolahan limbah yang ramah lingkungan menerapkan dan alat pencegah pencemaran. Sehingga limbah yang dibuang sudah dalam kondisi aman, tidak mencemari lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyani, Nani. 2018. "Industri Batik: Kandungan Limbah Cair Dan Metode Pengolahannya Nani." 3:21–29.
- Arfianti, Ulfa Nida. 2019. "Pemanfaatan Limbah Padat Industri Kertas Menjadi Kompos."
- Bagaskara. 2022. "Limbah Industri: Pengertian, Contoh, Dan Cara Menanganinya." Retrieved October 23, 2023 (<https://mutucertification.com/pengertian-limbah-industri-dan-contoh/>).
- Deckanio, Achmad, Adellia Mega Pratiwi, Dwindya Ililiyun, Shinta Nuriyah, and Titis Dewi Cahyani. 2023. "Analisis Dampak Pencemaran Limbah Industri PT. S Terhadap Kehidupan Masyarakat Di Kabupaten Sidoarjo." *Jurnal Ilmiah Multidisiplin* 1(4):141–51.
- Dinayah, Ignacia Putri, and Rizka Novembrianto. 2023. "INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi Evaluasi Sistem Pengelolaan Limbah B3 PT Y." *Media Cetak* 2(3):561–71. doi: 10.55123/insologi.v2i3.1984.
- Pasific, Universal Eco. 2023. "Pengelolaan Limbah Industri." Retrieved October 23, 2023 (<https://www.universaleco.id/blog/detail/pengelolaan-limbah-industri-karakteristik-jenis-pengertian/37>).
- Rahma. 2023. "Pengertian Dan Contoh Limbah Industri." Retrieved October 23, 2023 (<https://www.gramedia.com/literasi/limbah-industri/>).
- Rohayati, Zaina, Mega M. Fajrin, Jumardin Roa, Yulan, and Riyanto. 2020. "Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi Dan Elektrodekolorisasi Dalam Satu Sel Elektrolisis." *Chimica et Natura Acta* 8(1):42–49.
- Shafarra, Octaviyanda. 2023. "Penegakan Hukum Terhadap Pencemaran Lingkungan Limbah Industri Yang Terjadi Di Karawang." 1(1):19–25.
- Siti, Rozaimah. 2022. "PENGOLAHAN LIMBAH PADA INDUSTRI PERTANIAN." Retrieved October 23, 2023 (<https://enviro.teknik.unej.ac.id/kuliah-prof-siti-rozaimah>).

pemanfaatan-kembali-limbah-pada-industri-pertanian/).

- Sun, F., Sun, B., Hu, J., He, Y. & Wu, W. 2015. "Organics and Nitrogen Removal from Textile Auxiliaries Wastewater with A 2 O-MBR in a Pilot-Scale." *Journal of Hazardous Materials* 286:416–24.
- Supraptini. 2002. "Pengaruh-Limbah-Industri-Terhadap-Lingku.Pdf." 7.
- Wahyudi, Jatmiko. 2018. "Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca." *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK* 12(2):104–12. doi: 10.33658/jl.v12i2.45.

BAB 7

PENCEMARAN AIR SUNGAI, DANAU, WADUK

Oleh Adiara Firdhita Alam Nasyrah

7.1 Pendahuluan

Ekosistem air tawar terdiri dari perairan lentik (tergenang) dan lotik (mengalir) yang merupakan bagian dari sumber daya alam terpenting di dunia. Dikenal pula sebagai perairan darat, ekosistem ini mencakup sungai, danau, paparan banjir, waduk, rawa, dan genangan air lainnya (Kartamihardja, 2017). Ekosistem air tawar menyediakan komoditas dan jasa yang bernilai penting bagi kehidupan sejumlah makhluk hidup di bumi seperti sumber air, perikanan, transportasi, rekreasi dan budaya, serta habitat bagi tumbuhan dan hewan (Balian *et al.*, 2008; Schofield *et al.*, 2018).

Pemanfaatan air tawar banyak digunakan untuk berbagai keperluan baik skala rumah tangga, perikanan, pertanian, perkebunan maupun komersil seperti dalam dunia industri (Li *et al.*, 2022). Meskipun air sebagai sumber daya alam terbarukan, tetapi jumlah air tawar yang tersedia untuk keperluan manusia juga sangat terbatas. Di potret lain, penambahan penduduk bumi berakibat pada pola konsumsi masyarakat yang cukup tinggi dari tahun ke tahun, hal ini tentunya dibarengi dengan tekanan lingkungan yang menyebabkan terjadinya perubahan. Air telah memberikan kehidupan bagi manusia, namun sayangnya di sisi lain kegiatan manusia jugalah yang memberikan sumbangan pada penurunan kualitas air di perairan tawar. Air sebagai pelarut universal mampu melarutkan lebih banyak zat dibandingkan cairan lainnya (Pohorille

dan Pratt, 2012). Hal ini menjadi penyebab air rentan tercemar. Zat beracun dari pertanian, perikanan, perkotaan, dan industri pabrik mudah larut dan bercampur dengan air sehingga menyebabkan pencemaran air.

Secara umum, pencemaran air terjadi ketika zat-zat berbahaya atau *toxic* yang berupa bahan kimia atau mikroorganisme masuk dan mengkontaminasi aliran sungai, danau, laut, atau badan air lainnya sehingga menurunkan kualitas air dan menjadi racun bagi makhluk hidup dan lingkungan. Sungai, danau, dan rawa adalah perairan yang paling sering memperoleh limpasan limbah akibat aktivitas antropogenik. Salah satu tantangan terpenting yang dihadapi saat ini adalah melestarikan sumber daya air. Tantangan ini menjadi lebih besar dengan meningkatnya aktivitas perkotaan, industri, agrokomples yang membuang sejumlah besar air limbah. Oleh karena itu, pelestarian sumber air dari pencemaran menjadi perhatian utama bagi semua pihak, masyarakat, industri, ilmuwan, peneliti, dan pengambil keputusan. Pada bab ini akan mengulas terkait dengan pencemaran di ekosistem air tawar yang meliputi pencemaran air sungai, danau dan waduk.

7.2 Pencemaran Air Sungai

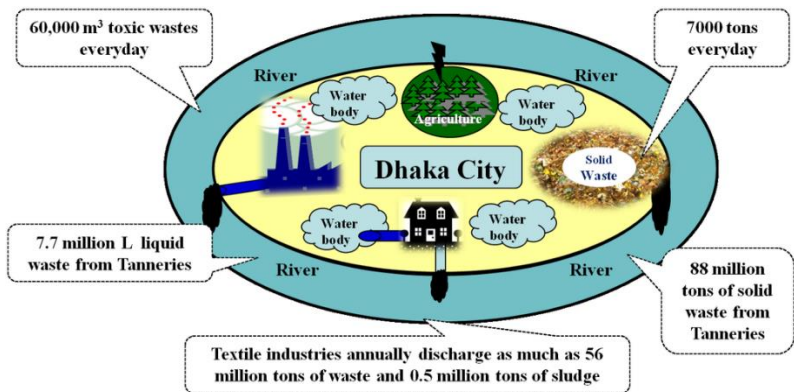
Sungai merupakan bagian dari perairan lotik yang menyediakan sumber air dan ruang kehidupan bagi makhluk hidup (Yu *et al.*, 2022). Sungai adalah tempat mengalirnya air yang bersumber dari mata air yang menyebar dari hulu hingga hilir. Berbagai macam organisme akuatik menjadikan sungai sebagai habitat, tempat mencari makan, dan bereproduksi sehingga dapat dikatakan sungai adalah rumah bagi organisme akuatik.

Saat ini, beberapa kota besar dunia dibangun dekat dengan sungai sehingga sungai menjadi perairan yang menerima limbah langsung dari daratan. Pencemaran sungai yang terjadi terus menerus akan mengakibatkan ekosistem sungai rusak parah (Wang *et al.*, 2012). Bahkan perairan sungai memberikan input pencemaran ke danau, waduk, hingga laut karena daerah alirannya

yang saling terhubung. Masuknya limbah berbahaya tidak hanya mencemari air sungai tetapi juga membawa sedimen serta mengganggu kehidupan akuatik. Berbagai aktivitas yang terjadi baik secara antropogenik maupun alami menjadi sumber pencemaran sungai.

7.2.1 Sumber Pencemaran Air Sungai

Sumber utama pencemaran air berasal dari limbah dan pengolahan air limbah itu sendiri yang tidak dikelola dengan baik. Limbah domestik, industri, serta limbah pertanian dan perkebunan termasuk sumber pencemaran yang dibuang ke sungai secara langsung maupun tidak langsung. Pemukiman yang dekat dengan sungai mengakibatkan penurunan kualitas air akibat aktivitas antropogenik. Ilustrasi sumber pencemaran dapat dilihat pada Gambar 7.2



Gambar 7.1 Sumber Pencemaran di Sungai Kota Dheka, Bangladesh
(Sumber : Islam *et al.*, 2015)

Secara umum, sumber pencemaran dibagi menjadi dua kategori: sumber titik yang dikenal dengan sumber tetap dan sumber non-titik atau sumber tidak tetap (Zakariah *et al.*, 2022). Sumber titik artinya beban yang dihasilkan berasal dari limbah industri, sedangkan sumber non-titik terdiri dari limbah domestik, pertanian, perkebunan, perikanan. Berikut beberapa penjelasan tentang sumber pencemaran air sungai:

➤ Limbah domestik

Limbah domestik adalah sumber pencemaran air sungai yang berasal dari permukiman masyarakat. Limbah domestik terbagi menjadi limbah organik (sisa bahan makanan) dan limbah anorganik (sampah plastik, buangan hasil rumah tangga seperti bahan kimia dari detergen bekas mencuci pakaian) (Larasati *et al.*, 2021). Limbah yang dihasilkan menyebabkan adanya peningkatan yang signifikan terhadap bahan organik sehingga hasil akhirnya adalah peningkatan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) di suatu perairan. Tingginya nilai COD dan BOD di perairan berpengaruh terhadap penurunan oksigen terlarut. Oksigen terlarut memegang peranan penting sebagai parameter kualitas air (Fadzry *et al.*, 2020) karena mikroorganisme memerlukan oksigen dalam memecah bahan organik di dalam air. Selain itu, kekurangan oksigen terlarut menyebabkan kematian terhadap organisme akuatik akibat dari kondisi *anoxia* (Daroini *et al.*, 2020).

Limbah domestik yang menyumbang input bahan organik masuk ke perairan menjadikan perairan akan terlampaui subur. Perairan yang terlalu subur akan menyebabkan eutrofikasi. Perairan subur menyebabkan tumbuhnya *cyanobacteria* di permukaan air dan alga hijau menjadi dominan sehingga sinar matahari terhalang, berlanjut pada kekurangan oksigen terlarut yang menyebabkan penguraian bahan

organik secara anaerobik dan beberapa plankton menghasilkan racun biologis yang membahayakan ikan.

Selain bahan organik langsung, eutrofikasi juga disebabkan oleh adanya senyawa fosfat dalam kandungan detergen (Larasati *et al.*, 2021). Perairan yang terlalu subur akibat pengayaan nutrisi merupakan cikal bakal *blooming* alga. Kondisi ini akan menutupi permukaan perairan sehingga menghambat proses fotosintesis dan juga proses pertukaran oksigen dari udara ke perairan. Wang *et al.* (2020) menambahkan bahwa eutrofikasi akan memengaruhi kelangsungan hidup organisme akuatik dan mengurangi keanekaragaman hayati.

Di sisi lain, limbah domestik dengan kuantitas yang lebih besar di sungai adalah sampah plastik. Sungai menjadi limpasan sampah plastik pertama oleh masyarakat dengan alasan praktis sehingga tidak dapat dihindarkan (Arni dan Susilawati, 2022). Proses masuknya plastik di sungai sangatlah kompleks. Penyebaran dan akumulasi plastik di sungai berkaitan dengan hidrometeorologi seperti angin, kecepatan dan debit aliran sungai, dan limpasan akibat curah hujan, serta pembuangan sampah yang tidak tepat (van Emmerik *et al.*, 2022). Sampah plastik menjadi masalah darurat yang memiliki resiko tinggi terhadap kesehatan ekosistem atau lingkungan serta kehidupan makhluk hidup (van Emmerik dan Schwarz, 2020). Plastik berasal dari bahan yang tidak bisa terurai secara biologi, tapi dapat menjadi partikel-partikel kecil melalui mekanisme fisik oleh radiasi ultraviolet (Vermaire *et al.*, 2017) sehingga memiliki rentang penyebarannya luas dan dalam jangka waktu yang terbilang lama. Adanya partikel plastik baik makro maupun mikro di kolom perairan sangat membahayakan.

➤ Industri

Berbagai industri di dunia semakin berkembang pesat hingga saat ini. Seiring perkembangan tersebut, juga dibarengi dengan permasalahan yang beresiko tinggi terhadap lingkungan dan manusia. Kawasan industri dibangun berada dekat dengan sungai yang tentunya menghasilkan limbah. Limbah yang dihasilkan oleh industri yang tidak dilakukan pengelolaan dengan baik sehingga masuk ke perairan dan menurunkan kualitas air sungai. Industri yang tidak memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) masih banyak yang membuang limbahnya langsung ke saluran drainase yang pada akhirnya mencemari sungai (Rajput *et al.*, 2017; Irvan *et al.*, 2021).

Kegiatan industri menyebabkan pelepasan polutan ke perairan. Polutan yang dihasilkan meliputi total karbon organik dan senyawa yang mengandung unsur hara seperti nitrogen dan fosfor yang dapat menyebabkan eutrofikasi, serta logam berat diantaranya Cd, Pb, Hg, Ni, Mo, As, Co, Zn, Fe, Ti, Cu dan lain sebagainya. Berbagai macam logam berat tersebut berasal dari industri seperti pembakaran fosil, pertambangan dan manufaktur, perusahaan industri logam, kertas, tekstil, industri medis, kosmetik, dan makanan (Arif, 2020; Wang *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2020). Logam berat yang masuk ke perairan sungai sifatnya lebih beracun. Pada dasarnya, logam berat yang ada di lingkungan perairan berasal dari dua sumber yaitu proses pelapukan alami batuan serta fenomena alam seperti pelapukan, abrasi batuan dan juga dari sumber antropogenik (Sojka dan Jaskuła, 2022; Aziz *et al.*, 2023), namun konsentrasi logam berat yang paling banyak bersumber dari aktivitas antropogenik.

Distribusi logam berat secara spasial di sungai sejalan dengan distribusi air, semakin ke hilir maka penumpukan logam berat semakin tinggi (Gabrielyan *et al.*, 2018). Pencemaran logam berat di sungai merupakan masalah lingkungan di dunia. Hal ini diperkuat oleh penelitian (Sojka dan Jaskula, 2022) bahwa logam berat berkontribusi memberikan efek racun terhadap biota perairan dan kesehatan manusia sehingga pencemaran ini menjadi masalah lingkungan dalam skala global.

➤ Pertanian dan perkebunan

Pertanian dan perkebunan merupakan kegiatan yang penting untuk pemenuhan pangan dunia serta sebagai salah satu sektor yang meningkatkan perekonomian suatu wilayah. Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam proses pertanian dan perkebunan menggunakan bahan kimia yang dampak secara tidak langsung terhadap perubahan lingkungan khususnya pencemaran sungai. Sektor ini biasanya berdampingan langsung dengan badan sungai sehingga input limbah dapat masuk ke perairan sungai. Penggunaan pupuk kimia serta pembasmi hama dan penyakit yang dilengkapi dengan bahan kimia menjadi salah satu masalahnya, contohnya adalah penggunaan pestisida. Berdasarkan penelitian (Zhou *et al.*, 2020; Setyaningsih dan Sanjaya, 2022) bahwa penggunaan pupuk dan pestisida bertanggungjawab atas sebagian besar penyebab pencemaran logam berat di sungai.

Pengelolaan kegiatan pertanian yang tidak tepat akan membawa dampak pada penurunan kualitas air sungai serta degradasi lahan. Hal ini disebabkan karena adanya residu dari kegiatan pertanian yang mengandung polutan seperti sedimen, nitrogen, dan pestisida yang terbawa bersama lumpasan permukaan menuju ke sungai. Selain itu, kegiatan pertanian juga menghasilkan limbah padat berupa plastik

pembungkus buah-buahan, polibag, mulsa dan lain-lain yang juga memengaruhi kualitas air sungai (Setyaningsih dan Sanjaya, 2022).

7.2.2 Potret Pencemaran Air Sungai

Pencemaran sungai merupakan masalah besar di banyak negara. Hal ini dapat menyebabkan manusia jatuh sakit, dan juga berkontribusi terhadap kepunahan spesies ikan. Banyak wilayah di dunia yang tidak memiliki undang-undang atau peraturan mengenai keamanan sungai dan kualitas air sungai. Beberapa sungai hingga saat ini bahkan mengalami kerusakan parah akibat berbagai pencemaran yang menimbulkan bahaya bagi kehidupan tumbuhan, hewan serta lingkungan. Salah satu potret yang dapat dilihat yaitu Sungai Citarum (Gambar 7.2)



Gambar 7.2 Potret Pencemaran Air Sungai Citarum
(Sumber : Mongobay.co.id)

Sungai Citarum, Indonesia telah dinobatkan sebagai salah satu sungai terkotor di dunia (Utami *et al.*, 2020; Sunardi *et al.*, 2021). Sepanjang Sungai Citarum didominasi oleh kegiatan manusia seperti industri, rumah tangga, pertanian dan perikanan yang merupakan penyebab utama pencemaran air di sungai. Beberapa studi telah dilakukan di Sungai Citarum yang menyebutkan bahwa air sungai telah tercemar berat (Shara *et al.*, 2021).

7.3 Pencemaran Air Danau dan Waduk

Danau dan Waduk merupakan perairan lentik atau perairan tergenang yang berperan penting dalam jasa ekosistem bagi makhluk hidup. Danau yang dikenal masyarakat umum adalah danau alami, sedangkan waduk disebut sebagai danau buatan. Namun, danau dan waduk memiliki sejumlah karakteristik yang berbeda secara signifikan. Danau dan waduk banyak dimanfaatkan sebagai sumber air minum, perikanan, sumber air irigasi pertanian, serta pariwisata (Marselina dan Burhanudin, 2017; Zhang *et al.*, 2023). Beberapa dekade terakhir muncul ancaman global seperti spesies invasi, perubahan iklim, intensifikasi penggunaan lahan, dan kekurangan air yang mendorong terjadinya perubahan pada danau dan waduk (Ho dan Goethals, 2019). Di bawah tekanan kontaminan yang ada dan yang baru muncul, ekosistem lotik menjadi semakin rentan terhadap kerusakan ekologi.

Aktivitas manusia yang menyumbang pencemaran di danau dan waduk adalah sektor perikanan, kegiatan wisata yang tidak memerhatikan perairan sekitar (Shen *et al.*, 2020), limbah domestik, pertanian (Sudarmadji dan Pudjiastuti, 2018), serta industri di sekitar perairan danau dan waduk. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian Akoto dan Abankwa (2014) bahwa beberapa faktor yang ditemukan menjadi sumber pencemaran di waduk adalah pertanian, limbah domestik yang menyumbang bahan organik, dan limbah organik dan anorganik. Ancaman yang menjadi fokus pada sub bab ini adalah pencemaran yang erat kaitannya dengan tekanan antropogenik.

7.3.1 Sumber Pencemaran Air Danau dan Waduk

➤ Limbah Domestik

Perkembangan suatu daerah dibarengi dengan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat yang juga akan meningkatkan jumlah sampah yang dihasilkan. Produksi sampah akan memberikan tekanan terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik yang pada akhirnya masuk ke badan air. Meningkatnya beban pencemaran juga disebabkan oleh kebiasaan masyarakat membuang limbah domestik baik limbah cair maupun limbah padat langsung ke perairan.

Sama halnya seperti di perairan sungai, limbah organik yang masuk ke badan danau dan waduk menyebabkan eutrofikasi. Eutrofikasi danau dan waduk merupakan masalah kualitas air utama yang menimbulkan ancaman terhadap lingkungan, ekonomi, dan sosial di seluruh dunia. Hal ini dapat mengakibatkan dampak buruk seperti berkurangnya kadar oksigen dalam air setelah alga atau tumbuhan air mati, terjadinya kematian organisme lain seperti ikan karena berkurangnya kadar oksigen, muncul bau dan rasa yang tidak sedap pada air, dan berkurangnya kawasan rekreasi atau wisata akibat dari permasalahan estetika (Wagner and Erickson, 2017). Namun, pengayaan organik juga sering kali berupa pertumbuhan fitoplankton baik pertumbuhan *cyanobacteria* maupun eukariotik (Davis and Koop, 2006).

Limbah padat juga turut menyumbang pencemaran air danau dan waduk, apalagi waduk yang tentunya menerima aliran air masuk dari beberapa aliran sungai yang mengalir deras ke perkotaan yang mengalami urbanisasi. Kegiatan-kegiatan dari perkotaan yang menghasilkan sejumlah limbah dalam jumlah besar yang dibuang ke sungai dan mengalir ke waduk (Akoto dan Abankwa, 2014). Limbah dengan kontaminasi bahan kimia di badan air menyebabkan kerusakan dan perubahan pada hati ikan, yang dapat berdampak buruk pada sumber daya perikanan

di suatu perairan seperti yang terjadi di Danau Victoria (Badamasi *et al.*, 2019). Seiring berjalannya waktu, akan memberikan efek domino yang pada akhirnya berdampak negatif pada masyarakat yang mengkonsumsi ikan tersebut.

➤ **Pariwisata**

Kegiatan wisata dapat menambah nilai perekonomian suatu daerah, namun juga sebagai media masuknya pencemaran di lingkungan perairan. Para wisatawan masih banyak yang tidak memiliki kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan, salah satunya terkait sampah plastik. Polusi plastik di lingkungan perairan akhir-akhir ini mendapat perhatian global. Hasil penelitian (Kasamesiri *et al.*, 2023) di Waduk Ubolratana, Thailand membuktikan bahwa sumbangan mikroplastik dari kawasan wisata mencapai tingkat yang sangat tinggi berdasarkan indeks beban pencemaran.

➤ **Perikanan**

Danau dan waduk dijadikan sebagai media budidaya yakni dengan menggunakan keramba jaring apung pada badan air dan tidak dapat dipungkiri bahwa hal ini yang sering menyumbang pencemaran air. Mekanisme input pencemaran dari kegiatan budidaya tersebut adalah dari sejumlah nutrisi dan bahan organik yang berasal dari pakan yang tidak dimakan oleh ikan, serta kotoran atau feses ikan dan hasil ekskresi metabolisme (Varol, 2019). Adanya keramba jaring apung yang mendominasi di kawasan danau dan waduk meningkatkan total fosfor dan nitrogen (Marselina dan Burhanudin, 2017). Tidak hanya itu, limbah yang dihasilkan dari kegiatan budidaya di danau dan waduk juga menyebabkan peningkatan konsentrasi bahan organik dan padatan tersuspensi, serta penurunan kadar oksigen di kolom air (Varol, 2019). Juga diperkuat dari hasil penelitian Wisnu *et al.*, (2019) di Danau Cilala, Kabupaten Bogor bahwa kualitas air di danau tersebut menjadi menurun akibat dari kegiatan budidaya ikan. Hal ini karena tingginya konsentrasi nitrat dan BOD di perairan sehingga

menyebabkan eutrofikasi atau pengayaan yang tidak terkontrol.

7.3.1 Potret Pencemaran Air Danau dan Waduk

Perairan danau dan waduk pada umumnya dianggap sebagai sumber daya milik Bersama atau *common property* di Indonesia sehingga dapat dimanfaatkan dan dieksploitasi secara bebas tanpa Batasan. Pemanfaatan air danau dan waduk semakin intensif, baik oleh masyarakat setempat maupun oleh berbagai sektor. Salah satu danau yang dimanfaatkan oleh berbagai *stakeholders* adalah Danau Toba yang memiliki peran multisektor untuk kepentingan lokal, nasional, maupun internasional (Lukman *et al.*, 2019). Pemanfaatan Danau Toba yang intensif untuk tujuan wisata dan daerah penangkapan ikan serta budidaya ikan memberukan dampak pencemaran perairan. Potret pencemaran air Danau Toba terlihat pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3 Potret Pencemaran Air Danau Toba
(Sumber : Mongabay.co.id)

Waduk Cirata merupakan bagian yang memperoleh input air dari DAS Citarum dengan peruntukannya untuk berbagai sektor seperti akuakultur, wisata, sarana transportasi (Nurfadhilla *et al.*, 2020). Keberadaan Waduk Cirata yang terletak di Sungai Citarum menjadikan Cirata semakin rentan tercemar oleh bahan pencemar organik dan anorganik yang berasal dari hulu Sungai Citarum. Kehadiran bahan organik dalam jumlah besar sehingga terjadi eutrofikasi memberikan kontribusi negatif karena Waduk Cirata juga digunakan sebagai penyedia listrik di Indonesia (Ariyani *et al.*, 2019). Terlihat pada

Gambar 7.4, potret pencemaran air Waduk Cirata yakni *blooming* tumbuhan air. Beberapa ikan yang ada di waduk ini tentunya adalah jenis ikan yang dapat hidup pada kondisi oksigen yang rendah.

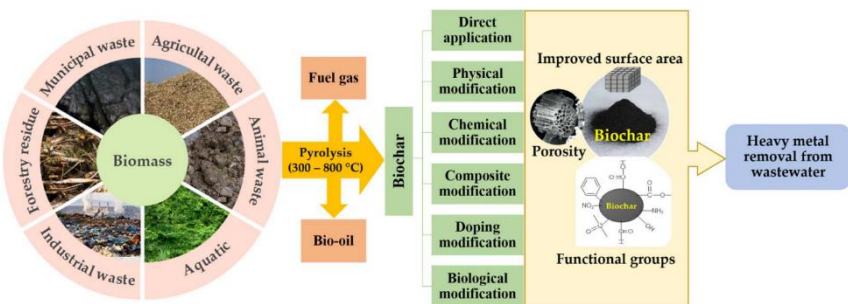


Gambar 7.4 Potret Pencemaran Air Waduk Cirata
(Sumber : Mongabay.co.id)

7.4 Pengendalian Pencemaran Air Tawar

Perlu segera dilakukan pengendalian pencemaran air karena masalah lingkungan ini sangat memengaruhi kehidupan makhluk hidup. Berbagai sumber dan dampak akibat pencemaran sudah tidak dapat dihindarkan, beberapa pengendalian yang bisa diterapkan yaitu:

1. Melakukan penerapan standar emisi logam yang ketat, pembatasan kandungan dan konsentrasi logam dalam produk industri, dan pengolahan awal limbah yang terkontaminasi logam



Gambar 7.5 Metode Absorpsi Logam Berat Pada Air Limbah dengan *Biochar*

(Sumber : Hama Aziz *et al.*, 2023)

2. Meningkatkan monitoring dan evaluasi pembuangan air limbah perairan, melakukan inventarisasi dan identifikasi sumber pencemaran, serta penentuan *carrying capacity* atau daya dukung beban pencemaran (Ramadhiani dan Suharyanto, 2021)
3. Remediasi air yang tercemar menggunakan teknik rekayasa ekologi melalui proses biologis dan kimia (Anawar dan Chowdhury, 2020)
4. Menentukan titik sumber pencemaran serta melakukan pengendalian dari sumber tersebut secara berkala pada kurun waktu yang telah ditentukan (Taraki *et al.*, 2022)

Selain beberapa pengendalian tersebut, tentunya yang paling penting adalah kesadaran dari semua *stakeholders* untuk menjaga lingkungan perairan khususnya sungai, danau, waduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Akoto, O. and Abankwa, E. (2014) 'Evaluation of Owabi Reservoir (Ghana) water quality using factor analysis', *Lakes and Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 19(3), pp. 74–182. <https://doi.org/10.1111/lre.12066>.
- Anawar, H.M. and Chowdhury, R. (2020) 'Remediation of polluted riverwater by biological, chemical, ecological and engineering processes', *Sustainability (Switzerland)*, 12(17). <https://doi.org/10.3390/su12177017>.
- Arif, A. (2020) 'Water pollution and industries', *Pure and Applied Biology*, 9(4). <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90237>.
- Ariyani, M. *et al.* (2019) 'Assessment of seasonal trophic state of tropical man-made lake, the Cirata Reservoir', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 277(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/277/1/012030>.
- Arni, A. and Susilawati (2022) 'Pencemaran air sungai akibat pembuangan sampah di desa bagan kuala tanjung beringin Kabupaten Serdang Bedagai', *Nautical: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(4), pp. 241–245.
- Azizid Daroini, T. *et al.* (2020). Analisis Bod (Biological Oxygen Demand) Di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan, *Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(4), pp. 558–556. <https://doi.org/10.21107/jjuvenil.v1i4.9037ABSTRAK>.
- Badamasi, I., Odong, R. and Masembe, C. (2019) 'Implications of increasing pollution levels on commercially important fishes in Lake Victoria', *Journal of Great Lakes Research*, 45(6), pp. 1274–1289. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.09.024>.
- Balian, E. V. *et al.* (2008) 'An introduction to the Freshwater Animal Diversity Assessment (FADA) project', *Hydrobiologia*, 595(1), pp. 3–8. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9235-6>.
- Bhadauria, S., Rajput, R.S. and Pandey, S. (2017) 'Status of water pollution in relation to industrialization in Rajasthan', *Reviews on Environmental Health*, 32(3), pp. 245–252. Available at: <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0069>.

- Davis, J.R. and Koop, K. (2006) 'Eutrophication in Australian rivers, reservoirs and estuaries - A southern hemisphere perspective on the science and its implications', *Hydrobiologia*, 559(1), pp. 23–76. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10750-005-4429-2>.
- van Emmerik, T. *et al.* (2022) 'Rivers as Plastic Reservoirs', *Frontiers in Water*, 3(January), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.786936>.
- van Emmerik, T. and Schwarz, A. (2020) 'Plastic debris in rivers', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(1), pp. 1–24. Available at: <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>.
- Fadzry, N., Hidayat, H. and Eniati, E. (2020) 'Analisis COD, BOD dan DO pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Balai Pengelolaan Infrastruktur Air Limbah dan Air Minum Perkotaan Dinas PUP-ESDM Yogyakarta', *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(2), pp. 80–89.
- Gabrielyan, A. V., Shahnazaryan, G.A. and Minasyan, S.H. (2018) 'Distribution and Identification of Sources of Heavy Metals in the Voghji River Basin Impacted by Mining Activities (Armenia)', *Journal of Chemistry*, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/7172426>.
- Hama Aziz, K.H. *et al.* (2023) 'Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review', *RSC Advances*, 13(26), pp. 17595–17610. Available at: <https://doi.org/10.1039/d3ra00723e>.
- Ho, L.T. and Goethals, P.L.M. (2019) 'Opportunities and challenges for the sustainability of lakes and reservoirs in relation to the Sustainable Development Goals (SDGs)', *Water (Switzerland)*, 11(7), pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.3390/w11071462>.
- Irvan *et al.* (2021) 'The effect of industrial waste on the water quality of Padang River in the industrial area of Tebing Tinggi', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122(1), p. 012072. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1122/1/012072>.

- Islam, M.S. *et al.* (2015) 'Alteration of water pollution level with the seasonal changes in mean daily discharge in three main rivers around Dhaka City, Bangladesh', *Environments - MDPI*, 2(3), pp. 280–294. Available at: <https://doi.org/10.3390/environments2030280>.
- Kartamihardja, E.S., Purnomo, K. and Umar, C. (2017) 'Sumber Daya Ikan Perairan Umum Daratan Di Indonesia-Terabaikan', *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 1(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.15578/jkpi.1.1.2009.1-15>.
- Kasamesiri, P., Panchan, R. and Thaimuangphol, W. (2023) 'Spatial-Temporal Distribution and Ecological Risk Assessment of Microplastic Pollution of Inland Fishing Ground in the Ubolratana Reservoir, Thailand', *Water (Switzerland)*, 15(2). Available at: <https://doi.org/10.3390/w15020330>.
- Larasati, N.N. *et al.* (2021) 'Kandungan Pencemar Detejen Dan Kualitas Air Di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang', *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i1.9470>.
- Li, Y. *et al.* (2022) 'Water Quality Characteristics and Source Analysis of Pollutants in the Maotiao River Basin (SW China)', *Water (Switzerland)*, 14(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/w14030301>.
- Lukman, L. *et al.* (2019) 'Pollution loads and its impact on Lake Toba', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 299(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/299/1/012051>.
- Mansyur, A.R. (2020) 'Dampak COVID-19 Terhadap Dinamika Pembelajaran Di Indonesia', *Education and Learning Journal*, Vol. 1, No, pp. 113–123.
- Marselina, M. and Burhanudin, M. (2017) 'Trophic Status Assessment of Saguling Reservoir, Upper Citarum Basin, Indonesia', *Air, Soil and Water Research*, 10. Available at: <https://doi.org/10.1177/1178622117746660>.
- Nurfadhilla, N. *et al.* (2020) 'Tingkat Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) pada Tutut (*Filopaludina javanica*) di Waduk Cirata Jawa Barat', *Akuatika Indonesia*, 5(2), p. 61. Available at: <https://doi.org/10.24198/jaki.v5i2.27268>.

- Pohorille, A. and Pratt, L.R. (2012) 'Is Water the Universal Solvent for Life?', *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 42(5), pp. 405–409. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11084-012-9301-6>.
- Ramadhiani, A.F. and Suharyanto (2021) 'Analysis of river water quality and pollution control strategies in the upper Citarum River', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012052>.
- Schofield, K.A. *et al.* (2018) 'Biota Connect Aquatic Habitats throughout Freshwater Ecosystem Mosaics', *Journal of the American Water Resources Association*, 54(2), pp. 372–399. Available at: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12634>.
- Setyaningsih, W. and Sanjaya, R.S. (2022) 'The impact of agricultural waste on river water quality of kreo watershed in Semarang city', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1041(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1041/1/012083>.
- Shara, S., Moersidik, S.S. and Soesilo, T.E.B. (2021) 'Potential health risks of heavy metals pollution in the Downstream of Citarum River', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012061>.
- Shen, C.C. *et al.* (2020) 'Research on the impact of tourism development on the sustainable development of reservoir headwater area using china's tingxi reservoir as an example', *Water (Switzerland)*, 12(12), pp. 1–19. Available at: <https://doi.org/10.3390/w12123311>.
- Sojka, M. and Jaskuła, J. (2022) 'Heavy Metals in River Sediments: Contamination, Toxicity, and Source Identification—A Case Study from Poland', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17). Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph191710502>.

- Sudarmadji and Pudjiastuti, H. (2018) 'Impacts of Agricultural Practices and Tourism Activities on the Sustainability of Telaga Warna and Telaga Pengilon Lakes, Dieng Plateau, Central Java', *E3S Web of Conferences*, 31, pp. 4–10. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183108030>.
- Sunardi, S. *et al.* (2021) 'Citarum River Water Pollution and Stress Responses in The Tolerant and Sensitive Fish', *Indonesian Journal of Limnology*, 2(1), pp. 53–64. Available at: <https://doi.org/10.51264/inajl.v2i1.10>.
- Taraki, T.Y. *et al.* (2022) 'Impacts of the river water pollution control on the health of aquatic animals in downstream', *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 20(5), pp. 939–946. Available at: <https://doi.org/10.22124/cjes.2022.6041>.
- Utami, A.W., Purwaningrum, P. and Hendrawan, D.I. (2020) 'The pollutant load in downstream segment of Citarum River, Indonesia', *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(1), pp. 3506–3510.
- Varol, M. (2019) 'Impacts of cage fish farms in a large reservoir on water and sediment chemistry', *Environmental Pollution*, 252, pp. 1448–1454. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.090>.
- Wagner, T. and Erickson, L.E. (2017) 'Sustainable Management of Eutrophic Lakes and Reservoirs', *Journal of Environmental Protection*, 08(04), pp. 436–463. Available at: <https://doi.org/10.4236/jep.2017.84032>.
- Wang, J., Liu, X.D. and Lu, J. (2012) 'Urban River Pollution Control and Remediation', *Procedia Environmental Sciences*, 13(2011), pp. 1856–1862. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.179>.
- Wang, Y. *et al.* (2020) 'Analysis and Prevention of Urban River Pollution', *Journal of Physics: Conference Series*, 1549(2). Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1549/2/022056>.

- Wisnu, R.P., Karuniasa, M. and Moersidik, S.S. (2019) 'The effect of fish aquaculture on water quality in Lake Cilala, Bogor Regency', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012111>.
- Yu, L., Liu, X. and Hua, Z. (2022) 'Occurrence, distribution, and risk assessment of perfluoroalkyl acids in drinking water sources from the lower Yangtze River', *Chemosphere*, 287, p. 132064. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132064>.
- Bin Zakariah, R. *et al.* (2022) 'Water Pollution and Water Quality Assessment on Sungai Batang Melaka River', *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(3), pp. 245–254. Available at: <https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.79685.3917>.
- Zhang, Yunlin *et al.* (2023) 'Importance and vulnerability of lakes and reservoirs supporting drinking water in China', *Fundamental Research*, 3(2), pp. 265–273. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.01.035>.
- Zhou, Q. *et al.* (2020) 'Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017', *Global Ecology and Conservation*, 22, p. e00925. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>.

BAB 8

BAKU MUTU, KRITERIA DAN INDEKS PENCEMARAN

Oleh Yus Isnainita Wahyu

8.1 Pendahuluan

Lingkungan harus terjamin kelestariannya ditengah kegiatan industri yang sedang berjalan. Kegiatan industri memberikan output dalam menghasilkan air limbah. Buangan proses produksi yang dihasilkan dari kegiatan industri cukup beragam kandungan yang terdapat didalamnya yang dapat mempengaruhi terhadap ekosistem perairan. Baku mutu air limbah diperlukan dalam hal menjamin keamanan dari air limbah yang dikeluarkan. Air limbah akan keluar terhadap lingkungan perairan seperti laut, Sungai dan selokan dimana air tersebut digunakan dalam beberapa ragam kegiatan seperti pertanian, perikanan dan perkebunan. Air limbah yang buruk akan menyebabkan rusaknya ekosistem sehingga air limbah yang dihasilkan harus memiliki standar yang tepat dalam rangka mengurangi dan menghilangkan bahaya yang ada pada air limbah yang dihasilkan. Jenis air limbah pada kegiatan perikanan banyak dihasilkan dari kegiatan budidaya ikan dan pengolahan ikan dengan karakteristik tersendiri sesuai dengan proses kegiatan perikanan yang dilakukan.

8.2 Pengenalan Baku Mutu dan Pencemaran

Baku mutu air buangan (limbah) diperlukan dalam kegiatan konservasi lingkungan. Industri menghasilkan limbah cair yang berpotensi menghasilkan pencemaran. Baku mutu limbah sendiri diartikan sebagai batas yang diijinkan bagi bahan atau zat yang dapat mencemari daerah perairan. Baku mutu ambien merupakan jumlah yang diperkenankan bagi zat/bahan yang dapat menyebabkan pencemaran di udara yang tidak menyebabkan gangguan terhadap benda, tumbuhan maupun terhadap makhluk hidup lainnya. Baku mutu pada air laut diartikan sebagai batas jumlah zat, energi, bahan pencemar yang masuk kedalam perairan laut. Sedangkan baku mutu limbah cair dikawasan industri merupakan batas jumlah maksimal yang dapat dibuang ke perairan (Atima, 2015).

Baku mutu merupakan acuan dasar dalam mengeluarkan air limbah ke luar lingkungan. Pengeluaran limbah tidak melampaui baku mutu yang sudah ditetapkan. Pengeluaran limbah ke lingkungan dapat mempengaruhi kualitas dari lingkungan hidup. Pembuangan limbah industri diperbolehkan selama tidak melewati baku mutu yang telah ditentukan (Gubernur Jawa Timur, 2014).

Pencemaran sendiri diartikan sebagai perubahan suatu kondisi asal ke kondisi yang lebih buruk. Pengertian lainnya adalah masuknya makhluk hidup, energi/komponen dan zat pada lingkungan sebagai akibat dari kegiatan yang dilakukan oleh manusia sehingga melebihi batas dari baku mutu terhadap lingkungan yang menjadi ketentuan. Pengertian lainnya adalah hasil dari aktivitas manusia yang dilakukan secara langsung atau tidak langsung pada lingkungan dan manusia yang dapat menyebabkan terjadinya bahaya. Intinya pencemaran merupakan aktivitas yang dilakukan oleh manusia dan berakibat negatif pada lingkungan (Dewata, Indang dan Danhas, 2018).

8.3 Penentuan Baku Mutu

Penentuan baku mutu air buangan atau limbah mengacu pada peraturan dari Kementerian Lingkungan Hidup yang dituangkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Pada peraturan tersebut dijelaskan bahwa pengolahan limbah produk domestik, bahan berbahaya dan beracun wajib memenuhi baku mutu air limbah yang menjadi ketentuan. Ketentuan mengenai baku mutu air limbah yaitu :

1. Air buangan yang dikeluarkan industri dan diterima oleh perairan seperti Sungai kelas 1 maka standar mengikuti yang telah ditetapkan pada baku mutu air limbah kelas 1 termasuk pada kegiatan industri yang belum memiliki baku mutu.
2. Jika kandungan *Biological Oxygen Demand* kurang dari 1500 ppm dan *Chemical Oxygen Demand* kurang dari 3000 ppm pada air buangan sebelum dilakukan proses pengolahan maka akan diterapkan baku mutu golongan 1 demikian juga pada usaha industri yang belum memiliki baku mutu.
3. Jika kandungan *Biological Oxygen Demand* kurang dari 1500 ppm dan *Chemical Oxygen Demand* kurang dari 3000 ppm pada air buangan kondisi awal sebelum dilakukan proses pembuangan dan penerima air buangan bukan Sungai kelas I maka dalam pembuangannya harus mengikuti baku mutu golongan II demikian juga pada industri yang baku mutunya belum ditetapkan.

Contoh baku mutu air limbah untuk kegiatan usaha perikanan seperti pada Tabel 8.1, Tabel 8.2 dan Tabel 8.3.

Tabel 8.1 Baku Mutu Dari Air Buangan Pembekuan Hasil Perikanan dengan Satu Jenis Kegiatan Pengolahan

Parameter	Kegiatan Pembekuan			
	Kadar (mg/L)	Beban dari Pencemaran (kg/ton)		
		Ikan	Udang	Lain-lain
Keasaman air (pH)	6-9			
Total Suspended Solid	100	1	3	1,5
Sulfida	-	-	-	-
Amonia	10	0,1	0,3	0,15
Klor Bebas	1	0,01	0,03	0,015
Biological Oxygen Demand (BOD)	100	1	3	1,5
Chemical Oxygen Demand (COD)	200	2	6	3
Minyak-Lemak	15	0,15	0,45	0,225
Kuantitas Air Limbah (m ³ /ton)		10	30	15

Sumber : (Kementrian Lingkungan Hidup, 2014)

Tabel 8.2 Baku Mutu Air Limbah Usaha Pengalengan Ikan dengan Satu Jenis Komoditas Produk Olahan

Parameter	Kegiatan Pengalengan			
	Kadar (mg/L)	Beban Pencemaran (kg/ton)		
		Ikan	Udang	Lain-lain
Derajat Keasaman (pH)	6-9			
TSS	100	1,5	3	2
Sulfida	1	0,015	0,03	0,02
Amonia	5	0,075	0,15	0,1
Klor Bebas	1	0,015	0,03	0,02
BOD	75	1,125	2,25	1,5
COD	150	2,25	4,5	3
Minyak-Lemak	15	0,225	0,45	0,3
Kuantitas Air Limbah (m3/ton)		15	30	20

Sumber : (Kementrian Lingkungan Hidup, 2014)

Tabel 8.3 Baku Mutu Air Buangan dari Usaha Penepungan Ikan dengan Satu Kegiatan Proses Pengolahan

Parameter	Kadar (mg per L)	Beban Pencemaran (kg per ton)
pH	6-9	
TSS	100	1,2
Sulfida	1	0,012
Amonia	5	0,06
Klor Bebas	-	-
BOD	100	1,2
COD	300	3,6
Minyak-lemak	15	0,18
Air Limbah secara kuantitas (m3/ton)		12

Sumber : (Kementrian Lingkungan Hidup, 2014)

8.4 Kriteria Pencemaran

Kualitas air pada suatu wilayah atau sumber tertentu tergantung pada parameter fisik, kimia, dan biologi yang dapat menilai kualitas air sesuai dengan tujuan penggunaan. Jika nilai parameter tertentu melebihi batas, maka dapat menyebabkan terjadinya ancaman bagi Kesehatan manusia. Kriteria pencemaran mengacu pada 12 kriteria yang umum digunakan yaitu pH, konduktansi listrik, suhu, kekeruhan, total padatan terlarut, oksigen terlarut, angka koliform, BOD, alkalinitas, klorida, total fosfat dan nitrit. Pada pencemaran berat indeks pencemaran logam berat memiliki kriteria utama dalam kualitas air. Nilai dari pencemaran logam berat bergantung pada konsentrasi maksimum yang diperbolehkan.

8.5 Indeks Pencemaran

8.5.1 Pengertian

Pencemaran dapat terjadi pada komponen lingkungan yang meliputi udara, tanah dan air. Indeks pencemaran diartikan sebagai batas standar yang diperbolehkan dan direkomendasikan oleh pemerintah atau standar internasional (Hossain & Patra, 2020). Menurut (Sari & Wijaya, 2019) merupakan metode yang digunakan dalam menentukan status dari kualitas air yang dilakukan dengan cara mengkomparasikan dari baku mutu yang ditentukan. Indeks pencemaran dibagi dalam beberapa kategori yaitu kategori ringan, sedang dan berat. Kategori tersebut sangat efektif dalam menilai kondisi pencemaran. Beberapa hal yang menjadi parameter adalah oksidasi ammonium, zat karbon terlarut, desentrifikasi, proses degradasi dan keseimbangan oksigen. Penentuan kategori indeks pencemaran dapat digolongkan dengan nilai sebagai berikut:

- Nilai 0-0,99 bagus

- Nilai 1 – 4,99 tercemar ringan
- Nilai 5 – 9,99 tercemar sedang
- Nilai 10- ke atas tercemar berat

8.5.2 Perhitungan dan Interpretasi Indeks Pencemaran

Beban pencemaran perhari untuk mendapatkan kondisi optimal (maksimum) dihitung dengan rumus dibawah ini (Gubernur Jawa Timur, 2014):

$$BPM_1 = BPM \times Pb/H$$

Keterangan :

- BPM : Merupakan beban maksimum pencemaran dari industri yang diijinkan dalam 1 hari
- BPM : Kilogram ukuran pencemar dalam satuan produk
- Pb : merupakan produk real dalam 1 bulan (per satuan produk)
- H : hari produksi dalam 1 bulan

Perhitungan beban dari pencemaran maksimul yang sebenarnya dapat diperhitungkan sesuai dengan aturan (Gubernur Jawa Timur, 2014) dengan rumus :

$$BPA_j = (CA)_j \times Dp \times f$$

Keterangan :

- BPA_j : Nilai dari beban pencemaran perhari actual kg parameter per hari
- (CA)_j : Kadar sebenarnya unsur pencemar j dinyatakan dalam g per m³
- Dp : Hasil penilaian debit dari air limbah dinyatakan dalam m³ per hari

f : Faktor konversi yang dinyatakan dalam 1 per 1000

Beban terhadap pencemaran memenuhi nilai ketentuan sebagai berikut:

PBM kurang dari BPA

BPM_i kurang dari BPA_j

Tingkat pencemaran dapat dilakukan dengan mengacu pada (Sari & Wijaya, 2019) sebagai berikut :

$$IP_j = \sqrt{\frac{\left(\frac{Ci}{Lij}\right)^2 M + \left(\frac{Ci}{Lij}\right)^2 R}{2}}$$

Keterangan :

IP_j : Indeks Pencemaran untuk j

C_i : Jumlah untuk parameter pada kualitas air

L_{ij} : Jumlah untuk parameter kualitas air I dalam baku untuk air j

M : Nilai Maksimal

R : Nilai Rerata

Besaran Nilai kualitas air IP ditetapkan dengan hasil perolehan nilai maksimum dan nilai rerata sesuai dengan jumlah konsentrasi pada parameter nilai standar baku.

DAFTAR PUSTAKA

- Atima, W. (2015). Bod Dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah. *Biosel: Biology Science and Education*, 4(1), 83. <https://doi.org/10.33477/bs.v4i1.532>
- Dewata, Indang dan Danhas, Y. H. (2018). *Pencemaran Lingkungan* (I). PT. RajaGrafindo Persada.
- Gubernur Jawa Timur. (2014). Perubahan Atas Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya. *Perubahan Atas Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya*, 9(August), 10.
- Hossain, M., & Patra, P. K. (2020). Water pollution index – A new integrated approach to rank water quality. *Ecological Indicators*, 117(May), 106668. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106668>
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2014). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. *Kementrian Lingkungan Hidup*, 49. <https://toolsfortransformation.net/wp-content/uploads/2017/05/51-tahun-1995-Baku-mutu-limbah-cair-industri.pdf>
- Sari, E. K., & Wijaya, O. E. (2019). Penentuan Status Mutu Air Dengan Metode Indeks Pencemaran Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai Ogan Kabupaten Ogan Komering Ulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 486. <https://doi.org/10.14710/jil.17.3.486-491>

BIODATA PENULIS



Putri Nurhanida Rizky, S.Kel., M.P., M.Sc

Dosen Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Sidoarjo tanggal 22 Desember 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 dengan program Double Degree pada Program Studi Budidaya Perairan di Universitas Brawijaya, Malang dan Program Studi Aquatic Animal Health Management di National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan. Penulis menekuni keahlian di bidang Budidaya Perikanan dan Manajemen Kesehatan Ikan. Penulis juga aktif mengikuti berbagai seminar nasional hingga internasional. Penulis aktif menulis di berbagai jurnal ilmiah dan telah menghasilkan beberapa buku dalam bidang keilmuan perikanan.

BIODATA PENULIS



Akmaluddin

Penulis lahir di Kota Sengkang, Kabupaten Wajo pada tahun 1987. Setelah lulus dari SMA pada 2006, melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar. Lulus strata satu (S1) sebagai sarjana perikanan pada 2011 pada prodi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, tahun yang sama melanjutkan strata dua (S2) pada program studi Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin, dan selesai tahun 2014.

Saat ini penulis merupakan staf pengajar pada prodi Budidaya Perairan Jurusan Perikanan Universitas Muhammadiyah Makassar sejak tahun 2014 hingga saat ini. Penulis juga merupakan Anggota Muda Persatuan Insinyur Indonesia (PII) sejak tahun 2021 Bidang Teknik Perikanan dan Kelautan yang masih dibawah Badan Kejuruan Teknik Kehutanan dengan posisi Insinyur Profesional Madya. Penulis juga tersertifikasi oleh BNSP dibidang PenanggungJawab Pengendalian Pencemaran Air (PPPA) sejak tahun 2022. Penulis juga aktif mengikuti perkembangan teknologi digital dengan mengikuti pelatihan dan dinyatakan lulus pada Bidang Kecerdasan Buatan (Artificial Inteligent) untuk dosen dan Internet Of Things : Smart Aquaculture oleh Program Digitalent Scholarship Kementerian Informasi dan Komunikasi RI. Penulis juga adalah Narasumber pada Tema Digital Marketing dan Mikro

Mentor UMKM Maju Digital. Sejumlah publikasi ilmiah telah dihasilkan penulis dan diterbitkan pada jurnal dan prosiding baik level nasional maupun internasional. Saat ini penulis dilibatkan sebagai Sekretaris Tim Persiapan Pembukaan Prodi Profesi Insinyur bidang Teknik Kehutanan dan Rumpun ilmu Hayati Universitas Muhammadiyah Makassar setelah mendapat mandat dari Badan Kejuruan Teknik Kehutanan PII pusat, Dirjen Dikti Kemenristek dikti, dan Pimpinan Unismuh Makassar. Beberapa Book Chapter hasil kolaborasi dengan beberapa penulis yaitu Teknologi Penangkapan Ikan, Teknologi Budidaya Perairan, dan Ekonomi Perikanan.

BIODATA PENULIS



Widya Rahayu, S. Pi., M. P

Dosen Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan
Fakultas Pertanian Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan
Barat

Penulis lahir di Pontianak pada tanggal 19 Juli 1996. Pada tahun 2014 penulis memasuki Program Sarjana di Universitas Brawijaya Malang mengambil Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan Magister Program Studi Budidaya Perairan Universitas Brawijaya.

Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Barat sejak tahun 2021. Mata kuliah yang diampu penulis adalah Manajemen Sumberdaya Perairan, Manajemen Sumberdaya Perikanan, Pesisir Laut Terpadu dan lain- lain yang saling berkaitan dengan tema buku ini.

BIODATA PENULIS



Niken Prawesti Listyaningrum, S.Pi, MP

Dosen Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Surakarta pada tahun 1981. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tahun 2005 dan melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Brawijaya Malang. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan di Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo sejak tahun 2006. Selain aktif mengajar, penulis juga menekuni bidang menulis karya ilmiah baik secara mandiri maupun kolaborasi dengan penulis atau peneliti lainnya, baik dalam bentuk jurnal, prosiding, makalah maupun buku.

BIODATA PENULIS



Setyawan Dwi Nugroho, S.T, MT

Dosen Program Studi Mekanisasi Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Klaten pada tahun 1981. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Mekaisasi Perikanan di Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo sejak tahun 2006. Pada tahun 2005, penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Muhamadiyah Surakarta serta melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Brawijaya Malang. Selain aktif dalam pengajaran, penulis juga aktif melakukan penelitian baik secara mandiri maupun kolaborasi dengan tim peneliti lainnya. Disamping itu, penulis juga aktif menulis beberapa karya ilmiah baik dalam bentuk jurnal, buku maupun prosiding yang diseminarkan baik nasional maupun internasional.

BIODATA PENULIS



Adiara Firdhita Alam Nasyrh, S.Pi., M.Si

Dosen Program Studi Akuakultur

Fakultas Peternakan dan Perikanan Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Watampone tanggal 26 Juli 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Akuakultur/Budidaya Perairan, Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Perairan Institut Pertanian Bogor. Penulis menekuni bidang ekologi dan biologi ikan. Beberapa tulisan yang telah terbit dalam *book chapter* dengan judul *Konservasi Sumber Daya Ikan: Ancaman kepunahan ikan sungai* dan buku *Ekobiologi Ikan Persebaran dan Keragaman Ikan: Keragaman Ikan Sungai di Pulau Kalimantan*. Penulis mengampu mata kuliah iktiologi, biologi perikanan, planktonologi, toksikologi, dinamika populasi dan pendugaan stok, histologi, bioteknologi perikanan, dan pengantar oseanografi.

BIODATA PENULIS



Yus Isnainita Wahyu, S.Pi, M.P.

Dosen Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Pamekasan tanggal 01 September 1982. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo yang merupakan sekolah kedinasan dibawah Kementerian Kelautan dan Perikanan. Penulis menyelesaikan Pendidikan D3 jurusan Teknik Pengolahan Hasil Perikanan di Akademi Perikanan Sidoarjo dan melanjutkan S1 di Universitas Dr. Soetomo Surabaya Fakultas Perikanan, S2 ditempuh pada fakultas Teknologi Pertanian jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian di Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menekuni bida menulis dengan menghasilkan beberapa jurnal baik nasional dan Internasional bidang pengolahan hasil perikanan. Beberapa buku yang dihasilkan adalah Modul Manajemen Mutu Terpadu, Produk-produk Unggulan Wirausahawan Muda, Proyek Kewirasusahaan Bidang Kelautan dan Perikanan, Manajemen Induturi Perikanan dan Pengantar Bahan Baku Ikan.