

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/344149786>

Dasar-Dasar Kimia Air, Makanan dan Minuman

Book · April 2019

CITATIONS

2

READS

10,379

1 author:



[Indra Lasmana Tarigan](#)

Jambi University

82 PUBLICATIONS **268** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Indra Lasmana Tarigan, S.Pd., M.Sc.

Lahir di Pancur Batu, Sumatera Utara, pada tanggal 28 Mei 1992. Menyelesaikan S1 di Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Medan tahun 2014. Pendidikan S2 diselesaikan pada tahun 2018 di National Central University, Taiwan dengan Jurusan *Life Sciences* dengan konsentrasi Biokimia dan Biologi Molekuler.

Bekerja sebagai Dosen di STIKes Karya Putra Bangsa sejak 2018, mengampu mata kuliah Kimia Analisis Makanan, Biokimia, Biologi Sel dan Molekuler dan Kimia Medisinal serta beberapa mata kuliah yang berhubungan dengan Kimia ataupun Biokimia.



Media Nusa Creative
Anggota IKAPI (162/JTI/2015)
Bukit Cemara Tidar H5 No. 34 Malang
Telp : 0812 3334 0088
Email : mncpublishing.layout@gmail.com
Website : www.mncpublishing.com

ISBN 978-602-962-233-6

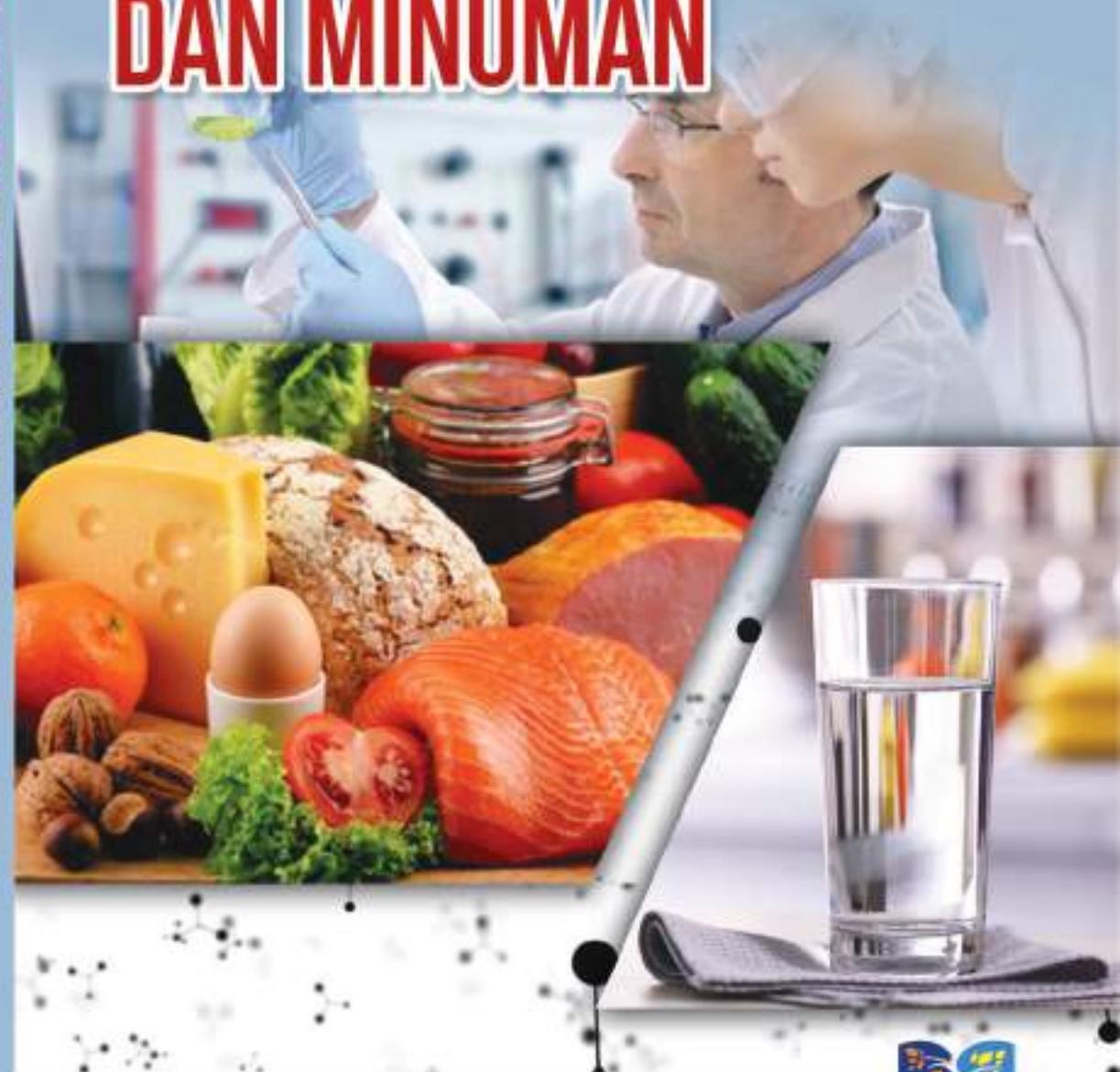


DASAR-DASAR

KIMIA AIR, MAKANAN DAN MINUMAN

Indra Lasmana Tarigan, S.Pd., M.Sc.

DASAR-DASAR KIMIA AIR, MAKANAN DAN MINUMAN



Indra Lasmana Tarigan, S.Pd., M.Sc.



DASAR-DASAR

KIMIA AIR

MAKANAN DAN MINUMAN

Oleh:

Indra Lasmana Tarigan, S.Pd., M.Sc.

Editor:

Anugrah Widiarsari
Nanda Dyah Kusumaningtyas



DASAR-DASAR KIMIA AIR MAKANAN DAN MINUMAN

© *Indra Lasmana Tarigan, 2019*

Penulis

Indra Lasmana Tarigan, S.Pd., M.Sc.

Editor

Anugrah Widiyasari

Nanda Dyah Kusumaningtyas

Desain Cover & Penata Isi

Tim MNC Publishing

Cetakan I, April 2019

Diterbitkan oleh :



Media Nusa Creative

Anggota IKAPI (162/JTI/2015)

Bukit Cemara Tidar H5 No. 34, Malang

Telp. : 0812.3334.0088

E-mail : mncpublishing.layout@gmail.com

Website : www.mncpublishing.com

MNC
PUBLISHING
FUTURE BOOKS WITH PASSION

ISBN: 978-602-462-233-6

Nomor HKI: 000139679

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ke dalam bentuk apapun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk fotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit. Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2000 tentang Hak Cipta, Bab XII Ketentuan Pidana, Pasal 72, Ayat (1), (2), dan (6)

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim. Puji dan Syukur kehadiran Allah Yang Maha Esa, akhirnya buku Dasar-Dasar Kimia Air, Makanan dan Minuman ini selesai kami susun. Maksud dari penerbitan buku ini adalah untuk bisa membantu mahasiswa Analisis Kesehatan, Farmasi maupun mahasiswa yang lainnya yang membutuhkan kajian dan mempelajari bidang ini. Dasar-Dasar Kimia Air, Makanan dan Minuman ini merupakan salah satu matakuliah yang diajarkan di beberapa program studi khususnya Ilmu Kesehatan. Terlebih dari itu, juga bertujuan untuk melengkapi kepustakaan di bidang Ilmu Kesehatan, Air, Makanan dan Minuman.

Buku Dasar-Dasar Kimia Air, Makanan dan Minuman ini menguraikan secara teoritis dan beberapa praktis hal-hal yang terkait dengan beberapa bahan, seperti air, mineral air, karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral serta bahan tambahan makanan. Beberapa metode analisa yang disajikan dalam buku ini adalah metode fisika, kimia, dan biologi bagi analisis air, serta metode titrimetric, spektrofotometri dan kromatografi dalam menganalisa makanan ataupun minuman.

Dalam penyusunan buku ini, tidak lupa kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak atas saran, komentar dan dorongan sehingga buku ini dapat hadir di khalayak pembaca semuanya.

Tiada gading yang tidak retak, begitu juga dengan buku ini. Akhirnya, kami mengharapkan saran, kritikan, dan masukan yang membangun demi perbaikan buku ini di masa yang akan datang. Kami berharap semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semuanya. Aamiin.

Tulungagung, Maret 2019

Indra Lasmana Tarigan.

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
BAB 1 Kimia Air.....	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Kimia Air	9
1.3. Sifat Fisika Air	12
1.4. Larutan dalam Air	13
1.5. Air dalam Bahan Makanan	14
1.6. Penentuan Kadar Air	18
1.7. Tugas Akhir Bab	20
BAB 2 Standar Kualitas Air.....	21
2.1. Parameter Fisika	22
1. Warna Air	22
2. Intensitas Cahaya	23
3. Suhu	25
4. Salinitas	26
5. Kecerahan	27
6. Kedalaman	28
7. Kecepatan Arus	29
8. Debit Air	31
9. Padatan Tersuspensi Total (TSS)	32
10. Padatan Terlarut Total (TDS)	33
11. Pasang Surut	34
12. Berat Jenis Air	35
13. Kekentalan	35
14. Tegangan Permukaan	36
2.2. Parameter Kimia	39
1. Derajat Keasaman (pH) Air	39
2. Oksigen Terlarut (DO)	40

3.	<i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i>	43
4.	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	45
5.	Kesadahan Air	46
6.	Alkalinitas	49
7.	Fosfat	50
8.	Amoniak	51
9.	Nitrat	52
2.3.	Parameter Biologi	53
1.	Plankton	55
2.	Benthos	56
3.	Nekton	58
4.	Neuston	59
5.	Perfiton	59
2.4.	Tugas Akhir Bab	60
BAB 3	Sampling Analisa Kualitas Air	61
3.1.	Pendahuluan	61
3.2.	Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel	64
3.3.	Penentuan Jumlah Titik Pengambilan Sampel Air Sungai	66
3.4.	Pengambilan Sampel Air di Danau / Waduk	68
3.5.	Teknik Penanganan Sampel	75
3.6.	Teknik Pengawetan Sampel	76
3.7.	Tugas Akhir Bab	80
BAB 4	Pengukuran Parameter Kualitas Air	81
4.1.	Persiapan Alat dan Bahan Pengukuran Kualitas Air	82
4.2.	Pengukuran Parameter Fisika	82
a.	Warna Air	82
b.	Intensitas Cahaya	83
c.	Suhu	83
d.	Kekeruhan	83
e.	Salinitas	85
f.	Kecerahan	87
g.	Kedalaman	87
h.	Kecepatan Arus	88

i. Debit Air	88
4.3. Pengukuran Parameter Kimia	89
1. pH Air	89
2. Oksigen Terlarut (DO)	93
3. <i>Biochemical Oxygen Demand</i>	95
4. Karbondioksida bebas (CO ₂)	95
5. COD (<i>Chemical oxygen Demand</i>)	96
6. TOM (<i>Total Organic Meter</i>)	97
7. Kesadahan Total	97
8. Alkalinitas	100
9. Fosfat	101
10. Amoniak	102
11. Nitrat	104
4.4. Pengukuran Parameter Biologi	104
1. Plankton	104
2. Bentos	108
3. Periphyton	109
4.5. Tugas Akhir Bab	110
BAB 5 Pencemaran Air	111
5.1. Sumber Pencemar	111
5.2. Bahan Pencemar (Polutan)	112
5.3. Jenis - Jenis Pencemar	115
BAB 6 Karbohidrat Bahan Makanan dan Minuman	133
6.1. Pendahuluan	134
6.2. Monosakarida	136
6.3. Disakarida	138
6.4. Oligosakarida	143
6.5. Polisakarida	145
6.6. Pati	148
6.7. Glikogen	148
6.8. Agarosa	149
6.9. Selulosa	150
6.10. Pektin	150
6.11. Kitin	151

6.12.	Tugas Akhir Bab	152
BAB 7	Lemak dan Minyak	153
7.1.	Klasifikasi Lemak dan Minyak	154
7.2.	Gliserol dan Asam Lemak Penyusun Struktur Lemak/Minyak	156
7.3.	Sifat Fisikokimia Asam Lemak	159
7.4.	Monogliserida dan Digliseridan	160
7.5.	Lemak dan Minyak	163
7.6.	Reaksi Kimia Lemak dan Minyak	169
7.7.	Sifat Fisikokimia Lemak dan Minyak	174
7.8.	Tugas Akhir Bab	181
BAB 8	Protein Bahan Makanan	183
8.1.	Siklus Protein	185
8.2.	Asam Amino	186
8.3.	Jenis Asam Amino	187
8.4.	Protein	189
8.5.	Struktur Kimia Protein	191
8.6.	Jenis Protein dalam Bahan Makanan	193
8.7.	Rasa Asam Amino Bebas dan Peptida	197
8.8.	Reaksi Kimia Protein dalam Sistem Pangan	200
8.9.	Tugas Akhir Bab	202
BAB 9	Vitamin dan Mineral	203
A. Vitamin	203
9.1.	Pendahuluan	203
9.2.	Vitamin A	204
9.3.	Vitamin D	208
9.4.	Vitamin E	210
9.5.	Vitamin K.....	213
9.6.	Tiamin	214
9.7.	Riboflavin	216
9.8.	Niasin	218
9.9.	Asam Pantotenat	219
9.10.	Vitamin B6	220

9.11. Biotin	221
9.12. Vitamin B12 (Kobalamin)	221
9.13. Asam Folat	223
B. Mineral	225
9.14. Analisis Mineral	227
9.15. Tugas Akhir Bab	232
BAB 10 Bahan Tambahan Makanan	233
10.1. Pendahuluan	233
10.2. Bahan Tambahan Makanan	235
10.3. Penggolongan Bahan Tambahan Makanan	236
10.4. Tugas Akhir Bab	255
DAFTAR PUSTAKA	257

BAB 1

KARAKTERISTIK AIR



1.1. Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk hajat hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Air berperan sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup dan fungsinya tidak akan pernah dapat tergantikan oleh senyawa lainnya. Air juga merupakan komponen penting dalam bahan makanan karena air dapat mempengaruhi penampakan, tekstur, serta cita rasa makanan kita. Bahkan dalam makanan kering sekalipun, seperti buah kering, tepung, serta biji-bijian, terkandung air dalam jumlah tertentu. Oleh karena itu, sumber daya air harus dilindungi agar tetap dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia serta makhluk hidup yang lain. Suplai air yang memuaskan (mencukupi, aman, dan dapat dijangkau) harus

tersedia untuk semua. Pemanfaatan air untuk berbagai kepentingan harus dilakukan secara bijaksana, dengan memperhitungkan kepentingan generasi sekarang maupun generasi mendatang. Aspek penghematan dan pelestarian sumber daya air harus ditanamkan pada segenap pengguna air. Meningkatkan akses pada air minum yang aman menghasilkan manfaat nyata bagi kesehatan. Setiap upaya harus dibuat untuk mencapai mutu air minum seaman yang dapat dilakukan.

Air juga merupakan media kehidupan biota air yang sangat menentukan berhasil tidaknya dalam suatu usaha budidaya perairan. Faktor penentu ini dikarenakan seluruh kehidupan biota air sangat bergantung pada kondisi air, antara lain; untuk kebutuhan respirasi, keseimbangan cairan tubuh, proses fisiologis serta ruang gerak. Kebutuhan kondisi air ini sangat berpengaruh pada pengkondisian kualitas yang sesuai dengan kebutuhan biota air. Air merupakan salah satu sumberdaya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi hidup dan kehidupan seluruh makhluk hidup, termasuk manusia. Air adalah asal muasal dari segala macam bentuk kehidupan di planet bumi ini. Dari air bermula kehidupan dan karena air peradaban tumbuh dan berkembang. Tanpa air, berbagai proses kehidupan tidak dapat berlangsung, sehingga penyediaan air baku untuk kebutuhan domestik, irigasi dan industri menjadi menjadi perhatian dan prioritas utama. Karena itulah Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) mendeklarasikan bahwa air merupakan hak azasi manusia; artinya, setiap manusia di muka bumi ini mempunyai hak dasar yang sama terhadap pemakaian air. Di Indonesia, hak masyarakat terhadap penggunaan air dijamin melalui Undang - Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, dan Undang-Undang No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.

Kualitas air pada kegiatan budidaya perairan mudah sekali berfluktuasi yang dipengaruhi oleh aktifitas kehidupan biota air itu sendiri maupun oleh lingkungan sekitarnya. Kecenderungan akibat pengaruh ini seringkali dapat menurunkan kualitas air yang dapat menyebabkan terganggunya fisiologis biota air. Untuk memudahkan pengelolaan dalam kualitas air, maka parameter kualitas air

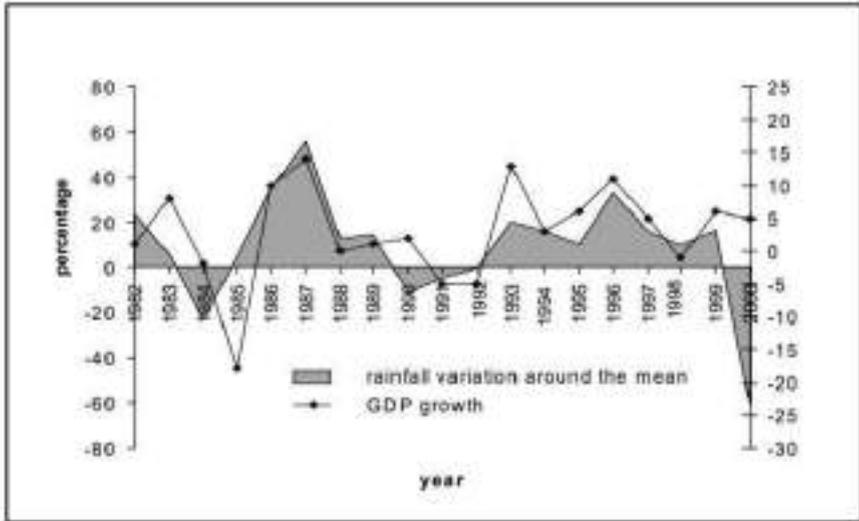
dibedakan dalam 3 bagian yaitu berdasarkan fisika, kimia dan biologi. Pengelolaan suatu kualitas air dilakukan dengan cara mengamati parameter-parameter kualitas air yang dibutuhkan. Oleh karena itu, dengan pemahaman yang baik tentang terminologi, karakteristik dan interkoneksi dari parameter-parameter kualitas air akan membantu dalam melakukan pengelolaan kualitas air yang sesuai untuk kegiatan budidaya perairan. Tuhan telah menciptakan alam semesta ini dengan segala keteraturannya. Dalam kegiatan budidaya perairan, keteraturan itu selalu ada. Oleh karena itu, segala sesuatu yang dipelajari dalam mata pelajaran pengelolaan kualitas air membuktikan adanya kebesaran Tuhan. Untuk menciptakan lingkungan hidup yang baik bagi biota air yang dipelihara dalam wadah budidaya, maka air sebagai media hidup harus dikelola agar memenuhi standar kualitas dan kuantitas yang sesuai dan memenuhi persyaratan kebutuhan biota air tersebut. Untuk hal tersebut, maka perlu dilakukan suatu pengelolaan kualitas air dengan baik.

Menurut Survei Geologi Amerika Serikat, sebagian besar air tawar (84,9 persen) dikurung sebagai es dalam gletser. Dari neraca, 14,16 persen merupakan air tanah, sedangkan di danau dan waduk ~ meningkat menjadi 0,55 persen. Lain 0,33 persen adalah dalam bentuk kelembaban tanah dan uap air atmosfer. Jadi, hanya sebagian kecil air tawar, yaitu 0,004 persen mengalir melalui sungai dan sungai. Volume air laut lima belas kali lebih besar dari air tawar. Oleh karena itu, kebutuhan untuk konservasi air tawar yang tersedia sudah jelas.

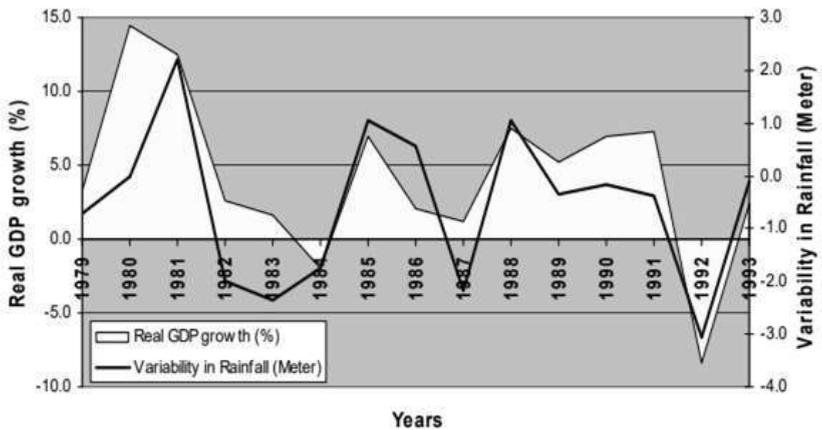
Perairan alami dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori: air laut (termasuk air estuaria) dan air tawar. Pada dasarnya, mereka menemukan penggunaan terbesar air ada pada industri dan pertanian. Hampir 90 persen air yang digunakan dalam industri adalah untuk keperluan pendinginan dan keseimbangan untuk pembangkitan uap. Air permukaan mungkin memiliki warna, bau, rasa, padatan yang tersuspensi, dll. Air tanah diharapkan bebas dari bau organik dan memiliki komposisi yang relatif kurang bervariasi pada sumber yang sama. Industri ini menggunakan air dari semua

jenis sumber daya air. Ini tidak terjadi dengan pertanian atau penggunaan domestik.

Hingga saat ini, masalah utama yang dihadapi oleh sumber daya air meliputi kuantitas air yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan yang terus meningkat dan kualitas air untuk keperluan domestik yang semakin menurun. Kegiatan industri, domestik, dan kegiatan yang lain berdampak negative terhadap sumber daya air, antara lain menyebabkan penurunan kualitas air. Kondisi ini dapat menimbulkan gangguan, kerusakan dan bahaya bagi semua makhluk hidup yang bergantung pada sumber daya air. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan dan perlindungan sumber daya air secara seksama. Pertama, adanya variasi musim dan ketimpangan spasial ketersediaan air. Pada musim hujan, beberapa bagian di Indonesia mengalami kelimpahan air yang luar biasa besar sehingga berakibat terjadinya banjir dan kerusakan lain yang ditimbulkannya. Di sisi lain, pada musim kering kekurangan air dan kekeringan menjadi bencana di beberapa wilayah lainnya. Permasalahan mendasar yang kedua adalah terbatasnya jumlah air yang dapat dieksplorasi dan dikonsumsi, sedangkan jumlah penduduk Indonesia yang terus bertambah menyebabkan kebutuhan air baku meningkat secara drastis. Masalah kualitas air semakin mempersempit alternatif sumber-sumber air yang bisa dimanfaatkan oleh masyarakat. Ketersediaan air sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia, bahkan air dapat menjadi salah satu factor penghambat pertumbuhan perekonomian suatu negara. Schouten (2006) memaparkan beberapa data yang menyajikan fakta bahwa air sangat penting peranannya dalam pembangunan ekonomi sebagaimana ditampilkan dalam gambar di bawah ini:



Gambar 1.1. Curah Hujan vs Pertumbuhan GDP di Etiopia (1982- 2000)
(Schouten, 2006)



Gambar 1.2. Curah Hujan vs Pertumbuhan GDP di Zimbabwe (1979- 2006)
(Schouten, 2006)

Dari hasil gambar diatas (gambar 1 dan gambar 2) kita dapat dengan sangat jelas melihat bahwa fluktuasi pertumbuhan ekonomi Etiopia dan Zimbabwe mempunyai pola yang sama dengan ketersediaan curah hujan di daerah tersebut. Dengan memperhitungkan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan akan air yang mengiringinya, masa depan neraca air, ketersediaan infrastruktur dan pelayanan sumber daya air nampaknya akan menjadi sangat timpang dan sensitif. Untuk itu dibutuhkan pengelolaan sumber daya air yang baik agar potensi yang ada dapat memberikan manfaat yang sebesar - besarnya bagi kepentingan masyarakat dalam segala bidang kehidupan.

Pengelolaan sumber daya air memiliki peran yang sangat penting, agar dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan dengan tingkat mutu yang diinginkan. Salah satu langkah pengelolaan yang dilakukan adalah pemantauan dan interpretasi data kualitas air, mencakup kualitas fisika, kimia, dan biologi. Namun, sebelum melangkah pada tahap pengelolaan, diperlukan pemahaman yang baik tentang terminologi, karakteristik, dan interkoneksi parameter-parameter kualitas air.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.20 tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air mendefenisikan beberapa peristilahan sebagai berikut:

1. Air, meliputi semua air yang terdapat di dalam dan atau berasal dari sumber air yang terdapat di atas permukaan tanah. Air yang terdapat di bawah permukaan tanah dan air laut tidak termasuk dalam pengertian ini.
2. Kualitas air, yaitu sifat air dan kandungan makhluk hidup, zat, energy, atau komponen lain di dalam air. Kualitas air dinyatakan dengan beberapa parameter, yaitu parameter fisika (suhu, kekeruhan, padatan terlarut, dan sebagainya), parameter kimia (pH, oksigen terlarut, BOD, kadar logam dan sebagainya), dan parameter biologi (keberadaan plankton, bakteri, dan sebagainya).
3. Pencemaran air, yaitu masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energy, dan atau komponen lain ke dalam air oleh

kegiatan manusia sehingga kualitas air menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan tidak lagi berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

4. Baku mutu air, yaitu batas atau kadar makhluk hidup, zat, energy, atau komponen lain yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang dapat ditenggang dalam sumber air tertentu, sesuai dengan peruntukannya.
5. Baku mutu limbah cair, yaitu batas kadar dan jumlah unsur penemaran yang dapat ditenggang keberadaannya di dalam limbah cair dari suatu jenis kegiatan tertentu yang akan dibuang.
6. Beban pencemaran, yaitu jumlah suatu parameter penemaran yang terkandung dalam sejumlah air atau limbah.
7. Daya tampung beban pencemaran, yaitu kemampuan air dalam sumber air untuk menerima beban pencemaran limbah tanpa mengakibatkan penurunan kualitas air sehingga melewati baku mutu air yang ditetapkan sesuai dengan peruntukannya.
8. Pengendalian, yaitu upaya pencegahan dan atau penanggulangan dan pemulihan. Pengendalian pencemaran air meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:
 - a. Inventarisasi kualitas dan kuantitas air dalam sumber air, menurut sistem wilayah tata pengairan.
 - b. Penetapan golongan air menurut peruntukannya, baku mutu air, dan baku beban pencemaran untuk golongan air tersebut, serta baku mutu limbah cair untuk setiap jenis kegiatan.
 - c. Pemantauan perubahan kualitas air pada sumber air dan evaluasi hasilnya.
 - d. Pengawasan terhadap penataan peraturan pengendalian pencemaran air, termasuk penataan mutu limbah cair serta penegakan hukumnya.

Dalam Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1990 Bab III Pasal 7, menggolongkan air menurut peruntukannya ditetapkan sebagai berikut:

Golongan A: Air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu;

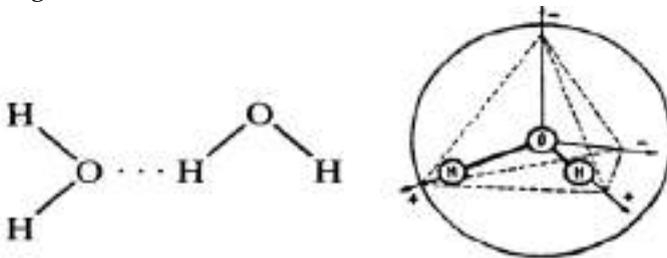
- Golongan B:** Air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum;
- Golongan C:** Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan;
- Golongan D:** Air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, pembangkit listrik tenaga air.

Sejak era reformasi hingga saat ini telah diterbitkan perundang-undangan dan peraturan pemerintah baik yang berhubungan langsung maupun tidak langsung dengan monitoring kualitas air. Perundang-undangan dan peraturan di bidang lingkungan dan sumber daya air yang telah diterbitkan dan memuat masalah manajemen dan monitoring kualitas air antara lain:

1. Undang Undang No 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air
2. Undang Undang No 32 Tahun 2009 tentang Lingkungan Hidup
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai
5. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air.
6. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 111 Tahun 2003 tentang Pedoman Mengenai Syarat dan Tatacara Perizinan Serta Pedoman Kajian Pembuangan Air Limbah ke Air atau Sumber Air
7. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
8. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air.

1.2. Kimia Air

Sebuah molekul air terdiri dari sebuah atom oksigen yang berikatan kovalen dengan dua atom hidrogen. Hidrogen dan oksigen mempunyai daya padu yang sangat besar antara keduanya. Keunikan air terjadi berkat pemaduan kedua unsuranya. Perangkaian jarak atom-atomnya mirip kunci yang masuk lubangnya, kecocokannya begitu sempurna, sehingga air tergolong senyawa alam yang paling mantap. Semua atom dalam molekul air terjalin menjadi satu oleh ikatan yang kuat, yang hanya dapat dipecahkan oleh perantar yang paling agresif, misalnya energy listrik atau zat kimia seperti logam kalium.



Gambar 1.3. Struktur Molekul Air.

Sebuah atom oksigen mempunyai sebuah inti dengan delapan proton, kulit elektron bagian dalam berisi dua elektron dan sebuah kulit elektron luar hanya berisi enam elektron, jadi masih belum penuh atau masih kekurangan elektron. Sedangkan sebuah atom hidrogen mempunyai kulit elektron tunggal di sekeliling intinya, yang berisi hanya satu elektron, jadi masih belum penuh atau kekurangan satu elektron. Kulit yang belum terisi penuh tersebut tidak mantap dan elektron-elektronnya cepat bergabung dengan elektron lain untuk memenuhi ruang dalam suatu kulit. Kulit yang telah terisi penuh merupakan bentuk yang mantap, dan setelah hal itu terjadi maka akan dilawan setiap usaha pemisahan.

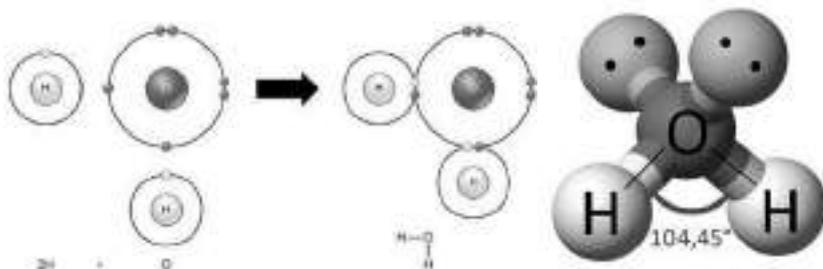
1.2.1. Ikatan Kovalen dan Ikatan Antarmolekul Air

Dalam sebuah molekul air dua buah atom hidrogen berikatan dengan sebuah atom oksigen melalui dua ikatan kovalen, yang masing-masing mempunyai energy sebesar 110,2 kkal per mol Ikatan

kovalen tersebut merupakan dasar bagi sifat air yang penting, misalnya kebolehan air sebagai pelarut. Ikatan kovalen tersebut merupakan dasar bagi sifat air yang penting, misalnya kebolehan air sebagai pelarut.

Bila dua atom hidrogen bersenyawa dengan sebuah atom hidrogen, maka molekul tersebut menghasilkan molekul yang berat sebelah dengan kedua atom hidrogen melekat di satu atom oksigen dengan sudut 104.5° antara keduanya. Posisi tersebut mirip dengan dua telinga pada kepala kelinci. Akibat perbedaan keelektronegativitas antara hidrogen dan oksigen, sisi hidrogen molekul air bermuatan positif sedang pada sisi oksigen bermuatan negative.

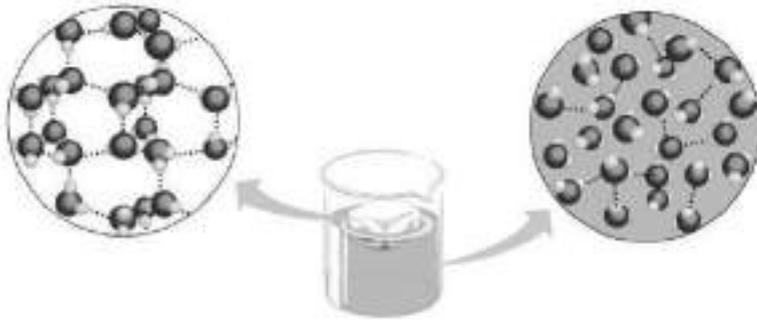
Sebuah molekul air dapat digambarkan sebagai menempati pusat dari sebuah tetrahedron, suatu benda ruang dengan 4 sisi yang masing-masing sisinya merupakan segitiga sama sisi, dengan arah muatan seperti terlihat pada gambar 2. Sebuah molekul air dengan kutub-kutub positif dan negative secara permanen menjadi dwikutub (dipolar), seperti halnya sebatang magnet yang mempunyai kutub berbeda pada kedua ujungnya. Karena itu molekul air dapat ditarik oleh senyawa lain yang bermuatan positif atau yang bermuatan negatif.



Gambar 1.4. Pembentukan Molekul Air

Daya tarik menarik diantara kutub positif dan negatif sebuah molekul air dengan kutub negative molekul air lainnya menyebabkan terjadinya penggabungan molekul-molekul air melalui ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen jauh lebih lemah daripada ikatan kovalen. Ikatan-ikatan hidrogen mengikat molekul-molekul

air lain disebelahnya dan sifat inilah yang bertanggung jawab terhadap sifat mengalirnya air. Molekul air yang satu dengan molekul air yang lain bergabung dengan suatu ikatan hidrogen antara atom H dengan atom O dari molekul air yang lain.



Gambar 1.5. Kerapatan Air dan Es

Kemampuan molekul air membentuk ikatan hidrogen menyebabkan air mempunyai sifat yang unik. Ikatan hidrogen yang terjadi antara molekul-molekul yang berdampingan mengakibatkan air pada tekanan atmosfer bersifat mengalir (*flow*) pada suhu 0-100°C. Kelompok-kelompok kecil molekul air bergabung dengan suatu pola tertentu, tapi kelompok-kelompok tersebut bergerak bebas dan menyebabkan terjadinya pertukaran ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen ini tidak hanya mengikat molekul-molekul air satu sama lain, tetapi dapat juga menyebabkan pembentukan hidrat antara air dengan senyawa lainnya yang mempunyai kutub O atau N, seperti senyawa methanol, atau karbohidrat yang mempunyai gugus OH (hidroksil).

Es merupakan suatu senyawa yang terdiri dari molekul-molekul H_2O (HOH) yang tersusun sedemikian rupa sehingga 1 atom H terletak di satu sisi antara sepasang atom oksigen molekul-molekul air lainnya, membentuk suatu heksagonal simetrik. Satu molekul HOH dapat mengikat 4 molekul HOH yang berdekatan (gambar 3) dan jaran atom O-O yang berdampingan sebesar $2,76\text{\AA}$. Ruangan-ruangan dalam Kristal es berbentuk sedemikian rupa sehingga membentuk saluran-saluran dalam jumlah yang sangat

besar. Karena itulah es mempunyai volume 1/11 kali lebih besar dari bentuk cairnya dan kerapatannya lebih kecil sehingga es mengapung dalam air.

1.3. Sifat Fisika Air

Bila suhu air diturunkan, maka akan terjadi pelepasan panas dan akan menyebabkan pergerakan molekul-molekul air diperlambat dan volumenya mengecil. Bila air didinginkan sampai suhu 4°C , suatu pola baru ikatan hidrogen terbentuk. Volume air sebaliknya mengembang ketika air diturunkan suhunya dari 4°C sampai 0°C . Ketika panas dilepas lagi setelah air mencapai 0°C , terjadilah kristal, dan ketika air es berubah menjadi kristal es, volume mendadak mengembang. Es memerlukan ruang 1/11 kali lebih banyak daripada volume air pembentuknya, tetapi es bersifat kurang padat bila dibandingkan dengan air, karenanya es terapung ke permukaan air. Energi ikatan dari ikatan hidrogen dalam es besarnya 5 kcal per mol (Pauling 1960).

Bila suhu air meningkat, jumlah rata-rata molekul air dalam kerumunan molekul air menurun dan ikatan hidrogen putus dan terbentuk lagi secara cepat. Bila air dipanaskan lebih tinggi lagi sehingga molekul-molekul air bergerak demikian cepat dan tekanan uap air melebihi tekanan atmosfer, beberapa molekul dapat melarukan diri dari permukaan menjadi gas. Hal ini terjadi ketika air mendidih pada suhu 100°C pada permukaan laut dengan tekanan 760 mmHg. Dalam keadaan uap, molekul-molekul air kurang lebih menjadi bebas satu sama lainnya.

Beberapa sifat fisika air dan es luar biasa senarainya disajikan dalam tabel 1 (tabel beberapa sifat fisika air dan es). Banyak dari informasi ini diperoleh dari Perry 1963 dan Landolt-Boerstein (1923). Harga sifat keabahan air yang luar biasa tingginya penting untuk operasi pemrosesan makanan seperti pembekuan dan pengeringan. Perbedaan kerapatan air dan es yang besar dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur makanan jika makanan dibekukan. Kerapatan es berubah dengan berubahnya suhu, dan karena itu menimbulkan tekanan dalam makanan yang dibekukan. Karena

padatan kurang kenyal ketimbang semipadatan, fluktuasi suhu dapat mengakibatkan kerusakan struktur, meskipun fluktuasi itu tetap di bawah titik beku.

1.4. Larutan dalam Air

Air yang berfungsi sebagai bahan yang dapat mendispersikan berbagai senyawa yang ada dalam bahan makanan. Untuk beberapa bahan malah berfungsi sebagai pelarut. Air dapat melarutkan berbagai bahan seperti garam, vitamin yang larut air, mineral dan senyawa-senyawa cita rasa seperti yang terkandung dalam teh dan kopi.

Larutan dalam air dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu ionik maupun molekuler. Pada bahan kristal sama seperti halnya garam dapur (NaCl). Atom Na mendonasikan satu elektron yang berada di lapisan luar kepada atom klorida yang kekurangan satu elektron pada lapisan luarnya, sehingga menghasilkan ion Na^+ dan ion Cl^- .

Dalam kristal NaCl , kedua ion tersebut saling terikat dengan daya tarik elektrostatis. Molekul-molekul air dapat mengurai daya tarik-menarik antara Na^+ dan Cl^- sedemikian rupa sehingga tinggal 1% saja dari daya tarik yang terdapat dalam kristal NaCl . Ion-ion tersebut kemudian terhidrasi dan diungsikan oleh molekul-molekul air; demikian seterusnya sehingga terjadilah larutan garam. Keadaan yang sama juga terjadi pada basa maupun asam seperti halnya garam. Molekul-molekul atau ion-ion di dalam larutan disebut bahan terlarut (*solute*) dan cairan di mana bahan tersebut terlarut disebut pelarut (*solvent*).

Molekul-molekul berbagai senyawa dalam makanan terikat satu sama lain melalui ikatan hidrogen, contohnya: molekul gula. Bila sebuah kristal gula melarut, molekul-molekul air bergabung secara ikatan hidrogen pada gugus polar molekul gula yang terdapat di permukaan air kristal gula tersebut. Molekul-molekul air yang mula-mula terikat pada lapisan pertama ternyata tidak dapat bergerak, tetapi selanjutnya molekul-molekul gula akhirnya dikelilingi oleh lapisan air dan melepaskan diri dari kristal.

Pemanasan air dapat mengurangi daya tarik-menarik antara molekul-molekul air dan memberikan cukup energy kepada molekul-molekul air itu sehingga dapat mengatasi daya tarik-menarik antarmolekul gula. Karena itu daya kelarutan pada bahan yang melibatkan ikatan hidrogen seperti pada gula, akan meningkat dengan meningkatnya suhu. Karena itu, gula lebih mudah larut dalam air panas daripada dalam air dingin.

1.5. Air dalam Bahan Makanan

Sampai sekarang belum ditemukan suatu istilah yang tepat untuk air yang terdapat di dalam bahan makanan. Istilah yang umumnya dipakai hingga saat ini adalah “air terikat” (*bound water*). Walaupun sebenarnya istilah ini kurang tepat, karena keterikatan air dalam bahan makanan berbeda-beda, bahkan ada yang terikat kuat, ada juga yang tidak terikat. Karena itu, istilah “air terikat” ini dianggap suatu sistem yang mencakup air yang mempunyai derajat keterikatan berbeda-beda dalam bahan makanan.

Keberadaan air dalam pangan dapat dinyatakan sebagai kadar air dalam aktivitas air. Kadar air menunjukkan jumlah absolut air yang terdapat dalam pangan sebagai komponen pangan. Kadang air dihitung sebagai persentase kandungan air suatu bahan yang dinyatakan dalam basis basah atau basis kering. Aktivitas air menunjukkan bagaimana air berperan atau beraktivitas dalam reaksi-reaksi kimia dan biologis. Air dalam pangan berada dalam berbagai bentuk, yaitu air kapiler, air terlarut, air adsorpsi, dan air terikat.

a. **Air kapiler.** Air dalam pangan dapat berada dalam jaringan-jaringan kapiler pangan yang halus tanpa ikatan yang kuat pada matriks bahan. Air kapiler terikat secara fisik atau terkurung dalam rongga-rongga jaringan yang halus. Semakin kecil jaringan kapiler maka air akan semakin sulit dikeluarkan. Air kapiler umumnya memiliki sifat seperti air normal, mudah keluar dari pangan bila ditekan, dan mudah diuapkan bila pangan dikeringkan. Dengan kata lain, air kapiler memiliki sifat air bebas.

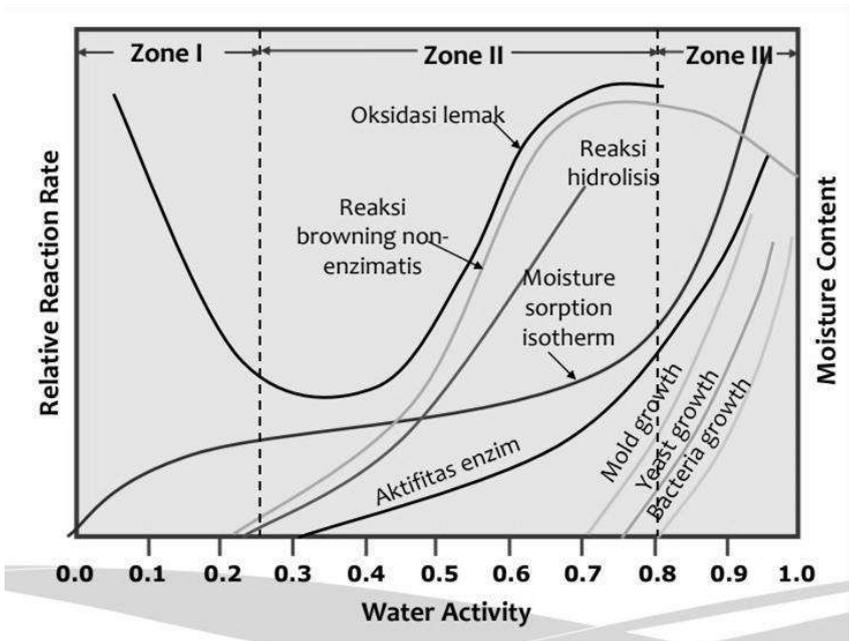
- b. **Air terlarut.** Air terlarut terdapat dalam pangan padat, dimana air seakan-akan larut dalam pangan tersebut. Apabila air terlarut diuapkan dari pangan maka air tersebut harus berdifusi dari bagian dalam bahan pangan padat tersebut.
- c. **Air adsorpsi.** Air ini biasanya terikat pada permukaan atau pada lapisan-lapisan sekitar molekul-molekul hidrofilik, seperti protein, karbohidrat, pektin, dan pati, yang terikat melalui ikatan hidrogen antarmolekul. Pada awalnya, air adsorpsi akan membentuk lapisan (*monolayer*) pada seluruh permukaan bahan. Dengan semakin tingginya tekanan uap maka lapisan-lapisan molekul yang berikatan akan semakin banyak dan membentuk lapisan multilayer, namun daya ikatnya semakin lemah dibandingkan lapisan sebelumnya. Dibandingkan air bebas, air terserap lebih sulit dikeluarkan bila pangan dikeringkan.
- d. **Air terikat secara kimia.** Adanya sifat polar dari air menyebabkan molekul air dapat berinteraksi dengan ion bebas (misal ion Li^+ , Na^+ , H_3O^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , F^- , dan OH^-), gugus fungsional (misalnya gugus OH, NH, dan CO) atau molekul organik polar lain yang bersifat hidrofilik (misalnya protein dan karbohidrat) melalui ikatan hidrogen.

Menurut derajat keterikatannya, air terikat dapat dibagi atas empat tipe. **Tipe I**, adalah molekul air yang terikat pada molekul-molekul lain melalui suatu ikatan hidrogen yang bersinergi besar. Molekul air membentuk hidrat dengan molekul lainnya yang mengandung atom-atom O dan N seperti karbohidrat, protein atau garam. Air tipe ini tidak dapat membeku pada proses pembekuan, tetapi sebagian air ini dapat dihilangkan dengan cara pengeringan biasa. Air tipe ini terikat kuat dan sering kali disebut air terikat dalam arti yang sebenarnya.

Derajat pengikatan air sedemikian rupa sehingga reaksi-reaksi yang terjadi sangat lambat dan tidak terukut. Reaksi yang nyata dalam bahan makanan adalah peningkatan oksidasi lemak bila setelah air tipe I, air terikat lagi membentuk tipe II. Oksidasi lemak

akan meningkat pada daerah II karena keaktifan katalis meningkat dengan adanya pengembangan volume akibat penyerapan air.

Tipe II, yaitu molekul-molekul air membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air lain, terdapat dalam mikrokapiler dan sifatnya agak berbeda dari air murni. Air jenis ini lebih sukar dihilangkan dengan penghilangan air. Tipe II akan mengakibatkan penurunan aktivitas air (*water activity*). Bila sebagian air tipe II dihilangkan, pertumbuhan mikroba dan reaksi-reaksi kimia yang bersifat merusak makanan seperti *browning*, hidrolisis, atau oksidasi lemak akan dikurangi. Jika tipe air II dihilangkan seluruhnya, kadar air bahan akan berkisar 3-7% dan kestabilan optimum bahan makanan akan tercapai, kecuali pada produk-produk yang dapat mengalami oksidasi akibat adanya kandungan lemak tidak jenuh.



Gambar 1.6. Hubungan kecepatan reaksi dengan water activity dalam bahan makanan (Labuza 1971)

Tipe III, adalah air yang secara fisik terikat dalam jaringan matriks bahan seperti membrane, kapiler, serat dan lainnya. Air tipe III inilah yang sering kali disebut dengan air bebas. Air tipe ini

mudah diuapkan dan dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroba dan media bagi reaksi-reaksi kimiawi. Apabila air tipe III ini diuapkan seluruhnya, kandungan air bahan berkisar 12-25% dengan a_w (*water activity*) kira-kira 0.8, tergantung dari jenis bahan dan suhu.

Tipe IV, adalah air yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan atau air murni, dengan sifat-sifat air biasa dan keaktifan penuh.

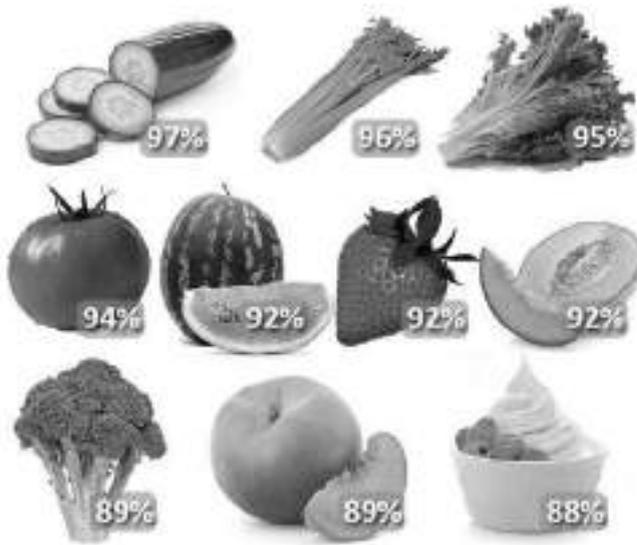
Selain tipe-tipe diatas, beberapa penulis membedakan pula air imbibisi dan air kristal. Air imbibisi merupakan air yang masuk ke dalam bahan pangan dan akan menyebabkan pengembangan volume, tetapi air ini tidak merupakan komponen penyusun bahan tersebut. Misalnya air dengan ebras bila dipanaskan akan membentuk nasi, ataupun pembentukan gel dari bahan pati. Air kristal adalah air yang terikat dalam semua bahan, baik pangan maupun non pangan yang berbentuk kristal, seperti gula, garam, CuSO_4 , dan lain-lainnya.

Kandungan air dalam bahan makanan akan mempengaruhi daya tahan bahan makanan terhadap serangan mikroba yang dinyatakan dengan a_w , yaitu jumlah air bebas yang dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan. Berbagai mikroorganisme mempunyai a_w minimum agar dapat tumbuh dengan baik, misalnya bakteri a_w : 0.9; khamir a_w : 0.8-0.9; kapang a_w : 0.6-0.7

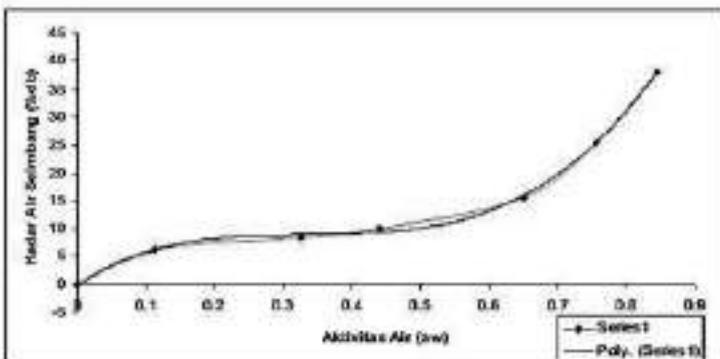
Hubungan a_w dengan kandungan air per gram suatu bahan makanan terlihat pada gambar 6 dan grafik ini disebut dengan isotherm sorpsi air. Pada bahan pangan isotherm sorpsi air dapat menggambarkan kandungan air yang dimiliki bahan tersebut sebagai keadaan kelembaban relatif ruang tempat penyimpanan. Bentuk isotherm sorpsi air ini khas untuk setiap bahan pangan dan contohnya terlihat pada gambar 7.

Isoterm ini dapat dibagi menjadi beberapa bagian, tergantung dari keadaan air dalam bahan pangan tersebut. Pada gambar 7, daerah A menyatakan absorpsi air bersifat satu lapis molekul air, daerah B menyatakan terjadinya penambahan lapisan-lapisan di atas

satu lapisan molekul air, dan di daerah C kondensasi air pada pori-pori bahan mulai terjadi.



Gambar 1.7. Kandungan air dalam suatu bahan makanan



Gambar 1.8. Bentuk umum isotherm sorpsi air pada bahan pangan (Labuza, 1972)

1.6. Penentuan Kadar Air

Penetapan kandungan air pada makanan, dapat dilakukan dengan beberapa cara. Hal ini tergantung pada sifat bahannya. Pada umumnya penentuan kadar air dilakukan dengan mengeringkan

bahan dalam oven pada suhu 105-110°C selama 3 jam atau sampai didapat berat yang konstan. Selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan adalah banyaknya air yang diuapkan. Untuk bahan-bahan yang tidak tahan panas, seperti bahan berkadar gula tinggi, minyak, daging, kecap dan lain-lainnya, pemanasan dilakukan dalam oven vakum dengan suhu yang lebih rendah. Kadang-kadang pengeringan dilakukan tanpa pemanasan, bahkan dimasukkan kedalam eksikator dengan H₂SO₄ pekat sebagai pengering, hingga mencapai berat yang konstan.

Penentuan kadar air dari bahan-bahan yang kadar airnya tinggi dan mengandung senyawa-senyawa yang mudah menguap (*volatile*) seperti sayuran, susu, menggunakan cara destilasi dengan pelarut tertentu, misalnya toluene, xilol dan heptana yang berat jenisnya lebih rendah daripada air. Contoh (*sample*) dimasukkan dalam tabung bola (*flask*), kemudian dipanaskan. Air dan pelarut menguap, diembunkan, dan jatuh pada tabung *Aufhauser* yang berskala. Air mempunyai berat jenis lebih besar ada di bagian bawah, sehingga jumlah air yang diuapkan dapat dilihat pada skala tabung *Aufhauser* tersebut.

Untuk bahan dengan kadar gula tinggi, kadar airnya dapat diukur dengan menggunakan refraktometer disamping menentukan padatan terlarutnya pula. Dalam hal ini, air dan gula dianggap sebagai komponen-komponen yang mempengaruhi indeks refraksi. Disamping cara-cara fisik, ada pula cara-cara kimia untuk menentukan kadar air. Mc Neil mengukur kadar air berdasarkan volume gas asetilen yang dihasilkan dari reaksi kalsium karbida dengan bahan yang akan diperiksa. Cara ini dipergunakan untuk bahan-bahan seperti sabun, tepung, kulit, bubuk biji vanili, mentega dan sari uah. Karl Fischer pada tahun 1935 menggunakan cara pengeringan berdasarkan reaksi kimia air dengan titrasi langsung dari bahan basah dengan larutan iodin, sulfur dioksida, dan piridina dalam methanol. Perubahan warna menunjukkan titik akhir titrasi.

1.7. Tugas Akhir Bab

- 1) Jelaskan karakteristik fisika air yang dihubungkan dengan stuktur dan bentuk molekulnya secara kimia!
- 2) Apa yang menyebabkan air dapat bercampur/ larut dengan sabun tetapi tidak dengan minyak/lemak?
- 3) Mengapa air yang dipanaskan dapat menghasilkan asap/uap juga air yang dipanaskan juga dapat menghasilkan asap/uap?
- 4) Jika kita memasukkan air dingin kedalam gelas, maka lama-kelamaan dinding gelas juga akan terdapat air, mengapa demikian?
- 5) Mengapa kerapatan air pada suhu 4°C lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan air pada suhu 0°C ? dan apa dampaknya?

BAB 2

STANDAR KUALITAS AIR



Lingkungan perairan sebagai tempat hidup atau media hidup organisme akuatik merupakan salah satu aspek terpenting yang perlu diperhatikan dalam melakukan budidaya perairan. Hal ini disebabkan karena kualitas perairan suatu wadah budidaya sangat menentukan kehidupan organisme akuatik yang dibudidayakan, baik dari aspek sumber air yang digunakan seperti parameter fisika, kimia dan biologi, juga perlu diketahui dan dipahami aspek-aspek yang diperlukan dalam pengelolaan kualitas air. Parameter fisika merupakan parameter yang dapat diamati akibat perubahan fisika air seperti cahaya, suhu, kecerahan, kekeruhan, warna, padatan tersuspensi dan padatan terlarut hingga salinitas air. Sedangkan parameter kimia perairan merupakan parameter perairan yang terukur akibat adanya reaksi kimia di perairan, seperti pertukaran ion-ion terlarut dalam air. Parameter biologi yang teramati di perairan merupakan organisme akuatik yang hidup bersama di perairan budidaya dapat berupa tumbuhan maupun hewan dengan bentuk yang mikro maupun makro.

2.1. Parameter Fisika

Sifat-sifat fisika air merupakan faktor pemisah antara lingkungan air dengan lingkungan udara. Selain itu, faktor fisika juga banyak mempengaruhi kehidupan organisme di dalam air. Adanya perbedaan yang amat besar dari masing-masing faktor fisika di lingkungan air dengan lingkungan udara, mengakibatkan pengaruh yang berbeda terhadap tumbuhan dan hewan pada masing-masing lingkungan tersebut. Di samping itu air juga berfungsi untuk menjaga tekanan osmosis, sebagai pelarut dan penghantar listrik yang baik. Parameter-parameter fisika yang biasa digunakan untuk menentukan kualitas air meliputi cahaya, suhu, kecerahan dan kekeruhan, warna, konduktivitas, padatan total, padatan terlarut, padatan tersuspensi, dan salinitas.

1. Warna Air

Warna dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Air laut berwarna karena proses alami, baik yang berasal dari proses biologis maupun non-biologis. Produk dari proses biologis dapat berupa humus, gambut dan lain-lain, sedangkan produk dari proses non-biologis dapat berupa senyawa-senyawa kimia yang mengandung unsur Fe, Ni, Co, Mn, dan lain-lain. Selain itu, perubahan warna air laut dapat pula disebabkan oleh kegiatan manusia yang menghasilkan limbah berwarna. Air laut dengan tingkat warna tertentu dapat mengurangi proses fotosintesa serta dapat mengganggu kehidupan biota akuatik terutama fitoplankton dan beberapa jenis bentos. Warna air pada suatu perairan yang kita lihat adalah merupakan: a) Berkas cahaya yang tidak diserap dan keluar kembali dari perairan tersebut. b) Warna yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang-layang baik berupa organisme maupun benda mati. Warna-warni air tersebut seperti: warna biru, hijau, hijau kuning dan warna coklat.

Warna pada air disebabkan oleh adanya partikel hasil pembusukan bahan organik, ion-ion metalalam (besi dan mangan), plankton, humus, buangan industri, dan tanaman air. Adanya oksida besi menyebabkan air berwarna kemerahan, sedangkan oksida

mangan menyebabkan air berwarna kecoklatan atau kehitaman. Kadar besi sebanyak 0,3 mg/l dan kadar mangan sebanyak 0,05 mg/l sudah cukup dapat menimbulkan warna pada perairan (peavy et al., 1985 dalam Effendi, 2003). Kalsium karbonat yang berasal dari daerah berkapur menimbulkan warna kehijauan pada perairan. Bahan-bahan organik, misalnya tanin, lignin, dan asam humus yang berasal dari dekomposisi tumbuhan yang telah mati menimbulkan warna kecoklatan. Pada lingkungan budidaya warna air yang didapati juga bermacam-macam, antara lain dipengaruhi oleh kandungan plankton yang terdandung di dalam air baik fitoplankton maupun zooplankton, larutan tersuspensi, dekomposisi bahan organik, mineral maupun bahan lain yang terlarut dalam air.

Bahan anorganik juga sering memberikan warna-warna tertentu seperti kalsium karbonat memberikan warna kehijau-hijauan, belerang dapat memberikan warna hijau dan besi oksida memberikan warna merah. Dalam penyediaan air minum, warna sangat dikaitkan dengan segi estetika. Warna air dapat dijadikan sebagai petunjuk jenis pengolahan yang sesuai. Berdasarkan zat penyebabnya, warna air dapat dibedakan menjadi

- a. Warna Sejati (*true color*): warna sejati disebabkan adanya zat-zat organik dalam bentuk koloid. Warna ini tidak akan berubah walaupun mengalami penyaringan dan sentrifugasi. Contoh dari warna sejati antara lain: warna air teh, warna air buangan industri tekstil, serta warna akibat adanya asam humus, plankton, atau akibat tanaman air yang mati.
- b. Warna Semu (*apparent color*) Warna semu disebabkan oleh adanya partikel-partikel tersuspensi dalam air. Warna ini akan mengalami perubahan setelah disaring atau disentrifugasi serta dapat mengalami pengendapan. Warna semu akan semakin pekat bila kekeruhan air meningkat.

2. Intensitas Cahaya

Cahaya matahari merupakan sumber energi bagi semua kehidupan organisme perairan. Secara biologi cahaya sangat berperan penting, tanpa cahaya matahari semua proses kehidupan

tidak akan berlangsung dan tidak akan dijumpai bentuk-bentuk kehidupan di muka bumi ini. Sedangkan dari sudut fisika, cahaya matahari merupakan sumber energi bagi terjadinya arus, gelombang, pemanasan perairan dan lain-lain. Sinar mempunyai arti penting dalam hubungannya dengan beraneka gejala, termasuk penglihatan, fotosintesa, dan pemanasan. Mata sensitif terhadap kekuatan sinar yang berbeda-beda. Binatang-binatang mangsa mudah mengetahui pemangsanya pada bulan terang daripada bulan gelap. Dalam hubungannya dengan fotosintesis, intensitas dan panjang gelombang sinar sangat penting. Radiasi matahari menentukan intensitas cahaya pada suatu kedalaman tertentu dan juga sangat mempengaruhi suhu perairan. Variasi suhu harian atau tahunan dari suatu perairan merupakan hasil dari (a) pancaran sinar, (b) penguapan (evaporasi) dan (c) konduksi panas.

Cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan sangat berarti bagi proses kehidupan organisme. Tanpa cahaya matahari, proses fotosintesis tidak akan berlangsung. Hubungan antara intensitas cahaya matahari dengan kemungkinan berlangsungnya fotosintesis di perairan secara vertikal dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

- **Zona fotik (*eufotik zone*):** dalam mintakat ini intensitas cahaya matahari masih demikian tingginya sehingga fitoplankton benar-benar berperan sebagai produser. Batas bawah mintakat eupotik adalah dimana cahaya matahari sudah tidak efektif lagi berperan sebagai produsen atau dimana tumbuhan bahari tidak dapat lagi efektif berperan sebagai sumber energi untuk berbagai proses faal. Proses faal tersebut dikenal sebagai proses respirasi, sehingga dapat dikatakan bahwa batas bawah mintakat eupotik ialah kedalaman dimana produksi bahan organik (P) oleh tumbuhan bahari sama dengan jumlah yang diperlukan untuk berlangsungnya respirasi (R). Jadi $P=R$ atau biasa disebut juga kedalaman kompensasi. Zona ini memiliki kedalaman hingga $\pm 200\text{m}$
- **Zona twilight (*disfotik zone*):** di mintakat ini intensitas cahaya matahari demikian rendahnya sehingga fitoplankton bukan

merupakan produser yang efektif. Produser di daerah ini sekedar hidup dan tidak mampu tumbuh dan berkembang biak. Kalau pada keadaan kompensasi $P=R$, maka dimintakat ini produksi bahan organik (P) lebih kecil dari jumlah bahan organik yang diperlukan untuk respirasi (R). Dengan demikian jelaslah bahwa produser yang terdapat dimintakat ini hanya sekedar hidup saja dan kecil kemungkinan untuk tumbuh dengan baik. Perairan ini memiliki kedalaman hingga ± 1000 m.

- **Zona afotik (*aphotic zone*):** di mintakat ini tidak ada cahaya matahari sehingga organisme yang didapatkan hanya organisme heterotrop dan saprofit. Pada zona ini disebut juga zona laut dalam dimana pada zona ini juga memiliki tekanan hidrostatik yang besar, suhu yang dingin, sirkulasi air yang sangat lemah serta suplai bahan makanan yang sedikit.

Cahaya matahari selain berperan dalam proses fotosintesis juga berperan dalam pemanasan perairan atau fluktuasi suhu perairan, penglihatan bagi hewan yang hidup di dalam perairan tersebut, migrasi vertikal, dan dapat pula mengakibatkan kerusakan pada organisme.



Gambar 2.1. Zonasi perairan berdasarkan intensitas cahaya matahari (<http://oceanservice.noaa.gov/>)

3. Suhu

Intensitas dan kualitas cahaya yang masuk ke dalam air dan yang diserap menghasilkan panas. Dari sudut ekologi, energi panas ini dan hubungannya dengan hal-hal yang terjadi di dalam air,

merupakan faktor yang sangat penting dalam mempertahankan air sebagai suatu lingkungan hidup bagi hewan dan tumbuhan. Suhu merupakan faktor fisika yang penting dimana-mana di dunia. Kenaikan suhu mempercepat reaksi-reaksi kimiawi; menurut Hukum van't Hoff kenaikan suhu 10°C akan melipatgandakan kecepatan reaksi, walaupun hukum ini tidak selalu berlaku. Misalnya saja proses metabolisme akan meningkat sampai puncaknya dengan kenaikan suhu tetapi kemudian menurun lagi. Setiap perubahan suhu cenderung untuk mempengaruhi banyaknya proses kimiawi yang terjadi secara bersamaan pada jaringan tanaman dan binatang, karenanya juga mempengaruhi biota secara keseluruhan. Pada proses penetasan telur suhu sangat berpengaruh terhadap lama waktu inkubasi telur, contohnya pada ikan bandeng makin tinggi suhu air penetasan, makin cepat waktu inkubasi. Pada suhu 29°C waktu inkubasi 27 - 32 jam dan pada suhu $31,5^{\circ}\text{C}$ waktu inkubasi 20,5 - 22 jam.

4. Salinitas

Salinitas didefinisikan sebagai jumlah bahan padat yang terkandung dalam tiap kilogram air laut, dengan asumsi semua karbonat diubah menjadi bentuk oksida, bromida dan iodin diganti dengan klorida dan Satuan salinitas dinyatakan dalam gram perkilogram, atau sebagai perseribu, yang lazim disebut "ppt". Air laut juga mengandung butiran-butiran halus dalam suspensi. Sebagian zat ini akan terlarut dan sebagian lagi akan mengendap ke dasar laut dan sisanya diuraikan oleh bakteri laut. Semua zat-zat terlarut inilah yang menyebabkan rasa asin pada air laut. Untuk mengukur tingkat keasinan air laut itulah maka digunakan istilah salinitas. Salinitas juga dapat digunakan di perairan manapun namun memang yang paling mencolok adalah di laut. Salinitas dapat didefinisikan sebagai jumlah total dalam gram bahan-bahan terlarut dalam satu kilogram air. Dalam keadaan stabil di laut kadar salinitasnya berkisar antara $34^{\circ}/_{\infty}$ sampai $35^{\circ}/_{\infty}$. Tiap daerah memiliki kadar salinitas yang berbeda beda seperti di daerah tropis salinitasnya berkisar antara $30-35^{\circ}/_{\infty}$, tetapi tidak terdapat

pertambahan kadar garam. Kadar garam ini tetap dan tidak berubah sepanjang masa. Lalu mengapa kadar salinitas di setiap perairan berbeda, padahal kadar garamnya tetap? Hal ini disebabkan karena adanya distribusi salinitas di laut. Distribusi ini terjadi secara vertikal dan horizontal.

Variasi salinitas dalam air laut akan mempengaruhi jasad-jasad hidup akuatik melalui pengendalian berat jenis dan keragaman tekanan osmotik. Jenis-jenis biota akuatik ditakdirkan untuk mempunyai hampir semua jaringan-jaringan lunak yang berat jenisnya mendekati berat jenis air laut biasa, sedangkan jenis-jenis biota yang hidup di dasar laut (bentos) mempunyai berat jenis yang lebih tinggi daripada air laut di atasnya. Salinitas menimbulkan tekanan-tekanan osmotik. Pada umumnya kandungan garam dalam sel-sel biota laut cenderung mendekati kandungan garam dalam kebanyakan air laut. Kalau sel-sel itu berada di lingkungan dengan salinitas lain maka suatu mekanisme osmoregulasi diperlukan untuk menjaga keseimbangan kepekatan antara sel dan lingkungannya. Pada kebanyakan binatang estuaria penurunan salinitas permulaan biasanya dibarengi dengan penurunan salinitas dalam sel, suatu mekanisme osmoregulasi baru terjadi setelah ada penurunan salinitas yang nyata (Romimohtarto, 1985). Cara-cara osmoregulasi meliputi perlindungan luar dari perairan sekitarnya, perlindungan membran sel, mekanisme ekskresi untuk membuang kelebihan air tawar dan sel dari badan. Kemampuan untuk menghadapi fluktuasi yang berasal dari Salinitas terdapat pada kelompok-kelompok bintang beraneka ragam dari protozoa sampai ikan. Salinitas yang tak sesuai dapat menggagalkan pembiakan dan menghambat pertumbuhan.

5. Kecerahan

Kecerahan merupakan parameter fisika yang erat kaitannya dengan proses fotosintesis pada suatu ekosistem perairan. Kecerahan menggambarkan sejumlah atau sebagian cahaya yang diteruskan pada kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan persen. Cahaya ini adalah cahaya dari beberapa panjang gelombang di daerah

spectrum cahaya yang terlihat dan jatuh tegaklurus pada lapisan permukaan air pada kedalaman tertentu. Kecerahan yang tinggi menunjukkan daya tembus cahaya matahari yang jauh ke dalam perairan. Begitu juga sebaliknya. Kecerahan adalah sebagian cahaya yang diteruskan ke dalam air yang dinyatakan dalam % dari beberapa panjang gelombang di daerah spektrum yang terlihat cahaya melalui lapisan 1 meter jauh agak lurus pada permukaan air. Apabila kecerahan tidak baik, berarti perairan itu keruh. Kekeruhan (*turbidity*) air sangat berpengaruh terhadap ikan. Kekeruhan terjadi karena plankton, humus dan suspensi lumpur, atau bisa juga diakibatkan oleh suspensi hidroksida besi. Kekeruhan perairan dapat menghambat pertumbuhan ikan budidaya baik langsung maupun tidak langsung.

Kecerahan air laut ditentukan oleh kekeruhan air laut itu sendiri dari kandungan sedimen yang dibawa oleh aliran sungai. Pada laut yang keruh, radiasi sinar matahari yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis tumbuhan akan kurang dibandingkan dengan air laut jernih. Pengukuran kecerahan air sebaiknya dilakukan pada saat siang hari dan cuaca relatif cerah. Pada perairan kecerahan air erat hubungannya dan berbanding terbalik dengan kelimpahan plankton terutama jenis phytoplankton yang berada di dalam perairan tersebut, atau dengan kata lain semakin tinggi tingkat kecerahan air maka kelimpahan phytoplankton akan semakin rendah dan sebaliknya semakin rendah tingkat kecerahan air maka kelimpahan phytoplankton di perairan tersebut semakin tinggi.

6. Kedalaman

Kedalaman suatu perairan berhubungan erat dengan produktivitas, suhu vertikal, penetrasi cahaya, densitas, kandungan oksigen, serta unsur hara (Hutabarat dan Evans, 2008). Kedalaman perairan sangat berpengaruh terhadap biota yang dibudidayakan. Hal ini berhubungan dengan tekanan yang diterima di dalam air, sebab tekanan bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman (Nybakken, 1992).

Kedalaman merupakan parameter yang penting dalam memecahkan masalah teknik berbagai pesisir seperti erosi. Pertambahan stabilitas garis pantai, pelabuhan dan kontraksi, pelabuhan, evaluasi, penyimpanan pasang surut, pergerakan, pemeliharaan, rute navigasi. Kedalaman juga sangat berpengaruh terhadap penentuan teknologi budidaya perairan yang dilakukan di laut ataupun di perairan tergenang ataupun mengalir. Menurut Hutabarat dan Evans (1985), kedalaman perairan merupakan petunjuk keberadaan parameter oseanografi. Intensitas cahaya matahari akan berkurang secara cepat dan akan menghilang pada kedalaman tertentu, begitu pula temperatur dan kandungan oksigen terlarut semakin berkurang pada kedalaman tertentu sampai dasar perairan. Jadi kadar oksigen terlarut sangat berkaitan juga dengan variabel kedalaman suatu perairan atau kolam. Fitoplankton dalam melakukan fotosintesis membutuhkan cahaya matahari. Penyinaran cahaya matahari akan berkurang secara cepat dengan makin tingginya kedalaman. Ini sebabnya fitoplankton sebagai produsen primer hanya dapat didapat di suatu daerah atau kedalaman dimana sinar matahari dapat menembus pada badan perairan.

7. Kecepatan Arus

Arus di laut disebabkan oleh perbedaan densitas masa air laut, tiupan angin terus menerus diatas permukaan laut dan pasang-surut terutama di daerah pantai. Pasang-surut juga dapat menggantikan air secara total dan terus menerus sehingga perairan terhindar dari pencemaran. Sedangkan distribusi pantai dapat merubah dan meredam arus. Arus mempunyai pengaruh positif dan negatif bagi kehidupan biotaperairan. Arus dapat menyebabkan ausnya jaringan jasad hidup akibat pengikisan atau teraduknya substrat dasar berlumpur yang berakibat pada kekeruhan sehingga terhambatnya fotosintesa. Pada saat yang lain, manfaat dari arus adalah menyuplai makanan, kelarutan oksigen, penyebaran plankton dan penghilangan CO₂ maupun sisa-sisa produk biota laut (Romimohtarto, 2003).

Manfaat dari arus bagi banyak biota adalah menyangkut penambahan makanan bagi biota-biota tersebut dan pembuangan kotoran-kotorannya. Untuk alga kekurangan zat-zat kimia dan CO₂ dapat dipenuhi. Sedangkan bagi binatang, CO₂ dan produk-produk sisa dapat disingkirkan dan O₂ tetap tersedia. Arus juga berperanan penting bagi penyebaran plankton, baik holoplankton maupun meroplankton. Terutama bagi golongan terakhir yang terdiri dari telur-telur dan burayak-burayak avertebrata dasar dan ikan-ikan. Mereka mempunyai kesempatan menghindari persaingan makanan dengan induk-induknya terutama yang hidup menempel seperti teritip (*Belanus spp.*) dan kerang hijau (*Mytilus viridis*).

Kenyataan yang tidak dapat ditoleransi terhadap kuat maupun lemahnya arus akan menghambat kegiatan budidaya laut (Ghufron dan Kordi, 2005). Arus juga sangat penting dalam sirkulasi air, pembawa bahan terlarut dan padatan tersuspensi (Dahuri, 2003), serta dapat berdampak pada keberadaan organisme penempel. Kecepatan aliran air akan bervariasi secara vertikal. Arus air pada perairan lotik umumnya bersifat turbulen yaitu arus air yang bergerak ke segala arah sehingga air akan terdistribusi ke seluruh bagian dari perairan. Arus merupakan gerakan air yang sangat luas terjadi pada seluruh lautan di dunia. Arus-arus ini mempunyai arti yang sangat penting dalam menentukan arah pelayaran bagi kapal-kapal. Kecepatan arus perairan untuk budidaya keramba jaring apung di laut tidak boleh lebih dari 100 cm/detik (Gufon dan Kordi, 2005) dan kecepatan arus bawah 25 cm/detik. Sedangkan untuk rumput laut 20 - 30 cm/dt dan tiram mutiara berkisar 15 - 25 cm/detik (DKP, 2002).

Pada ekosistem lentik arus dipengaruhi oleh kekuatan angin, semakin kuat tiupan angin akan menyebabkan arus semakin kuat dan semakin dalam mempengaruhi lapisan air. Pada perairan letik umumnya kecepatan arus berkisar antara 3 m/detik. Meskipun demikian sangat sulit untuk membuat suatu batasan mengenai kecepatan arus. Karena arus di suatu ekosistem air sangat berfluktuasi dari waktu ke waktu tergantung dari fluktuasi debit dan aliran air dan kondisi substrat yang ada. Kecepatan arus sungai

dipengaruhi oleh kemiringan, kesuburan kadar sungai. Kedalaman dan kelemburan sungai, sehingga kecepatan arus di sepanjang aliran sungai dapat berbeda-beda yang selanjutnya akan mempengaruhi jenis substrat sungai.

8. Debit Air

Debit air merupakan ukuran banyaknya volume air yang dapat lewat dalam suatu tempat atau yang dapat di tampung dalam suatu tempat tiap satu satuan waktu. Aliran air dikatakan memiliki sifat ideal apabila air tersebut tidak dapat dimanfaatkan dan berpindah tanpa mengalami gesekan, hal ini berarti pada gerakan air tersebut memiliki kecepatan yang tetap pada masing-masing titik dalam pipa dan gerakannya beraturan akibat pengaruh gravitasi bumi. Dalam hidrologi dikemukakan, debit air sungai adalah, tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian yang lain debit atau aliran sungai adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt). Kemampuan pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu wilayah DAS. Debit aliran dapat dijadikan sebuah alat untuk memonitor dan mengevaluasi neraca air suatu kawasan melalui pendekatan potensi sumberdaya air permukaan yang ada.

Pada aliran sungai, debit terjadi karena adanya aliran air dari satu atau beberapa sumber air yang berada di ketinggian, misalnya disebuah puncak bukit atau gunung yang tinggi, dimana air hujan sangat banyak jatuh di daerah itu, kemudian terkumpul dibagian yang cekung, lama kelamaan dikarenakan sudah terlalu penuh, akhirnya mengalir keluar melalui bagian bibir cekungan yang paling mudah tergerus air, selanjutnya air itu akan mengalir di atas permukaan tanah yang paling rendah, mungkin mula mula merata, namun karena ada bagian- bagian dipermukaan tanah yang tidak begitu keras, maka mudah terkikis, sehingga menjadi alur alur

(seperti sungai) yang tercipta makin hari makin panjang, seiring dengan makin deras dan makin seringnya air mengalir pada alur tersebut, maka semakin panjang dan semakin dalam, alur itu akan berbelok, atau bercabang, apabila air yang mengalir terhalang oleh batu sebesar alur itu, atau batu yang banyak. Demikian juga dengan sungai di bawah permukaan tanah, terjadi dari air yang mengalir dari atas, kemudian menemukan bagian-bagian yang dapat ditembus ke bawah permukaan tanah dan mengalir ke arah dataran rendah yg rendah. Lama kelamaan sungai itu akan semakin lebar

9. Padatan Tersuspensi Total (TSS)

Total suspended solid atau padatan tersuspensi total (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal $2\mu\text{m}$ atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS menyebabkan kekeruhan pada air akibat padatan tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap. TSS terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya. Yang termasuk TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. TSS umumnya dihilangkan dengan flokulasi dan penyaringan. TSS memberikan kontribusi untuk kekeruhan (*turbidity*) dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan. Sehingga nilai kekeruhan tidak dapat dikonversi ke nilai TSS. Kekeruhan adalah kecenderungan ukuran sampel untuk menyebarkan cahaya. Sementara hamburan diproduksi oleh adanya partikel tersuspensi dalam sampel. Kekeruhan adalah murni sebuah sifat optik. Pola dan intensitas sebaran akan berbeda akibat perubahan dengan ukuran dan bentuk partikel serta materi. Sebuah sampel yang mengandung 1.000 mg/L dari *fine talcum powder* akan memberikan pembacaan yang berbeda kekeruhan dari sampel yang mengandung 1.000 mg/L *coarsely ground talc*. Kedua sampel juga akan memiliki pembacaan yang berbeda kekeruhan dari sampel mengandung 1.000 mg / L *ground pepper*. Meskipun tiga sampel tersebut mengandung nilai TSS yang

sama. TSS merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia yang heterogen, dan berfungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang paling awal dan dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik di suatu perairan (Tarigan dan Edward, 2003).

10. Padatan Terlarut Total (TDS)

Total Dissolve Solid (TDS) yaitu ukuran zat terlarut (baik itu zat organik maupun anorganik) yang terdapat pada sebuah larutan. TDS menggambarkan jumlah zat terlarut dalam part per million (ppm) atau sama dengan milligram per liter (mg/L). Umumnya berdasarkan definisi diatas seharusnya zat yang terlarut dalam air (larutan) harus dapat melewati saringan yang berdiameter 2 micrometer (2×10^{-6} meter). Aplikasi yang umum digunakan adalah untuk mengukur kualitas cairan pada pengairan, pemeliharaan aquarium, kolam renang, proses kimia, pembuatan air mineral, dan lain-lain (Misnani, 2010).

Total padatan terlarut dapat pula merupakan konsentrasi jumlah ion kation (bermuatan positif) dan anion (bermuatan negatif) di dalam air. Analisa total padatan terlarut merupakan pengukuran kualitatif dari jumlah ion terlarut, tetapi tidak menjelaskan pada sifat atau hubungan ion. Selain itu, pengujian tidak memberikan wawasan dalam masalah kualitas air yang spesifik. Oleh karena itu, analisa total padatan terlarut digunakan sebagai uji indikator untuk menentukan kualitas umum dari air. Sumber padatan terlarut total dapat mencakup semua kation dan anion terlarut (Oram, B., 2010). Sumber utama untuk TDS dalam perairan adalah limbah dari pertanian, limbah rumah tangga, dan industri. Unsur kimia yang paling umum adalah kalsium, fosfat, nitrat, natrium, kalium dan klorida. Bahan kimia dapat berupa kation, anion, molekul atau aglomerasi dari ribuan molekul. Kandungan TDS yang berbahaya adalah pestisida yang timbul dari aliran permukaan. Beberapa padatan total terlarut alami berasal dari pelapukan dan pelarutan batu dan tanah (Anonymous, 2010). Batas ambang dari TDS yang diperbolehkan di sungai adalah 1000mg/L. Peningkatan padatan terlarut dapat membunuh ikan secara langsung, meningkatkan

penyakit dan menurunkan tingkat pertumbuhan ikan serta perubahan tingkah laku dan penurunan reproduksi ikan. Selain itu, kuantitas makanan alami ikan akan semakin berkurang (Alabaster dan Lloyd, 1982)

11. Pasang Surut

Pasang merupakan suatu gelombang yang frekuensinya rendah dan pada umumnya intensitas terjadinya lebih kecil dari dua kali sehari. Pergerakan pasang ini disebabkan oleh adanya gaya tarik dari benda-benda angkasa terhadap massa air di bumi. Gerakan ini juga dipengaruhi oleh rotasi bumi sendiri serta letak pulau dan benua. Oleh sebab itu tinggi rendahnya gerakan pasang di bumi terutama ditentukan oleh jarak atau letak matahari dan bulan terhadap bumi. Secara ekologis gelombang paling penting berada di mintakat pasang surut. Di bagian yang agak dalam pengaruhnya mengurang sampai ke dasar, dan di perairan oseanik pasang surut mempengaruhi pertukaran udara dan agak dalam. Gelombang dapat ditimbulkan oleh angin, pasang-surut dan kadang-kadang oleh gempa bumi dan gunung meletus (dinamakan tsunami). Gelombang mempunyai sifat penghancur. Biota yang hidup di mintakat pasang surut harus mempunyai daya tahan terhadap pukulan gelombang. Gelombang dengan mudah merusak alga-alga dari substratnya. Gelombang diduga juga mengubah bentuk karang-karang pembentuk terumbu. Gelombang mencampur gas atmosfer ke dalam permukaan air sehingga terjadi pertukaran gas.

Faktor yang lebih penting mempengaruhi besarnya pasang adalah posisi bulan-matahari terhadap bumi. Jika bulan terdapat antara bumi dan matahari, ketiga benda angkasa ini berada pada garis lurus disebut bulan baru (*new moon*). Sedang bila bumi terletak diantara bulan dan matahari disebut bulan purnama (*full moon*). Bulan berputar mengelilingi bumi sekali dalam 24 jam 51 menit, jika faktor-faktor lain diabaikan maka suatu lokasi di bumi akan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari yang dikenal dengan istilah pasang berganda (*semi diurnal tides*), dimana tiap siklus pasang-surut akan bergeser mundur selama 51 menit

setiap hari. Faktor-faktor alam yang dapat mempengaruhi terjadinya pasang surut antara lain; dasar perairan, letak benua dan pulau serta pengaruh gaya *coriolis*. Dasar perairan, terutama pada perairan dangkal, memperlambat perambatan gerakan pasang, sehingga suatu tempat dapat mempunyai *Lunital Interval* yang besar. Tahanan dasar dapat juga meredam energi pasang, sehingga pada perairan tertentu pasang sangat kecil. Pantai atau pulau dapat menyebabkan pematahan (refraksi) atau pemantulan (refleksi) gelombang pasang. Demikian pula gaya *Coriolis* dapat mengubah perambatan pasang (Boyd, 1982).

12. Berat Jenis Air

Berat jenis air pada tempat dan waktu yang berlainan akan berbeda. Perbedaan ini, walaupun sangat kecil, tetapi pengaruhnya sangat penting terhadap organisme didalam air. Pengaruh berat jenis terhadap kehidupan organisme di dalam air adalah adanya kemampuan air tersebut untuk mengapungkan organisme dan benda lainnya. Berat jenis dipengaruhi oleh: Tekanan (*pressure*), Kadar garam terlarut dalam air, Kadar garam tersuspensi dalam air, Suhu.

13. Kekentalan

Kekentalan air merupakan sifat fisika air yang tidak boleh diabaikan. Hal ini merupakan akibat dari tahanan gesekan yang ditimbulkan oleh suatu zat cair pada benda bergerak. Besarnya tahanan gesekan ini sebanding dengan: a) Luas permukaan benda yang berhubungan dengan air; b) Kecepatan gerak benda; c) Konstanta yang tergantung pada suhu dan sifat-sifat zat cair.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekentalan air, antara lain adalah suhu. Faktor suhu sangat berpengaruh terhadap kekentalan air, jika suhu naik, maka kekentalan air akan menurun, sehingga kekentalan air pada suhu 0°C dua kali lebih besar daripada suhu 25°C pada keadaan faktor lainnya sama (Tabel 2). Jasad plankton pada suhu 25°C akan tenggelam dua kali lebih cepat daripada 0°C.

Tabel 2.1. Hubungan antara kekentalan air dengan suhu

Suhu (°C)	Kekentalan (%)
0	100,0
5	84,9
10	73,0
15	63,7
20	56,1
25	49,8
30	44,6

Kekentalan air kira-kira 100 kali lebih besar dari pada udara, maka hewan-hewan air harus mengatasi tekanan yang lebih besar jika dibandingkan dengan hewan yang hidup di udara. Hal ini menunjukkan bahwa kekentalan air dapat menentukan:

- Kebiasaan hidup organisme.
- Bentuk tubuh (morfologi) dari hewan air.
- Penggunaan energy oleh hewan-hewan air.
- Merupakan penghalang besar bagi pergerakannya.

14. Tegangan Permukaan (*Buoyancy*)

Tegangan permukaan air timbul akibat aktivitas molekul-molekul air yang tidak seimbang pada dan di bawah permukaan air. Molekul-molekul air itu mempunyai daya tarik menarik terhadap molekul-molekul tetangganya, walaupun mereka mempunyai kecenderungan untuk bergerak sendiri-sendiri. Dalam fase cair, daya tarik-menarik masih cukup besar sehingga molekul-molekul zat cair itu masih tetap ingin berkumpul, yang dinamakan adanya sifat kohesi di dalam cairan tersebut. Pada bagian permukaannya yang berhubungan dengan udara, ada beberapa molekul air yang melepaskan diri dari ikatannya dengan molekul-molekul yang lain yang disebut dengan penguapan.

Daya tarik-menarik terhadap tiap-tiap molekul tersebut ke setiap penjuru, rata-rata adalah sama. Hanya terhadap molekul-molekul yang berdekatan pada permukaan sajalah tidak demikian

halnya. Di situ hanya ada tarik-menarik yang menuju ke dalam cairan dan yang menuju ke samping saja, dan daya itu menyebabkan suatu tegangan di lapisan permukaan air tersebut. Pada permukaan air ini akan ada suatu tegangan juga yang membentuk semacam “kulit” permukaan. Binatang-binatang dan tumbuh-tumbuhan yang ringan dapat berjalan atau bergerak di atas “kulit” permukaan air ini. Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan permukaan air adalah: a) Suhu; pada suhu tinggi tegangan permukaan air berkurang; b) Bahan organik dan garam-garam terlarut. Kenaikan kadar garam menyebabkan kenaikan tegangan permukaan.

Kualitas Air

Pengalaman dan penelitian menunjukkan bahwa banyak faktor yang beragam harus diperhitungkan sebelum membuat komentar/ketentuan tentang kualitas air. Untuk alasan inilah konsentrasi zat anorganik dan organik melarutkan di tubuh air dan ruang air serta variasi temporal perlu dipantau. Latihan ini seharusnya tidak mencakup hanya bahan terlarut utama, tetapi juga yang kecil seperti berat logam, detergen, pestisida, dll. Kualitas adalah karakteristik mutu yang diperlukan untuk pemanfaatan tertentu dari berbagai sumber air. Kriteria mutu air merupakan suatu dasar baku mengenai syarat kualitas air yang dapat dimanfaatkan. Baku mutu air adalah suatu peraturan yang disiapkan oleh suatu negara atau suatu daerah yang bersangkutan.

Standart Kualitas Air adalah Karakteristik mutu yang dibutuhkan untuk pemanfaatan tertentu dari sumber- sumber air. Dengan adanya standard kualitas air, orang dapat mengukur kualitas dari berbagai macam air. Setiap jenis air dapat diukur konsentrasi kandungan unsur yang tercantum didalam standard kualitas, dengan demikian dapat diketahui syarat kualitasnya, dengan kata lain standard kualitas dapat digunakan sebagai tolak ukur. Standar kualitas air bersih dapat diartikan sebagai ketentuan-ketentuan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan standar kualitas air minum No.492/MENKES/PER/1V/2010 yang biasanya dituangkan dalam bentuk pernyataan atau angka yang

menunjukkan persyaratan- persyaratan yang harus dipenuhi agar air tersebut tidak menimbulkan gangguan kesehatan, penyakit, gangguan teknis, serta gangguan dalam segi estetika. Survei Geologi Amerika Serikat telah mengklasifikasikan perairan yang berbeda pada dasar dari kandungan *Total Dissolved Solids* (TDS) seperti yang diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.2. *Kualitas Air v.s Total Dissolved Solid*

Water Quality	TDS (mg/l)
Fresh	Kurang dari 1.000
Slightly saline	1.000 sampai 3.000
Moderately saline	3.000 sampai 10.000
Very saline	10.000 sampai 35.000
Briny	Lebih dari 35.000

Hubungan kimia yang mendasarinya antara pH, alkalinitas, kekerasan, rasio natrium (Na) dengan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dll. menentukan, kapasitas buffering, pembentukan deposit dan sifat korosif air. Itu variasi musiman dalam kualitas beberapa air permukaan bisa cukup besar untuk membuat penggunaan air seperti itu lebih bermasalah. Di bawah kategori ini datang lumpur dan padatan tersuspensi selain garam terlarut. Kandungan bakteri, khususnya keberadaan patogen. Kapasitas pemurnian diri dan air struktur intake juga memiliki pengaruh pada kualitas. Apapun kualitasnya air tersedia untuk pengguna itu pasti bisa ditingkatkan dengan benar dirancang dan prosedur perawatan yang dieksekusi. Tidak disarankan untuk mengutuk tubuh tertentu air tidak layak yang mungkin satu-satunya sumber yang tersedia di lokasi itu.

Survei Geologi Amerika Serikat (1) telah memberikan konsentrasi yang signifikan, sehubungan dengan beberapa bahan kimia yang mungkin ada di perairan alami. Atas tingkat ini, bahan kimia tersebut dapat menyebabkan efek yang tidak diinginkan.

Tabel 2.3. Standar Kandungan kimia dalam air

Kandungan Kimia	mg/l
Bikarbonat	150 - 200
Karbonat	-
Kalsium	-
Magnesium	25 - 50
Sodium	60 (Irigasi) 20 - 120 (Kesehatan)
Iron	Kurang dari 3
Mangan	Kurang dari 0,05
Klorin	250
Florin	0.7 - 1.2
Sulfat	300 - 400 600 - 1.000

2.2. Parameter Kimia

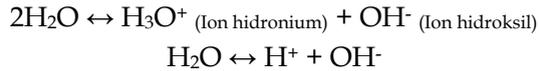
Air tidak pernah terdapat dalam keadaan benar-benar murni. Bahan/unsur yang terdapat di dalam air umumnya berasal dari tanah, udara dan metabolisme jasad air. Unsur-unsur/bahan tersebut dapat dikategorikan dalam tiga golongan yaitu: (1) gas, (2) unsur anorganik, dan (3) organik. Distribusi ketiga golongan unsur/bahan kimia tersebut di atas, sangat menentukan sifat-sifat kimia air. Unsur-unsur/bahan kimia yang terdapat dalam air ada yang dapat larut dan ada yang tidak larut. Pada umumnya unsur anorganik merupakan unsur kimia yang dapat larut, kecuali unsur belerang (S). Oleh sebab itu di dalam air, unsur-unsur tersebut digolongkan atas unsur "makro dan mikro". Parameter kimia yang berpengaruh terhadap kehidupan biota air antara lain:

1. Derajat keasaman (pH air)

Derajat keasaman sering dikenal dengan istilah pH (*puissance negative de H*) yaitu logaritma dari kepekatan ion-ion H (*hydrogen*) yang terlepas dalam suatu cairan. Ion hidrogen bersifat asam. Keberadaan ion hidrogen menggambarkan nilai pH (derajat

keasaman) pada suhu tertentu atau dapat ditulis dengan persamaan $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$.

Air murni (H_2O) berasosiasi secara sempurna sehingga memiliki ion H^+ dan ion H^- dalam konsentrasi yang sama dan membentuk kesetimbangan seperti:



Oleh karena itu, pH air murni memiliki nilai 7. Semakin tinggi konsentrasi ion H^+ , maka ion OH^- akan semakin rendah, sehingga pH mencapai nilai <7 (perairan asam). Sebaliknya, apabila konsentrasi ion OH^- lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi ion H^+ , maka perairan tersebut sifatnya basa karena memiliki nilai $\text{pH} > 7$. Ion hidrogen merupakan unsur yang sangat berpengaruh terhadap faktor kimia lainnya, seperti alkalinitas, kesadahan dan keasaman air. Ada dua cara dalam mengungkapkan (merumuskan) tentang ion H^+ dalam air yaitu: a) Merupakan jumlah molekul ion hidrogen per liter air. b) pH air yang dirumuskan seperti berikut: $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$.

Kadar ion H atau pH dalam air merupakan salah satu faktor kimia yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme yang hidup dalam suatu lingkungan perairan. Dari kedua ungkapan tersebut menunjukkan pH air dapat diukur dan nilai pH berkisar antara 0-14. Pada pH tertentu dapat menggambarkan keadaan air apakah asam atau basa. Tinggi atau rendahnya nilai pH air tergantung pada beberapa faktor yaitu:

- a. Konsentrasi gas-gas dalam air seperti CO_2
- b. Konsentrasi garam-garam karbonat dan bikarbonat
- c. Proses dekomposisi bahan organik di dasar perairan.

2. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen sangat penting karena dibutuhkan oleh organisme perairan. Kebutuhan akan oksigen terlarut bagi jenis dan stadium (fase) kehidupan ikan berbeda-beda. Demikian pula dalam lingkungan yang sama, kebutuhan akan oksigen berbeda-beda

tergantung pada jenis ikannya. Pada umumnya kebutuhan akan oksigen pada stadium dini lebih tinggi daripada stadium yang lanjut. Batas-batas kritis bagi ikan sangat tergantung pada aklimatisasi dan faktor-faktor lingkungan lainnya. Oksigen terlarut diperlukan oleh hampir semua bentuk kehidupan akuatik untuk proses pembakaran dalam tubuh. Beberapa bakteri dan binatang dapat hidup tanpa O₂ (anaerobik) sama sekali; lainnya dapat hidup dalam keadaan anaerobik hanya sebentar, tetapi memerlukan penyediaan O₂ yang berlimpah setiap saat. Kebanyakan dapat hidup dalam keadaan kandungan O₂ yang rendah sekali, tapi tak dapat hidup tanpa O₂ sama sekali. Keadaan oksigen dalam air sangat mempengaruhi kehidupan organisme, baik secara langsung maupun tidak langsung. Sedangkan keadaan oksigen dalam air sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah suhu.

Sumber oksigen terlarut dalam air diperoleh dari: Langsung dari udara, penyerap oksigen dari udara dapat melalui dua cara: Dengan difusi langsung dari atmosfer (udara) dan dengan melalui pergerakan air yang teratur seperti gerakan gelombang, air terjun dan perputaran (rotasi) air. Hasil fotosintesis dari tanaman berklorofil, Aktivitas tanaman berklorofil melepaskan oksigen langsung ke dalam air melalui asimilasi karbohidrat (fotosintesis) sebagai berikut:



Kelarutan Oksigen

Kelarutan oksigen ke dalam air terutama dipengaruhi oleh faktor suhu. Kelarutan gas oksigen pada suhu rendah relative lebih tinggi. Hubungan antara suhu dengan kelarutan oksigen dalam air dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4. *Kelarutan oksigen pada suhu berbeda*

Suhu (°C)	Kekentalan (%)
0	14,62
5	12,80
10	11,33
15	10,15
20	9,17
25	8,38
30	7,63

Kelarutan oksigen tersebut berlaku untuk air tawar, sedangkan kelarutan oksigen pada air laut relative lebih rendah 1-5 ppm dari angka tersebut diatas, karena pengaruh salinitas (kadar garam). Kadar garam mempengaruhi gas-gas air. Kelarutan oksigen ini sangat penting karena menentukan jumlah (kadar) oksigen terlarut dalam air. Besarnya kandungan oksigen di dalam air pada suatu perairan sangat menentukan kehidupan organisme air. Batas-batas toleransi organisme terhadap kadar oksigen tergantung pada organisme tersebut dalam air. Secara umum batas minimum kadar oksigen yang mendukung kehidupan organisme akuatik adalah 3-5 ppm.

Konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan mengalami fluktuasi selama sehari semalam (24 jam). Konsentrasi terendah terjadi pada waktu subuh (dini hari) kemudian meningkat pada siang hari dan menurun kembali pada malam hari. Perbedaan konsentrasi oksigen terlarut tertinggi terdapat pada perairan yang mempunyai kepadatan planktonnya tinggi dan sebaliknya. Kelarutan oksigen dalam air dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, kadar garam (salinitas) perairan, pergerakan air dipermukaan air, luas daerah permukaan perairan yang terbuka, tekanan atmosfer dan persentase oksigen sekelilingnya. Bila pada suhu yang sama konsentrasi oksigen terlarut sama dengan jumlah kelarutan oksigen yang ada di dalam air, maka air tersebut dapat dikatakan sudah jenuh dengan oksigen terlarut. Bila air mengandung lebih banyak oksigen terlarut daripada yang

seharusnya pada suhu tertentu, berarti oksigen dalam air tersebut sudah lewat jenuh (super saturasi).

3. *Biochemical Oxygen Demand*

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1998). Ditegaskan oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Mays (1996) mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diuraikan. Dalam artian walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk sederhananya dapat diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan dan untuk mendesain sistem pengolahan secara biologis. (G. Alerts dan SS. Santika, 1987). Adanya bahan organik yang tinggi, yang ditunjukkan dari nilai BOD dan COD, menyebabkan mikroba menjadi aktif dan menguraikan bahan organik tersebut secara biologis menjadi senyawa asam-asam organik. Penguraian ini terjadi disepanjang saluran secara *aerob* dan *anaerob*. Menghasilkan gas CH_4 , NH_3 dan H_2S yang berbau busuk. Uji terhadap BOD ini tidak dapat digunakan untuk mengukur jumlah bahan-bahan organik yang sebenarnya terdapat di dalam air, tetapi hanya mengukur secara relative jumlah konsumsi oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut. Semakin banyak oksigen yang dikonsumsi, maka semakin banyak pula kandungan bahan-bahan organik di dalamnya.

Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri, dan untuk mendisain sistem-sistem pengolahan biologis bagi air yang tercemar

tersebut. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah; kalau sesuatu badan air dicemari oleh zat organik, bakteri dapat menghabiskan oksigen terlarut, dalam air selama proses oksidasi tersebut yang bisa mengakibatkan kematian ikan-ikan dalam air dan keadaan menjadi anaerobik dan dapat menimbulkan bau busuk pada air. Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen di dalam air, dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerob. Atas dasar reaksi tersebut, yang memerlukan kira-kira 2 hari dimana 50% reaksi telah tercapai, 5 hari supaya 75 % dan 20 hari supaya 100% tercapai maka pemeriksaan BOD dapat dipergunakan untuk menaksir beban pencemaran zat organik. *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat - zat organik yang ada dalam 1 L sampel air. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat - zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Semua makhluk hidup membutuhkan oksigen tidak terkecuali organisme yang hidup dalam air. Kehidupan akuatik seperti ikan mendapatkan oksigennya dalam bentuk oksigen terlarut yang sebagian besar berasal dari atmosfer. Tanpa adanya oksigen terlarut pada tingkat konsentrasi tertentu banyak jenis organisme akuatik tidak akan ada dalam air. Banyak ikan akan mati dalam perairan tercemar bukan diakibatkan oleh toksitasi zat pencemar langsung, tetapi karena kekurangan oksigen sebagai akibat dari digunakannya gas tersebut pada proses penguraian/penghancuran zat pencemar. Di dalam lingkungan bahan organik banyak terdapat dalam bentuk karbohidrat, protein, dan lemak yang membentuk organisme hidup dan senyawa-senyawa lainnya yang merupakan sumber daya alam yang sangat penting dan dibutuhkan oleh manusia. Secara normal, bahan organik tersusun oleh unsur-unsur C, H, O, dan dalam beberapa hal mengandung N, S, P, dan Fe. Senyawa-senyawa organik pada umumnya tidak stabil dan mudah dioksidasi secara biologis atau kimia menjadi senyawa stabil, antara lain menjadi CO_2 dan H_2O . Proses inilah yang

menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan menurun dan hal ini menyebabkan permasalahan bagi kehidupan akuatik.

4. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

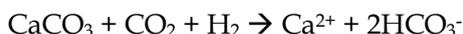
COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Chemical oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air atau banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . Pada reaksi ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam. Beberapa bahan organik tertentu yang terdapat pada air limbah, kebal terhadap degradasi biologis dan ada beberapa diantaranya yang beracun meskipun pada konsentrasi yang rendah. Bahan yang tidak dapat didegradasi secara biologis tersebut akan didegradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi tersebut dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand*. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat direduksi dengan metode pengolahan yang konvensional.

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Maka konsentrasi COD dalam air harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan agar tidak mencemari lingkungan. Air yang telah tercemar limbah organik sebelum reaksi berwarna kuning dan setelah reaksi oksidasi berubah menjadi warna hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap limbah organik seimbang dengan jumlah kalium dikromat yang digunakan pada reaksi oksidasi.

5. Kesadahan Air

Kesadahan air adalah kandungan mineral-mineral tertentu di dalam air, umumnya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Air sadah atau air keras adalah air yang memiliki kadar mineral yang tinggi, sedangkan air lunak adalah air dengan kadar mineral yang rendah. Selain ion kalsium dan magnesium, penyebab kesadahan juga bisa merupakan ion logam lain maupun garam-garam bikarbonat dan sulfat. Metode paling sederhana untuk menentukan kesadahan air adalah dengan sabun. Dalam air lunak, sabun akan menghasilkan busa yang banyak. Pada air sadah, sabun tidak akan menghasilkan busa atau menghasilkan sedikit sekali busa. Kesadahan air total dinyatakan dalam satuan ppm berat per volume (w/v) dari CaCO_3 .

Kesadahan merupakan parameter kimia dalam air yang ditunjukkan dengan konsentrasi kation bervalensi dua terutama Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Total kesadahan dinyatakan dalam ppm ekuivalen CaCO_3 . Total kesadahan erat kaitannya dengan alkalinitas sebab anion dari alkalinitas dan kation dari kesadahan diperoleh dari senyawa yang sama seperti senyawa karbonat atau seperti pada reaksi berikut:



Oleh sebab itu kesadahan dan alkalinitas dapat menggambarkan tingkat kesuburan air dan daya sangga suatu perairan. Klasifikasi perairan berdasarkan nilai kesadahan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5. Klasifikasi perairan berdasarkan nilai kesadahan

Kesadahan (mg/liter CaCO ₃)	Klasifikasi perairan
< 50	Lunak (<i>Soft</i>)
50 - 150	Menengah (<i>moderately hard</i>)
150 - 300	Sadah (<i>Hard</i>)
>300	Sangat sadah (<i>very hard</i>)

Secara lebih rinci kesadahan dibagi dalam dua tipe, yaitu: (1) kesadahan umum ("*general hardness*" atau GH) dan (2) kesadahan karbonat ("*carbonate hardness*" atau KH). Disamping dua tipe kesadahan tersebut, dikenal pula tipe kesadahan yang lain yaitu yang disebut sebagai kesadahan total atau *total hardness*. Kesadahan total merupakan penjumlahan dari GH dan KH. Kesadahan umum atau "*General Hardness*" merupakan ukuran yang menunjukkan jumlah ion kalsium (Ca²⁺) dan ion magnesium (Mg²⁺) dalam air. Ion-ion lain sebenarnya ikut pula mempengaruhi nilai GH, akan tetapi pengaruhnya diketahui sangat kecil dan relatif sulit diukur sehingga diabaikan. GH pada umumnya dinyatakan dalam satuan ppm (part per million/satu persepuluh bagian) kalsium karbonat (CaCO₃), tingkat kekerasan (dH), atau dengan menggunakan konsentrasi molar CaCO₃. Satu satuan kesadahan Jerman atau dH sama dengan 10 mg CaO (kalsium oksida) per liter air. Kesadahan pada umumnya menggunakan satuan ppm CaCO₃, dengan demikian satu satuan Jerman (dH) dapat diekspresikan sebagai 17.8 ppm CaCO₃. Sedangkan satuan konsentrasi molar dari 1 mili ekuivalen = 2.8 dH = 50 ppm.

Tabel 2.6. Konversi tingkat kesadahan dengan kadar CaCO_3 dan tingkat kekerasan perairan.

Tingkat Kesadahan (dH)	Kadar CaCO_3 (ppm CaCO_3)	Tingkat kekerasan
0 - 4	0-70	Sangat rendah (sangat rendah)
4 - 8	70-140	Rendah (lunak)
8 - 12	140-210	Sedang
12 - 18	210 - 320	Agak tinggi (agak keras)
18 - 30	320 - 530	Sangat sadah (<i>very hard</i>)

Dalam kaitannya dengan proses biologi, GH lebih penting peranannya dibandingkan dengan KH ataupun kesadahan total. Apabila ikan atau tanaman dikatakan memerlukan air dengan kesadahan tinggi (keras) atau rendah (lunak), hal ini pada dasarnya mengacu kepada GH. Ketidaksesuaian GH akan mempengaruhi transfer hara/gizi dan hasil sekresi melalui membran dan dapat mempengaruhi kesuburan, fungsi organ dalam (seperti ginjal), dan pertumbuhan. Setiap jenis ikan memerlukan kisaran kesadahan (GH) tertentu untuk hidupnya. Pada umumnya, hampir semua jenis ikan dan tanaman dapat beradaptasi dengan kondisi GH lokal, meskipun demikian, tidak demikian halnya dengan proses pemijahan. Pemijahan bisa gagal apabila dilakukan pada nilai GH yang tidak tepat.

Dari uraian tersebut di atas menunjukkan bahwa alkalinitas dan kesadahan mempunyai pengaruh terhadap kehidupan organisme air. Pengaruh kesadahan dan alkalinitas air ini yaitu: a) Dapat mempertahankan (menstabilkan) fluktuasi pH air. b) Berdasarkan butir a berarti secara tidak langsung dapat mempertahankan “ketersediaan” unsur hara dalam air yang sangat dibutuhkan oleh organisme nabati.

6. Alkalinitas

Alkalinitas merupakan penyangga (buffer) perubahan pH air dan indikasi kesuburan yang diukur dengan kandungan karbonat. Alkalinitas adalah kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan nilai pH larutan. Alkalinitas mampu menetralkan keasaman di dalam air, Secara khusus alkalinitas sering disebut sebagai besaran yang menunjukkan kapasitas pembufferan dari ion bikarbonat, dan tahap tertentu ion karbonat dan hidroksida dalam air. Ketika ion tersebut dalam air akan bereaksi dengan ion hydrogen sehingga menurunkan kemasaman dan menaikkan pH. Alkalinitas optimal pada nilai 90-150 ppm. Alkalinitas rendah diatasi dengan pengapuran dosis 5 ppm. Dan jenis kapur yang digunakan disesuaikan kondisi pH air sehingga pengaruh pengapuran tidak membuat pH air tinggi, serta disesuaikan dengan keperluan dan fungsinya. Perbedaan antara basa tingkat tinggi dengan alkalinitas yang tinggi adalah: Tingkat basa tinggi ditunjukkan oleh pH tinggi, sedangkan Alkalinitas tinggi ditunjukkan dengan kemampuan menerima proton tinggi. Alkalinitas berperan dalam menentukan kemampuan air untuk mendukung pertumbuhan alga dan kehidupan air lainnya, hal ini dikarenakan pengaruh sistem buffer dari alkalinitas. Alkalinitas berfungsi sebagai reservoir untuk karbon organik. Sehingga alkalinitas diukur sebagai faktor kesuburan air.

Perairan mengandung alkalinitas ≥ 20 ppm menunjukkan bahwa perairan tersebut relatif stabil terhadap perubahan asam/basa sehingga kapasitas buffer atau basa lebih stabil. Selain bergantung pada pH, alkalinitas juga dipengaruhi oleh komposisi mineral, suhu, dan kekuatan ion. Nilai alkalinitas alami tidak pernah melebihi 500 mg/liter CaCO_3 . Perairan dengan nilai alkalinitas yang terlalu tinggi tidak terlalu disukai oleh organisme akuatik karena biasanya diikuti dengan nilai kesadahan yang tinggi atau kadar garam natrium yang tinggi. Air dengan kandungan kalsium karbonat lebih dari 100 ppm disebut sebagai alkalin, sedangkan air dengan kandungan kurang dari 100 ppm disebut sebagai lunak atau tingkat alkalinitas sedang. Penyusun alkalinitas yang utama di perairan adalah anion bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}) dan

hidroksida (OH⁻). Kation utama yang mendominasi perairan tawar adalah kalsium dan magnesium, sedangkan pada perairan laut adalah sodium dan magnesium. Anion utama pada perairan tawar adalah bikarbonat dan karbonat, sedangkan pada perairan laut adalah klorida. Persentase ion-ion utama yang terdapat pada perairan tawar dan laut ditunjukkan pada **Tabel 2.7**

Tabel 2.7. Kation dan anion utama pada perairan tawar dan laut

Ion-ion utama	Persentase (%)	
	Air Tawar	Air Laut
Kation		
- Kalsium (Ca ²⁺)	60,9	3,2
- Magnesium (Mg ²⁺)	19,0	10,1
- Sodium/ Natrium (Na ⁺)	16,6	83,7
- Kalium (K ⁺)	3,5	3,0
Anion		
- Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)/Karbonat (CO ₃ ²⁻)	72,4	0,6
- Sulfat (SO ₄ ²⁻)	16,1	12,2
- Klorida (Cl ⁻)	11,5	87,2

7. Fosfat

Fosfat dapat ditemukan di bumi di dalam air, tanah dan sedimen. Tidak seperti senyawa materi lain siklus fosfor tidak dapat ditemukan di udara yang mempunyai tekanan tinggi. Hal ini karena fosfor biasanya cair pada suhu dan tekanan normal. Hal ini terutama melakukan siklus kembali melalui air, tanah dan sedimen. Fosfat yang paling sering ditemukan dalam formasi batuan sedimen dan laut sebagai garam fosfat. Garam fosfat yang dilepaskan dari pelapukan batuan melalui tanah biasanya larut dalam air dan akan diserap oleh tanaman. Karena jumlah fosfor dalam tanah pada umumnya kecil, sering kali faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman. Itu sebabnya manusia sering menggunakan fosfat sebagai pupuk pada tanah pertanian. Fosfat juga faktor-faktor pembatas bagi

pertumbuhan tanaman di ekosistem laut, karena mereka tidak begitu larut dalam air. Hewan menyerap fosfat dengan makan tumbuhan atau binatang pemakan tumbuhan. Siklus fosfor melalui tanaman dan hewan jauh lebih cepat daripada yang dilakukannya melalui batu dan sedimen. Ketika hewan dan tanaman yang mati, fosfat akan kembali ke tanah atau lautan lagi selama pembusukan. Fosfor atau dalam ilmu kimia disimbolkan dengan huruf (P) ialah unsur hara (nutrisi) yang diperlukan oleh flora (tumbuhan air) untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Unsur tersebut ada dalam bentuk (PO_4).

Fosfat adalah unsur dalam suatu batuan beku (apatit) atau sedimen dengan kandungan fosfor ekonomis. Kadang kadang, endapan fosfat berasosiasi dengan batuan beku alkali kompleks, terutama karbonit kompleks dan sienit. Fosfor berperan dalam transfer energi di dalam sel, misalnya yang terdapat pada ATP (*Adenosine Triphosphate*) dan ADP (*Adenosine Diphosphate*) Fosfat dalam air laut berbentuk ion fosfat. Ion fosfat dibutuhkan pada proses fotosintesis dan proses lainnya dalam tumbuhan (bentuk ATP, ADP dan Nukleotid koenzim). Penyerapan dari fosfat dapat berlangsung terus walaupun dalam keadaan gelap. Ortofosfat (H_3PO_4) adalah bentuk fosfat anorganik yang paling banyak terdapat dalam siklus fosfat.

8. Amoniak

Amonia di perairan berasal dari sisa metabolisme (eksresi) hewan dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Pada kegiatan budidaya, keberadaan amonia dihasilkan dari aktivitas ekskresi biota sendiri dan proses dekomposisi bahan organik dari sisa pakan dan kotoran selama pemeliharaan. Menurut Effendi (2003), sumber amonia lainnya di perairan adalah gas nitrogen dari proses difusi udara yang tereduksi di dalam air. Amonia di perairan dapat dijumpai dalam bentuk amonia total yang terdiri dari amonia bebas (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+). Keseimbangan antara kedua bentuk amonia di atas bergantung pada kondisi pH dan suhu perairan (Midlen dan Redding, 2000).

Berikut ini adalah bentuk kesetimbangan gas amonia dan ionamonium di perairan.



Amonia di perairan akan ditemukan lebih banyak dalam bentuk ion amonium jika pH perairan kurang dari 7, sedangkan pada perairan dengan pH lebih dari 7, amonia bebas atau amonia tak terionisasi yang bersifat toksik terdapat dalam jumlah yang lebih banyak (Novotny dan Olem, 1994). Tingkat toksisitas amonia tak-terionisasi tergantung pada kondisi pH dan suhu di suatu perairan, sehingga kenaikan nilai pH dan suhu menyebabkan proporsi amonia bebas di perairan meningkat. Toksisitas amonia tak-terionisasi berbahaya bagi organisme akuatik, khususnya bagi ikan (Effendi, 2003). Karena konsentrasi NH_3 bebas yang tinggi di perairan dapat menyebabkan kerusakan insang pada ikan. Selain itu tingginya konsentrasi NH_3 bebas dapat menyebabkan meningkatnya kadar amonia dalam darah dan jaringan tubuh ikan, sehingga dapat mengurangi kemampuan darah untuk mengangkut oksigen serta mengganggu kestabilan membran sel (Boyd, 1989). Menurut McNeely *et al.* (1979) dalam Effendi (2003), kadar amonia pada perairan alami tidak lebih dari 0.1 mg/liter. Kemudian jika konsentrasi ammonia tak-terionisasi lebih dari 0.2 mg/liter akan bersifat toksik bagi beberapa jenis ikan (Sawyer dan McCarty, 1978 dalam Effendi, 2003)

9. Nitrat

Nitrat (NO_3) adalah ion-ion anorganik alami yang merupakan bagian dari siklus nitrogen. Di alam, nitrogen terdapat dalam bentuk senyawa organik seperti urea, protein, dan asam nukleat atau sebagai senyawa anorganik seperti amonia, nitrit dan nitrat. Nitrat dibentuk dari asam nitrit yang berasal dari amonia melalui proses oksidasi katalitik. Nitrit juga merupakan hasil metabolisme dari siklus nitrogen. Nitrat dan nitrit adalah komponen yang mengandung nitrogen berikatan dengan atom oksigen.

Nitrat merupakan salah satu bentuk nitrogen di perairan yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan (fitoplankton dan alga) selain ion amonium dalam menunjang proses pertumbuhan. Senyawa NO₃-N sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Nitrat nitrogen di perairan merupakan hasil dari proses oksidasi nitrogen secara sempurna melalui proses nitrifikasi yang melibatkan bakteri, diantaranya; bakteri *Nitrosomonas* yang mengoksidasi ammonia menjadi nitrit, dan bakteri *Nitrobacter* yang mengoksidasi nitrit menjadi nitrat. Berikut ini adalah proses oksidasi nitrogen menjadi nitrat:

Nitrosomonas



Nitrobacter



Proses nitrifikasi sangat ditentukan oleh kondisi pH, suhu, kandungan oksigen terlarut, kandungan bahan organik, dan aktivitas bakteri lain di perairan (Krenkeldan Novotny, 1980 *in* Novotny dan Olem, 1994). Pada perairan yang tidak tercemar biasanya kadar nitrat lebih tinggi dari kadar amonium. Kadar NO₃⁻ pada perairan alami biasanya tidak pernah melebihi nilai 0.1 mg/liter. Kadar NO₃⁻ di perairan mencapai nilai 0.2 mg/liter dapat menyebabkan eutrofikasi yang berakibat pada tumbuh pesatnya fitoplankton dan alga. Terjadinya pencemaran antropogenik dapat digambarkan apabila kadarnitrat di perairan lebih dari 5 mg/liter (Davis dan Cornwell, 1991 dalam Effendi, 2003). Kadar nitrat di perairan dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan tingkat penyuburannya; kadar nitrat antara 0 mg/liter hingga 1 mg/liter untuk perairan oligotrofik; kadar nitrat antara 1 mg/liter hingga 5 mg/liter untuk perairan mesotrofik; dan kadar nitrat 5 mg/liter hingga 50 mg/liter untuk perairan eutrofik.

2.3. Parameter Biologi

Parameter biologi masih jarang digunakan sebagai parameter penentu pencemaran. Padahal, pengukuran menggunakan

parameter fisika dan kimia hanya memberikan kualitas lingkungan sesaat dan cenderung memberikan hasil dengan interpretasi dalam kisaran lebar. Dewasa ini beberapa negara maju seperti Perancis, Inggris dan Belgia melirik indikator biologis untuk memantau pencemaran air. Bahkan sudah dikembangkan hukum mutu air biotik. Di Indonesia belum mempunyai baku mutu air indeks biotik, yang ada hanya baku mutu air untuk parameter fisika dan kimia. Indikator Biologis digunakan untuk menilai secara makro perubahan keseimbangan ekologi, khususnya ekosistem, akibat pengaruh limbah. Spesies yang tahan hidup pada suatu lingkungan terpopulasi, akan menderita stress fisiologis yang dapat digunakan sebagai indikator biologis. Dibandingkan dengan menggunakan parameter fisika dan kimia, indikator biologis dapat memantau secara kontinyu. Hal ini karena komunitas biota perairan (flora/fauna) menghabiskan seluruh hidupnya di lingkungan tersebut, sehingga bila terjadi pencemaran akan bersifat akumulasi atau penimbunan.

Di samping itu, indikator biologis merupakan petunjuk yang mudah untuk memantau terjadinya pencemaran. Adanya pencemaran lingkungan, maka keanekaragaman spesies akan menurun dan mata rantai makanannya menjadi lebih sederhana, kecuali bila terjadi penyuburan. Flora dan fauna yang dapat dijadikan indikator biologis pencemaran sungai dapat diamati dari keanekaragaman spesies, laju pertumbuhan struktur dan seks ratio. Keanekaragaman flora dan fauna ekosistem sungai tinggi menandakan kualitas air sungai tersebut baik/belum tercemar. Tetapi sebaliknya bila keanekaragamannya kecil, sungai tersebut tercemar.

Hal yang perlu diperhatikan dalam memilih indikator biologi adalah tiap spesies mempunyai respon terhadap pencemaran yang spesifik. Ikan sulit digunakan sebagai indikator populasi. Lebih mudah menggunakan spesies air lain yang tidak lincah geraknya. Parameter biologis yang biasa diukur dalam pengamatan kualitas air untuk budidaya perairan adalah plankton, nekton, neuston, perifiton dan bentos karena masing-masing memiliki karakteristik yang khas.

1. Plankton

Plankton berasal dari bahasa Yunani '*planktos*' yang berarti mengembara atau berkeliaran. Kemudian plankton didefinisikan sebagai kumpulan organisme (umumnya berukuran mikro), yang diwakili oleh hampir semua kelompok dunia tumbuhan maupun hewan, baik sebagai produser primer, herbivore, karnivor, maupun sebagai transformer (seperti jamur dan bakteri). Cara hidup organisme ini dapat sebagai saprophyte ataupun parasit. Kelompok ini hidup dalam air terapung secara pasif, sehingga dapat hanyut. Walaupun ada yang dapat bergerak dengan organ dan mekanisme tertentu, pergerakannya relative lemah. Margalef (1955) dan Dussart (1965) dalam Subandiyo (1992) membuat penggolongan atau klasifikasi plankton berdasarkan atas perbedaan ukurannya, seperti pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. *Plankton berdasarkan perbedaan ukuran*

Klasifikasi	Margalef (Plankton air tawar)	Dussart (Plankton air laut)
Ultraplankton	< 5 μ	-
Ultranannoplankton	-	< 2 μ
Nannoplankton	5 - 50 μ	2 - 20 μ
Microplankton	50 - 500 μ	20 - 200 μ
Mesoplankton	500 - 1000 μ	200 - 2000 μ
Makroplankton	>1000 μ	-
Megaplankton	-	>2000 μ

Secara umum keberadaan plankton di perairan akan dipengaruhi oleh tipe perairannya (mengalir dan tergenang), kualitas kimia dan fisika perairan (misalnya: suhu, kecerahan, arus, pH, kandungan CO₂ bebas, kandungan unsur-unsur hara), dan adanya kompetitor-kompetitor dan atau pemangsa-pemangsa plankton. Pada perairan tergenang (misalnya; kolam, rawa, situ, danau), keberadaan plankton akan berbeda dari waktu ke waktu (*temporal differences*) dan berbeda pula dalam menempati ruang atau

kolom air (*spatial differences*). Sedangkan pada perairan mengalir unsur waktu dan ruang relative tidak berbeda nyata, kecuali jika ada kasus pencemaran sungai oleh aktifitas manusia.

2. Benthos

Benthos adalah organisme yang menempel/ istirahat pada dasar atau yang hidup pada sedimen dasar perairan. Benthos dapat dibedakan menjadi zoobentos (hewan) dan fitobentos (tumbuhan). Hewan benthos hidup relatif menetap, sehingga baik digunakan sebagai petunjuk kualitas lingkungan, karena selalu kontak dengan limbah yang masuk ke habitatnya. Kelompok hewan tersebut dapat lebih mencerminkan adanya perubahan faktor-faktor lingkungan dari waktu ke waktu, karena hewan benthos terus menerus terdedah oleh air yang kualitasnya berubah-ubah. Diantara hewan benthos yang relatif mudah diidentifikasi dan peka terhadap perubahan lingkungan perairan adalah jenis-jenis yang termasuk dalam kelompok invertebrata makro. Kelompok ini lebih dikenal dengan makrozoobentos. Keberadaan hewan benthos pada suatu perairan, sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, baik biotik maupun abiotik. Faktor biotik yang berpengaruh diantaranya adalah produsen, yang merupakan salah satu sumber makanan bagi hewan benthos. Adapun faktor abiotik adalah fisika-kimia air yang diantaranya: suhu, arus, oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biologi (BOD) dan kimia (COD), serta kandungan nitrogen (N), kedalaman air, dan substrat dasar. Zoobentos merupakan hewan yang sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di dasar perairan, baik yang sesil, merayap maupun menggali lubang (Odum 1993). Hewan ini memegang beberapa peran penting dalam perairan seperti dalam proses dekomposisi dan mineralisasi material organik yang memasuki perairan, serta menduduki beberapa tingkatan trofik dalam rantai makanan (Odum, 1993).

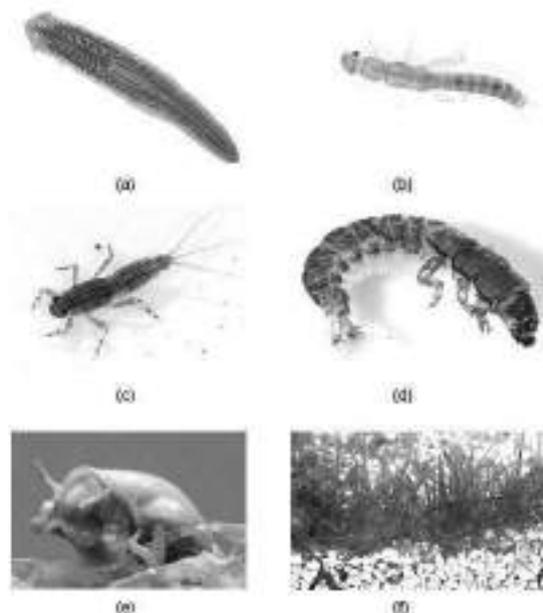
Benthos memegang beberapa peran penting dalam perairan seperti dalam proses dekomposisi dan mineralisasi material organik yang memasuki perairan serta menduduki beberapa tingkatan trofik dalam rantai makanan. Suwondo dkk, (2004) juga mengemukakan

bahwa Benthos merupakan organisme perairan yang keberadaannya dapat dijadikan indikator perubahan kualitas biologi perairan sungai. Selain itu, organisme bentos juga dapat digunakan sebagai indikator biologis dalam mempelajari ekosistem sungai. Hal ini disebabkan adanya respon yang berbeda terhadap suatu bahan pencemar yang masuk dalam perairan sungai dan bersifat *immobile*.

Organisme yang termasuk makrozoobentos diantaranya adalah: *Crustacea*, *Isopoda*, *Decapoda*, *Oligochaeta*, *Mollusca*, *Nematoda* dan *Annelida*. Taksa-taksa tersebut mempunyai fungsi yang sangat penting di dalam komunitas perairan karena sebagian dari padanya menempati tingkatan trofik kedua ataupun ketiga. Sedangkan sebagian yang lain mempunyai peranan yang penting di dalam proses mineralisasi dan pendaur ulangan bahan-bahan organik, baik yang berasal dari perairan maupun dari daratan. Mahmudi, dkk, (1999), juga mempertegas bahwa makrozoobentos mempunyai peranan penting di ekosistem sungai, yaitu: (1) dapat memberikan informasi mengenai pemindahan dan penggunaan energi dalam ekosistem sungai, (2) mempunyai peranan dalam proses self purification sungai, dan (3) dapat digunakan untuk kepentingan restorasi perairan sungai dengan cara menciptakan habitat yang mendorong kolonisasi makrozoobentos. Komunitas makrozoobentos bahkan menjadi sumber energi untuk perikanan di ekosistem sungai.

Penggunaan makrozoobentos sebagai indikator kualitas perairan dinyatakan dalam bentuk indeks biologi. Cara ini telah dikenal sejak abad ke 19 dengan pemikiran bahwa terdapat kelompok organisme tertentu yang hidup di perairan tercemar. Jenis-jenis organisme ini berbeda dengan jenis-jenis organisme yang hidup di perairan tidak tercemar. Kemudian oleh para ahli biologi perairan, pengetahuan ini dikembangkan, sehingga perubahan struktur dan komposisi organisme perairan karena berubahnya kondisi habitat dapat dijadikan indikator kualitas perairan. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, organisme bentos melakukan migrasi vertical di dalam substrat. Penyebab migrasi diduga karena beberapa kemungkinan, yaitu:

- a. menghindari dari predator,
- b. menghindari dari intensitas cahaya yang sampai ke dasar,
- c. menghindari dari adanya bahan-bahan pencemar di permukaan substrat.



Gambar 2.2. Bentos sebagai indikator perairan (a) *Planaria*, (b) *Leuctra*, (c) *Ephemera*, (d) *Hydropsyche*, (e) *Lymnaea* dan (f) *Tubifex*

3. Nekton

Nekton adalah kelompok organisme yang tinggal di dalam kolom air (*water column*) baik di perairan tawar maupun laut. Kata “nekton” diberikan oleh Ernst Haeckel tahun 1890 yang berasal dari kata Yunani (Greek) yang artinya berenang (*the swimming*) yang meliputi (*biofluidynamics, biomechanics, functional morphology of fluid locomotion, locomotor physiology*). Ilmunya disebut Nektology dan orangnya disebut sebagai nektologis. Sementara pengertian dari nekton bahari adalah hewan-hewan nektonik yang tersebar di zona epipelagik pada laut terbuka. Nekton bahari merupakan organisme laut yang sangat bermanfaat bagi manusia terutama untuk perbaikan gizi dan peningkatan ekonomi.

Kombinasi antara keadaan tiga dimensi dan kurangnya rintangan, memudahkan evolusi adaptasi untuk mobilitas yang besar. Besarnya mobilitas dan kemampuan untuk menempuh jarak-jarak jauh pada gilirannya menyebabkan perkembangan sistem saraf dan indra (*sensory*) yang akan menangkap dan mengolah informasi yang diperlukan untuk menjelajahi daerah, mencari dan menangkap makanan, serta untuk menghindari predator. Kurangnya perlindungan serta besarnya ukuran kebanyakan nekton, juga menyebabkan perkembangan kecepatan renang yang tinggi untuk menghindari predator dan sekaligus untuk mencari makanan. Kamufase juga merupakan usaha yang lain. Keadaan tersuspensinya tubuh hewan nektonik yang kerapatan tubuhnya lebih besar daripada kerapatan air laut secara terus-menerus menyebabkan perkembangan progresif berbagai adaptasi agar dapat tetap terapung.

4. Neuston

Neuston adalah istilah untuk organisme yang mengapung di atas air (*epineuston*) atau tinggal tepat di bawah permukaan (*hyponeuston*). *Neuston* terkadang hanya mengandalkan tegangan permukaan air untuk mempertahankan posisinya mengapung di atas permukaan air. *Neuston* terdiri dari beberapa spesies ikan yang senang hidup di atas permukaan air seperti ikan terbang. Contoh lain *neuston* adalah, kumbang, protozoa, bakteri dan laba-laba.

5. Perfiton

Istilah perfiton diartikan sebagai sekumpulan organisme (berukuran mikro) yang menempel atau menetap pada suatu substrat. Sedangkan pada literature berbahasa Jerman, istilah *Aufwuchs* dipakai untuk menggantikan istilah perfiton karena memiliki arti yang lebih luas. *Aufwuchs* adalah sekumpulan organisme yang menempel atau menetap pada suatu substrat, termasuk didalamnya kelompok organisme hewani atau nabati yang bergerak lambat (merayap atau merangkak) pada substrat tersebut. Kelompok ini, tidak seperti bentos, tidak dapat menembus substrat.

Selain dipengaruhi oleh tipe substrat keberadaan *perifiton*, baik kelimpahan jenis maupun individu, banyak dipengaruhi oleh iklim, arus air, kekeruhan, suhu air dan adanya bahan pencemar di perairan. Oleh karena itu pengetahuan tentang *perifiton* disamping berguna untuk mengetahui produktifitas (kesuburan) suatu perairan juga dapat menjadi indikator dalam pencemaran air.

2.4. Tugas Akhir Bab

Buatlah suatu pengamatan tentang parameter fisika, kimia dan biologi di suatu perairan umum seperti sungai, waduk atau laut dan parameter fisika, kimia dan biologi di suatu perairan budidaya seperti kolam, tambak atau jarring apung. Bandingkan masing-masing karakteristik dari parameter-parameter tersebut, jelaskan dan diskusikan perbedaan dan persamaannya dengan kelompok anda lalu paparkan di depan kelas!

BAB 3

SAMPLING ANALISA KUALITAS AIR



3.1. Pendahuluan

Pengambilan sampel untuk pengukuran kualitas air merupakan salah satu titik kritis pada tahapan pengukuran kualitas air. Pengambilan sampel merupakan satu langkah awal yang dapat menentukan keakuratan data kualitas air yang akan digunakan. Sebelum mempelajari teknik pengambilan sampel sebaiknya anda mengetahui macam-macam sampel/ccontoh air terlebih dahulu. Sampel air permukaan berasal dari air sungai, air danau, air waduk, mata air, air rawa, dan air gua. Pengujian air permukaan bertujuan untuk:

- a. Mengetahui kualitas air permukaan sehingga dapat ditentukan peruntukannya sebagai, misalnya air minum, air untuk rekreasi, air untuk industri, air untuk perikanan, air pertanian, dan sebagainya.
- b. Membuktikan dan mengendalikan pencemaran.
- c. Menetapkan kebijakan pengelolaan air permukaan.

Maksud pengambilan sampel kualitas air adalah mengumpulkan volume sampel kualitas air yang akan diteliti dengan jumlah sekecil mungkin, tetapi masih mewakili (*representatif*), yaitu masih mempunyai sifat-sifat yang sama dengan sumber sampel kualitas air tersebut (misal badan air/sungai, danau/waduk, mata air, sumur dll.). Karakteristik dari perairan mungkin tidak banyak berubah selama beberapa waktu, tetapi banyak juga aliran air yang selalu berubah di dalam waktu singkat. Contohnya karakteristik air di hulu umumnya hanya berubah karena pengaruh hujan sehingga perubahan dapat bersifat harian bahkan jam. Untuk memperoleh contoh yang mewakili keadaan yang sesungguhnya dapat dipilih tiga metode:

Contoh Sesaat

Contoh Sesaat (*Grav Sample*) Contoh sesaat mewakili keadaan air pada suatu saat dari suatu tempat. Apabila suatu sumber air mempunyai karakteristik yang tidak banyak berubah didalam suatu periode atau didalam batas jarak waktu tertentu maka contoh sesaat tersebut cukup mewakili keadaan waktu dan tempat tersebut. Umumnya metode ini dapat dipakai untuk sumber air alamiah tetapi tidak mewakili keadaan air buangan atau sumber air yang banyak dipengaruhi oleh bahan buangan. Bila suatu sumber atau air buangan diketahui mempunyai karakteristik yang banyak berubah maka beberapa contoh sesaat diambil berturut-turut untuk jangka waktu tertentu dan pemeriksaannya dilakukan sendiri-sendiri, tidak disatukan seperti pada metode gabungan. Jangka waktu pengambilan sampel air berkisar antara 5 menit sampai 1 jam atau lebih, umumnya periode pengambilan sampel selama 24 jam. Pemeriksaan parameter tertentu memerlukan metode sesaat seperti

pengukuran suhu, pH, kadar gas terlarut, CO₂, sulfida, sulfat, sianida dan klorin.

Contoh Gabungan Waktu (*Composite Sample*)

Contoh gabungan waktu adalah campuran contoh-contoh sesaat yang diambil dari suatu tempat yang sama pada waktu yang berbeda. Hasil pemeriksaan contoh gabungan menunjukkan keadaan merata dari tempat tersebut didalam suatu periode. Umumnya pengambilan sampel dilakukan secara terus menerus selama 24 jam tetapi dalam beberapa hari dilakukan secara intensif untuk jangka waktu yang lebih pendek. Untuk mendapatkan contoh gabungan waktu (*composite*) perlu diperhatikan agar setiap contoh yang dicampurkan mempunyai volume yang sama. Apabila volume akhir dari suatu contoh gabungan 1-5 Liter, maka untuk selang waktu 1 jam selama periode pengambilan sampel 24 jam dibutuhkan volume contoh masing-masing sebanyak 200-220 mL.

Contoh Gabungan Tempat (*Integreted Sample*)

Merupakan campuran contoh-contoh sesaat yang diambil dari tempat yang berbeda pada waktu yang sama. Hasil pemeriksaan contoh gabungan menunjukkan keadaan merata dari suatu daerah atau tempat pemeriksaan. Metode ini berguna apabila diperlukan pemeriksaan kualitas air dari suatu penampang aliran sungai yang dalam atau lebar atau bagian-bagian penampang tersebut memiliki kualitas yang berbeda. Metode ini umumnya tidak dilakukan untuk pemeriksaan kualitas air danau atau air waduk karena pada umumnya menunjukkan gejala yang berbeda kualitasnya karena kedalaman atau lebarnya. Dalam hal ini selalu dipergunakan metode pemeriksaan terpisah. Keberhasilan metode pengambilan sampel sangat tergantung pada peralatan untuk pengambilan sampel, teknik atau cara pengambilan, pelaksanaan dan penanganan serta penyempurnaan analisis Laboratorium lebih dari 50% ketidakabsahan data analisa kuallitas air dipengaruhi oleh teknik pengambilan sampel yang tidak sesuai.

3.2. Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel dapat dilakukan pada air permukaan dan air tanah. Pengambilan sampel pada air permukaan meliputi air sungai, danau, waduk, rawa, dan genangan air lainnya. Penentuan kualitas air pada daerah pengaliran sungai didasarkan pada:

- Sumber air alamiah, yaitu lokasi pada tempat yang belum atau masih sedikit mengalami pencemaran;
- Sumber air tercemar, yaitu lokasi pada tempat yang telah mengalami perubahan atau di hilir sumber pencemaran;
- Sumber air yang dimanfaatkan, yaitu lokasi pada tempat penyadapan pemanfaatan sumber air.

Sedangkan pemantauan kualitas air pada danau/waduk didasarkan pada:

- Tempat masuknya sungai ke danau/waduk
- Di tengah danau/waduk
- Lokasi penyadapan air untuk pemanfaatan
- Tempat keluarnya air danau/waduk

Penentuan lokasi pengambilan sampel air sungai

Langkah awal dalam menentukan lokasi pengambilan sampel air sungai adalah mengetahui keadaan geografi sungai dan aktifitas di sekitar daerah aliran sungai. Secara umum, lokasi pengambilan sampel air sungai meliputi:

- Daerah hulu atau sumber air alamiah, yaitu lokasi yang belum tercemar. Lokasi ini berperan untuk identifikasi kondisi asal atau *base line sistem* tata air
- Daerah pemanfaatan air sungai, yaitu lokasi di mana air sungai dimanfaatkan untuk bahan baku air minum, air untuk rekreasi, industry, perikanan, pertanian, dan lain-lain. Tujuannya adalah untuk mengetahui kualitas air sebelum dipengaruhi oleh suatu aktifitas.
- Daerah yang potensial terkontaminasi, yaitu lokasi yang mengalami perubahan kualitas air oleh aktivitas industri,

pertanian, domestik, dan sebagainya. Lokasi ini dipilih untuk mengetahui hubungan antara pengaruh aktivitas tersebut dan penurunan kualitas air sungai

- Daerah pertemuan dua sungai atau lokasi masuknya anak sungai. Lokasi ini dipilih apabila terdapat aktivitas yang mempunyai pengaruh terhadap penurunan kualitas air sungai
- Daerah hilir atau muara, yaitu daerah pasang surut yang merupakan pertemuan antara air sungai dan air laut. Tujuannya untuk mengetahui kualitas air sungai secara keseluruhan. Apabila data hasil pengujian di daerah hilir dibandingkan dengan data untuk daerah hulu, evaluasi tersebut dapat menjadi bahan kebijakan pengelolaan air sungai secara terpadu.

Khusus untuk pertemuan dua sungai atau masuknya anak sungai, lokasi pengambilan sampel adalah di daerah di mana air di kedua sungai itu diperkirakan telah tercampur secara sempurna. Untuk mengetahuinya perlu dilakukan uji homogenitas air sungai. Uji homogenitas dilakukan dengan mengambil beberapa sampel di sepanjang lebar sungai dan pada kedalaman tertentu. Parameter ujinya adalah suhu, derajat keasaman atau pH, oksigen terlarut atau DO, dan daya hantar listrik (DHL). Apabila hasil pengujian parameter di beberapa titik tersebut tidak berbeda jauh, yaitu kurang dari 10%, dapat disimpulkan bahwa telah terjadi pencampuran sempurna di antara dua air sungai tersebut. **Tabel 3.1** menggambarkan perkiraan jarak pencampuran sempurna untuk penentuan lokasi pengambilan sampel.

Tabel 3.1. *Perkiraan Jarak Pencampuran Sempurna di Sungai*

Lebar rata-rata (m)	Kedalaman rata-rata (m)	Perkiraan jarak pencampuran sempurna (km)
5	1	0.08 – 0.70
	2	0.05 – 0.30
	3	0.03 – 0.20
10	1	0.30 – 2.70
	2	0.20 – 1.40
	3	0.10 – 0.90
	4	0.08 – 0.70
	5	0.07 – 0.50
20	1	1.30 – 11.0
	3	0.40 – 4.00
	5	0.30 – 2.00
	7	0.20 – 1.50
50	1	8.00 – 70.0
	3	3.00 – 20.0
	5	2.00 – 14.0
	10	0.80 – 7.00
	20	0.40 – 3.00

3.3. Penentuan Jumlah Titik Pengambilan Sampel Sir Sungai

Apabila lokasi pengambilan telah ditetapkan, langkah selanjutnya adalah menentukan titik pengambilannya. Jumlah titik tersebut sangat tergantung pada debit rata-rata tahunan dan klasifikasi sungai. Semakin banyak titik pengambilan sampel, semakin menggambarkan kualitas air sungai sesungguhnya. **Tabel 3.2** dibawah memberikan ilustrasi jumlah titik pengambilan air sungai sesuai klasifikasinya.

Tabel 3.2. Jumlah titik pengambilan sampel air sungai sesuai klasifikasinya

Debit rata-rata tahunan (m ³ / detik)	Klasifikasi sungai	Jumlah titik pengambilan sampel	Jumlah kedalaman pengambilan sampel*
<5	Kecil	2	1
5 - 150	Sedang	4	2
150 - 1000	Besar	6	3
>1000	Sangat besar	Minumum 6 seperti pada sungai besar, jumlah titik tambahan tergantung pada sungainya, kenaikan ditambah dengan faktor 2 (dua)	4

Catatan: (*) Sampel air sungai diambil pada 30 cm di bawah permukaan air dan/ atau 30 cm di atas dasar sungai dan harus dengan hati-hati sehingga endapan dasar sungai (sedimen) tidak terambil.

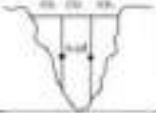
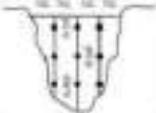
Penentuan titik pengambilan sampel air bertujuan agar pada saat pengambilan sampel, benda yang terapung di permukaan air dan endapan yang mungkin tergerus dari dasar sungai tidak ikut terambil. Titik pengambilan sampel air yang berupa air permukaan ditetapkan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Pada sungai dengan debit kurang dari 5 m³/detik, sampel air diambil pada satu titik ditengah sungai pada 0,5 x kedalaman sungai.
- Pada sungai dengan debit antara 5 - 150 m³/detik, sampel air diambil dari 2 titik, masing-masing pada jarak 1/3 dan 2/3 lebar sungai pada 0,5 x kedalaman sungai.
- Pada sungai dengan debit lebih dari 150 m³/detik, sampel air diambil minimum dari 6 titik, masing-masing pada jarak 1/4, 1/2, dan 3/4 lebar sungai, pada 0,2 x kedalaman sungai dan 0,8 x kedalaman sungai.

Dalam prakteknya, jumlah titik tersebut sangat dipengaruhi oleh situasi dan kondisi air sungai. Untuk gambaran yang lebih

detail, **Tabel 3.3.** dibawah menunjukkan jumlah titik pengambilan sampel air sungai berdasarkan klasifikasi dan debit rata-rata tahunan.

Tabel 3.3. Jumlah titik pengambilan sampel air sungai berdasarkan klasifikasi dan debit rata-rata tahunan

Debit rata-rata tahunan (m ³ /detik)	Klasifikasi sungai	Jumlah kedalaman	Jumlah titik sampel
< 5 (kedalaman air rata-rata < 1 m)	Sangat kecil	1	
< 5 (kedalaman rata-rata > 1 m)	Kecil	1	
5 - 150	Sedang	2	
150 - 1000	Besar	3	
> 1000	Sangat besar	4	

Keterangan:

d : kedalaman air sungai; L : lebar sungai (Sumber Hadi, 2007)

3.4. Pengambilan Sampel Air di Danau /Waduk

Pada titik pengambilan sampel air danau atau waduk ditetapkan menurut ketentuan-ketentuan sebagai berikut;

- Pada danau atau waduk dengan kedalaman kurang dari 10 m, sampel air diambil dari dua titik, yaitu di permukaan dan di dasar danau/waduk.

- Pada danau atau waduk dengan kedalaman antara 10 m – 30 m, sampel diambil pada tiga titik, yaitu dipermukaan, lapisan termoklin, dan di dasar danau
- Pada danau atau waduk dengan kedalaman antara 30 m – 100 m, sampel diambil pada titik, yaitu permukaan, lapisan termoklin (*metalimnion*), di atas lapisan hipolimnion, dan dasar danau/waduk
- Pada danau atau waduk dengan kedalaman lebih dari 100 m, titik pengambilan sampel air dapat diperbanyak sesuai dengan keperluan.

a. Teknik Pengambilan Sampel Air

Teknik pengambilan sampel air permukaan harus disesuaikan dengan keperluannya, karena masing-masing teknik berbeda dalam pengambilan sampel dan penanganannya. Berikut dibawah ini teknik pengambilan sampel untuk berbagai keperluan:

Untuk pemeriksaan sifat fisika dan kimia air

- 1) Siapkan alat pengambil sampel yang sesuai dengan keadaan sumber air;
- 2) Bilas alat dengan sampel yang akan diambil;
- 3) Ambil sampel sesuai dengan keperluan dan campurkan dalam penampung sementara hingga merata;
- 4) Apabila sampel diambil dari beberapa titik, maka volume sampel yang diambil dari setiap titik harus sama.

Untuk pemeriksaan oksigen terlarut

- 1) Tahapan pengambilan sampel yang dilakukan secara langsung:
 - a) Siapkan botol BOD volume \pm 300 mL yang bersih dan bertutup basah;
 - b) Celupkan botol dengan hati-hati
 - c) Isi botol sampai penuh, hindari terjadinya turbulensi dan gelembung udara pada saat pengisian botol; kemudian ditutup,
 - d) Sampel siap untuk dianalisis,

2) Alat pengambilan khusus

Sampel air diambil sesuai dengan prosedur pemakaian alat tersebut.

Untuk pemeriksaan mikrobiologi

1) Pada air permukaan secara langsung

- a) Siapkan botol yang volumenya 100 mL dan telah disterilkan pada suhu 120°C selama 15 menit atau dengan cara sterilisasi lain;
- b) Pegang bagian bawah botol dan celupkan \pm 20 cm di bawah permukaan air dengan posisi mulut botol berlawanan dengan arah aliran.

2) Pada air permukaan secara tidak langsung dari jembatan

- a) Siapkan botol steril yang tutupnya terbungkus kertas aluminium;
- b) Ikat botol dengan tali dan pasang pemberat di bagian dasar botol;
- c) Buka tutup botol dan turunkan botol perlahan-lahan ke dalam permukaan air;
- d) Tarik tali sambil digulung;
- e) Buang sebagian isi botol hingga volumenya $\pm\frac{3}{4}$ volume botol. Bakar bagian mulut botol, kemudian botol tutup lagi.

3) Untuk air tanah pada sumur gali

Tahapan pengambilan sampel air sama dengan pada air permukaan

4) Air tanah pada kran air

- a) Siapkan botol steril yang tutupnya terbungkus kertas aluminium;
- b) Buka kran dan biarkan air mengalir selama 1 - 2 menit;
- c) Sterilkan kran dengan cara membakar mulut kran sampai keluar uap air;
- d) Alirkan lagi air selama 1 - 2 menit;
- e) Buka tutup botol dan isi sampai $\pm\frac{3}{4}$ botol;
- f) Bakar bagian mulut botol, kemudian botol ditutup

Setelah lokasi dan peruntukan sampel ditentukan maka dapat dilakukan persiapan sarana dan prasarana terlebih dahulu

untuk mempermudah pengambilan sampel. sarana dan prasarana yang perlu disiapkan antara lain:

Peralatan pengambilan sampel air harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat sampel air (misalnya untuk keperluan pemeriksaan logam, alat pengambilan sampel tidak terbuat dari logam),
- Mudah dicuci dari bekas sampel sebelumnya,
- Sampel mudah dipindahkan ke botol penampung tanpa ada sisa bahan tersuspensi di dalamnya,
- Kapasitas alat disesuaikan dengan keperluan dan tergantung dari maksud pemeriksaan,
- Mudah dan aman dibawa

Peralatan pengambilan sampel terdiri dari beberapa jenis, penggunaannya harus disesuaikan dengan:

- Alat pengambil sampel sederhana (ember plastik, botol).
- Botol biasa diberi pemberat yang dapat digunakan pada kedalaman tertentu.
- Alat pengambil sampel setempat secara mendatar yang digunakan untuk pengambilan sampel di sungai atau air mengalir pada kedalaman tertentu.
- Alat pengambil sampel secara tegak, untuk mengambil sampel pada lokasi yang airnya tenang atau aliran sangat lambat pada kedalaman tertentu, seperti di danau, waduk dan muara sungai.
- Alat pengambil sampel pada kedalaman yang terpadu, untuk mendapatkan sampel yang mewakili semua lapisan air.
- Alat pengambil sampel secara otomatis, digunakan untuk sampel gabungan waktu dari air limbah atau air sungai tercemar, agar diperoleh kualitas air rata-rata selama periode tertentu.
- Alat pengambil sampel untuk pemeriksaan gas terlarut yang dilengkapi tutup sehingga alat dapat ditutup segera setelah terisi penuh.

- Alat pengambil sampel untuk pemeriksaan bakteri, yaitu botol gelas yang ditutupi kapas atau aluminium foil, tahan panas dan tekanan selama proses sterilisasi.
- Alat pengambilan sampel untuk pemeriksaan plankton berupa jaringan yang berpori 173 mesh/inchi.
- Alat pengambil sampel untuk pemeriksaan hewan benthos, misalnya Ekman grap, digunakan untuk pengambilan sampel pada sumber air yang alirannya relatif kecil.

Tabel 3.4. Peralatan pengambilan sampel (*sampling*) kualitas air



Kemmerer water sampler
(Mengambil sampel air pada kedalaman tertentu)



Van dorn horizontal water sampler
(Mengambil sampel air pada kedalaman tertentu)



Surber Sampler (Mengambil sampel benthos pada perairan mengalir)



Ekman Grab (Mengambil sampel benthos pada perairan tergenang)



Plankton net (mengambil sampel plankton)



Ayakan benthos (Menyaring sampel benthos)



Cooler box (Penyimpanan sampel air untuk dibawa ke laboratorium)



Botol sampel plastik (Wadah penampungan sampel air)

Wadah sampel yang digunakan juga dapat terbuat dari berbagai macam bahan, namun ada beberapa persyaratan wadah sampel yang harus diperhatikan antara lain:

- Terbuat dari bahan gelas atau plastik
- Dapat ditutup dengan rapat
- Mudah dicuci dan tidak mudah pecah
- Wadah untuk pemeriksaan bakteri harus dapat disterilkan
- Tidak menyerap zat-zat kimia dari sampel
- Tidak melarutkan zat-zat kimia ke dalam sampel
- Tidak menimbulkan reaksi antar wadah dan sampel air

Waktu Pengambilan Sampel

Untuk pemantauan kualitas air, interval waktu pengambilan sampel diatur pada hari dan jam yang berbeda, sehingga dapat diketahui perbedaan kualitas air setiap hari maupun setiap jam. Sebagai contoh apabila pengambilan sampel pertama dilakukan pada hari Senin jam 06.00, maka pengambilan sampel selanjutnya dilakukan pada hari Selasa jam 07.00, dst.

Frekwensi Pengambilan Sampel

Frekwensi pengambilan sampel untuk keperluan pemantauan dilakukan berdasarkan keperluan atau apabila belum ditetapkan, maka sebagai pegangan dapat dilakukan sebagai berikut:

- Untuk sungai/saluran yang tercemar berat, setiap 2 minggu sekali, selama satu tahun;
- Untuk sungai/saluran yang tercemar ringan sampai sedang, sebulan sekali, selama satu tahun;
- Untuk air alami yang belum tercemar, setiap 3 bulan sekali selama satu tahun;
- Untuk air danau/waduk, setiap 2 bulan selama satu tahun;
- Untuk aliran air tanah, setiap 3 bulan selama satu tahun.

Dalam pengambilan sampel, sebaiknya digunakan wadah yang baru. Jika terpaksa menggunakan wadah bekas, wadah diperlakukan dengan perlakuan tertentu terlebih dahulu, yang dapat menjamin bahwa wadah tersebut bebas dari pengaruh sampel sebelumnya. Selain itu, wadah atau peralatan yang dapat bereaksi dengan limbah cair harus dihindarkan, misalnya wadah atau peralatan yang terbuat dari logam yang dapat mengalami korosi oleh air yang bersifat asam. Alat yang digunakan juga harus mudah dicuci atau dibersihkan untuk menghindari kontaminasi, mudah dan aman dibawa ke lokasi sampling. Pengambilan sampel air dapat dilakukan melalui langkah-langkah kerja sebagai berikut:

- Menyiapkan alat yang telah terkalibrasi untuk pengambilan sampel yang sesuai dengan keadaan sumber air.

- Alat-alat tersebut dibilas sebanyak tiga kali dengan sampel air yang akan diambil
- Dilakukan pengambilan sampel sesuai dengan keperluan; sampel yang diperoleh dicampur secara merata di dalam penampung sementara atau container yang harus bebas dari kontaminan
- Jika pengambilan sampel dilakukan pada beberapa titik maka volume sampel dari setiap titik harus sama.
- Penentuan titik sampling atau lokasi sampling dapat didukung dengan GPS dan kamera.

3.5. Teknik Penanganan Sampel

Setelah pengambilan sampel, air sampel sebaiknya segera dianalisis. Jika terpaksa harus disimpan, setiap parameter kualitas air memerlukan perlakuan tertentu terhadap sampel. Selain perlakuan dengan bahan kimia, pengawetan yang paling umum dilakukan adalah pendinginan pada suhu 4°C selama transportasi dan penyimpanan. Pada suhu tersebut, aktivitas bakteri terhambat. Sampel yang ditunda pengukurannya dan terpaksa harus dilakukan penyimpanan sebaiknya dilakukan labeling pada botol sampel yang digunakan. Pelabelan botol sampel sangat penting dilakukan untuk menghindari kekeliruan saat analisa sampel. Pelabelan minimal meliputi pencatatan data tentang:

- 1) Jenis air, misalnya air tanah, air limbah, air sungai, air laut
- 2) Lokasi atau titik pengambilan sampel, disebutkan lokasi yang pasti/jelas dimana sampel diambil
- 3) Parameter yang akan diperiksa
- 4) Cuaca saat pengambilan sampel
- 5) Tanggal dan waktu (jam) pengambilan sampel
- 6) Nama yang mengambil sampel

Frekuensi pengambilan sampel air tergantung pada beberapa faktor, yaitu perubahan beban pencemaran dan debit air, tujuan pemantauan kualitas air, dan kemampuan analisis. Pada prinsipnya hampir semua parameter kimia air dapat dianalisa secara akurat di

laboratorium. Tetapi hasil analisa tersebut akan tidak ada manfaatnya apabila cara pengambilan sampel air di lapangan tidak sesuai dengan sifat dari beberapa parameter kimia air yang sangat sensitive terhadap kontak langsung dengan udara, maka pengambilan sampel pun harus dilakukan sedemikian rupa sehingga kontak air dengan udara dapat dihindari serta air dapat dibawa ke permukaan dan ketika sampai di laboratorium, tidak akan mengalami perubahan sifat (Anonimous, 1992).

3.6. Teknik Pengawetan Sampel

Pengawetan contoh yang sempurna untuk sampel perairan adalah tidak mungkin, mengingat sifat-sifat kestabilan dari masing-masing unsur yang terkandung pada contoh tersebut tidak mungkin dicapai dengan sempurna. Fungsi pengawetan adalah memperlambat proses perubahan kimia dan biologis yang tidak terelakan. Pengawetan sangat sukar karena hampir semua pengawet mengganggu untuk beberapa pengujian. Menyimpan sampel pada suhu rendah (4°C) mungkin merupakan cara terbaik. Untuk mengawetkan contoh sampai hari berikutnya penggunaan reagent pengawet dapat dilakukan selama tidak mengganggu proses analisa dan penambahan ke dalam botol dilakukan sebelum pengisian contoh sehingga contoh dapat diawetkan secepatnya. Tidak ada satu metode pengawetan yang memuaskan karena itu dipilih pengawetan yang sesuai dengan tujuan pemeriksaan. Semua metode pengawetan kemungkinan kurang memadai untuk bahan-bahan tersuspensi. Penggunaan formaldehid tidak dianjurkan karena mempengaruhi sangat banyak pemeriksaan.

Metode pengawasan pada umumnya terbatas pada kontrol pH, penambahan zat kimia, pendinginan dan pembekuan. Parameter-parameter tertentu lebih banyak dipengaruhi oleh penyimpanan contoh sebelum dianalisa daripada yang lainnya. Beberapa jenis kation dapat hilang karena diserap oleh dinding wadah gelas seperti aluminium (Al), Kadmium (Kd), Krom (Cr), Tembaga (Cu), Besi (Fe), Timbal (Pb), Mangan (Mn), Perak (Ag) dan Seng (Zn). Sebaiknya untuk parameter-parameter diatas, contoh

diambil secara terpisah dan ditampung dalam botol bersih serta diasamkan dengan HCl pekat atau H₂SO₄ pekat sampai pH 2,0 untuk mengurangi absorpsi pada dinding wadah. Parameter pH, temperatur dan gas terlarut harus segera diperiksa di lapangan karena parameter tersebut mudah sekali berubah dalam waktu singkat.

Air sampel yang diperoleh dari lokasi pengambilan sampel sebelum dilakukan pengukuran atau selama penyimpanan memerlukan penanganan seperti disajikan pada Tabel 3.5. Berikut disajikan rekomendasi penanganan air contoh (*water sample*) terutama menyangkut preservasi atau pengawetan, jenis wadah dan lamanya penyimpanan.

Tabel 3.5. Pengawet dan wadah yang diperlukan untuk pengawetan air sampel sesuai dengan parameter yang akan diukur.

Analisa Parameter	Vol. Min Sampel (ml)	Wadah	Cara Pengawetan Sampel Uji	Batas Waktu Maks Penyimpanan
Warna	500	P, G	Didinginkan	48 jam / 48 jam
Daya Hantar Listrik	500	P, G	Didinginkan	28 hari / 28 hari
Bau	500	G	Dianalisa segera didinginkan	6 jam/ NS
Rasa	500	G	Dianalisa segera didinginkan	24 jam/ NS
Suhu	-	P, G	Dianalisa segera	tidak diizinkan
Kekeruhan/ Turbidity	-	P, G	Dianalisa pada hari itu atau disimpan di tempat gelap s/d 24 jam, didinginkan	24 jam / 48 jam
Zat padat	-	P, G	Didinginkan	7 hari / 2-7 hari
pH	-	P, G	Dianalisa segera	Tidak diijinkan disimpan
Karbon dioksida	100	P, G	Dianalisa segera	2 jam/ tidak diijinkan disimpan

Analisa Parameter	Vol. Min Sampel (ml)	Wadah	Cara Pengawetan Sampel Uji	Batas Waktu Maks Penyimpanan
Alkalinitas	200	P, G	Didinginkan	24 jam / 14 hari
Asiditas	100	P, G (B)	Didinginkan	24 jam/ 14 hari
Kesadahan	100	P, G	Ditambah HNO ₃	6 bulan / 6 bulan
Ammonia, dan Kjedadahl Nitrogen	500	P, G	Dianalisa segera atau ditambah H ₂ SO ₄ sampai pH < , didinginkan	7 hari/ 28 hari
Nitrit	100	P, G	Dianalisa segera atau didinginkan	None/ 48 jam
Nitrat	100	P, G	Dianalisa segera	48 jam / 48 jam (23 hari untuk contoh yang dibubuhi khlor)
Nitrat + Nitrat	200	P, G	Ditambahn H ₂ SO ₄ sampai pH<2, didinginkan	None/ 28 hari
Bromida	-	P, G	Tidak diperlukan	28 hari/ 6 bulan
Fluorida	300	P	Tidak diperlukan	28 hari/ 6 bulan
Sisa Khor	500	P, G	Dianalisa segera	0,5 jam / tidak diijinkan disimpan
Sianida	500	P, G	Didinginkan di tempat gelap, ditambah NaOH sampai pH>12	24 jam/ 14 hari: 24 jam jika ada Sulfida
Iodin	500	P, G	Dianalisa segera	0,5 jam/ NS
Sulfat	-	P, G	Didinginkan	28 hari/ 28 hari
Boron	100	P	Tidak diperlukan	28 hari/ 6 bulan
Sulfida	100	P, G	Didinginkan ditambah 4 tetes	-
Salinitas	200	G	Dianalisa segera disegel atau disimpan pada lilin tempat yang disegel lilin	6 bulan/ NS

Analisa Parameter	Vol. Min Sampel (ml)	Wadah	Cara Pengawetan Sampel Uji	Batas Waktu Maks Penyimpanan
Silika	-	P	Didinginkan tidak sampai beku	28 hari/ 28 hari
Fosfat	100	G (A)	Untuk fosfat terlarut, saring segera, dinginkan	48 jam/ NS
Fenol	500	P, G	Didinginkan, ditambah H ₂ SO ₄	*) / 28 hari
Pestida	-	G (S), TFE lined cap	Didinginkan, jika ada sisa klor tambah 100mg/ Na ₂ S ₂ O ₃	7 hari/ 7 hari sampai diekstraksi 40 hari setelah ekstraksi
Ozon	1000	G	Analisa segera	0.5 jam/ NS
Minyak & Lemak	1000	G, mulut lebar	Didinginkan ditambah H ₂ SO ₄ sampai pH>2	28 hari/ 28 hari
BOD	1000	P, G	Didinginkan	6 jam/ 48 jam
COD	100	P, G	Dianalisa segera; ditambah H ₂ SO ₄ sampai pH> 2; didinginkan	7 hari/ 28 hari
Oksigen terlarut (DO) Metode Elektrometrik Metode Winkler	300	G, Botol BOD	Analisa segera, O ₂ diendapkan di tempat, tambah H ₂ SO ₄ titrasi dapat ditunda	0.5 jam/ tidak diijinkan disimpan titrasi dapat ditunda 8 jam setelah penambahan asam

Analisa Parameter	Vol. Min Sampel (ml)	Wadah	Cara Pengawetan Sampel Uji	Batas Waktu Maks Penyimpanan
Total organik Karbon (TOC)	100	G	Dianalisa segera, atau didinginkan dan ditambah HCl sampai pH > 2	7 hari/ 28 hari
Logam (Umum)	-	P (A), G (A)	Untuk logam terlarut segera disaring, ditambah HNO ₃ sampai pH < 2	6 bulan/ 6 bulan
Krom (Cr ⁶⁺), dan Cu metode Kolorimetri	300	P (A), G (A)	Didinginkan	24 jam/ 24 jam
Raksa (Hg)	500	P (A), G (A)	Ditambah HNO ₃ sampai pH < 2; didinginkan pada 4°C	

3.7. Tugas Akhir Bab

Identifikasilah beberapa parameter kualitas air yang dapat diukur langsung di lapangan serta parameter-parameter kualitas air yang harus dilakukan pengukuran sampel di laboratorium. Lakukan pengambilan sampel dan pengawetan sampel kualitas air dengan kelompok anda. Setelah anda melakukan kegiatan tersebut diskusikan dengan kelompok anda kemudian sampaikan di depan kelas

BAB 4

PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS AIR



Beberapa parameter kualitas air dapat diamati langsung saat melakukan sampling di lapangan, hal ini telah dipermudah dengan telah banyaknya perlengkapan kualitas air digital dan portable yang dapat dibawa langsung ke lapangan, bahkan saat ini juga telah banyak tersedia berbagai kit analisa kualitas air sehingga hal ini dapat mempermudah pengukuran kualitas air. Pengamatan dan pengukuran kualitas air langsung di lapangan mampu mendapatkan data yang lebih akurat tentang nilai kualitas air yang diperoleh sehingga analisa yang nantinya akan dilakukan berhubungan dengan kehidupan ikan yang dibudidayakan akan lebih tepat. Namun ada juga beberapa kualitas air yang tidak dapat diukur langsung di lapangan, hal ini berhubungan dengan perlakuan, metode pengukuran kualitas air yang akan diamati, waktu pengamatan, hal ini biasanya terjadi pada pengukuran parameter kimia air atau biologi.

4.1. Persiapan Alat dan Bahan Pengukuran Kualitas Air

Berbagai aspek parameter kualitas air untuk budidaya perikanan memiliki standart atau nilai kisaran yang masih dapat mendukung untuk kehidupan dan perkembangan makhluk hidup yang dibudidayakan, beserta peralatan pengukurannya dapat dilihat pada tabel dibawah (tabel hal 151) Parameter kimia air tidak hanya dapat diukur dengan menggunakan peralatan digital, namun ada juga metode pengukuran kualitas air dengan menggunakan metode titrasi atau pewarnaan. Berikut di bawah ini peralatan yang digunakan dalam pengukuran parameter kualitas air dengan cara titrasi dapat dilihat pada Tabel 18 berikut: (Hal 158).

4.2. Pengukuran Parameter Fisika

a. Warna air

Pada penentuan warna sejati, bahan-bahan tersuspensi yang dapat menyebabkan kekeruhan dipisahkan terlebih dahulu. Filtrasi (penyaringan) bertujuan menghilangkan materi tersuspensi dalam air tanpa mengurangi keaslian warna air. Sentrifugasi mencegah interaksi warna dengan material penyaring. Warna sejati tidak dipengaruhi oleh kekeruhan. Warna perairan dapat dipakai (tidak selamanya) sebagai parameter apakah suatu perairan sudah tercemar atau belum. Warna perairan dapat pula dipengaruhi oleh biota yang ada didalamnya, misalnya algae, plankton dan tumbuhan air. Air sungai pada umumnya berwarna bening sampai kecoklatan, hal ini karena dipengaruhi oleh adanya pencucian badan sungai itu sendiri dan kadungan suspensi didalamnya. Warna perairan diukur dengan metode organoleptik, pengamatan dengan kasat mata atau dengan Visual Comparison Method yaitu dengan cara membandingkan air sampel dengan warna standart yang dibuat dari unsur platinum (Pt) dan cobalt (Co). Satuan dari warna adalah unit PtCo. untuk kepentingan air minum sebaiknya memiliki nilai warna 5 - 15 PtCo. air sampel yang berasal dari danau dengan warna kuning kecoklatan memiliki nilai warna 200 - 300 PtCo. Semakin dalam kolom air maka akan menunjukkan

nilai warna yang semakin tinggi, hal ini disebabkan karena adanya bahan organik yang terlarut di dasar perairan.

b. Intensitas Cahaya

Alat yang digunakan adalah Lux meter. Dimana alat tersebut disimpan di atas permukaan air laut kemudian dicatat nilai yang ada pada Lux meter.

c. Suhu

Suhu air diukur dengan menggunakan thermometer yaitu dengan cara mencelupkan sampai 3/4 panjang thermometer ke dalam air. Diusahakan agar tubuh tidak menyentuh thermometer karena suhu tubuh dapat mempengaruhi suhu pada thermometer. Setelah itu didiamkan beberapa menit sampai dapat dipastikan tanda penunjuk skala berada dalam kondisi tidak bergerak. Kemudian menentukan nilai suhu yang ditunjukkan pada thermometer tersebut dan mencatat hasilnya. Bila suhu perairan semakin tinggi maka kadar O₂ yang terlarut akan semakin rendah, demikian pula sebaliknya.

Cara Kerja:

- Dicatat suhu udara sekitar
- Untuk air permukaan: Termometer dicelupkan ke dalam perairan, ditunggu beberapa menit. Diangkat dan dicatat suhunya.
- Untuk air di bawah: Sampel diambil dalam botol, kemudian termometer dicelupkan ke dalam air tersebut, ditunggu beberapa menit. Diangkat dan dicatat suhunya.

d. Kekeruhan

Untuk mengukur parameter kekeruhan dengan menggunakan turbidimeter dilakukan dengan cara :

- Botol yang berisi air sampel diaduk dengan cara dibolak-balik agar tidak terjadi endapan,
- Air sampel dipindahkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 20-30 ml

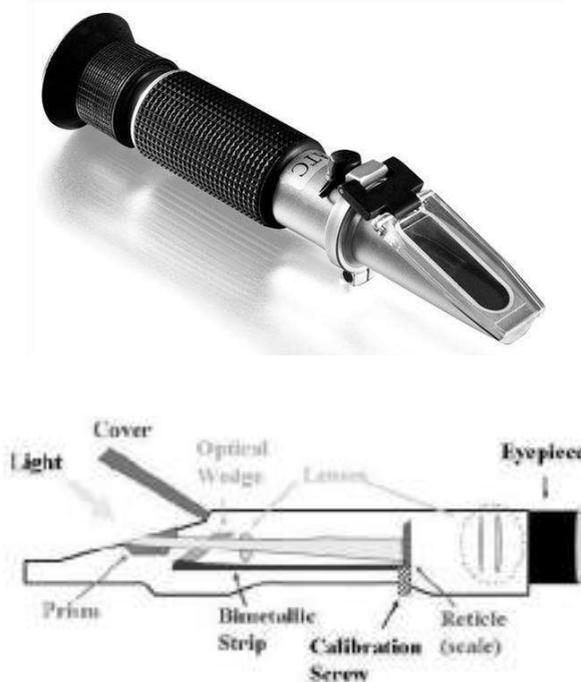
- Tabung reaksi dimasukkan ke dalam turbidimeter kemudian hasilnya dicatat
- Turbidimeter merupakan salah satu alat yang berfungsi untuk mengukur tingkat kekeruhan air.

Turbidimeter merupakan alat yang memiliki sifat optik akibat dipersi sinar dan dapat dinyatakan sebagai perbandingan cahaya yang dipantulkan terhadap cahaya yang tiba. Intesitas cahaya yang dipantulkan oleh suatu suspensi adalah fungsi konsentrasi jika kondisi-kondisi lainnya konstan. Ada 2 jenis Turbidimeter umum yang sering dipakai sekarang yaitu:

- 1) *Bech top* dan portabel digunakan untuk menganalisa sampel ambil atas unit *Bech* biasanya digunakan sebagai laboratorium stasioner instrumen dan tidak dimaksudkan untuk menjadi portabel.
- 2) *On-line* instrumen biasanya dipasang di lapangan dan terus menerus menganalisa aliran sampel tumpah *off* dari proses unit sampling.

Penggunaan alat turbidimetri ini yaitu menyimpan sampel atau standart pada botol kecil/botol sampel. Sebelum alat digunakan terlebih dahulu diset, dimana angka yang tertera harus 0 atau dalam keadaan netral, kemudian lakukan pengukuran dengan menyesuaikan nilai pengukuran dengan cara memutar tombol pengatur hingga nilai yang tertera pada layar pada turbidimeter sesuai dengan nilai standart. Setelah itu sampel dimasukkan pada tempat pengukuran sampel yang ada pada turbidimeter, hasilnya dapat langsung dibaca skala pengukuran kekeruhan tertera pada layar dengan jelas. Akan tetapi pengukuran sampel harus dilakukan sebanyak 3 kali dengan menekan tombol pengulangan pengukuran untuk setiap pengulangan agar pengukuran tepat atau valid, dan hasilnya langsung dirata-ratakan. Dasar dari analisis turbidimetri adalah pengukuran intensitas cahaya yang ditranmisikan sebagai fungsi dari konsentrasi fase terdispersi, bilamana cahaya dilewatkan melalui suspensi maka sebagian dari energi radiasi yang jatuh dihamburkan dengan penyerapan, pemantulan, dan sisanya akan

ditranmisikan (Khopkar, 2003). Pada alat turbidimeter yang dipraktikkan aplikasinya ini cahaya masuk melalui sample air kemudian sebagian diserap dan sebagian diteruskan, cahaya yang diserap itulah yang merupakan tingkat kekeruhan. Maka jika semakin banyak cahaya yang diserap maka semakin keruh cairan tersebut. Menurut WHO (*World Health Organization*). Menetapkan bahwa kekeruhan air minum tidak boleh lebih dari 5 NTU, dan idealnya harus di bawah 1 NTU. Berdasarkan teori tersebut dapat dikatakan bahwa semua sampel yang diujikan telah memenuhi kelayakan untuk dikonsumsi sebab tingkat kekeruhan (turbiditas) berada di bawah 5 NTU.



Gambar 4.1. Refraktometer untuk mengukur Air

e. Salinitas

Salinitas dapat diukur dengan menggunakan alat refraktometer. Refraktometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar/ konsentrasi bahan terlarut misalnya: Gula,

Garam, Protein dsb. Prinsip kerja dari refraktometer sesuai dengan namanya adalah dengan memanfaatkan refraksi cahaya. Seperti terlihat pada Gambar 4.1 di atas sebuah sedotan yang dicelupkan ke dalam gelas yang berisi air akan terlihat terbengkok. Pada Gambar kedua sebuah sedotan dicelupkan ke dalam sebuah gelas yang berisi larutan gula. Terlihat sedotan terbengkok lebih tajam. Fenomena ini terjadi karena adanya refraksi cahaya. Semakin tinggi konsentrasi bahan terlarut (Rapat Jenis Larutan), maka sedotan akan semakin terlihat bengkok secara proporsional. Besarnya sudut pembengkokan ini disebut *Refractive Index* (nD). Refraktometer ditemukan oleh Dr. Ernst Abbe seorang ilmuwan dari German pada permulaan abad 20. Adapun prinsip kerja dari refractometer dapat digambarkan sebagai berikut:

- Dari gambar dibawah ini terdapat 3 bagian yaitu: Sample, Prisma dan Papan Skala. *Refractive index* prisma jauh lebih besar dibandingkan dengan sample.
- Jika sample merupakan larutan dengan konsentrasi rendah, maka sudut refraksi akan lebar dikarenakan perbedaan refraksi dari prisma dan sample besar. Maka pada papan skala sinar "a" akan jatuh pada skala rendah. o Jika sample merupakan larutan pekat / konsentrasi tinggi, maka sudut refraksi akan kecil karena perbedaan refraksi prisma dan sample kecil. Pada gambar terlihat sinar "b" jatuh pada skala besar.

Dari penjelasan di atas jelas bahwa konsentrasi larutan akan berpengaruh secara proporsional terhadap sudut refraksi. Pada prakteknya refraktometer akan ditera pada skala sesuai dengan penggunaannya. Sebagai contoh refraktometer yang dipakai untuk mengukur konsentrasi larutan gula akan ditera pada skala gula. Begitu juga dengan refraktometer untuk larutan garam, protein dll. Konsentrasi bahan terlarut sering dinyatakan dalam satuan Brix (%) yaitu merupakan pronsentasi dari bahan terlarut dalam sample (larutan air). Kadar bahan terlarut merupakan total dari semua bahan dalam air, termasuk gula, garam, protein, asam

dsb. Pada dasarnya Brix (%) dinyatakan sebagai jumlah gram dari cane sugar yang terdapat dalam larutan 100g cane sugar. Jadi pada saat mengukur larutan gula, Brix (%) harus benar-benar tepat sesuai dengan konsentrasinya. Salinitas diukur dengan alat refraktometer dengan cara:

- Refraktometer yang akan digunakan, dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara meneteskan aquades ke kaca depan refraktometer.
- Amati kadar salinitas dari lensa belakang hingga menunjukkan angka 0 dengan sambil memutar bagian kalibrasinya dengan menggunakan obeng kecil di bagian atas refraktometer.
- Bersihkan kaca depan refraktometer dengan mengguakan tisu hingga benar-benar bersih sebelum digunakan untuk mengamati kadar salinitas sampel.
- Air sampel diambil secukupnya, lalu diteteskan pada kaca depan refraktometer,
- Kemudian diamati melalui lensa belakang,
- Penunjukan nilai salinitas pada alat tersebut dicatat.

f. Kecerahan

Salah satu cara untuk mengukur kecerahan air dilakukan dengan menggunakan keping Secchi (*Secchi-disk*), yaitu sebuah keping bulat dengan garis tengah 20 cm yang terbuat dari seng dan dicat putih atau hitam-putih yang diberi pemberat. Alat tersebut diturunkan ke dalam air sampai tidak tampak, kedalamannya diukur, kemudian diturunkan lebih dalam lagi. Selanjutnya keping tersebut diangkat kembali dan apabila keeping hampir tampak lagi, maka kedalamannya diukur lagi. Harga rata-rata kedua pengukuran tersebut diambil sebagai kecerahan keping secchi (*Secchi disc visibility*) dengan satuan sentimeter

g. Kedalaman

Pengukuran kedalaman perairan dapat menggunakan tongkat berskala atau meteran tali berskala tergantung dari lokasi

sampling. Bila kedalaman lebih dari 2 meter maka disarankan menggunakan tali berskala, tongkat berskala dapat dibuat sendiri dengan menempelkan meteran pada tongkat kayu, tali berskala juga dapat dibuat sendiri dengan bantuan meteran yang diikat pada pemberat. Tujuan digunakan pemberat pada tali adalah supaya tali tidak terbawa arus dan kedalaman yang terukur dalam keadaan tegak dengan dasar perairan.

h. Kecepatan Arus

Pergerakan air atau arus air diperlukan untuk ketersediaannya makanan bagi jasad renik dan oksigen. Selain itu untuk menghindari karang dari proses pengendapan. Adanya adukan air yang disebabkan oleh adanya pergerakan air akan menghasilkan oksigen di dalam perairan tersebut. Pada umumnya bila suatu perairan mempunyai arus yang cukup deras maka kadar oksigen yang terlarut juga akan semakin tinggi
Perhitungan:

$$\text{Kecepatan arus} = \frac{\text{Jarak yang ditempuh}}{\text{Waktu yang diperlukan}} = \dots \text{ meter/detik}$$

i. Debit Air

Debit air adalah volume aliran air per satuan waktu. Debit air dipengaruhi oleh luas penampang perairan dan kecepatan arus.

$$\text{Perhitungan:} \quad Q = A \times V$$

A = luas penampang (luas x dalam)

V = kecepatan arus

1) Padatan Tersuspensi Total dan Padatan Terlarut Total (TSS dan TDS)

Padatan tersuspensi total atau *Total Suspended Solid* (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi dan tidak terlarut dalam air, bahan-bahan ini tersaring pada kertas saring Millipore dengan ukuran pori-pori 0,45 μm . Sedangkan Padatan terlarut total adalah bahan-bahan terlarut yang tidak tersaring dengan kertas saring Millipore dengan ukuran pori-pori 0,45 μm . Cara

pengukuran TSS dilakukan dengan gravimetric yang terdiri dari kegiatan penyaringan, penguapan dan penimbangan biasanya pengukurannya digabung dengan pengukuran Padatan terlarut total atau *Total Dissolved Solid* (TDS).

$$TSS = \frac{1000 (A - B)}{ml \text{ sampel}} = \dots mg/liter$$

A: berat (mg) filter dan residu

B: berat (mg) filter

Perhitungan :

$$TDS = \frac{1000 (R - D)}{ml \text{ sampel}} = \dots mg/liter$$

R : berat (mg) mangkuk dan residu

D : berat (mg) mangkuk

2) Pasang surut

Pengukuran pasang surut relative mudah, karena cukup dengan pengamatan papan skala yang telah dipasang di bibir pantai atau batu karang yang ada di tepi pantai. Pada prinsipnya parameter ini untuk mengukur tinggi rendahnya air laut per satuan waktu dengan menggunakan papan. Pengamatan pasang surut air laut dilakukan setiap 1 jam sekali selama minimal 24 jam.

4.3. Pengukuran Parameter Kimia

1. pH air

pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman (atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Yang dimaksudkan "keasaman" di sini adalah konsentrasi ion hydrogen (H⁺) dalam pelarut air. Nilai pH berkisar dari 0 hingga 14. Suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai pH=7. Nilai pH>7 menunjukkan larutan memiliki sifat basa, sedangkan nilai pH<7 menunjukkan keasaman. Nilai pH 7 dikatakan netral karena pada air murni ion H⁺ terlarut dan ion OH⁻ terlarut (sebagai tanda kebasaan) berada pada jumlah yang sama, yaitu 10⁻⁷ pada

kesetimbangan. Penambahan senyawa ion H^+ terlarut dari suatu asam akan mendesak kesetimbangan ke kiri (ion OH^- akan diikat oleh H^+ membentuk air). Akibatnya terjadi kelebihan ion hidrogen dan meningkatkan konsentrasinya. Pengukuran senyawa asam dan basa dapat dilakukan menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa (*pH paper*) dan pH meter.

a. Kertas Lakmus

Ada dua macam kertas lakmus yang biasa digunakan untuk mengenali senyawa asam atau basa, yaitu kertas lakmus merah dan kertas lakmus biru.

Tabel 4.1. Perubahan warna kertas lakmus

Larutan	Kertas Lakmus	
	Lakmus merah	Lakmus biru
Asam	Tetap merah	Berubah menjadi merah
Netral	Tetap merah	Tetap biru
Basa	Berubah menjadi biru	Tetap biru

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa larutan asam akan mengubah warna kertas lakmus biru menjadi merah, larutan netral tidak mengubah warna pada kertas lakmus, dan larutan basa dapat mengubah kertas lakmus merah menjadi biru.

b. Indikator Asam-Basa

Indikator asam basa adalah suatu zat yang memberikan warna berbeda pada larutan asam dan larutan basa. Dengan adanya perbedaan warna tersebut, indikator dapat digunakan untuk mengetahui apakah suatu zat bersifat asam atau basa. Perhatikanlah warna indikator pada larutan asam atau basa berikut ini.

Tabel 4.2. Beberapa zat indikator Asam dan Basa

Indikator	Kertas Lakmus		
	Larutan asam	Larutan basa	Larutan Netral
Fenolftalein	Tidak berwarna	Merah	Tidak berwarna
Bromtimol	Kuning	Biru	Biru
Metil merah	Merah	Kuning	Kuning
Metil jingga	Merah	Kuning	Kuning

Indikator yang dapat digunakan untuk mengenal sifat asam atau basa suatu larutan serta menentukan harga pH dapat digunakan indikator universal. Berikut cara penggunaan indikator universal dalam menentukan pH suatu larutan.

c. pH meter

pH meter adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk mengukur pH suatu larutan. Elektroda pada pH meter dicelupkan pada larutan yang akan diuji pH nya. pH meter akan menunjukkan pH larutan tersebut secara otomatis.

Prinsip Kerja pH Meter

Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat di dalam elektroda gelas yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat di luar elektroda gelas yang tidak diketahui. Hal ini dikarenakan lapisan tipis dari gelembung kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang ukurannya relatif kecil dan aktif. Elektroda gelas tersebut akan mengukur potensial elektrokimia dari ion hidrogen atau diistilahkan dengan potential of hidrogen. Untuk melengkapi sirkuit elektrik dibutuhkan suatu elektroda pembanding. Sebagai catatan, alat tersebut tidak mengukur arus tetapi hanya mengukur tegangan. Skema elektroda pH meter akan mengukur potensial listrik antara *Merkuri Klorid* (HgCl) pada elektroda pembanding dan *potassium chloride* (KCl) yang merupakan larutan di dalam gelas elektroda serta potensial antara larutan dan elektroda perak. Tetapi potensial antara sampel yang

tidak diketahui dengan elektroda gelas dapat berubah tergantung sampelnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan kalibrasi dengan menggunakan larutan yang equivalent yang lainnya untuk menetapkan nilai pH. Elektroda pembanding calomel terdiri dari tabung gelas yang berisi *potassium kloride* (KCl) yang merupakan elektrolit yang berinteraksi dengan HgCl diujung larutan KCl. Tabung gelas ini mudah pecah sehingga untuk menghubungkannya digunakan keramik berpori atau bahan sejenisnya. Elektroda semacam ini tidak mudah terkontaminasi oleh logam dan unsure natrium. Elektroda gelas terdiri dari tabung kaca yang kokoh dan tersambung dengan gelembung kaca yang tipis. Di dalamnya terdapat larutan KCl yang buffer pH 7. Elektroda perak yang ujungnya merupakan perak kloride (AgCl_2) dihubungkan ke dalam larutan tersebut. Untuk meminimalisir pengaruh elektrik yang tidak diinginkan, alat tersebut dilindungi oleh suatu lapisan kertas pelindung yang biasanya terdapat di bagian dalam elektroda gelas. Pada kebanyakan pH meter modern sudah dilengkapi dengan *thermistor temperature*, yakni suatu alat untuk mengkoreksi pengaruh temperature. Antara elektroda pembanding dengan elektroda gelas sudah disusun dalam satu kesatuan.

Pemeliharaan pH Meter

pH meter harus dirawat secara berkala untuk menjaga umur pakai dari alat tersebut. Pemeliharaannya meliputi:

- Penggantian batere dilakukan jika pada layar muncul tulisan *low battery*.
- Pembersihan elektroda bisa dilakukan berkala setiap minimal 1 minggu sekali. Pembersihannya menggunakan larutan HCl 0.1 N (encer) dengan cara direndam selama 30 menit kemudian dibersihkan dengan air DI.
- Ketika tidak dipakai, elektroda utama bagian gelembung gelasnya harus selalu berada pada keadaan lembab. Oleh karena itu, penyimpanan elektroda disarankan selalu direndam dengan menggunakan air DA. Penyimpanan pada posisi kering akan menyebabkan membran gelas yang

terdapat pada gelembung elektroda akan mudah rusak dan pembacaannya tidak akurat.

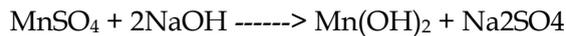
- Ketika disimpan, pH meter tidak boleh berada pada suhu ruangan yang panas karena akan menyebabkan sensor suhu pada alat cepat rusak.

2. Oksigen terlarut (DO)

Oksigen terlarut adalah jumlah mg/l gas oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut dalam air dapat berasal dari proses fotosintesis oleh fitoplankton dan tanaman air atau dari difusi udara. kadar oksigen terlarut dapat ditentukan dengan titrasi maupun alat ukur elektronik DO meter

a. Metode Titrasi dengan cara Winkler

Cara winkler yang didasarkan pada dua reaksi oksidasi – reduksi digunakan secara meluas dan merupakan cara standar dalam penentuan oksigen terlarut. Cara ini berdasarkan pada kenyataan bahwa natrium oksida bereaksi dengan mangan sulfat, menghasilkan endapan putih dan mangan hidroksida.



Dengan adanya oksigen dalam larutan yang sangat basa, mangan hidroksida putih dioksidasi menjadi mangan oksihidrat (coklat). Jadi jumlah oksigen yang kira-kira ada dapat diperkirakan dari intensitas warna coklat dari endapan. Dalam media yang sangat asam, ion-ion mangan dibebaskan dan bereaksi dengan ion-ion yod bebas dari kalium yodida membentuk yod bebas. Jumlah yod bebas ekuivalen dengan jumlah oksigen yang ada dalam sampel. Jumlah yod dapat ditentukan melalui titrasi dengan natrium tiosulfat.

Pereaksi

- (1) Larutan Mangan Sulfat ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) larutkan 48 gram atau 40 gram $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam sedikit air suling. Buatlah menjadi 100 ml air suling. Mangan klorida dapat digunakan selain mangan sulfat Larutan mangan klorida dapat disiapkan

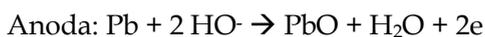
- dengan melarutkan 100 gram kristal mangan klorida tetrahidrat murni dalam 200 ml air suling.
- (2) Yodida Alkali (Pereaksi Winkler). Larutkan 50 gram NaOH dan 13,5 gram NaI atau 15 gram KI dalam 100 air suling.
 - (3) Asam Sulfat Peekat.
 - (4) Larutan Baku Natrium Tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0,1 N. Larutkan 24,83 gram natrium tiosulfat dalam sedikit air suling, masukkan dalam labu takar 1 liter dan tambahkan air suling sampai tanda batas. Tambahkan kedalam larutan tiosulfat 5 ml kloroform untuk mencegah kerusakan larutan.
 - (5) Penitrasi ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 1/80 N (0,0125 N). Encerkan dari larutan induk tiosulfat 12,5 ml larutan baku menjadi 1 liter dengan air suling.
 - (6) Larutan Kanji. Encerkan 30 ml larutan KOH 20 % menjadi 400 ml dengan air suling. Tambahkan 2gram kanji didalamnya. Aduk sampai larutan menjadi hamper bening. Diamkan larutan selama 1 jam. Secara bertahap tambahkan asam klorida. Periksalah pH sesering mungkin sampai larutan menjadi netral. Tambahkan 1 ml asam asetat glacial.

Perhitungan :

$$\text{Kadar O}_2 \text{ (mg/l)} = 8000 \times \frac{\text{mL Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times \text{N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{\text{ml. sampel}}$$

b. Pengukuran oksigen terlarut dengan menggunakan DO meter.

Prinsip kerja dari alat DO meter ini adalah menggunakan elektroda atau probe oksigen yang terdiri dari katoda dan anoda yang direndam dalam larutan elektrolit. Pada alat DO meter, biasanya menggunakan katoda perak (Ag) dan anoda timbal (Pb). Secara keseluruhan, elektroda ini dilapisi dengan membran plastik yang bersifat semi permeable terhadap oksigen. Reaksi kimia yang akan terjadi pada elektroda tersebut adalah:



Aliran reaksi yang terjadi tersebut tergantung dari aliran oksigen pada katoda. Difusi oksigen dari sampel ke elektroda berbanding lurus terhadap konsentrasi oksigen terlarut. Sampel yang digunakan adalah air suling atau aquadest. Pengukuran kadar oksigen terlarut dengan menggunakan DO meter relative lebih mudah dibandingkan dengan metode titrasi. Pengukuran dengan cara memasukkan ujung electrode ke dalam sampel air yang telah disiapkan. DO meter umumnya bersifat *portable* sehingga pengukuran dapat langsung dilakukan di lapangan. Untuk menjaga ketepatan pengukuran, setiap jangka waktu tertentu alat perlu dikalibrasi dengan membandingkan hasil pengukuran alat terhadap hasil pengukuran dengan metode titrasi winkler terhadap air contoh yang sama. Alat juga harus dikalibrasi terhadap temperatur dan tekanan udara (lokasi ketinggian) setempat, alat juga perlu diset pada temperatur dan salinitas air yang bersangkutan pada saat pengukuran.

3. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam proses dekomposisi bahan organik. Jadi BOD menggambarkan suatu proses oksidasi bahan organik oleh mikroorganisme yang terjadi di perairan. Proses dekomposisi bahan organik di perairan terjadi secara bertahap, untuk mencapai 96% bahan organik terurai, diperlukan waktu ± 20 hari. Untuk pengamatan BOD diambil standart waktu 5 hari, karena diduga dalam waktu 5 hari proses dekomposisi telah terjadi 75% bahan organik telah terurai, sehingga dianggap cukup untuk memberikan gambaran nilai BOD. Pengukuran kadar BOD juga menggunakan metode titrasi winkler.

Perhitungan:

$$\text{Kadar BOD (mg/L)} = (\text{DO sesaat} - \text{DO}_5) \times \text{pengenceran}$$

4. Karbondioksida bebas (CO_2)

Karbondioksida bebas yang dianalisa adalah karbondioksida yang berada dalam bentuk gas yang terkandung dalam air.

Kandungan CO₂ bebas dalam air murni pada tekanan 1 atm dan temperature 25 °C adalah sekitar 0,4 ppm. CO₂ dalam perairan didapatkan dari dari proses difusi udara dan hasil proses respirasi organism akuatik. Didasar perairan CO₂ juga dihasilkan oleh proses dekomposisi. Metode yang umum digunakan untuk pengukuran CO₂ bebas adalah metode titrimetri dengan Sodium Karbonat (Na₂CO₃). Prinsip analisa karbondioksida bebas bereaksi dengan sodium karbonat atau natrium hidroksida standart membentuk sodium bikarbonat ketiga larutan tidak berwarna sehingga memerlukan indikator penolphtalein (PP) yang akan memberikan warna merah/ pink bila larutan menjadi basa (pH > 8,3), sehingga kelebihan sedikit saja sodiumkarbonat atau sodium hidroksida akan menyebabkan larutan berwarna merah yang menandai akhir titrasi.

Kadar CO₂ = 1000 x mL Na-bikarbonat x Na-bikarbonat x BA Nabikarbonat

5. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) menyatakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik yang terdapat di perairan, menjadi CO₂ dan H₂O. Nilai COD akan meningkat sejalan dengan meningkatnya nilai bahan organik di perairan. COD berbanding terbalik dengan *Dissolved Oxygen* (DO). Artinya, semakin sedikit kandungan udara di dalam air maka angka COD akan semakin besar. Besarnya angka COD tersebut menunjukkan bahwa keberadaan zat organik di air berada dalam jumlah yang besar. Organik-organik tersebut mengubah oksigen menjadi karbondioksida dan air sehingga perairan tersebut menjadi kekurangan oksigen. Hal inilah yang menjadi indikator seberapa besar pencemaran di dalam limbah cair oleh pembuangan domestik dan industri. Semakin sedikit kadar oksigen di dalam air berarti semakin besar jumlah pencemar (organik) di dalam perairan tersebut. Karena itu secara logika kita dapat berkata bahwa air yang kita konsumsi harus memiliki kadar COD yang sangat rendah. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat (K₂Cr₂O₇) sebagai oksidator pada sampel (dengan

volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Kelemahannya, senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi, sehingga dalam kasus-kasus tertentu nilai COD mungkin sedikit '*over estimate*' untuk gambaran kandungan bahan organik. COD dapat diukur dengan 2 cara yaitu dengan :

a) COD meter

Masing-masing kubet yang berisi sampel dan blanko ditambahkan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,25N sebanyak 2 ml Dikocok lalu dimasukkan ke dalam COD reactor selama 2 jam. Dilakukan pembacaan pada DR 2000 setelah 2 jam Catat pembacaan

b) Titrasi (*Refluks*)

6. TOM (*Total Organic Mater*)

Bahan organik total atau Total Organic Matter (TOM) menggambarkan kandungan bahan organik total suatu perairan yang terdiri dari bahan organik terlarut, tersuspensi (*particulate*) dan koloid. Prinsip analisa TOM hampir sama dengan prinsip analisa COD yaitu didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi dengan menggunakan senyawa kalium permanganate atau kalium dikromat, oksidator yang digunakan pada penentuan TOM adalah $KMnO_4$, diasamkan dengan H_2SO_4 pekat dan dididihkan beberapa saat, pengukuran kadar TOM dapat dilakukan dengan cara titrasi.

7. Kesadahan Total

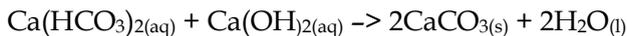
Kesadahan air adalah kandungan mineral-mineral tertentu di dalam air, umumnya ionkalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Air sadah atau air keras adalah air yang memiliki kadar mineral yang tinggi, sedangkan air lunak adalah air

dengan kadar mineral yang rendah. Selain ion kalsium dan magnesium, penyebab kesadahan juga bisa merupakan ion logam lain maupun garam-garam bikarbonat dan sulfat. Metode paling sederhana untuk menentukan kesadahan air adalah dengan sabun. Dalam air lunak, sabun akan menghasilkan busa yang banyak. Pada air sadah, sabun tidak akan menghasilkan busa atau menghasilkan sedikit sekali busa. Kesadahan air total dinyatakan dalam satuan ppm berat per volume (w/v) dari CaCO_3 . Air sadah digolongkan menjadi 2 jenis berdasarkan jenis anion yang diikat oleh kation (Ca^{2+} , Mg^{2+}) yaitu:

- a. Air sadah sementara: mengandung garam hidrokarbonat seperti $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan atau $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Air sadah sementara dapat dihilangkan kesadahannya dengan cara memanaskan air tersebut sehingga garam karbonatnya mengendap, reaksinya:

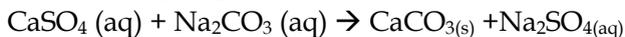


Selain dengan memanaskan air, sadah sementara juga dapat dihilangkan kesadahannya dengan mereaksikan larutan yang mengandung $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ atau $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ dengan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$):



- b. Air sadah tetap: mengandung garam sulfat (CaSO_4 atau MgSO_4) terkadang juga mengandung garam klorida (CaCl_2 atau MgCl_2). Air sadah tetap dapat dihilangkan kesadahannya menggunakan cara:

- Mereaksikan dengan soda Na_2CO_3 dan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$, supaya terbentuk endapan garam karbonat dan atau hidroksida:



- Proses Zeolit Dengan natrium zeolit (suatu silikat) maka kedudukan akan digantikan ion kalsium dan ion magnesium atau kalsium zeolit.
- Metode Titrasi EDTA
 - Kesadahan total yaitu ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dapat ditentukan melalui titrasi dengan EDTA sebagai titran dan menggunakan indikator yang peka terhadap semua kation

tersebut. Kejadian total tersebut dapat dianalisis secara terpisah misalnya dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

- Asam Ethylenediamine Tetraacetic dan garam sodium ini (singkatan EDTA) bentuk satu kompleks kelat yang dapat larut ketika ditambahkan ke suatu larutan yang mengandung kation logam tertentu. Jika sejumlah kecil Eriochrome Hitam T atau Calmagite ditambahkan ke suatu larutan mengandung kalsium dan ion-ion magnesium pada satu pH dari $10,0 \pm 0,1$, larutan menjadi berwarna merah muda. Jika EDTA ditambahkan sebagai satu titran, kalsium dan magnesium akan menjadi suatu kompleks, dan ketika semua magnesium dan kalsium telah menjadi kompleks, larutan akan berubah dari berwarna merah muda menjadi berwarna biru yang menandakan titik akhir dari titrasi. Ion magnesium harus muncul untuk menghasilkan suatu titik akhir dari titrasi. Untuk memastikannya ini, kompleks garam magnesium netral dari EDTA ditambahkan ke larutan buffer.
- Penentuan Ca dan Mg dalam air sudah dilakukan dengan titrasi EDTA. pH untuk titrasi adalah 10 dengan indikator *Eriochrom Black T* (EBT). Pada pH lebih tinggi, 12, $Mg(OH)_2$ akan mengendap, sehingga EDTA dapat dikonsumsi hanya oleh Ca^{2+} dengan indikator murexide. Adanya gangguan Cu bebas dari pipa-pipa saluran air dapat di masking dengan H_2S . EBT yang dihaluskan bersama NaCl padat kadangkala juga digunakan sebagai indikator untuk penentuan Ca ataupun hidroksinaftol. Seharusnya Ca tidak ikut terkopresitasi dengan Mg, oleh karena itu EDTA direkomendasikan.
- Kejelasan dari titik akhir banyak dengan pH peningkatan. Bagaimanapun, pH tidak dapat ditingkat dengan tak terbatas karena akibat bahaya dengan kalsium karbonat mengendap, $CaCO_3$, atau hidroksida magnesium, $Mg(OH)_2$, dan karena perubahan celup warnai di

ketinggian pH harga. Ditetapkan pH dari $10,0 \pm 0,1$ adalah satu berkompromi kepuasan. Satu pembatas dari 5 min disetel untuk jangka waktu titrasi untuk memperkecil kecenderungan ke arah CaCO_3 pengendapan.

Perhitungan:

$$\text{mg/L CaCO}_3 = \text{mL EDTA} \times \text{faktor EBT} \times 10 \text{ mL sampel}$$

8. Alkalinitas

Alkalinitas merupakan konsentrasi total dari unsur basa yang terkandung dalam air dan biasa dinyatakan dalam mg/liter atau setara dengan kalsium karbonat (CaCO_3). Dikatakan bahwa alkalinitas dalam air tawar sangat berperan penting karena alkalinitas tidak hanya berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan plankton, tapi juga mempengaruhi parameter-parameter lainnya.

Alkalinitas adalah kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan nilai pH larutan. Alkalinitas merupakan hasil dari reaksi-reaksi dalam larutan sehingga merupakan sebuah analisa "makro" yang menggabungkan beberapa reaksi. Alkalinitas dalam air disebabkan oleh ion-ion karbonat, bikarbonat, hidroksida (OH^-) dan juga borat, fosfat, silikat dan sebagainya. Dalam air sifat alkalinitas sebagian besar disebabkan oleh adanya bikarbonat dan sisanya oleh karbonat dan hidroksida (OH^-).

Alkalinitas merupakan kapasitas penyangga (*buffer capacity*) terhadap pH perairan yang terdiri atas anion-anion seperti anion bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}) dan hidroksida (OH^-). Borat (H_2BO_3^-), silikat (HSiO_3^-), fosfat (HPO_4^{2-} dan H_2PO_4^-) sulfide (HS^-) dan amonia (NH_3) dalam perairan yang dapat menetralkan kation hydrogen. Namun pembentuk alkalinitas yang utama adalah bikarbonat, karbonat dan hidroksida. Pengukuran alkalinitas dapat dilakukan dengan metode titrasi.

Perhitungan :

1 tetes asam sulfat = 1 ppm

Alkalinitas pp karbonat (ppm CaCO₃) = A x N titran x 100/2 x 1000
ml sampel

Alkalinitas Total (ppm CaCO₃) = (A + B) x N titran x 100/2 x 1000
ml sampel

9. Fosfat

Fosfat terdapat dalam air alam atau air limbah sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat dan fosfat organik. Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme dalam air. Orthophosphate adalah phosphate anorganik, merupakan salah satu bentuk phosphor (P) yang terlarut dalam air. Orthophosphate adalah bentuk phosphor yang dapat langsung dimanfaatkan oleh organism nabati (fitoplankton dan tumbuhan air). Dalam larutan asam, orthophosphate bereaksi dengan Ammonium molybdate membentuk senyawa kompleks Ammonium phosphomolybdate. Dengan suatu pereaksi reduksi (Metode Stannous chloride), molybdenum dalam senyawa kompleks tersebut dapat tereduksi menjadi senyawa yang berwarna biru. Intensitas warna biru bertambah dengan semakin besarnya kadar fosfat terlarut yang ada.

Banyaknya konsentrasi ortofosfat dalam air contoh dapat terukur dengan menggunakan prinsip spektrofotomerik yang dilakukan di laboratorium. Agar dapat terbaca oleh mesin spektrofotometer, ortofosfat dalam 10 ml air contoh yang telah disaring harus direaksikan terlebih dahulu dengan beberapa senyawa kimia. Akan tetapi reaksi ini harus berjalan dibawah pH 8.3. Oleh karena itu, air contoh diberikan 1 atau 2 tetes indikator phenolphthalein sebagai penunjuk pH. Bila muncul warna merah muda setelah diberi indicator (artinya pH>8.5), maka pH air contoh diturunkan dengan cara menambahkan H₂SO₄ encer sampai warnanya berubah menjadi bening (pH<8.3). Setelah itu air contoh tersebut direaksikan dengan 1.6 ml *combine reagent* yang terdiri atas

H₂SO₄ 5 N, potasium antimonil tartat, amonium molibdat, dan asam askorbat. Kemudian ditutup rapat dan didiamkan selama 10 menit. Lalu absorbansi warna air contoh (biru) diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Warna biru yang ditimbulkan merupakan akibat terbentuknya senyawa amonium fosfomolibdat tereduksi. Kemudian Absorbansi air contoh disesuaikan dengan absorbansi akuades (blanko) dan konstanta perhitungan (APHA, 1989).

10. Amoniak

Penentuan amonia-nitrogen digunakan metode Indophenol (metode phenate). metode ini memeberikan hasil yang baik untuk perairan air kolam, pereaksi yang digunakan adalah phenate (*phenol*), chlorox (*oxidizing solution*) dan mangan sulfat phenol dan hypochlorit (*chlorox*) beraksi dalam kondisi larutan basa membentuk phenylquinonemonoimine yang selanjutnya akan bereaksi dengan ammonia menjadi indophenol yang berwarna biru kepekatan warna biru sebanding dengan kadar amonia yang ada. Diantara berbagai cara yang digunakan dalam menentukan ammonia, yang paling sederhana adalah cara Nessler langsung. Cara ini umum digunakan terhadap sampel yang diharapkan memiliki kandungan ammonia yang tinggi. Cara yang lebih teliti melibatkan destilasi ammonia dan penggunaan spektrofotometer. Penentuan ammonia dengan pereaksi Nessler. Penentuan ammonia bergantung pada kenyataan bahwa ion ammonia (NH₄⁺) memberikan warna coklat kekuningan dengan pereaksi Nessler, dan bahwa intensitas warna berbading langsung dengan jumlah ammonia yang ada.

Pengukuran ammonia dengan metode Nessler

- 1) **Pereaksi** Semua pereaksi yang dibuat dengan menggunakan ammonia bebas air
- 2) **Pereaksi Nessler** Larutkan 10gram air raksa yodida anhidrat (HgI₂) dan 7 gram kalium iodida anhidrat dalam sejumlah kecil air. Tambahkan campuran ini dengan pengadukan yang teratur kedalam larutan dingin 16 gram NaOH dalam 50 ml ammonia

bebas air. Encerkan sampai 100ml. Simpan dalam botol gelap. Apabila raksa yodida tidak ada dapat pula dibuar pereaksi nessler dengan menggunakan raksa klorida seperti dibawah ini. Larutkan 50 gram KI dalam 35 ml ammonia bebas air. Tambahkan larutan jenuh raksa klorida sampai terdapat sedikit endapan. Buatlah larutan KOH 9 N. Biarkan jernih melalui pengendapan, Tambahkan 400 ml larutan KOH 9 N yang jernih kedalam campuran larutan kalium yodida raksa klorida. Encerkan menjadi 1 liter. Biarkan sampai jernih. Simpanlah dalam botol gelap dan dibiarkan dalam gelap.

- 3) **Amonium Klorida Induk** Larutkan 3,818 gram ammonium klorida anhidrat dalam 1 liter ammonia bebas air. 1 ml larutan ini mengandung 100 mg nitrogen ammonia
- 4) **Amonium Klorida Standar** Encerkan 10 ml larutan ammonium klorida induk menjadi 1 liter. 1 ml larutan ini sama dengan 10 mg ammonium nitrogen atau 12,2 mg ammonia.
- 5) **Larutan 50 % Natrium Kalium Tartarat.** Larutkan 50 gram natrium kalium tartarat dalam 100 ml ammonia hangat bebas air.
- 6) **Larutan Lead Asetat 10 %** Larutkan 10 gram lead asetat dalam 100 ml air.

Pengukuran Metode Phenate

Untuk menentukan banyaknya konsentrasi total ammonia nitrogen dalam air contoh digunakan prinsip spektrofotometer yang dilakukan di laboratorium. Agar dapat terbaca oleh mesin spektrofotometer, ammonia dalam 10 ml air contoh yang telah disaring harus direaksikan terlebih dahulu dengan 0.5 ml senyawa fenol dan 0.5 ml sodium nitroprusid kemudian dihomogenkan, lalu di reaksikan kembali dengan *oxidizing reagent* sebanyak 1 ml dan dihomogenkan kembali. Setelah itu, tabung reaksi yang digunakan untuk melakukan reaksi tersebut ditutup rapat dan didiamkan selama satu jam. Lalu absorbansi warna air contoh (biru) diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 640 nm. Warna biru yang ditimbulkan merupakan akibat terbentuknya senyawa indofenol. Kemudian absorbansi air contoh disesuaikan dengan

absorbansi akuades (blanko) dan konstanta perhitungan (Stirling *et al.*, 1985 dalam Subandiyo, 1992).

Konsentrasi faktor yang terukur tersebut dinyatakan dalam kadar nitrogen (N) yang terdapat dalam ammonia (NH₃). Untuk mengetahui konsentrasi ammonia yang dinyatakan dalam mg NH₃/L, nilai TAN di atas dikalikan dengan actor seperti pada persamaan berikut: $\text{Mg NH}_3/\text{l} = \text{ppm NH}_3 \cdot \text{N} \times \text{BM NH}_3 = \frac{\text{ppm NH}_3 \cdot \text{N} \times 1,216}{\text{BA N}}$

BM: Berat Molekul

BA : Berat Atom

11. Nitrat

Penentuan nitrat-nitrogen digunakan metode brucine dengan pereaksi-pereaksi brucine dan asam sulfat pekat. reaksi brucine dengan nitrat membentuk senyawa yang berwarna kuning. kecepatan reaksi ini sangat dipengaruhi oleh tingkat panas larutan. pemanasan larutan dilakukan dengan cara penambahan asam sulfat pekat. Pengukuran kadar Nitrat selain dengan menggunakan metode brucine juga dapat menggunakan metode *Cadmium Reduction Methode*, *Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method* atau *Nitrate Electrode Method*.

Perhitungan: $\text{mg NO}_3/\text{l} = \text{ppm NO}_3\text{-N} \times \text{BM NO}_3^- = (\text{ppm NO}_3\text{-N} \times 4,43) : \text{BA N}$

4.4. Pengukuran Parameter Biologi

1. Plankton

Secara umum keberadaan plankton di perairan akan dipengaruhi oleh tipe perairannya (mengalir atau tergenang), kualitas kimia dan fisika perairan (misalnya suhu, kecerahan, arus, pH, kandungan CO₂ bebas dsb) dan adanya kompetitor pemangsa plankton, pada perairan tergenang keberadaan plankton akan berbeda dari waktu ke waktu dan berbeda pula dalam menempati ruang atau badan air, sedangkan pada perairan mengalir unsure waktu dan ruang relative tidak berperan nyata. hal ini menyebabkan pengambilan sampel untuk pengamatan parameter biologi perairan

berbeda-beda. Pengambilan sampel air untuk pengamatan parameter plankton terdiri dari beberapa metode, yaitu:

- a) Penyaringan (*filtration method*) dengan menggunakan plankton net dengan ukuran mata jaring disesuaikan dengan klasifikasi plankton yang diinginkan, jumlah air yang tertampung bervariasi 5 - 50 liter, tergantung dari kepadatan plankton yang dapat dilihat dari warna air. Sampel diambil dengan menggunakan alat sampling dengan volume tertentu, kemudian di saring dengan menggunakan planktonnet. Sampel plankton yang tertampung dalam saringan dipindahkan ke dalam botol koleksi lalu diawetkan dengan menggunakan formalin atau alcohol sebelum dilakukan identifikasi plankton di bawah mikroskop.
- b) Pengendapan air contoh (*sedimentation method*) dengan menggunakan tabung penampung
- c) Centrifuge cara ini kurang diminati karena tidak portable

Pengamatan plankton sebagai parameter biologi umumnya meliputi keanekaragaman plankton dan kelimpahan plankton yang terkandung dalam suatu perairan. Perhitungan kelimpahan plankton dapat menggunakan:

1. Haemocytometer, pengamatan dengan alat ini ditujukan bagi phytoplankton atau plankton mikroskopik, pada mikroskop dengan perbesaran 100 x. Biasa digunakan untuk perhitungan (counting) Fitoplankton dengan ukuran $< 10 \mu\text{m}$.
2. Sedgwick rafter cell, pengamatan dengan alat ini ditujukan bagi Mikrozooplankton dan Fitoplankton dengan menggunakan mikroskop binokuler perbesaran 100. Saedgwick rafter cell merupakan alat pengamatan plankton yang paling sering digunakan untuk kegiatan identifikasi plankton, karena memiliki kapasitas yang relatif lebih besar, sehingga dapat digunakan untuk identifikasi fitoplankton dan zooplankton yang berukuran mikro. Volume sedgwick rafter cell tepat 1(satu) cc atau 1 cm³ dengan perincian panjang 50 mm, lebar 20 mm dan tebal 1 mm.
3. Bogorov tray, pengamatan dengan alat ini ditujukan bagi zooplankton dengan menggunakan mikroskop binokuler

perbesaran 40 x, volume bogorov tray dalam satu kali pengamatan ± 6 ml.

Parameter-parameter biologi kualitas air yang sering dijadikan perhitungan dalam pengamatan:

a) Kelimpahan plankton.

Parameter kelimpahan plankton pada suatu perairan dapat mencerminkan tingkat kesuburan suatu perairan. Kelimpahan plankton yang tinggi juga dapat menunjukkan adanya dominasi dalam rantai makanan. hal ini dapat dijadikan indicator suatu perairan.

Perhitungan:

Kelimpahan plankton dihitung berdasarkan rumus Effendi (1997), dengan rumus :

$$N = \frac{B \times n}{A \times C}$$

Keterangan:

N: kelimpahan plankton (individu/l)

A: volume contoh air yang disaring (misal = 50 l)

B : volume contoh air yang tersaring (misal = 10 ml)

C : volume contoh air pada *Sedgewick rafter* (1 ml)

n : jumlah plankton tercacah

b) Keanekaragaman plankton

Keanekaragaman plankton dapat menggambarkan biodiversitas atau kekeayaan dari suatu perairan. selain itu dapat juga menjadi indikator pencemaran bagi perairan tersebut. Pengamatan keanekaragaman sama dengan pengamatan kelimpahan plankton hanya rumusnya yang membedakan

Perhitungan:

Indeks Keanekaragaman Shannon (H'). Famili dan spesies plankton yang dominan dinyatakan dalam rumus (Southwood 1989 dalam Subandiyo, 1992):

$$H' = -\sum Pi \log Pi$$

dimana $Pi = n/N$

Keterangan:

n : jumlah individu pada i spesies

N : jumlah total individu

Tabel 4.3. Nilai Indeks Keanekaragaman yang Diperoleh dapat Mengindikasikan

H'	Keanekaragaman	Tingkat Pencemaran
$H' > 3$	Tingkat keanekaragaman tinggi	Tidak tercemar
$H' = 1-3$	Tingkat keanekaragaman sedang	Tercemar ringan
$H' < 1$	Tingkat keanekaragaman	Tercemar berat

c) Indeks dominasi plankton

Nilai indeks dominasi plankton dapat menunjukkan dominasi jenis plankton yang ada dalam perairan tertentu. nilai indeks dominasi berkisar 0 - 1, semakin tinggi nilai indeks dominasi menunjukkan dalam suatu perairan tersebut didominasi oleh satu atau dua jenis plankton saja maka dapat pula menggambarkan keanekaragaman yang sempit dalam perairan tersebut. Pengamatan dominasi plankton sama dengan pengamatan kalimpahan plankton, yang membedakan hanya pada perhitungan dari data yang telah diperoleh.

Perhitungan :

Dominasi jenis ditentukan dengan menggunakan indeks dominasi Simpson (Barus 2001), dengan persamaan:

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{ni}{N} \right)^2$$

Keterangan:

C = indeks dominansi simpson

ni = Jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah total individu

2. Bentos

Bentos merupakan organisme perairan yang hidup di dasar perairan. Pengamatan parameter biologi untuk bentos umumnya hanya terbatas pada makrobentos. Pengambilan sampel organisme benthik dapat dilakukan dengan cara sederhana terutama untuk daerah litoral yang dangkal (tepi). Beberapa larva arthropoda dapat diambil dengan menggunakan jala surber, sedangkan untuk beberapa jenis molusca karena memiliki ukuran yang besar dapat dilakukan tanpa bantuan alat khusus. Pengambilan makrobentos di daerah tepi danau atau waduk dilakukan dengan metode transek garis, yaitu dengan menarik garis sejajar dengan garis tepi perairan. Pengamatan dilakukan pada daerah 1 meter di kanan dan kiri garis sepanjang transek. Larva arthropoda diambil dengan cara menyaring substrat dasar dengan menggunakan jala surber (saringan tepung) dan diidentifikasi. Pengambilan sampel bentos dapat menggunakan eickman grab jika sampel diambil pada perairan yang berlumpur atau tergenang, penggunaan eickman grab dilakukan untuk mengetahui sampel sesaat atau dapat pula menggunakan jala surber pada sampel yang diambil pada perairan yang mengalir.

Perhitungan :

Indeks Perbandingan Sekuensial

$$S.C.I (I.P.S) = \frac{NR_{run} \times NT_{aksa}}{NS_{specimen}}$$

Tabel 4.4. *Klasifikasi Derajat Pencemaran dan Interpretasi Diversitas Komunitas dengan menggunakan Indeks Perbandingan Sekuensial*

Derajat Pencemaran	Diversitas Komunitas (S.C.I)
Belum tercemar	>2
Tercemar ringan	2,0 - 1,6
Tercemar sedang	1,5 - 1,0
Tercemar berat	< 1

3. Periphyton

Perifiton adalah organisme perairan yang menempel pada substrat air, mengingat sifat hidupnya yang menempel contohnya batu, kayu atau benda lain yang terdapat di badan air minimal dengan kedalaman 10 cm. Pengambilan sampel perifiton perlu dilakukan pengerikan pada tempat penempelannya secara perlahan tanpa merusak perifiton tersebut. Perhitungan kelimpahan dan keanekaragaman perifiton juga sama dengan perhitungan plankton. Perhitungan:

Kelimpahan Perifiton

$$N = \frac{n \times At \times Vt}{Ac \times Vc \times As}$$

Keterangan:

N: Kelimpahan perifiton (ind/cm²)

n: Jumlah perifiton yang diamati (ind)

At: Luasan cover glass

Vt: Volume konsentrat pada botol contoh (30 ml)

Ac: Luas amatan

Vs: Volume konsentrasi dalam object glass (1 ml)

As: Luas substrat yang dikerik (5 × 1 cm²)

Indeks Keanekaragaman Shannon (H') untuk perifiton

$$H' = - \sum P_i \log P_i$$

dimana $P_i = n_i/N$

keterangan:

n_i : jumlah individu pada i spesies

N : jumlah total individu

Dominasi perifiton

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan:

C = indeks dominansi simpson

n_i = Jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah total individu

4.5. Tugas Akhir Bab

Setelah anda melakukan masing-masing kegiatan pembelajaran scientific untuk masing-masing parameter kualitas air pada parameter fisika, kimia dan biologi, kumpulkan semua data yang anda peroleh, sekarang coba anda analisis hubungan dari masing-masing parameter tersebut serta pengaruhnya terhadap kegiatan budidaya perairan. Diskusikan bersama kelompok dan guru pendamping lalu sampaikan didepan kelas hasil diskusi tersebut!

BAB 5

PENCEMARAN AIR



Pencemaran air disebabkan oleh hadirnya bahan pencemar (polutan) yang dapat berupa gas, bahan-bahan terlarut, dan partikulat. Pencemaran memasuki badan air dengan berbagai cara, misalnya melalui atmosfer, tanah, limpasan (*run off*) pertanian, limbah domestik dan perkotaan, pembuangan limbah industri dan lain-lain.

5.1. Sumber Pencemar

Sumber pencemar (polutan) dapat berupa suatu lokasi tertentu (*point source*) atau tak tentu /tersebar (*non-point /diffuse source*). Sumber pencemaran *point source* berupa knalpot mobil, cerobong asap pabrik, dan saluran limbah industri. Pencemaran yang berasal dari *point source* bersifat local. Efek yang ditimbulkan dapat ditentukan berdasarkan karakteristik spasial kualitas air. Volume pencemaran dari *point source* biasanya relatif tetap.

Sumber pencemaran *non-point source* dapat berupa *point source* dalam jumlah yang banyak. Misalnya: limpasan dari daerah pertanian yang mengandung pestisida dan pupuk, limpasan dari daerah pemukiman (domestik), dan limpasan dari daerah perkotaan. Davis dan Cornwell (1991) mengemukakan beberapa jenis pencemar dan sumbernya dalam **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1. *Beberapa Jenis Pencemar dan Sumbernya*

Jenis Pencemar	Sumber Tertentu (Point Source)		Sumber Tak Tentu (Non-Point Source)	
	Limbah Domestik	Limbah Industri	Limpasan Daerah Pertanian	Limpasan Daerah Perkotaan
1. Limbah yang dapat menurunkan kadar oksigen	X	X	X	X
2. Nutrien	X	X	X	X
3. Patogen	X	X	X	X
4. Sedimen	X	X	X	X
5. Garam-garam	-	X	X	X
6. Logam yang toksik	-	X	-	X
7. Bahan Organik yang Toksik	-	X	X	-
8. Pencemaran Panas	-	X	-	-

Sumber: Davis dan Cornwellm 1991

5.2. Bahan Pencemar (Polutan)

Bahan pencemar (polutan) adalah bahan-bahan yang bersifat asing bagi alam atau bahan yang berasal dari alam itu sendiri yang memasuki suatu tatanan oksigen sehingga mengganggu peruntukan ekosistem tersebut. Berdasarkan cara masuknya ke dalam lingkungan, polutan dikelompokkan menjadi dua, yaitu polutan alamiah dan polutan antropogenik. Polutan alamiah adalah polutan yang memasuki suatu lingkungan (misalnya badan air) secara alami, misalnya akibat letusan gunung berapi, tanah longsor, banjir dan

fenomena alam yang lain. Polutan yang memasuki suatu ekosistem secara alamiah sukar dikendalikan.

Polutan antropogenik adalah polutan yang memasuki ke badan air akibat aktivitas manusia, misalnya kegiatan domestik (rumah tangga), kegiatan urban (perkotaan), maupun kegiatan industry. Intensitas polutan antropogenik dapat dikendalikan dengan cara mengontrol aktivitas yang menyebabkan timbulnya polutan tersebut.

Berdasarkan sifat toksiknya, polutan/pencemar dibedakan menjadi dua, yaitu polutan tak toksik (*non-toxic pollutants*) dan polutan toksik (*toxic pollutants*) (Jeffies dan Mills, 1996).

1. Polutan Tak Toksik

Polutan/pencemar tak toksik biasanya telah berada pada ekosistem secara alami. Sifat destruktif pencemar ini muncul apabila berada dalam jumlah yang berlebihan sehingga dapat mengganggu kesetimbangan ekosistem melalui perubahan proses fisika-kimia perairan. Polutan tak toksik terdiri atas bahan-bahan tersuspensi dan nutrient. Bahan tersuspensi dapat mempengaruhi sifat fisika perairan, antara lain meningkatkan kekeruhan sehingga menghambat penetrasi cahaya matahari. Dengan demikian, intensitas cahaya matahari pada kolom air menjadi lebih kecil dari intensitas yang dibutuhkan untuk melangsungkan proses sintesis. Keberadaan nutrien/unsur harta yang berlebihan dapat memacu terjadinya pengayaan (eutrofikasi) perairan dan dapat memacu pertumbuhan mikroalga dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*), yang selanjutnya dapat mengganggu kesetimbangan ekosistem akuatik secara keseluruhan.

2. Polutan Toksik

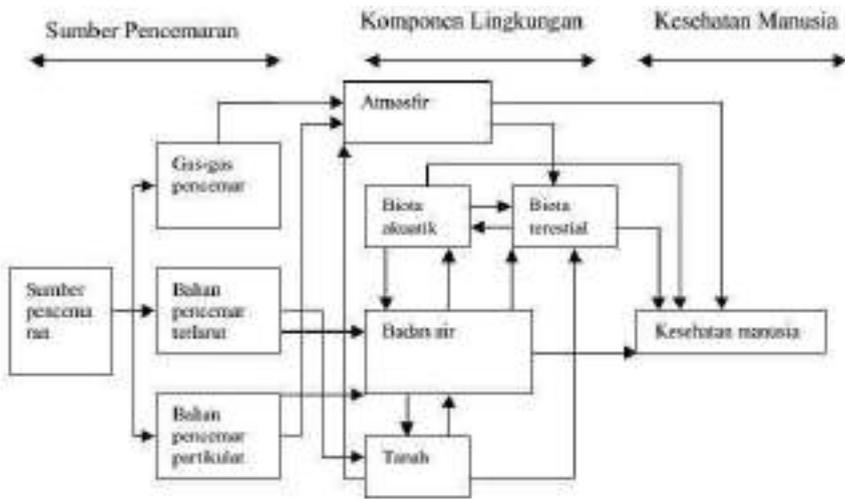
Polutan toksik dapat mengakibatkan kematian (*lethal*) maupun bukan kematian (*sub-lethal*), misalnya terganggunya pertumbuhan, tingkah laku, dan karakteristik morfologi berbagai organisme akuatik. Polutan toksik ini biasanya berupa bahan-bahan yang bukan alami, misalnya pestisida, detergen, dan bahan artifisial lainnya. Polutan berupa bahan yang bukan alami ini dikenal dengan

istilah xenobiotik (*polutan artificial*), yaitu polutan yang diproduksi oleh manusia (*man-made substances*).

Polutan yang berupa bahan-bahan kimia bersifat stabil dan tidak mudah mengalami degradasi sehingga bersifat persisten di alam dalam kurun waktu yang lama. Polutan ini disebut rekalsitran. Mason (1993) mengelompokkan pencemaran toksik menjadi lima sebagai berikut:

- a. Logam (*metals*), meliputi: *lead* (timbal), nikel, kadmium, *zinc*, *copper*, dan merkuri. Logam berat diartikan sebagai logam dengan nomor atom >20, tidak termasuk logam alkali, alkali tanah, lantanida, dan aktinida.
- b. Senyawa organik, meliputi pestisida organoklorin, herbisida, PCB, hidrokarbon alifatik berklor, pelarut (*solvents*), surfaktan rantai lurus, hidrokarbon petroleum, aromatic polinuklir, dibenzodioksin berklor, senyawa organometalik, fenol dan formaldehida. Senyawa ini berasal dari kegiatan industri, pertanian dan domestik.
- c. Gas, misalnya klorin dan ammonia.
- d. Anion, misalnya sianida, fluoride, sulfide, dan sulfat.
- e. Asam dan alkali.

Pengaruh bahan pencemar yang berupa gas, bahan terlarut, dan partikulat terhadap lingkungan perairan dan kesehatan manusia ditunjukkan secara skematik dalam Gambar 5.1



Gambar 5.1. Bagan pengaruh beberapa jenis bahan pencemar terhadap lingkungan perairan (Effendi, 2003)

5.3. Jenis - Jenis Pencemar

Polutan yang memasuki perairan terdiri atas campuran berbagai jenis-jenis polutan. Jika di perairan terdapat lebih dari dua jenis polutan maka kombinasi berpengaruh yang ditimbulkan oleh beberapa jenis polutan tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga dasar sebagai berikut:

- a. *Additive*: pengaruh yang ditimbulkan oleh beberapa jenis polutan merupakan penjumlahan dari pengaruh masing-masing polutan. Misalnya, pengaruh kombinasi *zinc* dan *cadmium* terhadap ikan
- b. *Synergism*: pengaruh yang ditimbulkan oleh beberapa jenis polutan lebih besar daripada penjumlahan pengaruh dari masing-masing polutan. Misalnya, pengaruh kombinasi *copper* dan klorin atau berpengaruh kombinasi *copper* dan surfaktan.
- c. *Antagonism*: pengaruh yang ditimbulkan oleh beberapa jenis polutan saling mengganggu, sehingga pengaruh secara kumulatif lebih kecil atau mungkin hilang. Misalnya, pengaruh kombinasi kalsium dan timbal atau *zinc* atau aluminium.

Rao (1991) mengelompokkan bahan pencemar di perairan menjadi beberapa kelompok, yaitu: (1) limbah yang mengakibatkan

penurunan kadar oksigen terlarut (*oxygen demanding waste*), (2) limbah yang mengakibatkan munculnya penyakit (*disease causing agents*), (3) senyawa organik sintesis, (4) nutrient tumbuhan, (5) senyawa anorganik dan mineral, (6) sedimen, (7) radioaktif, (8) panas (*thermal discharge*), (9) minyak. Bahan pencemar (polutan) yang masuk ke badan air biasanya merupakan kombinasi dari beberapa jenis pencemar yang saling berinteraksi.

1. Limbah Penyebab Penurunan Kadar Oksigen Terlarut

Semua limbah yang dioksidasi, terutama limbah domestic, termasuk dalam kategori limbah penyebab penurunan kadar oksigen terlarut (*oxygen demanding waste*). Oksigen sangat penting bagi kelangsungan hidup organisme pada ekosistem perairan. Kadar oksigen terlarut minimum 5 mg/liter diperlukan bagi kelangsungan hidup ikan di perairan.

Kadar oksigen terlarut di perairan dipengaruhi oleh proses aerasi, fotosintesis, respirasi, dan oksidasi limbah. Aerasi adalah proses transfer oksigen dari atmosfer ke perairan melalui proses difusi. Apabila kadar oksigen terlarut di perairan mencapai saturasi dan berada dalam kesetimbangan dengan kadar oksigen di atmosfer maka proses aerasi tidak akan berlangsung. Transfer oksigen dari udara ke dalam air berlangsung apabila kadar oksigen pada badan air belum mencapai tingkat jenuh (saturasi), dan sebaliknya. Kecepatan proses aerasi tergantung pada penyerapan (*absorption*) pada permukaan air dan penyebaran (*dispersion*) pada kolom air. Transfer oksigen berbeda-beda menurut tingkat saturasi dan oksigen sesungguhnya di perairan. Kecepatan transfer oksigen dari atmosfer ke perairan ini dinyatakan sebagai *mass flux* pada sejumlah unit area permukaan air pada unit waktu tertentu.

2. Senyawa Organik

Beribu-ribu bahan organik, baik bahan alami maupun sintesis, masuk ke dalam badan air sebagai hasil dari aktivitas manusia. Penyusun utama bahan organik biasanya berupa polisakarida (karbohidrat), polipeptida (protein), lemak (fats), dan asam nukleat (*nucleid acid*) (Dugan, 1972). Setiap bahan organik

memiliki karakteristik fisika, kimia, dan toksisitas yang berbeda. Namun, pemantauan setiap jenis bahan organik merupakan suatu hal yang sulit dilakukan. Salah satu contoh komposisi dan persentase komponen penyusun limbah bahan organik ditunjukkan dalam **Tabel 5.2.**

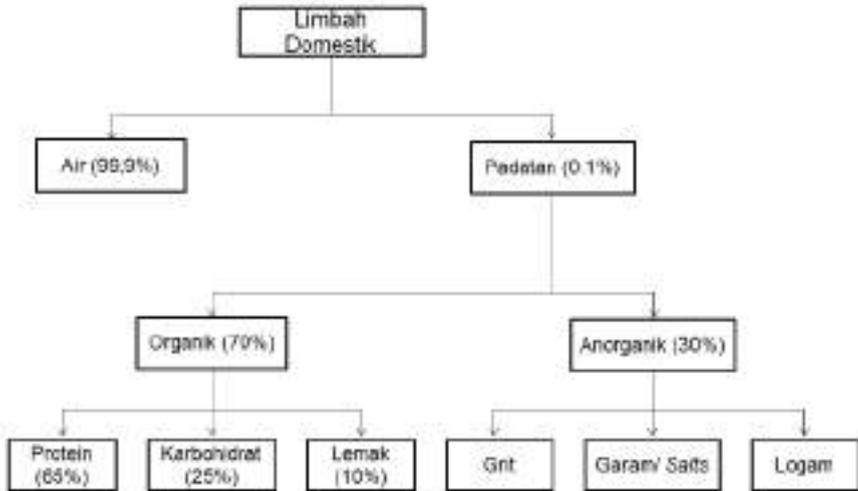
Tabel 5.2. *Komposisi Limbah Organik*

Jenis Bahan Organik	Persentase (%)	Jenis Bahan Organik	Persentase (%)
1. Lemak	30	5. Lignin	6
2. Protein	25	6. Selulosa	4
3. Abu	21	7. Hemiselulosa	3
4. Asam Amino	8	8. Alkohol	3

Sumber: Higgins dan Burns, 1975 dalam Abel 1989.

Selain jenis-jenis bahan organik tersebut, limbah organik juga mengandung bahan-bahan organik sintesis yang toksik. Beberapa contoh bahan organik yang bersifat toksik terhadap organisme akuatik adalah minyak, fenol, pestisida, surfaktan, dan *polychlorinated biphenyl* (PCBs). Berbeda dengan limbah organik alami yang relative mudah diuraikan secara biologis, senyawa organik sintesis pada umumnya tidak dapat diuraikan secara biologis (*non-biodegradable*). Senyawa organik sintesis juga bersifat persisten atau bertahan dalam waktu yang lama di dalam badan air serta bersifat kumulatif.

Sumber limbah organik di perairan adalah limbah domestik (rumah tangga dan perkotaan). Komposisi bahan organik dalam limbah domestik ditunjukkan dalam Gambar 5.2, sedangkan klasifikasi tingkat pencemaran dari limbah domestik ditunjukkan dalam **Tabel 5.3.**



Gambar 5. 2. Komposisi dan persentase komponen penyusun limbah domestik (Tebbut, 1992)

Tabel 5.3. Klasifikasi Tingkat Pencemaran dari Limbah Domestik Berdasarkan Beberapa Parameter Kualitas Air

Parameter	Tingkat Pencemaran		
	Berat	Sedang	Ringan
1. Padatan Total	1.000	500	200
2. Bahan padatan terendapkan (ml/liter)	12	8	4
3. BOD (mg/liter)	300	200	100
4. Nitrogen total (mg/liter)	85	50	25
5. Amonia - nitrogen (mg/liter)	30	30	15
6. Klorida (mg/liter)	175	100	15
7. Alkalinitas (mg/liter CaCO ₃)	200	100	50
8. Minyak dan Lemak	40	20	0

Sumber: Rump dan Krist, 1992

Jenis-jenis bahan organik dibedakan menjadi *oil* dan *grease*. Istilah *grease* diterapkan pada beberapa jenis bahan organik yang dapat diekstraksi dari larutan atau suspensi, dengan menggunakan

pelarut heksana atau trikloro triflouro etana (Freon). *Grease* terdiri atas hidrokarbon, ester, oli, lemak (*fats*), *waxes*, dan asam lemak dengan berat molekul besar. Penentuan *grease* pada perairan alami tidak terlalu diperlukan; akan tetapi, pada air limbah domestic dan limbah industry, *grease* perlu diukur. Komponen utama penyusun *grease* pada air limbah domestik adalah oli, lemak (*fat*), *waxes*, dan asam lemak, sedangkan pada air limbah industri biasanya berupa ester.

3. Minyak Mineral dan Hidrokarbon

Diperkirakan terdapat sekitar 800 jenis senyawa minyak mineral yang terdiri atas hidrokarbon alifatik, aromatic, resin, dan aspal (Tabel 5.4). Minyak tersebar di perairan dalam bentuk terlarut, lapisan film yang tipis yang terdapat di permukaan, emulsi, dan fraksi terserap. Di perairan, interaksi dari bentuk minyak ini sangat kompleks, dipengaruhi oleh nilai *specific gravity*, titik didih, tekanan permukaan, viskositas, dan kelarutan dan penyerapan. Kadar minyak mineral dan produk-produk petroleum yang diperkenankan terdapat pada air minum berkisar 0,01 – 0,1 mg/liter. Kadar yang melebihi 0.3 mg/liter bersifat toksik terhadap beberapa jenis ikan air tawar (UNESCO/WHO/UNEP, 1992).

Tabel 5.4. *Komponen Utama Senyawa Minyak Mineral*

Senyawa	Persentase (%)
Hidrokarbon	
a. Parafinik	10 – 70
b. Naftalenik (mono dan polisiklik)	25 – 75
c. Aromatik (mono dan polisiklik)	6 – 40
d. Naftenon-Aromatik	30 – 70
Senyawa heterosiklik tak Jenuh (<i>Unsaturated heterocyclic compounds</i>):	
a. Resin	1 – 40
b. Aspal	0 – 80
c. Asam aspaltenik	0 – 7

Sumber: UNESCO/WHO/UNEP, 1992

Hidrokarbon diklasifikasikan sebagai bahan organik yang hanya mengandung hydrogen dan karbon. Berdasarkan strukturnya, hidrokarbon dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu alifatik dan aromatic. Hidrokarbon alifatik meliputi alkane (paraffin), alkena (olefin), alkuna (asetilen), dan bentuk siklik (sikloalkana). *Hidrokarbon aromatic* misalnya benzene, toluena dan turunan benzena yang lainnya.

Hidrokarbon petroleum termasuk polutan, misalnya minyak mentah yang mengandung ratusan macam senyawa organik dengan sifat toksik yang bervariasi, mulai dari yang bersifat mudah menguap (*volatile*) hingga tak mudah menguap (*non-volatile*), yang bersifat mudah larut (*soluble*) hingga tidak larut (*unsoluble*), dan yang bersifat persisten hingga mudah terurai.

Air yang diperuntukkan bagi keperluan domestic sebaiknya bebas dari kandungan oil (*minyak*) dan *grease* (lemak), karena air dengan kadar petroleum relative tinggi menimbulkan rasa dan bau yang tidak enak. Kandungan minyak di perairan untuk keperluan air minum sebaiknya tidak melebihi 0,2 mg/liter.

Hidrokarbon petroleum pada perairan laut ditemukan dengan bentuk minyak mengapung, minyak emulsi, atau fraksi yang terlarut dalam air. Minyak yang mengapung dapat menghambat proses difusi udara dan proses fotosintesis, mencegah respirasi, serta mengganggu fungsi insang melalui penempelan pada epitel insang dan dapat menutupi seluruh permukaan sel algae maupun zooplankton. Minyak yang mengendap di dasar perairan dapat menutupi permukaan tubuh organisme bentor (penghuni dasar perairan). Fraksi minyak yang terlarut dalam air, khususnya hidrokarbon aromatik, bersifat sangat toksik bagi ikan dan organisme akuatik lainnya.

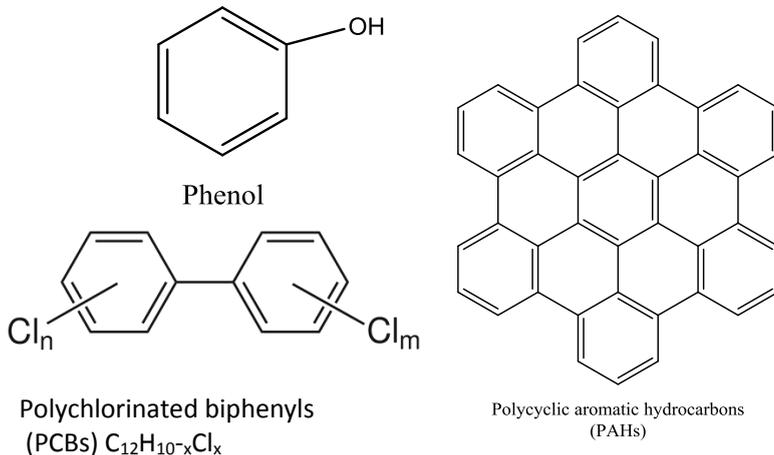
a. Fenol

Senyawa fenol merupakan senyawa aromatik dengan satu atau beberapa gugus hidroksil yang terikat secara langsung pada cincin benzena. Senyawa ini mudah mengalami oksidasi. Senyawa fenol terdiri atas fenol (C_6H_5OH), kresol, xilenol, klorofenol, katekol, hidroquinon, timol, naftol, dan sebagainya.

Senyawa fenol dihasilkan dari proses pemurnian minyak, industry kimia, tekstil, plastik, dan lain-lain. Kadar alami senyawa fenol di perairan sangat kecil, hanya beberapa $\mu\text{g/liter}$. Keberadaan fenol di perairan mengakibatkan perubahan sifat organoleptik air, sehingga kadar fenol yang diperkenankan terdapat pada air minum adalah $0,001 \text{ mg/liter}$. Pada kadar yang lebih dari $0,01 \text{ mg/liter}$, fenol bersifat toksik bagi ikan (UNESCO/WHO/UNEP, 1992).

b. PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*)

PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*), misalnya *chrysene*, *phenanthrene*, *retene*, *perylene*, dan sebagainya, termasuk bahan-bahan yang berbahaya karena bersifat karsinogenik. PAH dikelompokkan menjadi dua, yaitu PAH dengan berat molekul rendah (*low molecular-weight PAHs*) yang berupa senyawa dengan ≤ 3 cincin aromatik (*aromatic rings*) dan PAH dengan berat molekul tinggi (*high molecular-weight PAHs*) yang berupa senyawa dengan > 3 cincin aromatik. PAH dengan berat molekul rendah lebih mudah didegradasi secara biologis dibandingkan dengan PAH dengan berat molekul tinggi. Tabel 5.5 menunjukkan beberapa jenis PAH dan berat molekulnya. PAH dengan berat molekul rendah bersifat lebih mudah larut dan mudah menguap, sedangkan PAH dengan berat molekul tinggi bersifat hidrofobik dan memiliki daya larut rendah.



Gambar 5.3. Senyawa Aromatik Limbah Senyawa Hidrokarbon

c. PCB (*Polychlorinated Biphenyls*)

PCBs adalah senyawa yang dapat diperoleh dengan cara melakukan klorinasi *biphenyl*. PCBs memiliki kestabilan kimia yang tinggi dan sifat penguapan (*volatility*) yang rendah. Penggunaan PCBs dalam industry plastic, cat, lem perekat, sistem transfer panas, kertas, dan komponen listrik dimulai pada tahun 1929 (Hutzinger *et al.*, 1974) dalam Bacci, 1993). Namun, karena sifatnya yang toksik dan persisten, produksi Negara berkembang. Kadar PCBs yang diperkirakan tidak membahayakan bagi organisme akuatik adalah <50 nanogram/liter.

Rumus molekul PCB adalah $C_{12}H_{10-n}Cl_n$; n bervariasi dari 1-10. PCB yang memiliki lebih dari 5 atom klor disebut PCB dengan *higher chloro-biphenyls*. Senyawa ini bersifat lebih persisten dan lebih sukar didegradasi secara biologis daripada *lower biphenyls* (PCB yang memiliki kurang dari 5 atom klor). Jenis-jenis PCB yang sering digunakan dalam industry adalah *arochlor*, *clophen*, *fenchlor*, *kanechlor*, *phenochlor*, *pyralene*, *santotherm*, dan *pyranol*.

PCB bersifat larut dalam lemak, sehingga di dalam makhluk hidup PCB mengalami bioakumulasi dan bio konsentrasi, khususnya PCB jenis *higher chlorobiphenyls*. Oleh karena itu, meskipun kadar PCB di perairan relative rendah, akan tetapi kadar PCB dalam organisme akuatik dapat jauh lebih besar. Kelarutan PCB berkurang dengan meningkatnya jumlah atom klor. PCB akan berikatan dengan bahan organik, bahan-bahan yang tarsuspensi di perairan, dan sedimen dasar. Oleh karena itu, di perairan PCB biasanya lebih banyak ditemukan di dalam sedimen dasar daripada di dalam kolom air.

4. Pestisida

Pestisida atau disebut juga biosida bukan merupakan senyawa organik yang biasa ditemukan di dalam limbah. Pestisida masuk ke badan air melalui limpasan dari daerah pertanian yang banyak menggunakan pestisida. Pestisida yang sering digunakan adalah insektisida (pembasmi insekta) dan herbisida (pembasmi rumput pengganggu). Pestisida dikelompokkan menjadi tiga, yaitu pestisida organoklorin (berklor), pestisida organofosfor, dan

pestisida karbamat. Pestisida karbamat adalah pestisida yang didasarkan pada asam karbamik (H_2NCOOH). Beberapa contoh pestisida organoklorin ditunjukkan dalam Tabel 5.6, pestisida organofosfor dalam Tabel 5.7, pestisida karbamat dalam Tabel 5.8, dan herbisida dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.5. Beberapa Jenis Pestisida Organoklorin

Jenis Pestisida	Nama Kimia
1. Aldrin (HHDN)	1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-exo-1,4-endo-5,8-dimethanonaphthalene
2. Chlordane	1,2,4,5,6,7,8,8-octachloro-2,3,3a,4,7,7a-hexahydro-4,7-methanoindene
3. Chlordecone (Kepone)	Dedecachloro octahydro-1,3,4-methano-2H-cyclobutal (cd) pentalen-2-one
4. DDD (TDE)	1,1-dichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane
5. DDT	1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane
6. Dieldrin	1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-6,7-epoxy-1,4:5,8-dimethanonaphthalene
7. Endosulfan (Thiodan)	1,4,5,6,7,7-hexachloro-8,9,10-trinorborn-5-en-2,3-ylene dimethyl sulphite
8. Endrin	1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,6,7,8a-octahydro-6,7-epoxy-1,4:5,8-dimethanonaphthalene
9. Heptaklor	1,4,5,6,7,8,8-heptachloro-3a,4,7,7,7a-tetrahydro-4,7-methaniondene
10. Heptaklor Epoksid	1,4,5,6,7,8,8-heptachloro-2,3-epoxy-3a,4,7,7a-tetrahydro-4,7-methanoindene
11. Hexaklorocyclohexane (HCH) atau Benzenhexachloride (BHC) atau Lindane	1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane
12. Methocylor	1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-methoxyphenyl)-ethane
13. Mirex	Dedecachloro octahydro-1,3,4-methano-2H-cyclobuta(c,d) pentalene
14. Toxaphene (Camphechlor)	Campuran camphene berklor

Tabel 5.6. Beberapa Jenis Pestisida Organofosfor

Jenis Pestisida	Nama Kimia
1. Kloropyrifos	<i>O,O-diethyl-O-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) phosphorothioate</i>
2. Diazinon (Basudin)	<i>O,O-diethyl-O-2-isopropyl-6-methyl-pyrimidin-4-yl phosphorothioate</i>
3. Fenithion	<i>O,O-dimethyl-O-pmehtylthio-m-tolyl phosphorpthioate</i>
4. Glyphosate	<i>N-(phosphonomethyl)glycine</i>
5. Guthion (<i>Azinphosmethyl</i>)	<i>S-(3,4-dihydro-4-oxobenzo(d)-(1,2,3) triazin-3-yl methyl)-O,O-dimethyl phosphorodithioate</i>
6. Malathion (<i>Carbofos</i>)	<i>S-1,2-bis(ethoxycarbonyl)ethyl-O-O-dimethyl phosphorodithioate</i>
7. Parathion (<i>diethyl parathion</i>)	<i>O,O-diethyl-O-4-nitrophenyl-phosphorothiate</i>

Tabel 5.7. Beberapa Jenis Pestisida Karbamat

Nama Umum	Nama Kimia
1. Aldicarb	<i>2-methyl-2-(methylthio)propanol o-[(methylamino)carbonyl]oxime</i>
2. Aminocarb	<i>4-dimethylamino-m-toly methylcarbamate methyl sulphanylcarbamate</i>
3. Asulam	<i>Methyl sulphanylcarbamate</i>
4. Propoxur	<i>2-isopropoxyphenyl methylcarbamate</i>
5. Carbaryl (Sevin)	<i>1-naphthyl mehtylcarbamate</i>
6. Carbofuran	<i>2,3-dihyro-2,2-dimethyl-7-benzofuranyl methylcarbamate</i>
7. Eptam	<i>S-ethyl dipropyl(thiocarbamate)</i>
8. Nabam	<i>Dinatrium ethylene bis(dithiocarbamate)</i>
9. Propham	<i>Isopropyl carbanilate</i>

Tabel 5.8. Beberapa Contoh Herbisida

Nama Umum	Nama Kimia
1. Asulam (Asulox)	<i>Methyl 4-amino-penylsulphonyl-carbamate</i>
2. Atrazine (Weedex, Residox)	<i>2-chloro-4-ethylamino-6-isopropyl-amino-1,3,4-triazene</i>
3. Chlothiamid (Prefix)	<i>2,6-dichlorothio-benzamide</i>
4. 2,4-D (Dormane, Fernimine)	<i>2,4-dichlorophenoxyacetic acid, ester atau garam</i>
5. 2,4-DB (Embutox)	<i>4-(2,4-dichlorophenoxy) butyric acid, ester, atau garam</i>
6. Dalapon (Dowpon, Radapon)	<i>2,2-dicloropropionic acid</i>
7. Dichlobenil (Casoron))	<i>2,6-dichlorobenzonitrile</i>
8. Diclone (Phygon)	<i>2,3-dichloro-1,4-naphthoquinone</i>
9. Diquat (Reglone, Midstream)	<i>1,1'-ethylene-2,2'-bipyridyldiylum dibromide</i>
10. Diuron (Karmex)	<i>3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea</i>
11. Glyphosate (Round-up, Spasor)	<i>N-(phosphoromethyl) glycine (isopropylamine salt)</i>
12. IPC (Prophame)	<i>Isopropyl phenylcarbamate</i>
13. Molinate (Ordram)	<i>S-ethyl N,N hexamethylenethiucarbamate</i>
14. Paraquat (Gramaxone)	<i>1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridyldiylum dichloride</i>
15. Picloram	<i>4-amino,-3,5,6-trichlorophyridine-2-carboxylic acid</i>
16. Propanil (DCPA)	<i>3'4'-dichloroproprionalide</i>
17. Simazine	<i>2,chloro-4,6-bis (ethylamino)-1,3,5-triazine</i>
18. 2,4,5-T	<i>2,4,5-trichlorophenoxy acetic acid</i>
19. Terbutryne (Clarosan)	<i>2-tert-butylamino-4-ethylamino-6-methylthio-1,3,5-triazine</i>
20. Trifluralin (Treflan)	<i>a, a, a-trifluoro-2,6-dinitro-N,N-dipropyl-p-toluidir</i>
21. Vernolate	<i>S-propyl dipropylthiolcarbamate</i>

5. Surfaktan

Surfaktan atau *surface active agents* atau *wetting agents* merupakan bahan organik yang berperan sebagai bahan aktif pada detergen, sabun, dan *shampoo*. Surfaktan dapat menurunkan tegangan permukaan sehingga memungkinkan partikel-partikel yang menempel pada bahan-bahan yang dicuci terlepas dan mengapung atau terlarut dalam air. Surfaktan dikelompokkan menjadi empat, yaitu surfaktan anionic, surfaktan kationik, surfaktan nanionik, dan surfaktan *amphoteric* (*zwitterionic*) (Dean dan Bradley, 1984).

Selain digunakan sebagai sabun, surfaktan juga digunakan dalam industri tekstil dan pertambangan, baik sebagai pelumasan, emulsi, maupun flokulan. Komposisi surfaktan dalam detergen

6. Senyawa Anorganik

Senyawa anorganik terdiri atas logam dan logam berat pada umumnya bersifat toksik. Davis dan Cornwell (1991) mengemukakan, bahan organik yang dianggap toksik adalah arsen (As), barium (Ba), cadmium (Cd), kromium (Cr), *lead* (Pb), merkuri (Hg), selenium (Se), dengan *silver* (Ag). Senyawa anorganik berasal dari limbah domestik dan industri. Limpasan perkotaan merupakan sumber utama timbal (Pb) dan *zinc* (Zn) (Davis dan Cornwell, 1991). Di dalam tubuh makhluk hidup, logam berat mengalami biokonsentrasi dan bioakumulasi sehingga kadar timbal di dalam tubuh makhluk hidup lebih besar daripada di lingkungan perairan. Logam berat juga mengalami biomagnifikasi; kadarnya semakin meningkat dengan peningkatan posisi organisme pada rantai makanan. Bahan kimia anorganik seperti asam, garam dan bahan toksik logam seperti Pb, Cd, Hg dalam kadar yang tinggi dapat menyebabkan air tidak enak untuk diminum. Disamping dapat menyebabkan matinya kehidupan air seperti ikan dan organisme lainnya. Pencemaran bahan tersebut juga dapat menurunkan produksi tanaman pangan dan merusak peralatan yang dilalui air tersebut (karena bersifat korosi).

Logam berat menyebabkan gangguan pada proses fisiologis organisme akuatik. Haslam (1995) mengemukakan bahwa tumbuhan air dan algae dapat menyerap logam. Penyerapan logam oleh tumbuhan air dan algae ini lebih banyak terjadi pada perairan dengan pH rendah. Algae bersifat lebih toleran terhadap logam berat dibandingkan dengan ikan dan mamalia.

7. Sedimen

Sedimen meliputi tanah dan pasir yang masuk ke badan air akibat erosi atau banjir. Pada dasarnya, sedimen tidak bersifat toksik. Di dalam air, sedimen berupa bahan-bahan tersuspensi. Keberadaan sedimen dalam badan air mengakibatkan terjadinya peningkatan kekeruhan perairan, yang selanjutnya menghambat penetrasi cahaya dan transfer oksigen dari atmosfer ke perairan. Selain itu, peningkatan kekeruhan akan menghambat daya lihat (visibilitas) organisme akuatik dan terganggunya kerja organ pernafasan pada organisme akuatik, misalnya insang, sehingga terjadi *asphyxiation* pada ikan.

Sedimen juga dapat menyebabkan hilangnya tempat memijah (*spawning sites*) yang sesuai bagi ikan. Sedimen dapat menutupi substrat sehingga mengganggu kelangsungan hidup organisme yang membutuhkan substrat sebagai tempat hidup (misalnya perifiton) dan tempat berlindung (*shelter*) misalnya beberapa jenis vertebrata air.

8. Radioaktif

Nukleus atau inti atom mengandung proton (bermuatan positif) dan neutron (bermuatan netral), sekarang disekelilingi oleh orbit elektron yang bermuatan negative. Biasanya, proton, neutron, dan elektron berada dalam kondisi kesetimbangan. Atom dari suatu unsur kimia yang sama memiliki jumlah neutron yang bervariasi, yang dikenal dengan istilah isotop. Beberapa isotop (radioisotop atau radionuklida) bersifat tidak stabil. Untuk mencapai kestabilan, isotop melepaskan radiasi atau gelombang elektromagnetik. Radiasi ini dibedakan menjadi empat macam. (Mason, 1993). *Alpha*

partikel yang terdiri atas dua proton dan dua neutron. Kemampuan penetrasi radiasi ini cukup kecil dan akan mengalami kehilangan energy pada jarak yang pendek. Akan tetapi, jika memasuki tubuh makhluk hidup melalui pernafasan, radiasi alpha ini dapat merusak jaringan tubuh karena akan mengalami ionisasi. *Beta partikel* yang terdiri atas elektron atau proton, tergantung pada neutron yang menjadi proton dan sebaliknya, pada inti yang tidak stabil. Radiasi ini memiliki kemampuan penetrasi yang lebih besar daripada alpha partikel. Radiasi beta dapat menembus jaringan tubuh manusia, namun tertahan oleh air, kaca dan logam. Radiasi ini juga berbahaya bagi makhluk hidup. *Radiasi Gamma (Sinar X)* merupakan gelombang radiasi elektromagnetik pendek yang tidak bermuatan, namun memiliki kemampuan penetrasi yang cukup kuat. *Radiasi Neutron* hanya ditemukan pada reaktor nuklir. Beberapa elemen yang tidak stabil memiliki kelebihan neutron dalam jumlah besar. Nukleus yang tidak stabil ini kemudian pecah (*spontaneous fission*) dan menghasilkan neutron yang memiliki kemampuan penetrasi tinggi. Atom-atom dengan isotop yang berbeda memiliki sifat radioaktif. Sifat radioaktivitas atom menurun dengan bertambahnya waktu. Setiap atom memiliki waktu tertentu untuk mencapai penurunan sebanyak setengah dari sifat radioaktivitas mula-mula.

Pengaruh radioaktif dapat bersifat akut atau kronis. Pada kadar yang tinggi, pengaruh radioaktif terhadap makhluk hidup bersifat akut, yakni mengganggu proses pembelahan sel dan mengakibatkan rusaknya kromosom. Setiap organ tubuh memperlihatkan respon yang berbeda terhadap radioaktif. Radiasi sinar X (radiasi gamma) dapat mengakibatkan defisiensi sel darah putih (*lymphocyte*) dalam waktu dua hari setelah seluruh tubuh mendapat radiasi sinar X sebesar 2 Gy - 5 Gy, sedangkan pengurangan sel darah merah terjadi 2 - 3 minggu kemudian. Radiasi sinar X sebesar 6 Gy - 10 Gy dapat menggagalkan produksi sel darah pada mamalia, sedangkan radiasi sebesar 10 Gy - 50 Gy mengakibatkan muntah dan diare, serta radiasi >50 Gy mengakibatkan kerusakan system saraf (Mason, 1992).

9. Panas/Bahang

Industri dan pembangkit tenaga listrik menggunakan air dalam jumlah yang sangat banyak untuk mendinginkan mesin. Air yang telah terpakai dalam keadaan bersuhu tinggi kemudian dibuang ke badan air, sehingga suhu badan air meningkat dan kehidupan komunitas akuatik terganggu. Brown (1989) mengemukakan pengaruh yang ditimbulkan oleh pencemaran panas terhadap kadar oksigen terlarut dan nilai BOD, yang memperlihatkan penurunan dari sumber pencemar ke arah hilir sungai atau badan air penerima pencemar. Penurunan oksigen disebabkan oleh keberadaan air panas yang menempati bagian atas dari lapisan air yang lebih dingin. Terbentuknya lapisan ini disebabkan oleh perbedaan berat jenis (densitas) air. Air panas di bagian atas yang mengandung lebih sedikit oksigen akan mencegah proses transfer oksigen ke lapisan di bawahnya, sehingga kadar oksigen pada bagian bawah lapisan air mengalami penurunan secara drastic dan dapat mengakibatkan kondisi anaerob.

Pada suhu yang lebih tinggi, metabolisme organisme juga mengalami peningkatan. Peningkatan suhu sebesar 10°C dapat mengakibatkan peningkatan proses metabolisme sebesar dua kali lipat, yang juga mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen. Apabila pencemaran panas ini disertai dengan pencemaran bahan organik maka penurunan kadar oksigen di perairan akan lebih tajam. Pada suhu lebih dari 40°C, hanya beberapa organisme yang mampu bertahan hidup. Peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan toksisitas beberapa bahan kimia.

Pencemaran panas dapat memperpendek siklus hidup organisme akuatik. Beberapa organisme akuatik yang perkembangannya mengikuti musim akan sangat terganggu dengan adanya pencemaran panas ini, karena suhu perairan tidak lagi mengikuti siklus alami (Jeffries dan Mills, 1996). Suhu air yang berkisar antara 32,3°C - 32,5°C dapat mengakibatkan gangguan terhadap kelangsungan hidup ikan mas (*Cyprinus carpio*) dan suhu 40,6°C bersifat mematikan (*lethal*) (Hellawel, 1986)

10. Limbah Penyebab Penyakit

Air mudah tercemar oleh mikroorganisme berbahaya (pathogen) yang masuk melalui limbah. Bakteri pathogen dapat terakumulasi di dalam tubuh kerang-kerangan atau *shellfish* (*Mytilus edulis*) (Davis dan Cornwell, 1991). Virus penyebab penyakit hepatitis dan polio juga ditemukan di dalam air. Air juga memainkan peranan yang penting dalam penyebaran penyakit malaria, filariasis, schistosomiasis, dan penyakit kuning (*yellow fever*). Penyakit yang bersumber dari perairan ini dikenal dengan sebutan *waterborne disease*.

Bakteri adalah mikroorganisme dengan ukuran panjang sekitar 0,2 μm - 10 μm , dan tersebar luas di alam. Banyak bakteri yang tidak membahayakan (*harmless*) menjadi penghuni usus manusia dan secara rutin dikeluarkan bersama-sama dengan tinja. Di antara bakteri tersebut adalah bakteri kelompok *coliform*. Selain itu juga ditemukan bakteri pathogen, misalnya *salmonella* dan *Shigella* (Yates, 1992). Virus adalah mikroorganisme yang bersifat parasite murni (*obligate intracellular parasites*). Virus berukuran sangat kecil, sekitar 20nm - 200 nm, dan tidak mampu hidup di luar tubuh organisme.

Berbagai metode untuk mengidentifikasi bakteri pathogen di perairan telah banyak dikembangkan. Akan tetapi, penentuan semua jenis bakteri patogen ini membutuhkan waktu dan biaya yang besar, sehingga penentuan group bakteri *coliform* dianggap sudah cukup baik dalam menilai tingkat higienitas perairan. *Escherichia coli* adalah salah satu bakteri *coliform* total tidak berbahaya yang ditemukan dalam tinja manusia. Keberadaan *E. coli* di perairan secara berlimpah menggambarkan bahwa perairan tersebut tercemar oleh kotoran manusia, yang mungkin juga disertai dengan cemaran bakteri patogen.

Tugas Akhir Bab

1. Apa yang membedakan suatu pencemaran, sehingga disebut sebagai pencemaran kimia, atau biologis?
2. Secara mekanisme dan bagian yang dicemari pada air, apa yang membedakan kedua jenis pencemaran tersebut (kimia dan biologi)?
3. Tahukan kamu? Ada beberapa spesies organisme air yang dapat bertahan hidup dalam kondisi air yang tercemar, mengapa hal itu bisa terjadi?
4. Penanggulangan seperti apa yang dapat dilakukan untuk memperbaiki pencemaran air?
5. Penyakit apa saja yang dapat ditimbulkan akibat dari pencemaran air baik secara kimia atau biologi?

BAB 6

KARBOHIDRAT BAHAN MAKANAN DAN MINUMAN



Pada dasarnya berbeda antara Bahan makanan dan Zat makanan, yang disebut juga Zat Gizi atau Nutrient. Zat makanan adalah satuan yang menyusun bahan makanan tersebut, sedangkan bahan makanan atau disebut juga dengan komoditas pangan dalam perdagangan adalah apa yang kita beli, kita masak dan kita susun menjadi hidangan. Contoh dari bahan makanan adalah beras, jagung, daging, telur, dan sebagainya.

Zat makanan bahan dasar menurut Ilmu Gizi atau Nutrient yang kita kenal adalah; Karbohidrat, protein atau zat putih telur, lemak, vitamin, dan mineral. Ada kelompok ahli gizi yang menambahkan air dan oksigen sebagai makan pula, tetapi pendapat ini belum diterima oleh semua ahli. Alasan penambahan kedua zat

ini sebagai zat makanan adalah karena pada proses metabolisme zat gizi, selalu diperlukan air dan oksigen atau zat asam merupakan bahan yang sangat penting pula di dalam pengolahan zat makanan di dalam tubuh.

Yang tidak menyetujui dimasukkannya air dan zat asam ke dalam kelompok zat gizi karena kedua zat itu umumnya sangat mudah didapat. Perbedaan antara zat gizi air dan zat asam disatu pihak dengan zat-zat gizi lainnya dipihak lain adalah, bahwa air dan zat asam merupakan zat-zat tunggal, sedangkan zat gizi lainnya merupakan suatu kelompok ikatan-ikatan yang berbeda, tetapi dianggap mempunyai gugus yang sama ditinjau dari sudut ilmu gizinya.

6.1. Pendahuluan

Karbohidrat dapat ditemukan dengan mudah dimana-mana. Setiap organisme mengandung beberapa karbohidrat. Karbohidrat bisa berkisar dari monosakarida sederhana hingga polisakarida kompleks yang besar. Karbohidrat terdapat dalam jaringan tumbuhan dan hewan serta mikroorganisme dalam berbagai bentuk dan berbagai aras. Dalam makhluk hewan gula utama adalah glukosa dan karbohidrat simpanan glikogen; dalam susu, gula utama hampir khusus disakarida laktosa. Dalam makhluk tumbuhan, terdapat berbagai jenis monosakarida dan oligosakarida, dan karbohidrat simpanan berupa pati. Polisakarida struktur tumbuhan adalah selulosa. Gom adalah golongan beberapa polisakarida yang diperoleh dari tumbuhan, rumput laut, dan mikroorganisme. Polisakarida dalam kombinasi dengan protein, lipid, dan asam nukleat memainkan peran penting dalam banyak tumbuhan dan hewan sistem metabolisme. Karbohidrat memiliki banyak peran dalam sistem makanan, di mana mereka berfungsi untuk menyediakan flavour, struktur, dan tekstur untuk makanan dan manfaat gizi kepada konsumen. Bab ini mencoba untuk mengatasi peran monosakarida tumbuhan umum, oligosakarida, dan polisakarida sebagai bahan-bahan dalam sistem makanan dengan membahas kejadian mereka di pabrik, pemrosesan

komersial, fungsionalitas, penggunaan makanan, dan properti yang sehat.

Karbohidrat merupakan sumber kalori utama bagi hampir seluruh penduduk dunia, khususnya bagi penduduk negara yang sedang berkembang. Walaupun jumlah kalori yang dapat dihasilkan oleh 1 gram karbohidrat hanya 4 Kal (kkal) bila dibandingkan dengan protein dan lemak, namun karbohidrat merupakan sumber kalori yang paling murah. Disamping itu, beberapa golongan karbohidrat menghasilkan serat-serat (*dietary fiber*) yang berguna bagi pencernaan. Karbohidrat mempunyai peran penting dalam menentukan karakteristik bahan makanan, misalnya rasa, warna, tekstur, dan lain-lainnya. Sedangkan dalam tubuh, karbohidrat berguna untuk mencegah timbulnya ketosis, pemecahan protein tubuh yang berlebihan, kehilangan mineral, dan berguna untuk membantu metabolisme lemak dan protein.

Dalam tubuh manusia, karbohidrat dapat dibentuk dari beberapa asam amino dan sebagian dari gliserol lemak. Tetapi sebagian besar karbohidrat diperoleh dari bahan makanan yang dimakan sehari-hari, terutama bahan makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan. Pada tanaman, karbohidrat dibentuk dari reaksi CO_2 dan H_2O dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis dalam sel tanaman yang bernama klorofil.

Reaksi fotosintesis, penyerapan sinar matahari dilakukan oleh kloroplas daun yaitu pada lapisan-lapisan yang disebut *thylakoid*. Energi sinar matahari akan menaikkan tingkat (*level*) energi elektron klorofil dalam *thylakoid*, dan membebaskan beberapa elektron yang kemudian akan ditangkap oleh akseptor elektron dalam suatu reaksi oksidasi. Dalam reaksi tersebut pada prinsipnya terjadi oksidasi H_2O dengan membebaskan O_2 dan membentuk ko-enzim tereduksi, misalnya FADH_2 dan $\text{NADH} + \text{H}^+$. Selanjutnya terjadi reduksi CO_2 yang membentuk rantai CO_2 teroksidasi yang dapat menghasilkan karbohidrat, asam amino, lipida, serta asam-asam hidroksil. Bila kloroplas daun dianalisis akan didapat sejumlah sukrosa, pati, enzim, dan gula fosfat. Adanya komponen-komponen tersebut mengakibatkan kloroplas dapat mensintesis beberapa senyawa lain

misalnya pektin, selulosa, hemiselulosa, pat, pentose dan sebagainya.

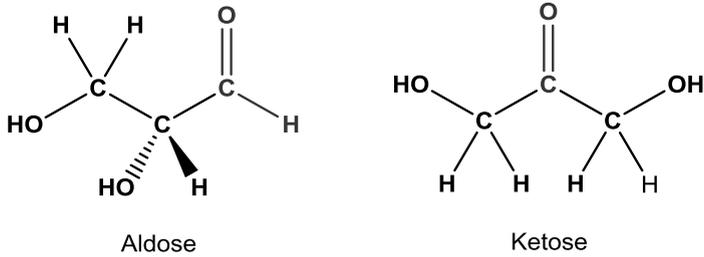
Karbohidrat dapat pula disintesis secara kimiawi, misalnya pada pembuatan sirup Formosa yang dibuat dengan menambahkan larutan alkali encer pada formaldehida. Reaksi spontan disertai sedikit panas akan terjadi dan terjadi kondensasi beberapa molekul formaldehida yang menghasilkan suatu campuran DL rasemat dari beberapa aldosa dan ketosa dengan beberapa cabang rantai karbon yang bersifat toksis.

Sirup formosa mengandung lebih dari 13% heksosa dan campuran tersebut dapat diubah menjadi gula alam seperti D-glukosa, D-fruktosa, dan D-mannosa. Beberapa reaksi yang dapat menghasilkan sirup dengan kandungan heksosa yang lebih tinggi telah ditemukan.

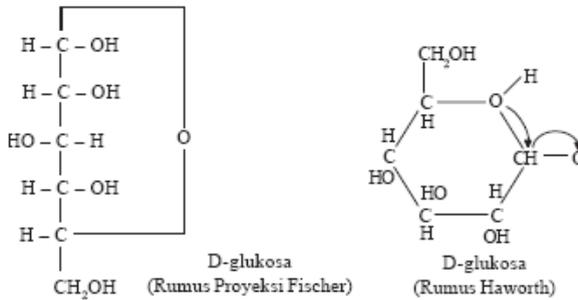
Cara yang lebih mudah dan murah untuk mendapatkan karbohidrat adalah dengan mengekstraknya dari bahan-bahan nabati sumber karbohidrat, yaitu serealia, umbi-umbian, dan batang tanaman misalnya sagu. Sumber karbohidrat yang merupakan bahan makanan pokok diberbagai daerah di Indonesia adalah biji-bijian, khususnya beras dan jagung.

6.2. Monosakarida

D-Glukosa merupakan monosakarida yang paling penting dan berasal dari gula paling sederhana, D-gliseraldehida, yang digolongkan sebagai aldotriosa. Nama gula aldosa dan ketosa menunjukkan ciri kimia bentuk yang mereduksi dari gula itu dan dapat ditunjukkan dengan rumus rantai sederhana atau rantai terbuka menurut Fischer seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6.1



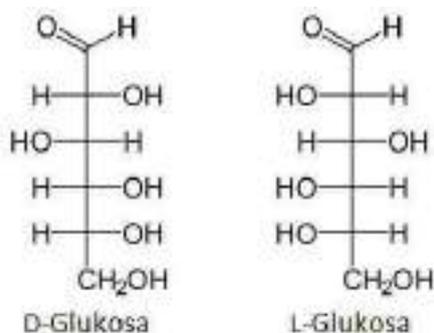
(a)



(b)

Gambar 6.1 Glukosa (a) Aldosa dan Ketosa penyusun glukosa (b) Rumus proyeksi Glukosa

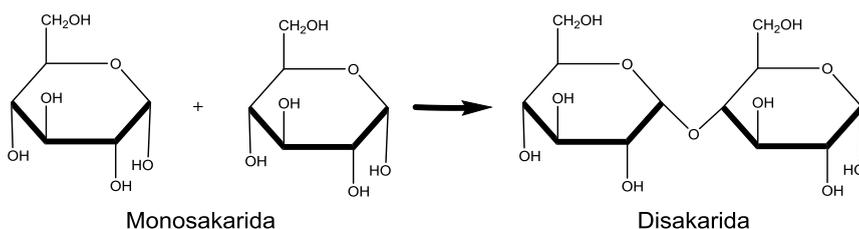
Rumus tersebut menunjukkan gugus aldehida bebas dan empat hidroksil sekunder yang opis aktif. Karena reaksi kimia gula tidak sesuai dengan struktur ini, konfigurasi cincin yang melibatkan hemiasetal antara karbon 1 dan 5 lebih cepat menggambarkan struktur monosakarida. Struktur cincin anggota-lima disebut furanosa; cincin anggota-enam disebut piranosa. Kebanyakan gula alam termasuk deret D. Tanda D atau L mengacu ke dua target deret gula. Dalam deret D, karbon asimetrik yang bernomor tertinggi gugus OH-nya mengarah ke kanan, dalam rumus proyeksi Fischer. Dalam deret L, hidroksil ini mengarah ke kiri.



Gambar 6.2 Struktur D- dan L-Glukosa

6.3. Disakarida

Beberapa text book memasukkan kelompok disakarida kedalam kelompok oligosakarida, tetapi tidak sedikit juga buku memisahkannya. **Disakarida** atau **biosa** merupakan senyawa karbohidrat yang terbentuk ketika dua monosakarida mengalami reaksi kondensasi yang melibatkan terlepasnya suatu molekul kecil, seperti air, dari bagian gugus fungsi saja. Seperti monosakarida, disakarida membentuk larutan dalam air. Tiga senyawa disakarida paling umum adalah sukrosa, laktosa, dan maltosa.



Gambar 6.3 Struktur D- dan L-Glukosa

Sukrosa merupakan gula yang kita gunakan sehari-hari sebagai pemanis untuk membuat teh manis, sirup, kue, dan lain-lainnya, lazimnya kita sebut gula pasir. Sukrosa banyak terdapat dalam tebu dan bit. Sukrosa merupakan disakarida yang tersusun oleh satu residu glukosa dan satu residu fruktosa yang saling berikatan melalui ikatan glikosidik α -(1,2) α -gambar 6.4. Nama kimia sukrosa adalah α -D-Glukopiranosil-(1,2)- β -D-fruktofuranosida.

Laktosa disebut juga dengan gula susu, karena banyak terdapat di dalam susu. Lakotas tersusun oleh satu residu glukosa dan satu residu galaktosa. Kedua monomer ini terikat melalui β -(1,4), oleh sebab itu nama kimianya adalah β -D-Galaktopiranosil-(1,4)- β -D-glukopiranososa (Gambar 6.4)

Maltosa adalah disakarida yang tersusun oleh dua unit glukosa yang saling berikatan satu sama lain melalui ikatan glikosidik α -(1,4) (Gambar 6.4). Nama kimia dari maltose adalah α -D-glukopiranosil-(1,4)- α -D-glukopiranososa. Maltosa banyak terdapat di dalam *barley*, sejenis tumbuhan yang digunakan untuk membuat *malt*.

a) Sifat Fisikokimia gula Sederhana

Mono dan gliserida umumnya berbentuk kristal yang stabil. Keduanya ditambahkan ke dalam formulasi proses pengolahan pangan untuk meningkatkan kemanisan, memberikan warna atau flavor melalui mekanisme reaksi kecokelatan non-enzimatis atau karamelisasi, dan meningkatkan stabilitas produk selama penyimpanan dengan cara menurunkan nilai a_w produk. Sifat fisikokimia mono dan digliserida (kemanisan, kelarutan, titik leleh, suhu transisi gelas, dan reaktivitas) berbeda.

b) Kemanisan

Tidak seperti halnya kelompok oligosakarida atau polisakarida, gula sederhana (monosakarida dan disakarida) dapat memberikan rasa manis dalam mulut. Di antara jenis gula sederhana, sukrosa adalah yang paling sering digunakan sebagai pemanis dalam proses pengolahan pangan. Tingkat kemanisan relatif gula biasanya dibandingkan dengan sukrosa. Dalam hal ini, sukrosa diberi nilai kemanisan 1. Bila suatu gula memiliki nilai kemanisan <1 , berarti tingkat kemanisannya lebih rendah dibandingkan sukrosa, sedangkan bila nilai kemanisan >1 berarti tingkat kemanisannya lebih tinggi dibandingkan dengan sukrosa.

Tingkat kemanisan sukrosa dibandingkan dengan gula sederhana lain dan pemanis buatan dapat dilihat pada **Tabel 3.6**.

Sukrosa lebih manis dibandingkan dengan glukosa, laktosa, xilosa galaktosa, maltosa, dan gula invert. Tingkat kemanisan fruktosa sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sukrosa, sedangkan xylitol relatif sama dengan sukrosa. Pemanis buatan, seperti aspartame, siklamat, *acesulfame-K*, dan sakarin memiliki tingkat kemanisan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sukrosa. Sakarin adalah pemanis buatan yang paling manis dibandingkan dengan pemanis buatan lainnya.

Tabel 6.1. *Tingkat kemanisan sukrosa dengan gula sederhana lain dan pemanis buatan*

Pemanis	Tingkat kemanisan relatif
Sakarin	20.000-70.000
Siklamat	3.000-8.000
Aspartam	200
Acesulfamete K	200
Fruktosa	1,3
Xilitol	1,01
Sukrosa	1,0
Gula Invert	0,85-1,0
Xilosa	0,59
Glukosa	0,56
Galaktosa	0,4-0,6
Maltosa	0,3-0,5

c) Sifat Higroskopis

Sifat higroskopis gula sederhana menunjukkan kemampuan gula dalam mengikat air. Sifat ini disebabkan oleh adanya gugus polihidroksil yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan air. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa satu molekul glukosa dalam mengikat 6 molekul air. Gula sederhana yang berbeda memiliki sifat higroskopis yang berbeda pula. Sifat higroskopis gula juga dipengaruhi oleh suhu dan RH lingkungan. **Tabel 3.7**

menunjukkan kemampuan higroskopis beberapa gula sederhana pada RH dan suhu yang berbeda.

d) Sifat Kelarutan

Adanya gugus polihidroksil yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan air menyebabkan gula sederhana juga dapat larut dalam air. Karena kelarutan gula sederhana dalam air tergantung jenis gula dan suhu. Pada suhu 50°C, kelarutan gula per-100 ml air adalah: fruktosa (86,9 g), sukrosa (72,2 g), glukosa (65,0 g), maltose (58,3 g), dan laktosa (29,8 g).

e) Reaksi kimia gula sederhana

Gugus polihidroksil dan aldehida atau keton pada gula sederhana yang bersifat reaktif sehingga berperan utama dalam reaksi-reaksi kimia yang melibatkan gula sederhana. Diantara reaksi-reaksi kimia penting yang melibatkan gula sederhana adalah reaksi polimerisasi, hidrolisis, reaksi kecokelatan non-enzimatis (reaksi Maillard), reaksi karamelisasi, reaksi isomerisasi, reaksi oksidasi, dan reaksi reduksi.

Reaksi polimerisasi

Reaksi polimerisasi adalah reaksi penggabungan dua atau lebih monosakarida yang membentuk struktur polimer. Reaksi polimerisasi ini melibatkan gugus hidroksil pada C1 dari salah satu monosakarida dengan gugus hidroksil lainnya yang terikat pada C2, C3, C4, C5 atau C6 melalui ikatan glikosidik. Pada setiap pembentukan ikatan glikosidik, dibebaskan satu molekul H₂O sehingga reaksi polimerisasi ini disebut dengan reaksi polimerisasi kondensasi. Dengan demikian, monosakarida seolah-olah kehilangan molekul air sehingga monosakarida yang terikat pada polimer karbohidrat sering disebut anhidroglukosa.

Reaksi Hidrolisis

Reaksi hidrolisis adalah kebalikan dari reaksi polimerisasi, dimana terjadi pemutusan ikatan glikosidik dari dua

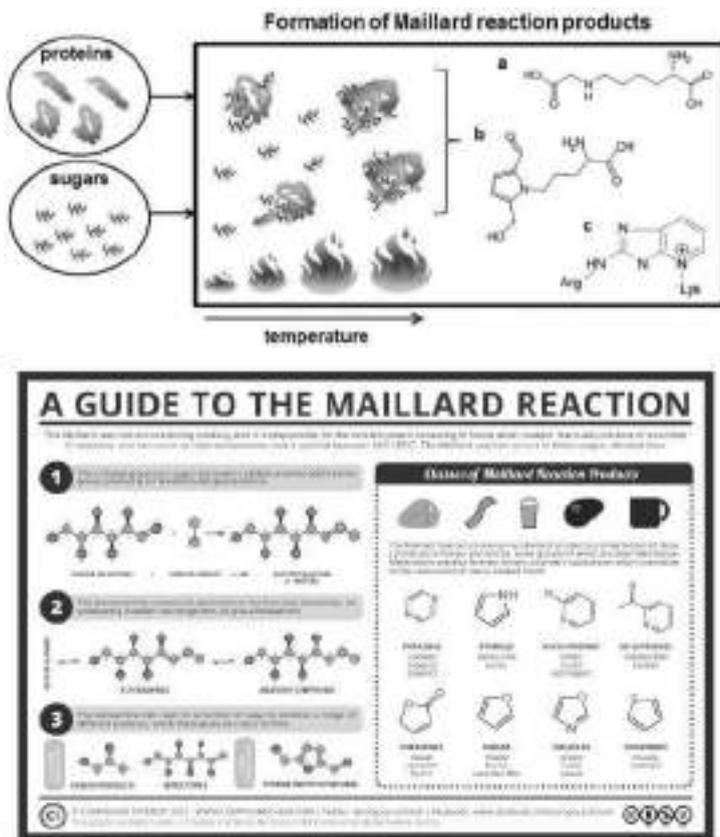
anhidroglukosa membentuk monosakarida bebas. Oleh karena itu, reaksi hidrolisis tidak terjadi pada monosakarida. Dalam reaksi hidrolisis ini diperlukan keberadaan air. Setiap pemutusan 1 ikatan glikosidik akan diperlukan satu molekul H_2O . Sebagai contoh, hidrolisis sukrosa akan menghasilkan campuran glukosa dan fruktosa yang sering disebut dengan gula invert. Reaksi inversi ini melibatkan enzim invertase.

Reaksi kecokelatan non-enzimatis

Reaksi kecokelatan non-enzimatis atau sering disebut dengan reaksi Maillard adalah reaksi yang terjadi antara gula pereduksi (terutama α -D-glukosa) dengan gugus amin bebas dari asam amino, bagian protein atau senyawa lain yang mengandung gugus amin. Reaksi Maillard bertanggung jawab dalam pembentukan warna cokelat, *flavor*, dan aroma. Reaksi ini dapat berlangsung cepat bila disertai dengan proses pemanasan dan pada kondisi aktivitas air (a_w) yang sesuai ($a_w = 0,50-0,80$). Reaksi Maillard dapat dipicu selama proses pengolahan suhu tinggi, seperti penyangraian, penggorengan, pemanggangan, dan pemasakan. Reaksi Maillard dapat juga terjadi selama penyimpanan, tetapi dengan laju reaksi yang lebih lambat. Pembentukan warna cokelat pada permukaan roti setelah dipanggang atau pada pemasakan dodol, dan perubahan warna susu cair menjadi kecokelatan selama penyimpanan adalah di antara contoh hasil reaksi Maillard. Reaksi kecokelatan ini berbeda dengan reaksi kecokelatan enzimatis yang sering terjadi pada buah apel atau kentang yang dipoting, dimana yang bertanggung jawab dalam pembentukan warna cokelat ini adalah enzim fenoloksidase.

Reaksi Maillard dapat diinginkan atau tidak diinginkan, baik dari mutu produk atau perubahan nilai gizi. Pembentukan warna coklat pada roti atau *cookies* yang dipanggang adalah contoh yang diinginkan. Perubahan warna cokelat pada susu yang disterilisasi atau selama disimpan adalah contoh yang tidak

diinginkan. Karena reaksi Maillard akan melibatkan asam amino, terjadi reaksi Maillard dapat dijadikan indikator kerusakan mutu produk. Misalnya pada susu, reaksi Maillard dapat menyebabkan penurunan kandungan asam amino lisin yang mengakibatkan penurunan nilai gizi protein susu.



Gambar 6.4. Formasi Reaksi Maillard
(<https://www.compoundchem.com/2015/01/27/maillardreaction/>)

6.4. Oligosakarida

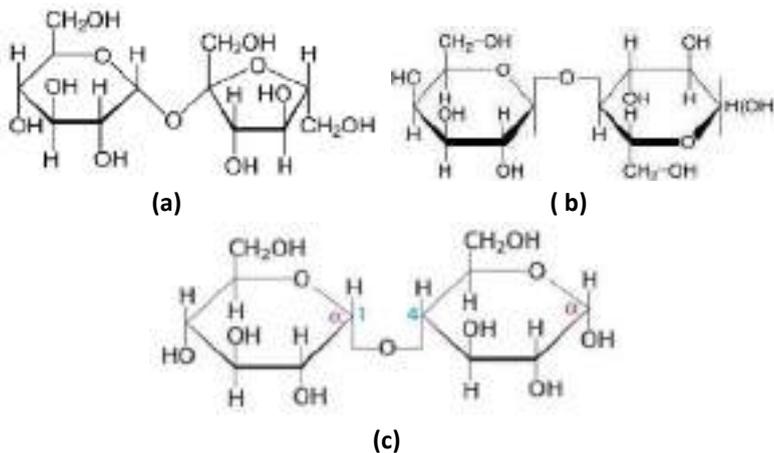
Oligosakarida artinya beberapa, sakarida artinya gula atau senyawa karbohidrat. Jadi oligosakarida adalah senyawa-senyawa karbohidrat yang jika dihidrolisis tiap molekulnya akan menghasilkan beberapa molekul monosakarida. Oligosakarida dapat

dibedakan berdasarkan banyaknya residu monosakarida penyusunnya, menjadi disakarida (dua residu monosakarida per molekul), trisakarida (tiga residu monosakarida per molekul), tetrasakarida (empat residu monosakarida per-molekul), dan seterusnya. Contoh disakarida antara lain: sukrosa, laktosa, dan maltose.

Sukrosa adalah gula yang kita gunakan sehari-hari sebagai pemanis untuk membuah teh manis, sirup, kue dan lain-lain, lazim kita sebut gula pasir. Sukrosa banyak terdapat dalam tebu dan bit. Sukrosa maupun disakarida yang tersusun oleh satu residu glukosa dan satu residu fruktosa yang saling berikatan melalui ikatan glikosidik α -D-Glukopiranosil-(1,2)- β -D-fruktofuranosida.

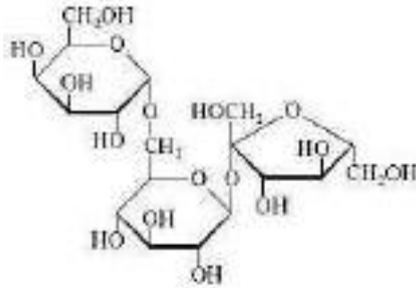
Laktosa disebut juga gula susu, karena banyak terdapat di dalam susu. Laktosa tersusun oleh satu residu glukosa dan satu residu galaktosa. Kedua monomer ini terikat melalui β -(1,4), oleh sebab itu nama kimianya adalah β -D-Galaktopiranosil-(1,4)- β -glukopiranosida.

Maltosa adalah disakarida yang tersusun oleh dua unit glukosa yang saling berikatan satu sama lain melalui ikatan glikosidik α -(1,4) (Gambar 5.3). Nama kimia dari maltosa adalah α -D-Glukopiranosil-(1,4)- α -D-glukopiranosida. Maltosa banyak terdapat di dalam *barley*, sejenis tumbuhan yang digunakan untuk membuat *malt*.



Gambar 6.5 Struktur (a) sukrosa (b) laktosa dan (c) maltosa

Olisakarida di alam sebagian besar adalah disakarida. Selain disakarida, oligosakarida lain misalnya trisakarida, tetrasakarida dan lain-lain, sangat sedikit jumlahnya maupun jenisnya. Salah satu contoh trisakarida antara lain adalah raffinosa (**Gambar 6.6**)



Gambar 6.6. Stuktur Raffinosa

Raffinosa merupakan trisakarida yang tersusun oleh residu-residu galaktosa, glukosa, dan fruktosa, terdapat dalam limbah atau hasil samping pengolahan biji kapas, bit dan juga di dalam molase. Raffinosa dikenal dengan nama populer melitosa, melitriosa, atau gossyposa, dan nama kimianya adalah α -D-galaktopiranosil-(1,6)- α -D-glucopiranosil-(1,2)- β -D-fruktofuranosida. Raffinosa tidak dapat dicerna oleh enzim-enzim pencernaan manusia, karena itu dianggap tidak memiliki nilai gizi.

6.5. Polisakarida

Polisakarida adalah senyawa-senyawa karbohidra yang tersusun oleh banyak residu monosakarida. Contohnya, amilosa, amilopektin (amilosa dan amilopektin adalah komponen amilum atau pati), glikogen, selulosa, inulin, dekstran, dan lain-lain. Pati merupakan karbohidrat cadangan utama dalam tumbuh-tumbuhan, sedangkan glukogen merupakan karbohidrat cadangan utama dalam tubuh dewasa dan manusia. Berdasarkan keseragaman monomernya (residu monosakarida penyusun), polisakarida dapat dibedakan menjadi dua golongan besar, yaitu homopolisakarida (disebut juga homoglukan) dan heteropolisakarida (heteroglukan). Homoglukan adalah polisakarida yang monomernya seragam. Contohnya amilosa, amilopektin, glikogen (monomernya adalah α -

D-glukosa), selulosa (monomernya adalah α -D-glukosa), inulin (monomernya-D-fruktosa), dan chitin (monomernya α -D-N-asetilglukosamin). Heteroglikan adalah polisakarida yang unit penyusunnya tidak seragam, terdiri dari lebih satu macam monomernya. Contohnya, heparin (monomernya adalah asam D-glukuronat dan D-glukosamin sulfat) dan asam hialuronat (monomernya asam D-glukoronat dan N-asetil-D-glukosamin).

Sebagaimana oligosakarida, ikatan yang menghubungkan monomer-monomer dalam polisakarida adalah ikatan glikosidik. Walaupun monomer-monomernya serupa, tetapi jika ikatan glikosidik yang membentuknya berbeda, maka sifat-sifatnya akan berbeda. Misalnya, amilosa dan selulosa sama-sama merupakan polisakarida yang dibentuk oleh monomer glukosa. Namun amilosa dibentuk oleh ikatan α -glikosidik, sedangkan selulosa dibentuk oleh ikatan β -glikosidik (Gambar 5.6)

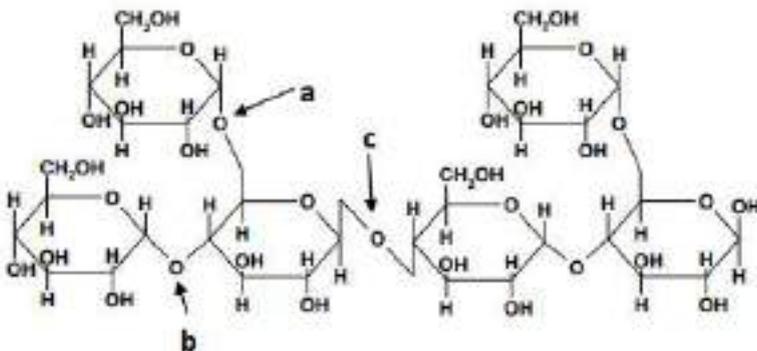
Sifat kedua zat ini berbeda satu sama lain. Amilosa dapat dicerna oleh manusia, sebab manusia memiliki enzim α -amilase dalam saluran pencernaannya, sedangkan selulosa tidak bisa dicerna manusia, sebab manusia tidak memiliki enzim α -amilase. Beberapa organisme yang memiliki enzim α -amilase antara lain beberapa jenis bakteri dan jamur.

Amilosa dan amilopektin (keduanya merupakan komponen pati atau amilum), merupakan homopolisakarida yang monomernya adalah α -D-glukosa, namun amilosa memiliki rantai lurus tidak bercabang sedangkan amilopektin memiliki rantai bercabang. Percabangan pada polisakarida umumnya dibentuk oleh ikatan glikosidik 1,6 sedangkan ikatan glikosidik 1,4 akan membentuk rantai polisakarida yang lurus. Amilosa hanya memiliki satu jenis ikatan glikosidik, yaitu α -1,4 sedangkan amilopektin memiliki dua macam ikatan glikosidik, yaitu α -1,4 dan α -1,6. Glikogen dan amilopektin mempunyai struktur yang sangat mirip. Keduanya merupakan polisakarida dengan rantai bercabang. Inulin adalah polimer dari fruktosa, jadi inulin merupakan senyawa fruktosan.

Polisakarida terbentuk dari rangkaian banyak monosakarida. Rangkaian polisakarida sama halnya oligosakarida atau pun

disakarida terjadi akibat adanya ikatan glikosidik. Ikatan glikosidik pada polisakarida karena reaksi kondensasi. Pembentukan ikatan glikosidik pada polisakarida dapat menimbulkan rantai polimer lurus atau bercabang yang kompleks. Polisakarida yang terbentuk dari gabungan monosakarida yang sejenis disebut homopolisakarida, sedangkan yang terbentuk dari monosakarida-monosakarida yang tidak sama disebut heteropolisakarida. Ikatan glikosidik yang ada di polisakarida dapat berupa glikosidik- α atau glikosidik- β . Ikatan glikosidik α (1 \rightarrow 4) membentuk rangkaian polimer polisakarida bercabang, sedangkan ikatan glikosidik α (1 \rightarrow 6) dan β (1 \rightarrow 6) membentuk rangkaian polisakarida rantai lurus. Jenis ikatan yang menghasilkan rangkaian polimer polisakarida rantai lurus dan rantai bercabang ditampilkan pada Gambar 3.14. Rangkain polimer bercabang antar jenis jenis polimer bervariasi. Suatu misal, polisakarida amilopektin dari tanaman mengandung cabang setiap 30 unit sedangkan polisakarida glikogen dari hewan mengandung cabang kira-kira setiap 10 unit.

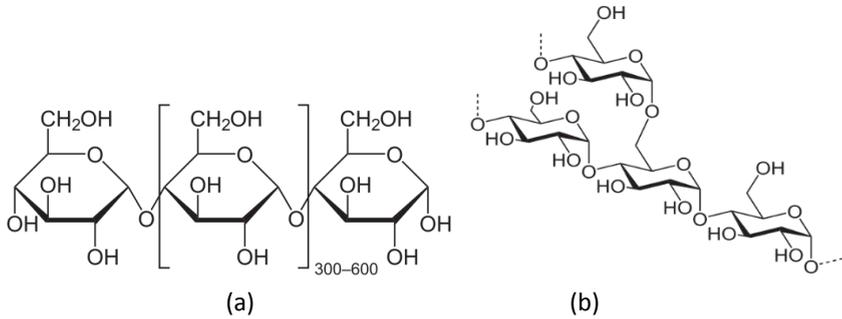
Berikut adalah jenis-jenis polisakarida yakni pati, glikogen, agarosa, dan selulosa. Selain itu, beberapa polisakarida kompleks yang memiliki atom tambahan misalnya nitrogen, seperti pektin, kitin, dan lignin.



Gambar 6.7. Jenis ikatan glikosidik yang terjadi pada polisakarida, (a) ikatan glikosidik α (1 \rightarrow 4), (b) ikatan glikosidik α (1 \rightarrow 6), (c) ikatan glikosidik β (1 \rightarrow 6).

6.6. Pati

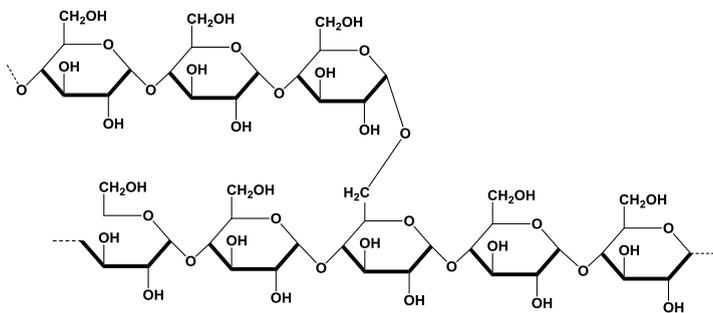
Pati merupakan polimer dari α -D-glukosa. Pati memiliki ikatan glikosidik- α dari sambungan rantai cabang. Jenis pati dapat dibedakan satu sama lain berdasarkan rantai percabangannya (Gambar 3.15). Salah satu jenis pati yakni amilosa. Amilosa merupakan polimer linear glukosa, dengan semua residu dihubungkan oleh ikatan α (1 \rightarrow 4). Jenis pati lainnya yakni amilopektin. Amilopektin adalah rantai polimer bercabang, dengan cabang-cabang mulai α (1 \rightarrow 6) keterkaitan di sepanjang rantai α (1 \rightarrow 4). Konformasi yang paling biasa dari amilosa adalah helix dengan enam residu per lilitan.



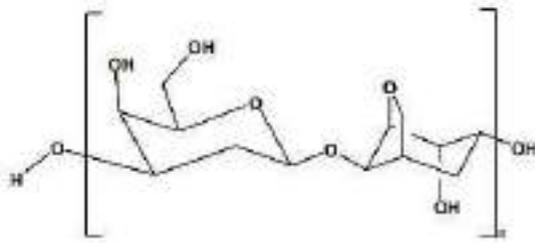
Gambar 6.8. Molekul (a) amilosa (b) amilopektin.

6.7. Glikogen

Glikogen merupakan polimer bercabang-rantai α -D-glukosa, dan dalam hal ini mirip dengan fraksi amilopektin pati. Seperti amilopektin, glikogen terdiri dari rantai berikatan α (1 \rightarrow 4) dengan yang berikatan α (1 \rightarrow 6) pada titik-titik cabang (Gambar 3.16). Cabang di glikogen terdapat setiap 10 satuan dan setiap 25 satuan di amilopektin. Dalam glikogen, panjang rantai rata-rata adalah 13 satuan glukosa, dan ada 12 lapisan bercabang. Jumlah titik cabang tidak signifikan karena dua alasan.



Gambar 6.9. Molekul Glikogen



Gambar 6.10. Stuktur Molekul Agarosa

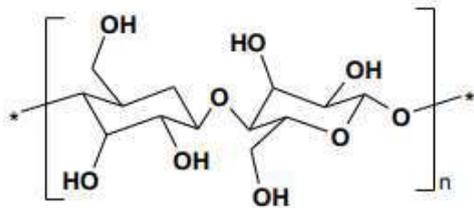
6.8. Agarosa

Agarosa atau yang biasa disebut agar-agar oleh orang awam adalah zat yang biasanya berupa gel yang diolah dari rumput laut atau alga. Jenis rumput laut yang biasa diolah untuk keperluan ini adalah *Eucheuma spinosum* (Rhodophycophyta). Beberapa jenis rumput laut dari golongan Phaeophycophyta (*Gracilariadan Gelidium*) juga dapat dipakai sebagai sumber agar-agar. Agarosa sebenarnya adalah karbohidrat dengan berat molekul tinggi yang mengisi dinding sel rumput laut. Agarosa merupakan suatu polimer yang tersusun dari monomer galaktosa. Gel terbentuk karena pada saat dipanaskan di air, molekul Agarosa dan air bergerak bebas. Ketika didinginkan, molekul-molekul agarosa mulai saling merapat, memadat dan membentuk kisi-kisi yang mengurung molekul-molekul air, sehingga terbentuk sistem koloid padat-cair. Agarosa apabila dilarutkan dalam air panas dan didinginkan, agar-agar bersifat seperti gelatin: padatan lunak dengan banyak pori-pori di dalamnya sehingga bertekstur 'kenyal'. Sifat ini menarik secara

indrawi sehingga banyak olahan makanan menggunakan baan agarosa: pengental sup, puding (jelly), dan campuran es krim. Agarosa sebagai makanan sehat karena mengandung serat (fiber) lunak yang tinggi dan kalori yang rendah. Kandungan serat lunak yang tinggi membantu melancarkan pembuangan sisa-sisa makanan di usus (laksatif). Molekul agarosa ditampilkan pada Gambar. 6.8.

6.9. Selulosa

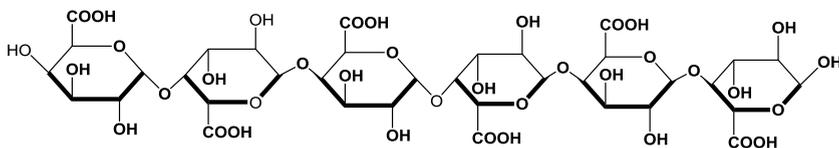
Selulosa adalah homopolisakarida lurus dari β -D-glukosa, dan semua berikatan β (1 \rightarrow 4) (Gambar. 3.18). Rantai satuan polisakarida terdapat ikatan hidrogen bersama. Ikatan hidrogen ini membuat serat tanaman memiliki karakter yang kuat pada tanaman.



Gambar 6.11. Stuktur Molekul Selulosa

6.10. Pektin

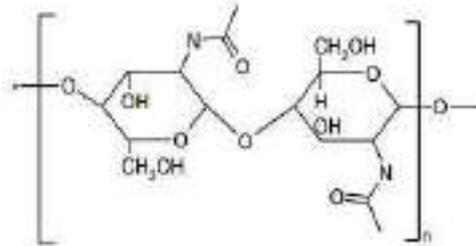
Pektin disusun polimer asam D-galakturonat, yang terikat dengan α -1,4- glikosidik. Pertama kali diisolasi oleh Henri Braconnot tahun 1825. Asam galakturonat memiliki gugus karboksil yang dapat saling berikatan dengan ion Mg^{2+} atau Ca^{2+} sehingga berkas-berkas polimer "berlekatan" satu sama lain. Ini menyebabkan rasa "lengket" pada kulit.



Gambar 6.12. Stuktur Molekul Agarosa

6.11. Kitin

Sebuah polisakarida yang mirip dengan selulosa dalam struktur dan fungsi itin, yang juga merupakan homopolisakarida lurus dengan semua satuan molekul berikatan glikosidik β (1 \rightarrow 4). Kitin berbeda dari selulosa dalam sifat unit monosakarida dibanding selulosa. Monomer selulosa adalah β -D-glukosa sedangkan di kitin monomernya adalah N-asetil- β -D-glukosamin. Senyawa yang terakhir berbeda dari glukosa hanya dalam substitusi gugus N-asetilamino (-NH-CO-CH₃) untuk gugus hidroksil (-OH) pada karbon C-2 (Gambar 16, 26). Seperti selulosa, kitin memainkan peran struktural dan memiliki cukup banyak kekuatan mekanik karena adanya ikatan hidrogen.



Gambar 6.13. Struktur Molekul Kitin

Tabel 6.2. Kandungan Protein Makanan Perwakilan di Indonesia Diet Manusia

Food	Protein	Food	Protein
Milk, 244 g (8 oz)	8	Beef, pot roast, 85 g (3 oz)	22
Cheddar cheese, 84 g (3 oz)	21.3	Liver, pan fried, 85 g (3 oz)	23
Egg, 50 g (1 large)	6.1	Pork chop, bone in, 87 g (3.1 oz)	23.9
Apple, 212 g (1, 3 1/4 in. diameter)	0.4	Ham, boiled, 2 pieces, 114 g	20
Banana, 74 g (1, 8 3/4 in. long)	1.2	Peanut butter, 16 g (1 tablespoon)	4.6
Potato, cooked, 136 g (1 potato)	2.5	Pecans, 28 g (1 oz)	2.2
Bread, white, slice, 25 g	2.1	Snap beans, 125 g (1 cup)	2.4

Food	Protein	Food	Protein
Fish, cod, poached, 100 g (3 1/2 oz)	20.9	Carrots, sliced, 78 g (1/2 cup)	0.8
Oyster, 100 g (3 1/2 oz)	13.5	Beef, pot roast, 85 g (3 oz)	22

U.S. Department of Agriculture, *Composition of Foods*, USDA Handbooks 8(1-20), U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1986.

www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp

6.12. Tugas Akhir Bab

1. Berdasarkan struktur kimianya, jelaskan mengapa sukrosa bukan termasuk gula pereduksi!
2. Berikan contoh produk pangan olahan yang dapat mengalami reaksi kecokelatan non-enzimatis (reaksi Maillard)
3. Cari contoh produk pangan komersial yang menggunakan oligosakarida sebagai prebiotik!
4. Jelaskan bagaimana cara melakukan ekstraksi pati dari komponen lainnya! Gunakan sifat ketidaklarutan granula pati dalam air!
5. Carilah contoh produk pangan yang menggunakan pati termodifikasi. Berdasarkan prinsip proses pengolahannya dan karakteristik dari produk, sebutkan tipe pati termodifikasi apa yang digunakan! Jelaskan jawaban anda

BAB 7

LEMAK DAN MINYAK



Lemak dan minyak adalah senyawa ester non-polar yang tidak larut dalam air, yang dihasilkan oleh tanaman dan hewan. Lemak dan minyak yang dihasilkan dari tanaman disebut minyak nabati, sedangkan yang dihasilkan hewan disebut lemak hewani. Lemak dan minyak merupakan bahan baku yang banyak digunakan dalam pengolahan pangan, seperti margarin, *shortening*, minyak goreng, dan produk olahan lain yang diproduksi oleh industri pangan, rumah tangga, atau restoran. Lemak dan minyak memiliki fungsi yang penting dalam pengolahan pangan, yaitu sebagai sumber energi, berkontribusi pada pembentukan tekstur dan mutu sensori produk pangan, medium pindah panas dalam proses penggorengan, serta pelarut bagi vitamin esensial larutan lemak (A, D, E, dan K). Satu gram minyak atau lemak dapat menghasilkan 9

kkal, sedangkan karbohidrat dan protein hanya menghasilkan 4 kkal/gram. Minyak atau lemak, khususnya minyak nabati, mengandung asam-asam lemak esensial seperti linoleat, lenolenat, dan arakidonat yang dapat mencegah penyempitan pembuluh darah akibat penumpukan kolesterol. Adapun perbedaan umum antara lemak nabati dan hewani adalah (1) lemak hewani mengandung kolesterol sedangkan lemak nabati mengandung fitosterol, (2) kadar asam lemak tidak jenuh dalam lemak hewani lebih kecil dari lemak nabati, dan (3) lemak hewan mempunyai bilangan Reichert-Meissl lebih besar dan bilangan Polenske lebih kecil dibandingkan dengan minyak nabati.

7.1. Klasifikasi Lemak dan Minyak

Lipid terdiri dari kelompok senyawa yang luas yang umumnya larut dalam pelarut organik tetapi hanya sedikit larut dalam air. Mereka adalah komponen utama dari jaringan adiposa, dan bersama-sama dengan protein dan karbohidrat, mereka merupakan komponen struktural utama dari semua sel hidup. Glycerol ester dari asam lemak, yang membentuk hingga 99% dari lipid tumbuhan dan hewan, memiliki secara tradisional disebut lemak dan minyak.¹ Perbedaan antara minyak dan lemak adalah bahwa lemak adalah zat padat suhu ruangan. Lipid dapat dikelompokkan menjadi lipid sederhana (*simple lipid*), lipid komposit (*composite lipid*), spingolipid, dan lipid turunan (*derived lipid*). Lipid sederhana adalah lipid yang mengandung dua jenis komponen penyusun, yaitu ester gliserin (ester asam lemak dan gliserin), ester kolesterol (ester kolesterol dan gliserin), *wax* (ester asam lemak dan alkohol), dan keramid (ester amid dan asam lemak). Lipid komposit adalah lipid yang mengandung lebih dari tiga komponen penyusun (gliserin, asam lemak, dan asam fosfat), misalnya phosphatidic choline, phosphatidyl serine, phosphatidyl inositol, dan diphosphatidyl inositol, dan diphosphatidyl glycerol. Spingolipid adalah turunan dari keramid, misalnya sphingomyelin, cerebroside, ceramide dihexoside, ceramide dihexoside, ceramide polyhexoside, cerebroside sulfate, dan ganglioside. Lipid turunan adalah struktur

lipid hasil hidrolisis dari kelompok lipid, misalnya asam lemak, sterol, *fatty alcohol*, dan segainya. Klasifikasi lipid dan komponen penyusunnya dapat dilihat pada **Tabel 7.1**

Lemak dan minyak adalah kelompok lipid sederhana dari ester gliserol yang disusun oleh asam lemak dan gliserin. Dalam struktur lemak dan minyak, molekul gliserin mengikat tiga rantai asam lemak dan membentuk senyawa ester yang bersifat non-polar. Lemak dan minyak tidak membentuk struktur molekul yang panjang sebagaimana pada struktur polisakarida. Panjang struktur molekul lemak dan minyak tergantung pada jenis asam lemak yang terikat pada gliserin.

Lemak dan minyak berbeda dari sifat fisiknya pada suhu ruang. Istilah lemak (*fat*) umumnya digunakan untuk ester gliserol berbentuk padat pada suhu ruang, sedangkan minyak untuk ester gliserol berbentuk cair. Perbedaan sifat fisik ini disebabkan oleh komposisi asam lemak penyusunnya. Lemak mengandung asam lemak jenuh lebih banyak, sedangkan minyak mengandung asam lemak tidak jenuh lebih banyak. Karena titik leleh lemak jenuh lebih tinggi daripada lemak tidak jenuh maka lemak cenderung berbentuk padat, sedangkan minyak berbentuk cair pada suhu ruangan. Di antara contoh lemak adalah yang berbentuk padat adalah *butter*, *lard*, dan margarin, sedangkan contoh minyak yang berbentuk cair adalah minyak sawit, minyak kanola, minyak kedelai, dan lain-lain. Sifat fisik lemak dan minyak dari sumber yang berbeda umumnya berbeda pula karena adanya perbedaan dalam proporsi asam lemak penyusunnya dan struktur kimia dari masing-masing trigliserida.

Tabel 7.1 *Klasifikasi Lipid*

Kelas utama	Sub-kelas	Komponen penyusun
Lipid Sederhana	Ester Wax	Gliserol + asam lemak Alkohol rantai panjang + asam lemak rantai panjang
Lipid komposit	Fosfo asilgliserol (gliserol fosfolipid)	Gliserol + asam lemak + fosfat + penyusun

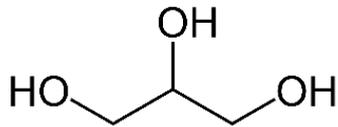
Kelas utama	Sub-kelas	Komponen penyusun
Spingolipid	Sphingomyelins	lain yang biasanya mengandung nitrogen Sphingosine + asam lemak + phosphate + kolin
	Cerebroside	Sphingosine + asam lemak + gula sederhana
	Ganglioside	Sphingosine + asam lemak + karbohidrat kompleks
Turunan Lipid	Bahan yang memenuhi defenisi lipid, tetapi tidak termasuk lipid sederhana atau lipid komposit	Contoh: karotenoid, steroid, vitamin larut lemak

7.2. Gliserol dan Asam Lemak Penyusun Struktur Lemak/Minyak

Seperti dijelaskan di atas, komponen utama penyusun lemak dan minyak adalah gliserin dan asam lemak. Pembahasan berikut akan menjelaskan kedua senyawa tersebut yang mencakup struktur kimia, tata nama, klasifikasi, sifat fisikokimia, dan reaksi-reaksi kimia yang melibatkannya.

7.2.1. Struktur Kimia Gliserin

Gliserin adalah senyawa organik polar yang terdiri atas tiga atom karbon yang mengikat tiga gugus hidroksil (-OH). Ketiga gugus karboksil ini bersifat reaktif dan dapat diesterifikasi oleh asam lemak. Dari ikatan dengan asam lemak yang beragam jenisnya, dapat dihasilkan juga jenis lemak yang beragam. Struktur molekul gliserin dapat dilihat pada **Gambar 7.1**

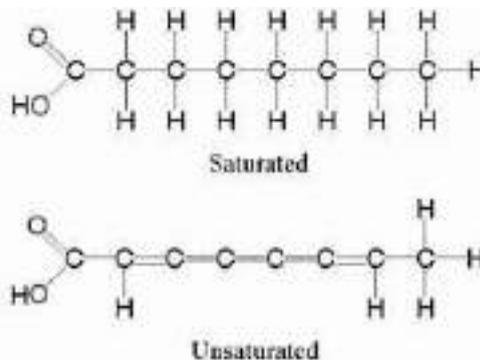


Gambar 7.1. Struktur molekul gliserin

7.2.2. Stuktur Kimia Asam Lemak

Asam lemak atau asam karboksilat adalah senyawa organik polar yang mengandung 2 hingga 24 atom karbon (C) dengan gugus fungsional utamanya adalah gugus karboksil (-COOH). Jumlah atom C pada asam lemak umumnya genap, yaitu 2,4,6,8,12,14,16, dan seterusnya. Asam lemak terpendek adalah asam asetat (2 atom karbon) dan yang terpanjang adalah asam tetrakosanoat (24 atom karbon). Asam lemak yang terdapat dalam bahan pangan sumber lemak umumnya berkisar antara C12 dan C22.

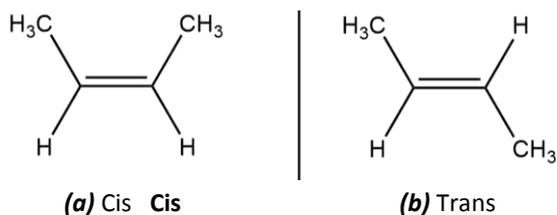
Gugus karboksi dari asam lemak bersifat polar. Gugus ini terikat pada C1 dari rantai asam lemak. Posisi atom karbon pada rantai asam lemak dihitung dari posisi C1 yang mengikat gugus karboksil. Atom hidrogen (H) terikat pada atom C berikutnya (C2, C3, C4, dan seterusnya). Untuk membentuk ikatan jenuh, atom karbon pada C2 sampai C_{n-1} dapat mengikat maksimal 2 atom H, sedangkan atom karbon pada C (posisi ujung) mengikat 3 atom H atau disebut gugus metil (Gambar 7.1). Gugus metil pada C ini bersifat non-polar. Dengan demikian, asam lemak memiliki ujung polar pada gugus karboksil dan ujung non – polar pada gugus metil.



Gambar 7.2. Stuktur Molekul umum asam lemak

Setiap atom karbon pada asam lemak akan berikatan dengan atom hidrogen dan atom karbon lainnya, dimana masing-masing akan membentuk 4 ikatan kovalen. Rantai karbon pada struktur asam lemak dapat jenuh atau tidak jenuh. Asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) disusun oleh rantai atom karbon penyusunnya yang berikatan tunggal/mengikat dua atom hidrogen (**Gambar 7.2**), sedangkan tidak jenuh (*unsaturated fatty acid*) mengandung satu atau lebih atom karbon yang berikatan ganda (*double bond*) sehingga hanya mengikat satu atom hidrogen (**Gambar 7.2**). Asam lemak tidak jenuh dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah ikatan gandanya, yaitu asam lemak dengan ikatan jenuh tunggal (*mono-saturated fatty acid* atau MUFA) dan asam lemak dengan ikatan tidak jenuh jamak (*poly-unsaturated fatty acid* atau PUFA).

Dalam struktur kimia asam lemak tidak jenuh, ikatan rangkap dua terdapat dalam bentuk konfigurasi *cis* atau *trans*. Konfigurasi *cis* terjadi bila gugus-gugus alkil yang terikat pada atom C ikatan ganda berada pada sisi (orientasi) yang sama, sedangkan pada konfigurasi *trans* gugus tersebut berseberangan.



Gambar 7.3. Konfigurasi *cis* (a) dan *trans* (b) pada struktur kimia asam lemak

Struktur asam lemak dengan bentuk *trans* lebih mudah membentuk **ikatan van der waals** dengan molekul asam lemak lain sehingga molekulnya bisa saling berdekatan satu sama lain. Sebaliknya, struktur *cis* lebih sulit berikatan satu sama lain sehingga titik leleh (*melting point*) asam lemak *cis* cenderung lebih rendah dibanding asam lemak *trans*.

7.3. Sifat Fisikokimia Asam Lemak

(a) Titik leleh

Titik leleh (*melting point*) merupakan sifat fisik dari asam lemak yang penting. Titik leleh menunjukkan suhu dimana lemak/minyak berubah wujud dari fase padat menjadi fase cair. Titik leleh asam lemak akan menentukan titik leleh dan sifat kristalisasi dari lemak yang disusunnnya. Titik leleh setiap asam lemak berbeda-beda. Titik leleh asam lemak dipengaruhi oleh panjang rantai karbon, jumlah ikatan rangkap dan konfigurasi *cis* dan *trans*. Titik leleh asam lemak akan semakin naik dengan meningkatnya jumlah atom karbon yang terikat. **Tabel 7.2** memperlihatkan bahwa titik leleh asam lemak jenuh akan meningkat dengan meningkatnya jumlah atom karbon. Pada jumlah atom karbon yang sama, asam lemak dengan ikatan jenuh lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak tidak jenuh. Semakin banyak jumlah ikatan tidak jenuh maka titik leleh akan semakin rendah (**Tabel 7.3**). Sebagai contoh, titik leleh asam lemak C18:0, C18:1, C18:2, dan C18:3 berturut-turut adalah 70°C, 16°C, -5°C, dan -11°C. Isomer asam lemak tidak jenuh dengan konfigurasi *cis* memiliki titik leleh yang lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi *trans*, misalnya asam oleat (*cis*-9-Oktadekanoat) memiliki titik leleh 14°C, sedangkan asam elaidat (*trans*-9-Oktadekanoat) pada 43,7°C.

(b) Kelarutan

Asam lemak bersifat polar sehingga dapat larut dalam air. Kelarutan asam lemak dalam air berbeda-beda yang dipengaruhi oleh jumlah atom karbon penyusun asam lemak tersebut. Semakin panjang rantai karbon maka kelarutan asam lemak dalam air semakin rendah. Sebagai perbandingan, kelarutan dalam air dari asam lemak C6:0 adalah 970 mg/100 ml H₂O, sedangkan C18:0 hanya 0.04 mg/ 100 ml H₂O.

Tabel 7.2. Titik leleh dan kelarutan asam lemak jenuh

Asam Lemak Jenuh	Titik Leleh(°C)	Kelarutan dalam Air (mg/100 ml H ₂ O)
C4:0	-8	-
C6:0	-4	970
C8:0	16	75
C10:0	31	6
C12:0	44	0.55
C14:0	54	0.18
C16:0	63	0.08
C18:0	70	0.04

Tabel 7.3. Pengaruh jumlah ikatan rangkap pada titik leleh asam lemak

Asam Lemak Jenuh	Titik Leleh (°C)
C16:0	60
C16:1	1
C18:0	70
C18:1	16
C18:2	-5
C18:3	-11
C20:0	75
C20:4	-50

7.4. Monogliserida dan Digliserida

Monogliserida dan digliserida atau juga disebut monodigliserol dan diasilgliserol adalah kelompok gliserida yang dibentuk dari hasil reaksi antara gliserol dan asam lemak. Dalam monogliserida, satu dari gugus hidroksil pada gliserol disubstitusi dengan asam lemak, sedangkan dalam digliserida terdapat dua gugus hidroksil yang disubstitusi dengan asam lemak. Reaksi pembentukan monogliserida dan gliserida dapat dengan cara reaksi esterifikasi atau interesterifikasi/gliserolisis, dalam reaksi esterifikasi gliserol direaksikan dengan asam lemak sehingga dihasilkan monogliserida, digliserida, dan air. Reaksi esterifikasi

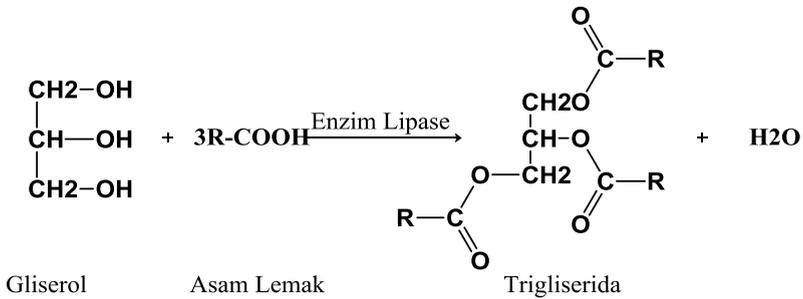
dipercepat dengan katalis asam/basa dan pemanasan (210-230°C). Rasio antara gliserol dan asam lemak dalam reaksi akan menentukan komposisi monogliserida dan digliserida dihasilkan dari reaksi antara gliserol dan lemak atau minyak. Reaksi ini memerlukan proses pemanasan suhu tinggi dan katalis basa (misalnya KOH). Reaksi interesterifikasi lebih murah secara komersial karena reaksi ini membutuhkan gliserol yang lebih sedikit dan lemak/minyak lebih murah dibandingkan dengan asam lemak.

Tabel 7.4. *Beberapa jenis asam lemak yang umum*

Number of Carbons	Common Name	Systematic Name	Symbol	Structure
Saturated Fatty Acids				
12	Lauric acid	Dodecanoic acid	12:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
14	Myristic acid	Tetradecanoic acid	14:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
16	Palmitic acid	Hexadecanoic acid	16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
18	Stearic acid	Octadecanoic acid	18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
20	Arachidic acid	Eucisanoic acid	20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
22	Behenic acid	Docosanoic acid	22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
24	Lignoceric acid	Tetracosanoic acid	24:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$
Unsaturated Fatty acid				
16	Palmitoleic acid	9-Hexadecenoic acid	16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18	Oleic acid	9-Octadecenoic acid	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18	Linoleic acid	9,12-Octadecadienoic acid	18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
18	α -Linolenic acid	9,12,15-Octadecatrienoic acid	18:3	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$

Number of Carbons	Common Name	Systematic Name	Symbol	Structure
18	γ -Linolenic acid	6,9,12-Octadecatrienoic acid	18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
20	Arachidonic acid	5,8,11,14-Eicosatetraenoic acid	20:4	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
24	Nervonic acid	15-Tetracosenoic acid	24:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{13}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$

Struktur monogliserida dan digliserida yang terbentuk memiliki gugus polar dan non-polar. Gugus polar terletak pada gugus hidroksil bebas pada gliserin pada posisi C1, C2 atau C3, sedangkan gugus non-polar terdapat pada rantai alkil dari asam lemak yang terikat pada gliserin. Adanya gugus polar dan non-polar tersebut menyebabkan monogliserida dan digliserida dapat mengikat senyawa lain yang bersifat polar dan non-polar dalam sistem emulsi, misalnya emulsi lemak/air/. Karena sifat fungsionalnya tersebut maka monogliserida dan digliserida sering dikelompokkan sebagai bahan tambahan pangan dari kelompok emulsifier. Dalam sistem emulsi ini, gugus hidroksil pada monogliserida atau digliserida dapat mengikat melalui ikatan hidrogen (bersifat hidrofilik), sedangkan gugus non-polar pada ujung metil dari residu asam lemak dapat mengikat lemak melalui interaksi hidrofobik (bersifat hidrofobik).



Gambar 7.4 Reaksi pembentukan lemak sederhana trigliserida

Tatanama monogliserida dan digliserida ditentukan oleh jumlah, jenis, dan posisi asam lemak yang terikat pada gliserin. Jumlah asam lemak yang terikat satu atau dua diberi awalan mono- atau di-. Pada monogliserida, asam lemak dapat terikat pada C1, C2, atau C3. Pada digliserida, posisi asam lemak dapat pada posisi C1 dan C2 atau C1 dan C3. Sebagai contoh, monogliserida yang disusun oleh asam stearate yang terikat pada posisi C1 dari gliserin yang kemudian diberi nama 1-mono-stearin, sedangkan digliserida yang disusun oleh dua asam stearat yang terikat pada posisi C1 dan C3 diberi nama 1,3-distearin.

7.5. Lemak dan Minyak

7.5.1. Reaksi pembentukan lemak dan minyak

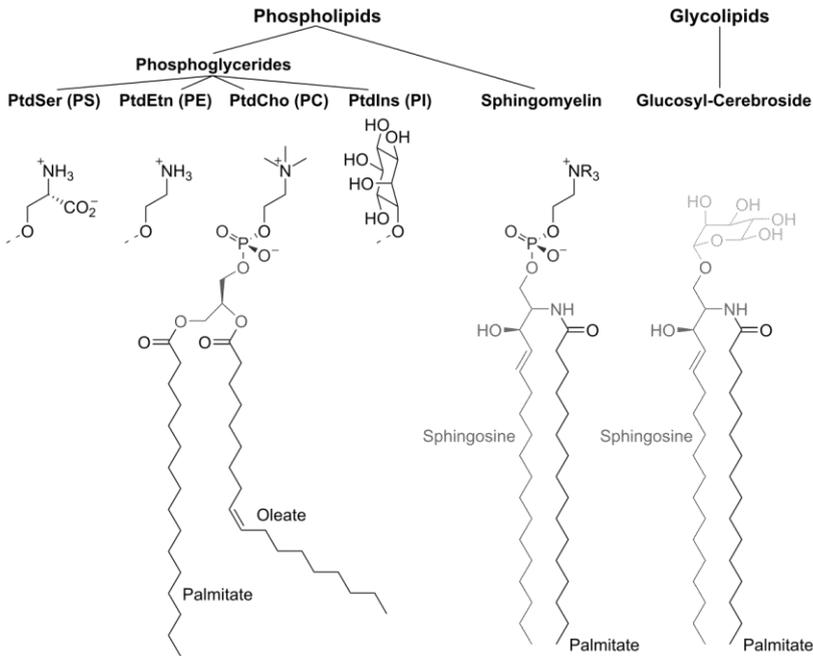
Dalam struktur lemak dan minyak, asam lemak terikat pada gliserol melalui ikatan kovalen sehingga terbentuk ester gliserol. Ikatan yang terbentuk adalah antara gugus karboksil pada asam lemak dan gugus hidroksil pada gliserin. Setiap pembentukan ikatan kovalen akan membebaskan satu molekul air sehingga reaksinya disebut reaksi polimerisasi kondensasi. Karena gliserin memiliki tiga gugus hidroksil maka gliserin dapat mengikat maksimum tiga rantai asam lemak dan dapat melepaskan maksimal tiga molekul air untuk membentuk trigliserida. Reaksi pembentukan trigliserida dapat dilihat pada **gambar 7.4**.

Lemak dan minyak umumnya merujuk pada kelompok trigliserida karena umumnya senyawa ini mengandung tiga buah

asam lemak. Substituen yang terikat pada struktur gliserol ditunjukkan menurut sistem *stereospecific number* (*sn*). Misalnya, bila trigliserida mengandung asam palmitate (C1), asam oleat (C2), dan asam stearate (C3) maka diberi nama *sn*-gliseril-1-palmitat-2-oleat-3-stearat. Kata gliserin kadang-kadang dihilangkan sehingga bisa dituliskan palmiti-oleo-stearin. Jika trigliserida mengandung dua molekul asam palmitate dan satu asam stearate maka dapat dituliskan dipalmitostearin atau stearodipalmitin. Trigliserida bersifat non-polar karena gugus hidroksil pada gliserin telah diesterifikasi oleh gugus karboksil dari asam lemak. Oleh karena itu, trigliserida bersifat tidak larut air, tetapi larut dalam senyawa organik non-polar, seperti heksana dan eter. Dengan demikian, lemak dari sumber bahan pangan dapat diekstrak dengan menggunakan pelarut non-polar tersebut.

7.5.2. Klasifikasi dan tata nama

Tata nama lemak dan minyak ditentukan oleh jumlah, jenis dan posisi asam lemak yang terikat pada gliserin. Karena jumlah asam lemak yang terikat pada trigliserida adalah tiga buah maka diberi awalan tri-. Jenis asam lemak harus menunjukkan apakah asam lemak jenuh atau lemak tidak jenuh. Posisi asam lemak ditentukan oleh pada posisinya di rantai karbon gliserin, yaitu posisi C1, C2 (tengah), dan C3.



Gambar 7.5 Beberapa Jenis Penyimpanan Lipid Membran yang Umum

Semua jenis lipid yang ditunjukkan di sini memiliki gliserol atau spingosin sebagai tulang punggung (layar merah muda), yang melekat satu atau lebih gugus alkil longchain (kuning) dan kelompok kepala polar (biru). Dalam triasilgliserol, gliserofosfolipid, galaktolipid, dan sulfolipid, gugus alkil adalah asam lemak dalam kaitan ester. Sphingolipids mengandung asam lemak tunggal, dalam hubungan amida dengan tulang punggung sphingosine. Lipid membran archaeobacteria bervariasi; yang ditunjukkan di sini dua rantai alkil bercabang yang sangat panjang, masing-masing ujungnya dalam hubungan eter dengan bagian gliserol. Dalam fosfolipid kelompok kepala polar bergabung melalui fosfodiester, sedangkan glikolipid memiliki hubungan glikosidik langsung antara gula kelompok kepala dan gliserol tulang belakang.

7.5.3. Komposisi asam lemak dalam bahan pangan sumber lemak

Lipid sederhana dalam bahan pangan mengandung jenis molekul trigliserida yang beragam, yang disebabkan oleh perbedaan asam lemak yang terikat pada struktur gliserol. **Tabel 7.5** memperlihatkan komposisi asam lemak penyusun lemak/minyak dari berbagai bahan pangan yang kaya lemak. Minyak kedelai, minyak zaitun, jagung, dan kacang tanah banyak mengandung asam lemak tidak jenuh (85% - 90%), sedangkan minyak kelapa banyak mengandung asam lemak jenuh (91%). Minyak sawit mengandung sekitar 50% asam lemak tidak jenuh dan 50% lemak jenuh dengan komposisi terbesarnya asam palmitat (44%) dan asam oleat (39%). Adanya perbedaan komposisi asam lemak dan minyak tersebut maka titik leleh dari sumber lemak dan minyak tersebut berbeda-beda.

Sifat fisik lemak/minyak dan kemudahannya untuk teroksidasi akan ditentukan oleh jenis asam lemak penyusunnya. Semakin banyak kandungan lemak tidak jenuhnya maka sifat fisiknya (misal titik lelehnya) akan semakin rendah sehingga minyak yang lebih banyak disusun oleh asam lemak tidak jenuh akan cenderung berbentuk cair pada suhu ruang. Demikian juga, apabila semakin banyak kandungan lemak tidak jenuhnya maka kerusakan lemak akibat reaksi oksidasi akan semakin mudah terjadi.

Tabel 7.5. *Komposisi asam lemak jenuh dan tidak jenuh pada beberapa sumber pangan kaya lemak*

Sumber Pangan	Asam Lemak Jenuh					Asam Lemak Tidak Jenuh (%)		
	≤ C10	C12 Laurat	C14 Miristat	C16 Palmitat	C18 Stearat	C18:1 Oleat	C18:2 Linoleat	C18:3 Linoleat
Mentega	12	3	12	28	10	26	2	
Butter	11	3	10	26	15	29	2	2
Lard	-	-	1	28	14	40	5	
Lemak Sapi	-	0.2	3	28	24	40	2	

Sumber Pangan	Asam Lemak Jenuh					Asam Lemak Tidak Jenuh (%)		
	≤ C10	C12 Laurat	C14 Miristat	C16 Palmitat	C18 Stearat	C18:1 Oleat	C18:2 Linoleat	C18:3 Linoleat
Minyak Zaitun	-	-	1	5	2	83	7	
Minyak Sawit	-	0.2	1.1	44	4.5	39.2	10.1	4
Minyak Jagung	-	-	1	10	2	40	40	
Kacang tanah	-	-	-	8	4	60	25	
Minyak kedelai	-	-	-	12	2	24	54	8
Minyak kelapa	12	44	18	11	6	7	2	-

Komposisi asam lemak yang menyusun suatu sumber lemak/minyak dapat dianalisis dengan menggunakan metode kromatografi gas cair (*gas liquid chromatography/GLC*). Prinsip analisis komposisi asam lemak dengan GLC adalah dengan mengubah komponen asam lemak pada lemak/minyak menjadi senyawa volatile metil ester asam lemak (*Fatty Acid Methyl Esther* atau FAME). Berbagai jenis metil ester asam lemak tersebut akan dibawa oleh gas (*carrier*) untuk melewati fase diam berupa cairan di dalam kolom. Komponen yang keluar dari kolom akan dideteksi dengan alat detector ionisasi nyala api (*Flame Ionization Detector/FID*) yang memberikan resposnya berupa *peak* kromatogram. Jenis dan jumlah asam lemak yang ada pada contoh dapat diidentifikasi dengan membandingkan *peak* kromatogram contoh dengan *peak* kromatogram asam lemak standar yang telah diketahui jenis dan konsentrasinya.

7.5.4. Proses Ekstraksi dan Pemurnian Lemak/Minyak

Minyak dan lemak dapat diekstraksi dari sumber pangan yang kaya lemak/minyak. Lemak/minyak dapat berasal dari lemak

nabati (misalnya kedelai, sawit, kelapa, biji bunga matahari, jagung, kanola, zaitun, dan lain-lain) atau dari lemak hewani (ikan, sapi, babi, kambing, dan lain-lain). Dari sumber-sumber lemak tersebut dapat dihasilkan beragam produk, seperti minyak goreng, mentega, butter, *shortening*, sumber lemak dapat dilihat pada **Tabel 7.5**. Secara umum, minyak nabati lebih banyak mengandung lemak tidak jenuh sehingga berbentuk cair pada suhu kamar, sedangkan lemak hewani lebih banyak mengandung lemak jenuh sehingga cenderung berbentuk padat pada suhu kamar. Lemak dari ikan laut umumnya mengandung asam lemak tidak jenuh yang lebih banyak sehingga biasanya berbentuk cair dan lebih mudah mengalami reaksi oksidasi.

Lemak dan minyak dapat diekstraksi dari berbagai sumber lemak tersebut diatas. Proses ekstraksi dapat dilakukan dengan cara pengepresan dan pemanasan. Lemak dan minyak yang dihasilkan umumnya masih mengandung komponen-komponen lain, misalnya air, asam lemak bebas, *wax*, senyawa fosfatida dan turunannya, lesitin kasar, logam (misal Fe, Cu, Ca, Mg), pigmen (umumnya tokoferol dan karatenoid), sterol, tokotrienol, fitosterol, serta senyawa organik rantai pendek lain yang larut dalam lemak yang tidak diinginkan (misalnya senyawa peroksida, aldehida, dan keton yang berkontribusi pada pembentukan bau tengik)

Tabel 7.6. Kandungan lemak/minyak pada berbagai sumber lemak

Sumber Lemak	Kandungan Lemak (%)
Canola	40 - 45
Kelapa	65 - 68
Jagung	3 - 6
Biji kapas	18 - 20
Olive	25 - 30
Buah sawit	45 - 50
Biji sawit (<i>palm kernel</i>)	45 - 50
Kacang tanah	45 - 50
Bunga matahari	35 - 35
Kedelai	18 - 20

Komponen-komponen non-trigliserida ini tidak diinginkan karena akan mempengaruhi mutu produk akhir dan stabilitas produk selama penyimpanan. Oleh karena itu, lemak dan minyak yang diperoleh dari proses ekstraksi ini masih kasar sehingga sering disebut lemak kasar (*crude oil*). Disamping itu, lemak dan minyak yang dihasilkan mungkin belum memenuhi sifat fisik yang sesuai dengan sifat produk akhir yang diinginkan, misalkan dari titik leleh atau sifat kristalisasinya. Oleh karena itu, komponen-komponen yang tidak diinginkan dalam minyak kasar harus dihilangkan melalui tahapan proses pemurnian netralisasi.

Disamping dengan cara pengepresan, lemak/minyak juga dapat dipisahkan dari sumbernya dengan menggunakan pelarut lemak yang bersifat non-polar dan tidak toksik, misalnya heksana. Heksana akan melarutkan lemak dengan cara perkolasi (penyaringan), kemudian dipisahkan dengan cara destilasi. Untuk menghasilkan lemak/minyak yang lebih murni dengan sifat fisik yang sesuai maka lemak kasar tersebut harus diproses lebih lanjut. Di antara tahapan pemurnian yang umum dilakukan adalah *degumming*, *refining*, *bleaching*, deodorisasi, dan fraksinasi. Untuk menghasilkan lemak/minyak dengan sifat fisik yang diinginkan maka minyak/lemak dapat dilakukan proses hidrogenasi, pencampuran secara fisik antara lemak yang berbeda, atau interesterifikasi.

7.6. Reaksi Kimia Lemak dan Minyak

Reaksi kimia penting yang melibatkan lemak/minyak, diantaranya adalah reaksi hidrogenasi, reaksi penyabunan, reaksi hidrolisis, reaksi oksidasi, serta reaksi intra- dan inter-esterifikasi. Reaksi-reaksi pada lemak melibatkan gugus fungsional (ester) dan ikatan-ikatan rangkap pada rantai asam lemak.

7.6.1. Reaksi Hidrolisis Lemak

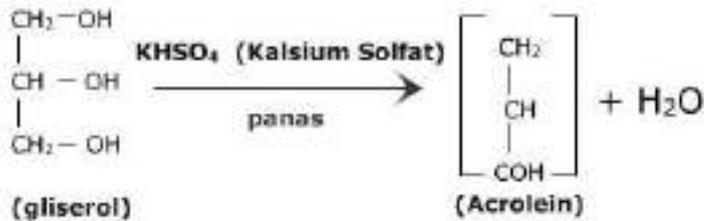
Reaksi hidrolisis lemak atau lipolysis adalah reaksi pelepasan asam lemak bebas (*free fatty acid*) dari gliserin dalam struktur molekul

lemak. Reaksi hidrolisis dapat terjadi pada lemak yang mengandung asam lemak jenuh dan tidak jenuh. Reaksi hidrolisis dapat dipicu oleh adanya aktivitas enzim lipase atau pemanasan yang menyebabkan pemutusan ikatan ester dan pelepasan asam lemak bebas. Setiap pelepasan satu molekul asam lemak bebas memerlukan satu molekul air (**Gambar 7.2**). Reaksi hidrolisis lemak dapat membebaskan ketiga asam lemak dari gliserin. Pembentukan bau tengik ini menunjukkan lemak sudah mengalami kerusakan. Pembentukan bau tengik yang disebabkan oleh reaksi hidrolisis, baik dipicu oleh adanya aktivitas enzim lipase maupun proses pemanasan, disebut ketengikan hidrolitik. Derajat pembentukan bau tengik lemak yang rusak dipengaruhi oleh jenis asam lemak yang dibebaskan.

Lipase merupakan enzim yang bisa terdapat dalam pangan. Bila bahan pangan disimpan dan tidak diberi perlakuan pemanasan sebelumnya, maka lipase dapat aktif selama penyimpanan. Lipase dapat mengkatalis hidrolisis lemak yang menyebabkan asam lemak terlepas dari gliserol. Akumulasi pelepasan asam lemak bebas, terutama yang memiliki rantai karbon pendek (misalnya asam butirat dan asam kaproat) akan menyebabkan pembentukan bau tengik.

Reaksi hidrolisis lemak dapat terjadi bila ada air dan pemanasan. Hidrolisis lemak dapat terjadi pada lemak jenuh atau tidak jenuh. Penggorengan bahan pangan yang mengandung air pada suhu tinggi, misalnya dengan *deep-fat frying*, dapat menyebabkan reaksi hidrolisis. Penggunaan suhu tinggi menghasilkan energy yang terlalu tinggi, yang dapat memecah struktur lemak. Mula-mula lemak akan terhidrolisis membentuk gliserin dan asam lemak bebas, kemudian akan terjadi reaksi lanjutan yang menyebabkan pemecahan molekul gliserin dan asam lemak bebas. Dengan dipicu proses pemanasan, lemak (trigliserida) terhidrolisis membentuk asam lemak bebas dan gliserol. Pada suhu pemanasan terlalu tinggi, ikatan pada gliserin dapat pecah sehingga menyebabkan lepasnya dua molekul air dan membentuk senyawa akrolein. Akrolein bersifat volatile dan membentuk asap yang dapat

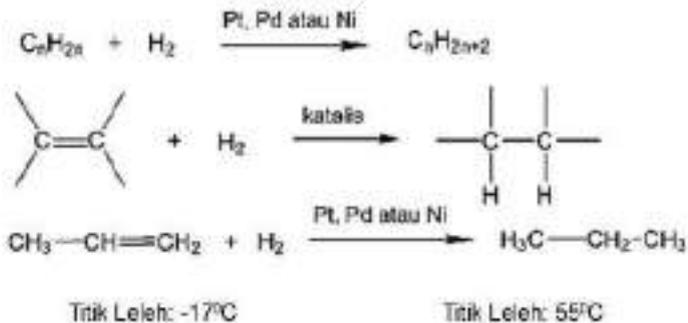
mengiritasi mata. Pemanasan asam lemak bebas pada suhu tinggi dan waktu lama juga dapat membentuk senyawa-senyawa dimer dan trimer. Pembentukan warna minyak menjadi berwarna gelap oleh penggunaan minyak goreng secara berulang-ulang juga menjadi indikasi kerusakan lemak.



Gambar 7.6. Reaksi Pemecahan gliserin membentuk akrolein pada suhu tinggi

7.6.2. Reaksi Hidrogenasi

Reaksi hidrogenasi adalah reaksi adisi hydrogen ke dalam rantai asam lemak tidak jenuh pada sisi karbon yang mengandung ikatan rangkap. Reaksi hidrogenasi mengubah lemak tidak jenuh menjadi lemak jenuh. Reaksi hidrogenasi akan dipercepat dengan proses pemanasan dan adanya katalisator metal, misalnya nikel.



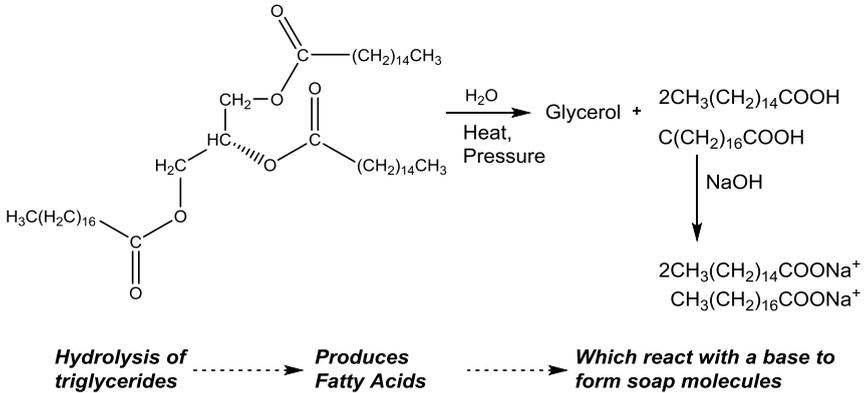
Gambar 7.7. Reaksi Hidrogenasi lemak tidak Jenuh menjadi Lemak Jenuh

Reaksi hidrogenasi ini meningkatkan titik leleh trigliserida dari -17°C menjadi 55°C sehingga triolen yang berbentuk cair pada suhu ruang berubah menjadi tristearin yang berbentuk padat. Reaksi hidrogenasi merupakan tahapan dalam proses produksi margarin atau *shortening* dari minyak cair. Dalam reaksi hidrogenasi, ada

sebagian kecil asam lemak tidak jenuh mengalami isomerisasi, dimana terjadi perubahan konfigurasi dari *cis* menjadi *trans*.

7.6.3. Reaksi Penyabunan

Reaksi penyabunan terjadi apabila lemak, misalnya gliserin palmitat (tripalmitin) dipanaskan dengan adanya alkali (sodium hidroksida) yang dapat menyebabkan ester gliserin terkonversi menjadi garam Na-palmitat dan gliserin. Garam asam lemak berantai panjang ini disebut sabun sehingga reaksinya disebut reaksi penyabunan. Prinsip reaksi ini digunakan dalam proses produksi sabun secara komersial.



Gambar 7.8. Reaksi Penyabunan Lemak Membentuk Sabun

7.6.4. Reaksi Autooksidasi Lemak

Ikatan rangkap asam lemak yang terikat struktur lemak/minyak mudah teroksidasi oleh oksigen. Reaksi oksidasi ini akan memicu pembentukan produk primer, sekunder dan tersier yang bersifat volatile sehingga menyebabkan lemak atau produk yang mengandung lemak menjadi bau tengik dan tidak layak untuk dikonsumsi.

Oksidasi lemak adalah salah satu reaksi kimia yang menyebabkan kerusakan lemak, terutama lemak yang mengandung asam lemak tidak penuh. Reaksi oksidasi lemak melibatkan ikatan rangkap pada rantai karbon. Reaksi oksidasi lemak dapat dipicu oleh

adanya oksigen, enzim peroksida, radiasi (cahaya), dan ion metal polivalen. Apabila lemak yang mengandung asam lemak tidak jenuh (R-H) teroksidasi oksigen dan dipicu oleh adanya panas maka ikatan rangkap yang terdapat pada asam lemak tidak jenuh akan terputus dan oksigen akan menjadi bagian dari molekul. Pada mulanya, atom karbon yang terdapat ikatan jenuhnya akan membentuk radikal bebas (R^*) dengan membebaskan atom hydrogen. Selanjutnya, radikal bebas yang reaktif ini akan mengikat oksigen untuk membentuk radikal peroksida (ROO^*). Radikal peroksida juga bersifat reaktif dan segera akan mengambil atom hydrogen yang terikat pada karbon yang memiliki ikatan rangkap dari asam lemak lainnya sehingga terbentuk radikal bebas baru. Pengikatan hydrogen oleh peroksida akan membentuk hidroperoksida ($ROOH$), sedangkan radikal bebas yang baru akan mengulang reaksi yang serupa sebelumnya. Karena adanya reaksi pembentukan radikal bebas baru oleh peroksida ini sebagai hasil reaksi oksidasi maka reaksi oksidasi lemak ini bersifat autooksidasi.

Berdasarkan penjelasan mekanisme reaksi di atas maka reaksi oksidasi lemak dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap inisiasi, propagasi, dan terminasi. Tahap inisiasi adalah tahap pembentukan radikal bebas ($R\bullet$ dan $H\bullet$) yang bersifat reaktif. Tahap inisiasi dapat dipicu oleh adanya cahaya dan ion metal polivalen. Tahap propagasi adalah reaksi antara radikal bebas dengan oksigen untuk membentuk radikal peroksida ($ROO\bullet$). Tahap ini berlangsung cepat karena radikal peroksida akan mengambil atom hydrogen pada asam lemak lainnya pada sisi ikatan rangkapnya sehingga terbentuk radikal bebas baru ($R\bullet$) dan hidroperoksida ($ROO\bullet$) juga dapat berikatan satu sama lain membentuk $ROOR$. Hidroperoksida berkontribusi pada pembentukan aroma yang menyimpang (*off-power*) yang merupakan indikasi kerusakan lemak. Analisis bilangan peroksida sering dijadikan untuk melihat seberapa besar kerusakan lemak oleh oksidasi terjadi. Hidroperoksida ini akan segera mengalami degradasi membentuk berbagai senyawa volatile, seperti aldehida, keton dan alcohol yang tercium sebagai bau tengik.

7.7. Sifat Fisikokimia lemak dan Minyak

Sifat fisikokimia lemak/minyak yang penting adalah kelarutan, titik leleh, berat jenis, kapasitas absorpsi air, *turbidity point*, dan bilangan iod. Disamping itu, terdapat beberapa parameter yang sering digunakan untuk menentukan kualitas lemak/minyak, yaitu bilangan asam, bilangan peroksida, bilangan paraanisidin, derajat ketengikan, dan bilangan *Thio Barbuturic Acid* (TBA). Peningkatan bilangan asam, bilangan peroksida, derajat ketengikan, dan bilangan TBA sering digunakan sebagai parameter kerusakan lemak/minyak. Beberapa sifat fisikokimia dari beberapa sumber lemak/minyak nabati dan hewani dapat dilihat pada **Tabel 7.7**.

7.7.1. Kelarutan

Lemak/minyak bersifat non-polar sehingga dapat larut dalam pelarut organik non-polar seperti heksana, petroleum eter, atau dietil eter. Sifat kelarutan lemak/minyak dalam pelarut organik non-polar digunakan untuk melakukan ekstraksi lemak/minyak. Lemak/minyak tidak larut dalam air karena air bersifat polar.

7.7.2. Indeks Refraksi

Indeks refraksi adalah parameter yang berkaitan dengan berat molekul, panjang rantai asam lemak, tingkat ketidakjenuhan, dan tingkat konjugasi. Pengukuran indeks refraksi lemak berguna untuk menguji kemurnian suatu lemak. Indeks refraksi meningkat dengan semakin panjangnya rantai C, derajat ketidakjenuhan, dan suhu yang semakin tinggi. Indeks refraksi berhubungan erat dengan bilangan iod lemak, karena itu dapat digunakan untuk mengendalikan proses hidrogenasi. Indeks refraksi pada beberapa jenis lemak/minyak dapat dilihat pada **Tabel 7.7**.

Tabel 7.7. *Beberapa sifat fisikokimia lemak/minyak dari beberapa sumber bahan pangan nabati dan hewani*

Sumber Lemak	Titik Leleh (°C)	Berat Jenis	Indeks Refraksi	Bilangan Iod*	Bilangan Penyabunan**
Minyak jagung	-12-(-10)	0,915-0,920	1,470-1,474	103,0-128,0	187-193
Minyak kelapa	23 - 26	0,869-0,874	1,448-1,450	7,5-10,5	250,264
Minyak kanola	-10-(-18)	0,910-0,920	1,467-1,469	85-95	182-193
Minyak bunga matahari	-18-(-16)	0,915-1,474	1,472-1,474	125-136	188-194
Minyak biji kapas	10-16	0,916-0,918	1,468-1,472	99,0-113	189-198
Minyak kedelai	-23-(-20)	0,917-0,921	1,470-1,476	123,0-139,0	189-195
Minyak kacang Tanah	-2,0	0,910-0,915	1,467-1,470	84,0-100,0	188-195
Minyak sawit (CPO)	35,5-39,5	0,892-0,893	1,457-1,459	46-56	196-202
Lard	31,5-33,0	0,858-0,864	45-52	46-70	195-202
Tallow	41-44	0,860-0,870	46-49	38-48	193-202
Lemak susu	35	0,907-0,912	1,447	25-42	210-250

7.7.3. Titik Leleh

Titik leleh adalah suhu dimana lemak/minyak berubah wujud dari padat menjadi cair. Titik leleh minyak/lemak ditentukan oleh ada tidaknya ikatan rangkap asam lemak penyusunnya. Asam lemak jenuh memiliki titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak tidak jenuh. Titik leleh juga dipengaruhi oleh panjang rantai asam lemak penyusun lemak/

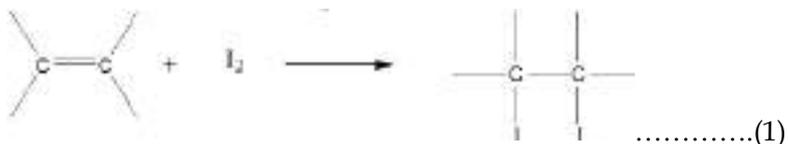
minyak, dimana lemak yang tersusun oleh asam lemak rantai pendek akan memiliki titik leleh yang lebih rendah dibandingkan dengan yang disusun oleh asam lemak rantai panjang. Titik leleh beberapa jenis lemak/minyak dapat dilihat pada **Tabel 7.7**. Titik leleh dapat diukur dengan memasukkan lemak ke tabung kapiler. Tabung didinginkan, kemudian dipanaskan secara bertahap. Suhu pada saat lemak bersifat transparan adalah titik leleh lemak tersebut.

7.7.4. Berat Jenis

Berat jenis lemak/minyak adalah berat minyak (gram) per satuan volume (ml). Pada prinsipnya, berat jenis lemak/minyak ditentukan melalui perbandingan berat contoh minyak dengan berat air yang volumenya sama pada suhu yang ditentukan (pada umumnya 25°C). Minyak memiliki berat jenis lebih kecil jika dibandingkan dengan air, yaitu berkisar 0,916 - 0,923 g/ml. Berat jenis beberapa jenis lemak/minyak dapat dilihat pada **Tabel 7.7**.

7.7.5. Bilangan Iod

Asam lemak yang menyusun lipid pada dasarnya berupa campuran antara asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Derajat ketidakjenuhan asam lemak yang menyusun lemak/minyak dapat ditentukan berdasarkan reaksi adisi antara asam lemak dengan iod (I_2). Ikatan rangkap yang terdapat pada asam lemak tidak jenuh dapat mengalami reaksi adisi oleh senyawa iod sehingga menghasilkan senyawa dengan ikatan jenuh. Reaksi adisi ikatan rangkap asam lemak oleh senyawa iod dibantu dengan suatu 'carrier', seperti iodin-klorida atau iodin bromida. Reaksi adisi asam lemak oleh senyawa iod adalah sebagai berikut:



Bilangan iod pada dasarnya menunjukkan jumlah gram iod yang digunakan untuk mengadisi 100 gram lemak/minyak. Semakin tinggi bilangan ion maka semakin banyak ikatan rangkap yang diadisi dan semakin tinggi derajat ketidakjenuhan lemak/minyak tersebut. Penetapan bilangan iod dilakukan dengan menambahkan iod secara berlebih ke dalam contoh lemak/minyak. Kelebihan iod dititrasi dengan natrium tiosulfat sehingga ion yang digunakan untuk mengadisi lemak/minyak dapat diketahui jumlahnya. Reaksi antara I_2 dengan $Na_2S_2O_3$ terjadi melalui reaksi reduksi oksidasi (reaksi 2).

Beberapa metode yang umum digunakan untuk menetapkan bilangan iod adalah metode Hanus dan metode Wijs. Pembuatan pereaksi Hanus lebih mudah daripada Wijs. Ada sedikit perbedaan hasil yang diperoleh dengan kedua metode ini, akan tetapi variasi perbedaan ini tidak lebih besar dari variasi bilangan iod dalam lipid itu sendiri.

7.7.6. Kapasitas Absorpsi Air

Minyak/ lemak dapat membentuk emulsi dengan air. Kapasitas mengabsorpsi air oleh minyak/ lemak merupakan sifat yang penting dalam sebuah emulsi.

7.7.7. Turbidity point

Pengujian *turbidity point* dilakukan untuk mengetahui adanya pengotor oleh bahan asing atau pencampuran minyak. *Turbidity point* suatu minyak dapat diketahui dengan cara mengukur suhu minyak pada saat minyak atau lemak cari berubah menjadi padat. Pengujian ini disebut dengan uji Crismer atau Valenta.

7.7.8. Indeks padatan lemak (*solid fat index*)

Solid fat index (SFI) adalah ukuran tingkat kepadatan lemak pada suhu yang berbeda. SFI menunjukkan persentase lemak yang terdapat dalam bentuk kristal, yang dapat dibedakan dari minyak

yang meleleh pada suhu tertentu. Contoh SFI untuk beberapa lemak pada suhu berbeda dapat dilihat pada **Tabel 7.8**.

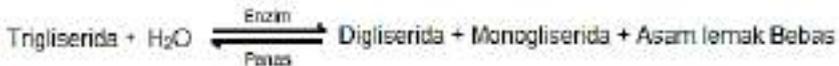
Tabel 7.8. Nilai *Solid Fat Index (SFI)* beberapa jenis lemak/minyak

Lemak/Minyak	<i>Solid Fat Index (SFI)</i>				
	10°C	21°C	27°C	33°C	38°C
Butter	32	12	9	3	0
Cocoa butter	62	48	8	0	0
Minyak kelapa	55	27	0	0	0
Lard	25	20	12	4	2
Minyak sawit	34	12	9	6	4
Palm kernel oil	49	33	13	0	0
Tallow	39	30	28	23	18

Sumber: T.J.Weiss (1983).

7.7.9. Bilangan Asam

Bilangan asam adalah bilangan yang menunjukkan jumlah asam lemak bebas yang terkandung dalam lemak/minyak, yang biasanya dihubungkan dengan proses hidrolisis lemak/ minyak. Hidrolisis lemak/minyak oleh air dengan katalis enzim/ panas pada ikatan ester trigliserida akan menghasilkan asam lemak bebas seperti yang terdapat pada reaksi berikut:



Keberadaan asam lemak bebas dalam lemak/minyak biasanya dijadikan indikator awal terjadinya kerusakan lemak/minyak karena proses hidrolisis. Pembentukan asam lemak bebas akan mempercepat kerusakan oksidatif lemak/minyak karena asam lemak bebas lebih mudah teroksidasi jika dibandingkan dalam bentuk esternya.

Jumlah asam lemak bebas pada contoh ditunjukkan dengan bilangan asam yang biasanya dinyatakan sebagai jumlah milligram KOH, yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam 1 gram minyak atau lemak. Bilangan asam ditentukan dengan reaksi penyabunan, yaitu dengan cara mereaksikan lemak/minyak dengan basa seperti KOH atau NaOH.

7.7.10. Bilangan Peroksida

Asam lemak bebas dalam contoh lemak/minyak mudah mengalami reaksi oksidasi. Stabilitas oksidasi asam lemak sangat tergantung pada jumlah ikatan rangkapnya. Semakin banyak ikatan rangkap yang terdapat pada asam lemak maka stabilitas oksidatif asam lemak tersebut semakin rendah. Selain dipengaruhi oleh jumlah ikatan rangkapnya, stabilitas oksidasi asam lemak dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi oksigen, cahaya, logam, aktivitas air, prooksidan, antioksidan, dan katalis.

Reaksi oksidasi terjadi melalui beberapa tahap, yaitu tahap inisiasi, tahap propagas, dan terminasi. Radikal bebas yang terbentuk di tahap awal reaksi (tahap inisiasi) dapat bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan senyawa peroksida. Keberadaan senyawa peroksida ini digunakan sebagai indikator terjadinya oksidasi lemak/minyak. Keberadaan senyawa peroksida pada lemak/minyak yang ditentukan dengan metode spektrometri maupun titrimetri. Penentuan peroksida dengan metode spektrofotometri maupun titrimetri dilakukan berdasarkan pengukuran senyawa berwarna hasil reaksi dari senyawa peroksida dengan senyawa tertentu.

Penentuan peroksida dengan metode titrimetri dilakukan dengan mengukur sejumlah iod yang dibebaskan dari KI melalui reaksi oksidasi oleh peroksida di dalam pelarut asam asetat/kloroform. Iod yang dibebaskan ditentukan jumlahnya dengan menggunakan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Jumlah peroksida dalam contoh dinyatakan dengan bilangan peroksida (miliequivalen oksigen aktif per kg) yang setara dengan jumlah $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang bereaksi dengan I_2 , yang berhasil dibebaskan oleh peroksida. Semakin tinggi bilangan peroksida menunjukkan bahwa jumlah peroksida semakin banyak dan dapat diduga bahwa tingkat reaksi oksidasi semakin tinggi.

7.7.11. Bilangan Paraanisidin

Pembentukan peroksida sebagai senyawa antara dalam oksidasi lemak akan meningkat sampai titik tertentu untuk

kemudian menurun kembali. Penurunan ini terjadi karena peroksida yang terbentuk akan terdekomposisi menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih kecil.

Dekomposisi peroksida menghasilkan berbagai senyawa, terutama golongan aldehida. Jumlah aldehid pada contoh minyak/lemak dinyatakan dengan *para-anisidin value (p-value)*. Reaksi antara senyawa aldehid dengan pereaksi paraanisidin pada pelarut asam asetat akan menghasilkan warna kuning yang absorbansinya dapat diukur pada panjang gelombang 350 nm. Bilangan peroksida dan bilangan paraanisidin yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan bilangan total oksidasi (*total oxidation value*), yang ekuivalen dua kali bilangan peroksida ditambah dengan bilangan paraanisidin. Bilangan total oksidasi ini sering dijadikan parameter tingkat kerusakan oksidasi lemak/minyak.

7.7.12. Derajat Ketengikan

Derajat ketengikan lemak/ minyak menunjukkan seberapa besar kerusakan lemak/minyak telah terjadi. Uji ketengikan merupakan uji yang digunakan untuk mengukur stabilitas oksidasi lemak. Stabilitas oksidasi lemak dapat diukur secara cepat dengan menggunakan **Metrohm Rancimat**. Metrohm Rancimat mengukur waktu induksi, yaitu waktu yang dibutuhkan oleh lemak dan minyak pada suhu tertentu sebelum mengalami kerusakan yang cepat. Pengukuran kerusakan minyak dan lemak dilakukan berdasarkan senyawa volatile hasil oksidasi lemak yang menyebabkan bau tengik seperti asam dikarboksil. Senyawa berbau tengik ini dapat meningkatkan konduktivitas listrik sehingga dapat diintegrasikan dalam bentuk kurva hubungan antara waktu induksi dengan konduktivitas. Minyak/ lemak yang mempunyai waktu induksi lebih pendek, berarti memiliki stabilitas oksidasi yang rendah.

7.7.13. Bilangan TBA

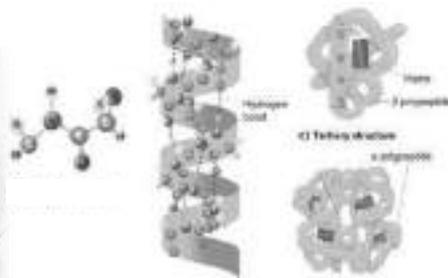
Uji bilangan *Thio Barbituric Acid* (TBA) umumnya digunakan untuk mengukur tingkat ketengikan lemak/minyak atau produk pangan yang mengandung lemak/minyak. Dalam reaksi oksidasi lemak, komponen hasil dekomposisi lemak yang dapat terbentuk adalah senyawa turunan aldehid, yaitu malonaldehid. Keberadaan malonaldehid pada contoh lemak/ minyak menunjukkan bahwa contoh telah mengalami oksidasi lanjut. Senyawa malonaldehid yang terbentuk akan bereaksi dengan pereaksi TBA dan menghasilkan pigmen warna merah. Intensitas warna merah ini kemudian diukur secara spektroskopos pada panjang gelombang 530 nm. Hasil pengukuran yang diperoleh dinyatakan sebagai bilangan TBA yang nilainya setara dengan jumlah malonaldehid pada contoh. Semakin tinggi bilangan TBA maka tingkat oksidasi lemak/ minyak semakin tinggi.

7.8. Tugas Akhir Bab

1. Jelaskan mengapa lemak ikan jarang digunakan sebagai minyak goreng?
2. Bagaimana pengaruh asam lemak *trans* terhadap kesehatan? Jelaskan pula bagaimana mekanisme reaksi pembentukan asam lemak *trans* tersebut!
3. Tuliskan reaksi kimia untuk esterifikasi gliserol dengan molekul asam stearate, asam oleat, dan asam butirat.
4. Identifikasi tiga faktor yang mempengaruhi titik leleh asam lemak. Jelaskan efek dari masing-masing faktor tersebut.
5. Jelaskan perbedaan reaksi ketengikan oksifatif dan ketengikan hidrolitik. Tuliskan mekanisme reaksi kimianya masing-masing.

BAB 8

PROTEIN BAHAN MAKANAN



Protein merupakan polimer dari sekitar 21 asam amino yang berlainan disambungkan dengan ikatan peptide. Karena keberagaman rantai samping yang terbentuk jika asam-asam amino tersebut disambungkan, protein yang berbeda dapat mempunyai sifat kimia yang berbeda dan struktur sekunder dan tersier yang sangat berbeda.

Asam amino dapat dikelompokkan berdasarkan rantai sampingnya, yang dapat bersifat polar maupun nonpolar. Kandungan bagian asam amino polar yang tinggi dalam protein meningkatkan kelarutannya dalam air. Rantai samping yang paling polar adalah rantai samping asam amino basa dan asam amino asam. Asam-asam amino ini terdapat dalam albumin dan globulin yang larut air dengan aras yang tinggi. Sebaliknya protein gandum, gladin, dan glutenin, aras kandungan rantai samping polarnya rendah

dan sangat tidak larut dalam air. Asam amino dapat pula terdapat dalam satu protein dalam bentuk amidanya, glutamine dan asparagina. Hal ini meningkatkan kandungan nitrogen dari protein. Gugus hidroksil dalam rantai samping dapat terlibat dalam pembentukan ikatan ester dengan asam fosfat dan fosfat.

Asam amino belerang dapat membentuk ikatan silang disulfide antara rantai peptida yang bertetangga atau antara bagian yang berlainan dalam rantai yang sama. Prolina dan hidroksiprolina memaksakan pembatasan struktur yang bermakna terhadap geometri rantai peptida. Pada dasarnya manusia bisa mendapatkan protein dari hewan ataupun dari tumbuhan. Di negara yang maju, orang memperoleh sebagian besar proteinnya dari produk hewan, sedangkan dibagian-bagian lain dunia, bagian utama protein makanan diperoleh dari produk tumbuhan.

Sebagai zat pembangun, protein merupakan bahan pembentuk jaringan-jaringan baru yang selalu terjadi dalam tubuh. Pada masa pertumbuhan proses pembentukan jaringan terjadi secara besar-besaran, pada masa kehamilan proteinlah yang membentuk jaringan janin dan pertumbuhan embrio. Protein juga mengganti jaringan tubuh yang rusak dan yang perlu dirombak. Fungsi utama protein bagi tubuh adalah untuk membentuk jaringan baru dan mempertahankan jaringan yang telah ada.

Disamping itu, protein juga dapat digunakan sebagai bahan bakar apabila keperluan energi tubuh tidak terpenuhi oleh karbohidrat dan lemak. Protein ikut pula mengatur berbagai proses tubuh, baik langsung maupun tidak langsung dengan membentuk zat-zat pengatur proses dalam tubuh. Protein mengatur keseimbangan cairan dalam jaringan dan pembuluh darah, yaitu dengan menimbulkan tekanan osmotik koloid yang dapat menarik cairan dari jaringan ke dalam pembuluh darah. Sifat amfoter protein yang dapat bereaksi dengan asam dan basa, dapat mengatur keseimbangan antara asam-basa dalam tubuh.

Protein dalam bahan makanan yang dikonsumsi manusia akan diserap oleh usus dalam bentuk asam amino. Kadang-kadang beberapa asam amino yang merupakan peptida dan molekul-

molekul protein kecil dapat juga diserap melalui dinding usus, masuk ke dalam pembuluh darah. Hal semacam inilah yang akan menimbulkan reaksi-reaksi alergi dalam tubuh yang sering kali timbul pada orang yang makan bahan makanan yang mengandung protein seperti susu, ikan laut, udang, dan telur sebagainya.

8.1. Siklus Protein

Di dalam tubuh manusia terjadi suatu siklus protein, yang artinya protein dipecah menjadi komponen-komponen yang lebih kecil yaitu asam amino dan atau peptide. Terjadi juga sintesis protein baru untuk mengganti yang lama. Praktis tidak ada sebuah molekul protein pun yang disintesis untuk dipakai seumur hidup. Semuanya akan dipecahkan dan diganti dengan yang baru dengan laju yang berbeda-beda, tergantung kepada jenis dan keperluan dalam tubuh. Waktu yang diperlukan untuk mengganti protein baru disebut *half-life* atau waktu paruh jangka hidup protein.

Waktu paruh dari enzim-enzim interseluler hanyalah beberapa jam sampai beberapa hari. Sedangkan protein-protein lain lebih stabil, seperti misalnya hemoglobin mempunyai waktu paruh 120 hari, dan kolagen sampai kira-kira satu tahun. Siklus protein dapat terjadi di dalam sel, dalam jaringan, atau dalam bahan dan melibatkan saluran pencernaan.

Energi pencernaan dalam lambung dan pancreas bila sudah tidak berfungsi lagi setiap harinya dapat menyumbang 30gr protein, ditambah lagi dengan 30gr protein dari selaput *villi* (bulu-bulu) dalam lambung. Musim dan protein serum dalam jumlah yang kecil juga masuk ke dalam saluran pencernaan sehingga menyumbangkan beberapa gram protein lagi setiap harinya. Diperkirakan sebanyak 70gr protein dari badan masuk ke dalam saluran pencernaan 30-80gr protein yang masuk melalui makanan yang dikonsumsi setiap harinya. Di pihak lain jumlah yang sedikit protein keluar bersama feses; diperkirakan protein yang keluar bersama feses tidak lebih dari 10 gr per hari. Dari data tersebut dapat dipahami bahwa badan manusia ternyata sangat efisiensi dalam menyelesaikan

Jumlah protein yang dipecahkan dan disintesis diperkirakan meliputi sekitar 3,5 sampai 45 g/kg berat badan setiap hari atau sekitar 200-300 sehari untuk orang dewasa. Tentu saja hal ini jauh melebihi jumlah protein yang masuk dari bahan makanan. Sebagian besar tersebar dari penyediaan asam amino datang dari pemecahan protein jaringan tubuh.

8.2. Asam Amino

Bila suatu protein dihidrolisis dengan asam, alkali atau enzim akan dihasilkan campuran asam-asam amino. Sebuah asam amino terdiri dari sebuah gugus amino, sebuah gugus karboksil, sebuah gugus atom hidrogen, dan gugus R yang terikat pada sebuah atom C yang dikenal dengan karbon α , serta gugus R merupakan rantai cabang. Semua asam amino berkonfigurasi α dan mempunyai konfigurasi L kecuali glisin yang tidak mempunyai atom C asimetrik. Hanya asam amino L yang merupakan komponen protein. Karena itu penulisan isomer optik jarang dilakukan, dan bila tidak ada tanda apa-apa, maka yang dimaksud adalah asam amino L. Simbol D dan D tidak mewakili tanda rotasi optik, tetapi menunjukkan hubungan konfigurasi yang dicocokkan dengan konfigurasi senyawa L-gliseraldehid atau konfigurasi absolut.

Protein dalam tubuh manusia, terutama dalam sel jaringan, bertindak sebagai membran sel, dapat membentuk jaringan pengikat misalnya kolagen dan elastin, serta membentuk protein yang *inert* seperti rambut dan kuku. Disamping itu protein dapat bekerja sebagai enzim, bertindak sebagai plasma (albumin), membentuk antibody, membentuk kompleks dengan molekul air, serta dapat bertindak sebagai bagian sel yang bergerak (protein otot). Kekurangan protein dalam waktu yang lama dapat mengganggu berbagai proses dalam tubuh dan menurunkan daya tahan tubuh terhadap penyakit.

Protein dalam makanan yang dikonsumsi manusia akan diserap oleh usus dalam bentuk asam amino. Kadang-kadang beberapa asam amino yang merupakan peptida dan molekul-molekul kecil dapat juga diserap melalui dinding usus, masuk ke

dalam pembuluh darah. Hal semacam inilah yang akan menimbulkan reaksi-reaksi alergi dalam tubuh yang sering kali timbul pada orang yang makan bahan makanan yang mengandung protein seperti susu, ikan laut, udang, telur dan sebagainya.

8.3. Jenis Asam Amino

Asam amino yang penting yang ada di alam berjumlah 20 buah. Dari 20 asam amino tersebut, Sembilan diantaranya adalah asam amino esensial, yaitu isoleusin, leusin, metionin, fenilalanin, treonin, valin, lisin, histidine (khususnya untuk anak-anak dan bayi), dan arginine (khusus untuk bayi). Asam amino esensial tidak dapat dihasilkan oleh tubuh dan harus disuplai dari asupan makanan. Asam amino non-esensial adalah asam amino yang dapat disintesis oleh tubuh sehingga tidak diperlukan suplai dari makanan. Kelompok asam amino non-esensial adalah glisin, alanine, prolin, serin, sistein, tirosin, asparagin, glutamin, asam aspartate, dan asam glutamat. Kandungan asam amino esensial dan non-esensial dalam bahan pangan berbeda-beda sebagaimana dapat dilihat pada tabel 8.1. Kebutuhan tubuh manusia terhadap asam amino esensial juga berbeda-beda sebagaimana dapat dilihat pada tabel 8.2 (untuk orang dewasa).

Gugus R yang terikat pada atom karbon α ada yang merupakan gugus alifatik polar dan non-polar, gugus aromatik, serta juga mengandung gugus sulfur. Perbedaan gugus R yang terikat pada karbon α tersebut menyebabkan asam amino berbeda satu sama lain dari sifat polaritasnya, yaitu mulai dari yang sama sekali tidak polar atau hidrofobik (tidak menyukai air) sampai yang bersifat sangat polar atau hidrofilik (menyukai air). Berdasarkan sifat kepolarannya tersebut maka asam amino dapat dikelompokkan menjadi empat golongan yaitu (1) asam amino dengan gugus R non-polar dan hidrofobik; (2) asam amino dengan gugus R polar, tetapi tidak bermuatan; (3) asam amino dengan gugus R bermuatan negatif, dan (4) asam amino dengan gugus R bermuatan positif.

Tabel 8.1. Kandungan asam amino pada beberapa sumber pangan (mg/g total nitrogen)

Asam Amino	Daging	Susu	Telur	Gandum	Kacang	Jagung
Isoleucine	301	399	393	204	267	230
Leucine	507	782	551	417	425	783
Lysine	556	450	436	179	470	167
Methlonine	169	156	210	94	57	120
Cystine	80	-	152	159	70	97
Phenylalanine	275	434	358	282	287	305
Tyrosine	225	396	260	187	171	239
Threonine	287	278	320	183	254	225
Valine	313	463	428	276	294	303
Arginine	395	160	381	288	595	262
Histidine	213	214	152	143	143	170
Alanine	365	255	370	226	255	471
Aspartic acid	562	424	601	308	685	392
Glutamic acid	955	1151	796	1866	1009	1184
Glycine	304	144	207	245	253	231
Proline	236	514	260	621	244	559
Serine	252	342	478	281	271	311

Sumber: deMan (1999)

Tabel 8.2. Kebutuhan asam amino esensial pada orang dewasa dan sumbernya dalam pangan

Asam Amino	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Isoleusin	10-11	3.5	4.0	4.6	3.9	3.6	3.4	5.0	3.5
Leusin	11-14	4.2	5.3	7.1	4.3	5.1	6.5	8.2	5.4
Lisin	9-12	3.5	3.7	4.9	3.6	4.4	2.0	3.6	5.4
Metionin + Sistin	11-14	4.2	3.2	2.6	1.9	2.1	3.8	3.4	1.9
Metionin		2.0	1.9	1.9	1.2	0.9	1.4	2.2	0.8
Fanilalanin + Tirosin	13-14	4.5	6.1	7.2	5.8	5.5	6.7	8.9	6.0
Fenilalanin		2.4	3.5	3.5	3.1	3.3	4.6	4.7	2.5
Treonin	6-7	2.2	2.9	3.3	2.9	2.7	2.5	3.7	3.8
Triptofan	3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Valin	11-14	4.2	4.3	5.6	3.6	3.3	3.8	6.4	4.1

Keterangan:

1. *Kebutuhan harian (mg/kg berat badan); 2-9: Nilai relatif terhadap asam amino triptofan (1).*
2. *(Kebutuhan harian); 3(telur); 4 (susu); (5) kentang; (6) kedelai; (terigu); (8) beras; (9) khamir (Torula). Sumber: Belitz et al (2009)*

8.4. Protein

Protein merupakan senyawa organik kompleks yang mengandung asam amino yang terikat satu lain melalui ikatan peptida. Protein mengandung atom karbon, oksigen, nitrogen, dan sulfur. Protein merupakan komponen pangan yang banyak terdapat pada tanaman dan hewan sebagai penyusun sel. Kata protein berasal dari bahasa Yunani yang berarti “pertama” atau “primer” sebab perannya yang sangat penting dalam kehidupan.

Kandungan protein dalam bahan pangan bervariasi, baik dalam jumlah maupun jenisnya. Bahan pangan hewani (seperti telur, daging, susu dan ikan), leguminose (seperti kacang-kacangan), dan *serelia* seperti beras, gandum, dan jagung) umumnya mengandung protein yang tinggi. Protein merupakan sumber gizi utama, yaitu sebagai sumber asam amino esensial. Disamping sebagai sumber gizi, protein juga memberikan sifat fungsional yang penting dalam membentuk karakteristik produk pangan, seperti sebagai pengental, pengemulsi, pembentukan gel, pembentukan buih dan sebagainya.

Protein merupakan molekul polipeptida berukuran besar yang disusun oleh lebih dari 100 buah asam amino dengan urutan tertentu, yang dihubungkan satu sama lain secara kovalen oleh ikatan peptide. Umumnya, struktur protein disusun oleh 20 asam amino. Struktur kimia dan fisikokimia protein berbeda satu sama lain oleh adanya perbedaan komposisi/jenis, urutan dan jumlah asam amino oleh adanya perbedaan komposisi/jenis, urutan, dan jumlah asam amino penyusun protein tersebut. Sebagai contoh, protein yang disusun oleh banyak asam amino polar (misalnya asam amino asam atau basa) dapat bersifat lebih mudah larut dalam air, contohnya protein albumin dan globulin. Sementara itu, protein gandum yang mengandung jenis protein gliadin dan glutenin

memiliki sifat kepolaran yang rendah sehingga bersifat sulit larut dalam air.

Tabel 8.3 Kandungan protein dari beberapa pangan segar dan olahan (dinyatakan dalam basis basah)

Bahan Pangan Hewani	Kandungan Protein (Persen Basis Basah)	Bahan Pangan Nabati	Kandungan Protein (Persen Basis Basah)
Daging sapi	18.5	Beras	7.9
Daging ayam	23.1	Tepung gandum	13.7
Telur	12.5	Tepung maizena	6.9
Ikan Tuna	26.5	Pati Jagung	0.3
Susu segar	3.3	Apel	0.2
Susu skim (kering)	36.2	Kentang	2.0
Keju cheddar	24.9	Kacang kedelai	36.5
Yoghurt	5.3	Tahu	15.8

Sumber: USDA Nutrient Data Base for standart reference.

[Hhttp://www.nal.usda.gov](http://www.nal.usda.gov)

Kandungan protein dalam bahan pangan bervariasi. Sebagai contoh kandungan protein dari sumber pangan kaya protein dapat dilihat pada **Tabel 8.3**. Bahan pangan hewani umumnya mengandung protein yang tinggi, disamping bahan pangan nabati juga merupakan sumber protein utama, seperti kedelai dan kacang-kacangan. **Tabel 8.1** memperlihatkan kandungan asam amino dalam beberapa contoh bahan pangan. *Serealia* biasanya mengandung asam amino lisin dan treonin, sedangkan kacang kedelai mengandung lisin yang cukup tinggi, tetapi memiliki metionin yang rendah. Biji kapas mengandung lisin yang rendah, sedangkan protein kacang mengandung metionin dan lisin yang rendah. Untuk dapat memenuhi kebutuhan tubuh akan asam amino esensial secara sempurna maka sumber protein yang digunakan perlu bervariasi.

Kandungan protein dalam bahan pangan umumnya ditentukan berdasarkan persentase nitrogen dengan menggunakan Kjeldahl, kemudian mengkonversikannya dengan faktor konversi

tertentu, misalnya faktor konversi 6,25 dengan asumsi kandungan protein dalam protein adalah 16%. Bila kandungan nitrogennya berbeda maka faktor konversinya pun disesuaikan. **Tabel 8.4.** Kadar protein yang ditentukan dengan cara ini disebut sebagai protein kasa (*Crude protein*).

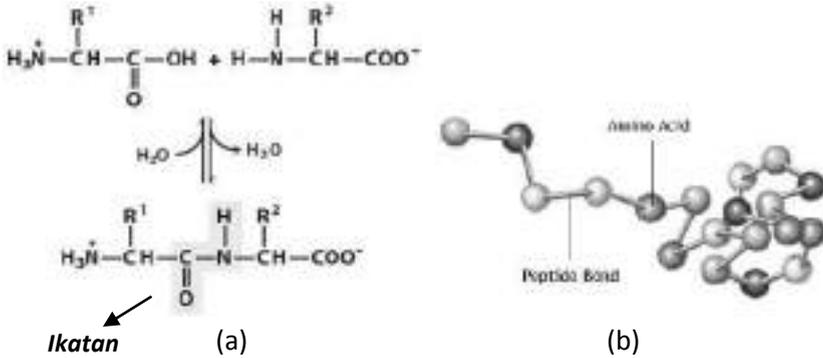
Tabel 8.4. *Faktor konversi untuk mengkonversi persen nitrogen menjadi protein*

Jenis Pangan	X (%N dalam protein)	Faktor konversi F (100/X)
Campuran	16.00	6.25
Daging	16.00	6.25
Maizena	16.00	6.25
Roti, gandum, macaroni, bakmi	16.00	6.25
Susu dan produk susu	15.66	6.38
Tepung	17.54	5.70
Telur	14.97	6.68
Gelatin	18.02	5.55
Kedelai	17.51	5.71
Beras	16.81	5.95
Kacang tanah	18.32	5.46

8.5. Struktur Kimia Protein

Protein merupakan polimer yang disusun oleh asam amino, tetapi dengan jumlah asam amino yang lebih besar, yang mencapai ratusan. Asam amino penyusun protein dihubungkan satu sama lain dengan ikatan peptida (**Gambar 8.1**). Gugus-gugus fungsional bebas yang terikat pada gugus R dalam rantai protein, terutama dari asam amino polar, asam dan basa bersifat reaktif sehingga antar asam amino dapat berikatan satu sama lain. Jenis asam amino yang terikat dalam struktur protein akan mempengaruhi sifat fisikokimia protein yang bersangkutan, seperti sifat kelarutan, stabilitas terhadap proses pemanasan, kemampuan membentuk gel, dan sebagainya. Struktur protein dapat disusun oleh sekitar 100-200 residu asam amino. Berat

molekul protein dapat mencapai sekitar 5.500 hingga 220.000. Berat molekul protein sering juga dinyatakan dalam satuan Dalton, dimana satu *Dalton* sama dengan unit satu masa atom (*atomic mass unit*). Dengan demikian, protein dengan berat molekul 50.000 memiliki massa atom 50.000 dalton atau 50 kd (kilodalton). Dalam pembentukan rantai polimernya, ada juga jenis ikatan yang dapat terbentuk antarmolekul asam amino adalah ikatan elektrostatik, ikatan hidrogen ikatan sulfide, dan interaksi hidrofobik.



Gambar 8.1. Pembentukan Ikatan Peptida (a) Polimerisasi Asam amino

Protein merupakan makromolekul dengan struktur yang berbeda. Adanya ikatan-ikatan kimia yang terbentuk antargugus fungsional asam amino maka protein dapat membentuk struktur primer, sekunder, tersier, dan kuartener. Perbedaan masing-masing struktur protein tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8.1**.

Struktur Primer

Struktur primer protein dibentuk oleh ikatan peptide yang menghubungkan asam amino penyusun protein. Struktur primer merupakan struktur dari protein.

Struktur Sekunder

Struktur sekunder protein terbentuk oleh adanya ikatan hidrogen antar asam amino dalam rantai protein, sehingga strukturnya tidak lurus, melainkan berbentuk *coil*. Ikatan hidrogen terutama terjadi pada asam amino polar yang memiliki gugus hidroksil, amida, dan fenol. Dalam struktur *coil*, energi untuk

mempertahankan struktur primer lebih rendah sehingga protein lebih stabil. Struktur *coil* dari protein ini disebut dengan α -heliks

Struktur Tersier

Struktur sekunder dari protein dapat tertutup dengan adanya ikatan antar asam amino-ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, jembatan garam, interaksi elektrostatik, dan jembatan sulfide pada struktur molekul protein sehingga membentuk struktur tersier. Protein di alam umumnya berbentuk struktur tersier, misalnya protein globular yang berbentuk bulat.

Struktur Kuartener

Struktur kuartener terbentuk oleh adanya interaksi antar beberapa rantai molekul protein yang berbeda melalui ikatan-ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, interaksi elektrostatik, dan jembatan sulfide.

8.6. Jenis Protein dalam Bahan Pangan

Protein dapat dikelompokkan menjadi protein sederhana, protein konjugasi, dan protein turunan. Perbedaan dari ketiga jenis protein tersebut adalah sebagai berikut:

Protein Sederhana

Protein sederhana adalah protein yang hanya mengandung residu asam amino. Kelompok protein sederhana adalah albumin, globulin, gluletin, prolamin, skleroprotein, histon, dan protamin. Jenis protein sederhana, sifat dan sumbernya dalam bahan pangan dapat dilihat pada tabel 8.5. Protein sederhana ini dapat dikelompokkan menjadi protein globular dan protein fibrilar. Albumin, globulin, histon, dan protamine adalah termasuk kelompok protein globular, yaitu memiliki struktur molekul bulat atau *spherical*. Skleroprotein (kolagen dan elastin) termasuk kelompok protein fibrous yang memiliki bentuk serat dan bersifat tidak larut dalam air. Protein fibrilar sangat penting dalam menyusun struktur jaringan daging/unggas. Protein ini banyak mengandung asam amino prolin dan hidroksiprolin, sistein, dan sistin.

Beberapa jenis protein sederhana yang penting dalam bahan pangan, bukan saja hanya sebagai sumber asam amino, tetapi juga kandungan fungsional lainnya, yaitu sebagai berikut:

a. Gluten

Gluten adalah protein yang bersifat khas yang terdapat pada tepung terigu dan dalam jumlah yang kecil dalam tepung serelia lainnya. Gluten terdiri atas dua komponen protein, yaitu gliadin dan glutenin. Berat molekul gliadin berkisar antara 25.000-75.000, sedangkan glutenin dapat mencapai jutaan. Kelarutan gliadin dan glutenin berbeda, keduanya berfungsi dalam membentuk adonan roti yang elastis dan mengembang sehingga dapat diperoleh roti yang mengembang dan berongga, seperti spons, elastic, dan empuk. Sifat sidat inilah yang menjadikan roti di mulut terasa lembut, lunak, dan tidak keras.

Protein gluten banyak mengandung asam amino glutamin dan prolin serta sedikit sistein. Ikatan sulfide yang dapat dibentuk oleh sistein sangat berperan terhadap peran gluten dalam membentuk struktur elastis pada adonan roti. Ikatan disulfide terbentuk di dalam struktur molekul gliadin dan antar molekul glutenin. Perbedaan ikatan disulfide ini menyebabkan perbedaan kelarutan antara gliadin dan glutein, dimana gliadin bersifat lebih mudah larut dalam larutan alkohol 70%, sedangkan glutenin lebih mudah larut dalam larutan asam asetat encer.

b. Ovalbumin

Ovalbumin adalah protein dalam bagian putih telur yang bersifat khas, yaitu mudah membentuk buih yang permanen dan stabil juga dikocok. Sifat membuih ovalbumin ini sangat penting untuk pembuatan kue dan roti. Dengan demikian, dalam pembuatan kue atau roti penambahan telur yang dikocok bukan semata-mata untuk menambah gizi protein, namun untuk terutama menghasilkan kue yang mengembang dan lembut.

c. Aktin dan myosin

Aktin dan miosin adalah dua serangkai protein khas yang terdapat dalam daging, yaitu yang membentuk serabut daging (miofibril). Kedua komponen protein itu secara fisiologik

berfungsi untuk menggerakkan tubuh. Kedua jenis protein ini berfungsi penting dalam pengolahan daging menjadi sosis, bakso, dan sebagainya. Aktin dan miosin berperan sangat penting dalam pembentukan emulsi daging dalam adonan sosis atau bakso sehingga menghasilkan sosis dan bakso yang lembut, empuk, dan "juicy" serta menghasilkan sosis dengan rendemin yang tinggi

Tabel 8.5. *Jenis protein sederhana, sifat dan sumbernya*

Jenis Protein Sederhana	Sifat	Contoh dan Sumber
Albumin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Larut dalam air yang netral ▪ Tida larut dalam larutan garam ▪ Memiliki berat molekul yang relatif rendah ▪ Mudah terkoagulasi oleh panas 	Albumin (putih telur), laktalbumin, dan serum albumin (protein dalam susu), leucosin (<i>sereal</i>), dan legumelin (kacang-kacangan)
Globulin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Larutan dalam larutan garam netral (disebut <i>salting in</i>) ▪ Tidak larut dalam air ▪ Mudah terkoagulasi oleh panas 	Serum globulins dan 3-lactoglobulin (susu), miosin dan aktin (daging), dan glisinin (kedelai)
Glutelin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Larut dalam larutan asam dan basa encer, tidak larut dalam pelarut netral 	Glutenin (gandum), oryzenin (beras)
Prolamin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Larut dalam 50-90% etanol; tidak larut dalam air. ▪ Banyak mengandung residu prolin dan asam glutamat 	Zain (jagung), gliadin (gandum), hordein (barley)

Jenis Protein Sederhana	Sifat	Contoh dan Sumber
Skleroprotein	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tidak larut dalam air dan pelarut netral ▪ Tahan terhadap hidrolisis enzimatis ▪ Merupakan protein fibrous yang menyusun jaringan. 	Kolagen (jaringan otot), elastin (tendon), keratin (rambut)
Histone	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protein basa (mengandung banyak residu lisin dan arginin) ▪ Larut dalam air ▪ Dapat diendapkan dengan ammonia 	
Protamin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protein basa yang kuat dengan berat molekul yang relatif kecil (4.000-8.000) ▪ Banyak mengandung residu arginin 	Culpein (mackerel), sel sperma ikan

Protein Konjugasi

Protein konjugasi adalah protein yang berikatan dengan molekul lainnya, seperti karbohidrat, lemak, loga, dan fosfor, misalnya glikoprotein (berikatan dengan karbohidrat), lipoprotein (berikatan dengan lemak), metaloprotein (berikatan dengan logam), dan fosfoprotein (berikatan dengan gugus fosfat). Jenis protein konjugasi dan contohnya dalam pangan dapat dilihat pada **Tabel 8.6**.

Tabel 8.6. *Jenis protein konjugasi, karakteristik, dan sumbernya*

Jenis Protein	Sifat	Sumber
Fosfolipid	Kombinasi protein dan gugus fosfor. Gugus fosfat terikat pada gugus hidroksil dari asam amino serin dan treonin	Protein susu, kuning telur
Lipoprotein	Kombinasi protein dan lipid mempunyai sifat emulsifikasi	Protein susu, kuning telur
Nukleoprotein	Kombinasi protein dan asam nukleat	Sel Nukleus
Glikoprotein	Kombinasi protein dan karbohidrat	Ovomucin (putih telur)
Kromoprotein	Kombinasi protein dan gugus pembentuk warna	Hemoglobin, klorofil, dan flavaprotein.

Protein Turunan

Protein turunan adalah protein yang telah dimodifikasi sifat fungsioalnya, baik secara enzimatik maupun kimia. Protein hasil modifikasi ini dapat berubah sifat kelarutannya dalam air, sifat koagulasi, atau panjang rantainya.

8.7. Rasa Asam Amino Bebas dan Peptida

Beberapa asam amino bebas dapat berkontribusi terhadap karakteristik rasa pada makanan (manis, pahit, atau asam). **Tabel 8.7.** memperlihatkan jenis-jenis asam amino yang dapat berkontribusi pada pembentukan cita rasa. Sebagian besar L-asam amino hidrofobik memiliki rasa pahit, sedangkan D-asam amino memiliki rasa manis. Sebagai contoh, D-Val, D-Leu, D-Trp, dan D-Phe mempunyai rasa manis yang kuat, sedangkan L-Phe, L-Tyr, L-Trp, L-Leu, L-Val, dan L-Ile mempunyai rasa pahit. Asam glutamate adalah asam amino non-esensial yang dapat memberikan rasa gurih.

Intensitas rasa gurih asam glutamate lebih tinggi dalam bentuk N-glutamat atau dikenal dengan nama Monosodium Glutamat (MSG).

Disamping dalam bentuk asam amino bebas, peptida rantai pendek juga dapat berkontribusi pada pembentukan rasa. Pembentukan rasa oleh peptide dipengaruhi oleh jenis dan urutan asam amino penyusunnya, konfigurasi molekul, hidrofobisitas rantai samping (gugus R) dan substituent pada gugus C dan N ujung. Sebagai contoh, peptide Ala-Ile-Ala, Ala-Ala-Leu, Gly-Ala-Ileu, Leu-Gln-Leu-Leu-Glu-Leu, Leu-Pro-Phe-Asn-Gln-Leu, dan Leu-Pro-Phe-Ser-Gln-Leu membentuk rasa pahit (Nashimura dan Kato, 1998). **Tabel 8.7.** memperlihatkan batas intensitas (*threshold*) rasa pahit dari beberapa jenis peptida yang berbeda dari asam amino penyusun, konfigurasi D dan L atau urutannya.

Beberapa peptida juga dapat memberikan rasa gurih. Biasanya peptida yang memberikan rasa gurih memiliki residu asam glutamat dan sejumlah asam amino hidrofobik. Umumnya peptida yang mengandung L-glutamat pada ujung N memberikan rasa gurih. Sebagai contoh, peptida Glu-Asp-Glu-Ser, Glu-Glu, Glu-Asp-Glu, Glu-Glu-Ser, Glu-Gly-Glu, dan Glu-Thr mempunyai rasa yang mirip dengan MSG (Arai *et al.*, 1973; Fujimaki *et al.*, 1973).

Tabel 8.7. Asam amino pembentukan rasa

Asam Amino	Bentuk D	Bentuk D, L-	Bentuk L-
Glisin	-	Manis	-
Alanin	Manis	Manis	Manis
Isoleusin	Manis/Pahit	Pahit	Pahit
Leusin	Manis	Manis	Pahit
Valin	Manis	Manis/pahit	Manis/pahit
Serin	Manis	Manis/pahit	Manis/pahit/asam
Theronin	Manis	Manis	Manis
Asam aspartat	Asam	Asam	Asam
Asam glutamat	Asam	Asam	Asam
Asparagin	Manis	Manis	Pahit/manis
Glutamin	Manis	Asin/pahit	Asin/pahit
Arginin	Manis/pahit	Manis/pahit	Pahit

Asam Amino	Bentuk D	Bentuk D, L-	Bentuk L-
Lisin	Manis/pahit	Manis/pahit	Manis/pahit
Sistein	Manis/pahit /asam	Manis/pahit	Manis/pahit
Fenilalanin	Manis/pahit	Manis/pahit	Pahit
Tirosin	Tawar	Tawar	Tawar
Triptofan	Sangat manis	Manis	Pahit
Histidin	Sangat manis	Manis	Pahit
Prolin	Pahit/asam	Manis/pahit/ asam	Manis/pahit

Sumber: Haefeli dan Glaser (1990).

Tabel 8.8. Batas rasa (*threshold*) dari beberapa peptida dengan konfigurasi asam amino yang berbeda

Peptida	Rasa	
	Kualitatif	Batas Intensitas Threshold (mmol/l)
Gly-Leu	Pahit	19-23
Gly-D-Leu	Pahit	20-23
Gly-Phe	Pahit	15-17
Gly-D-Phe	Pahit	15-17
Leu-Leu	Pahit	4-5
Leu-D-Leu	Pahit	5-6
D-Leu-D-Leu	Pahit	5-6
Ala-Leu	Pahit	18-22
Leu-Ala	Pahit	18-21
Gly-Leu	Pahit	19-23
Leu-Gly	Pahit	18-21
Ala-Val	Pahit	60-80
Val-Ala	Pahit	65-75
Phy-Gly	Pahit	16-18
Gly-Phe	Pahit	15-17

Peptida	Rasa	
	Kualitatif	Batas Intensitas Threshold (mmol/l)
Phe-Gly-Phe-Gly	Pahit	1.0-1.5
Phe-Gly-Gly-Phe	Pahit	1.0-1.5

Keterangan: Asam amino yang tidak disebutkan konfigurasi berarti konfigurasi L.

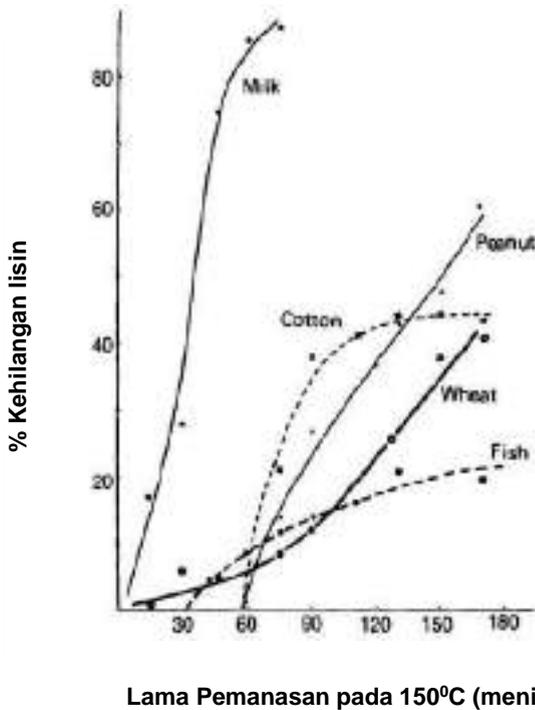
8.8. Reaksi Kimia Protein dalam Sistem Pangan

Selama proses pengolahan dan penyimpanan, protein dalam sistem pangan dapat terpapar pada kondisi yang dapat memicu interaksi kimia antara gugus fungsional protein dengan senyawa lain yang terdapat sistem pangan. Interaksi ini dapat dipicu oleh kondisi suhu, pH, aktivitas air, ion, dan radikal bebas. Hasil interaksi kimia ini dapat diinginkan atau tidak diinginkan (menyebabkan kerusakan mutu produk pangan). Jenis-jenis reaksi yang dapat terjadi pada protein dan gugus fungsional yang terlibat dapat dilihat pada **Tabel 8.9**.

Tabel 8.9. Reaksi-reaksi dalam sisten pangan yang melibatkan protein dan gugus fungsional yang terlibat

Gugus Fungsional	Reaksi	Produk yang dihasilkan
-NH ₂	Asilasi	-NH-CO-R
-NH ₂	Alkilasi reduksi dengan HCHO	-N(CH ₃) ₂
-CONH ₂	Hidrolisis	-COOH
-COOH	Esterifikasi	-COOR
-OH	Esterifikasi	-O-CO-R
-SH	Oksidasi	-S-S
-S-S-	Reduksi	-SH
-CO-NH-	Hidrolisis	-COOH + H ₂ N

Diantara reaksi penting dalam sistem pangan yang melibatkan protein adalah reaksi Maillard sebagaimana telah dibahas pada Bab 3. Reaksi Maillard melibatkan reaksi antara gula pereduksi dengan gugus amin dari asam amino bebas atau yang terikat pada struktur peptida/protein. *Pathway* dari reaksi Maillard dipengaruhi oleh jenis asam amino dan karbohidrat yang terlibat dalam reaksi sehingga dapat menghasilkan senyawa intermediet yang berbeda-beda. Namun demikian, rangkaian reaksi Maillard dari *pathway* yang berbeda akan berakhir pada tahap pembentukan senyawa melanoidin yang memberikan warna coklat.



Gambar 8.2. Persen kehilangan lisin akibat pemanasan pada beberapa jenis bahan pangan (deMan, 1999)

Sebagai contoh, asam amino lisin atau protein yang mengandung lisin lebih mudah mengalami reaksi Maillard karena adanya gugus amin tambahan yang terikat pada gugus R-nya. Hal ini menjelaskan mengapa nilai gizi protein susu yang dipanaskan

dapat menurun, karena adanya kerusakan lisin akibat bereaksi dengan gula pereduksi (laktosa) dalam reaksi Maillard. Pembentukan warna kecokelatan pada susu yang dipanaskan atau selama disimpan juga dapat terbentuk akibat dari reaksi Maillard ini. **Gambar 8.2.** Menunjukkan grafik persen kehilangan asam amino lisin akibat pemanasan pada beberapa jenis bahan pangan. Terlihat bahwa kehilangan lisin paling banyak terjadi pada susu.

Reaksi Maillard ini dapat diinginkan atau tidak dapat diinginkan. Misalnya pembentukan warna coklat pada permukaan roti setelah dipanaskan dalam oven adalah disukai, sedangkan perubahan warna susu menjadi kecokelatan setelah sterilisasi atau selama penyimpanan seperti dijelaskan di atas adalah yang tidak dikehendaki karena menunjukkan penurunan mutu susu. Disamping itu, kecepatan reaksi Maillard juga dipengaruhi oleh faktor yang lainnya, seperti pH, kadar air, oksigen, metal, sulfur dioksida, dan senyawa inhibitor.

8.9. Tugas Akhir Bab

1. Jelaskan mengapa susu yang asam akan mengalami penggumpalan?
2. Carilah dari literature atau pengamatan di lapangan terhadap prinsip pembuatan tahu! Jelaskan bagaimana protein tahu tersebut dapat mengendap dan membentuk gel!
3. Jelaskan mengapa putih telur yang diaduk dapat membentuk buih!
4. Jelaskan prinsip ekstraksi protein dari bahan pangan sumber protein!
Gunakan sifat kelarutan perotein dalam berbagai pH.
5. Carilah contoh produk pangan komersial yang menggunakan ingredient sumber protein! Jelaskan apa peran dari protein tersebut terhadap karakteristik produk pangan tersebut!
6. Jelaskan bagaimana reaksi dan kondisi yang dapat merusak struktur dan fungsi protein!

BAB 9

VITAMIN DAN MINERAL



A. Vitamin

9.1. Pendahuluan

Vitamin adalah komponen mikro yang terdapat dalam pangan yang nutrien organik yang dibutuhkan dalam jumlah kecil untuk berbagai fungsi biokimiawi dan yang umumnya tidak disintesis oleh tubuh sehingga harus dipasok dari makanan. Vitamin yang pertama kali ditemukan adalah vitamin A dan B, dan ternyata masing-masing larut dalam lemak dan larut dalam air. Kemudian ditemukan lagi vitamin-vitamin yang lain yang juga bersifat larut dalam lemak atau larut dalam air. Sifat larut dalam lemak atau larut dalam air dipakai sebagai dasar klasifikasi vitamin. Vitamin yang larut dalam air, seluruhnya diberi symbol anggota B

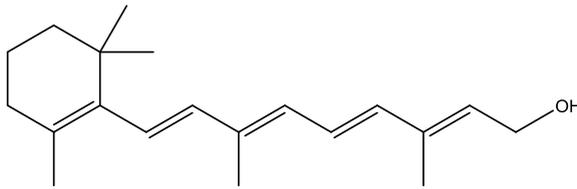
kompleks kecuali (vitamin C) dan vitamin larut dalam lemak yang baru ditemukan diberi symbol menurut abjad (vitamin A, D, E, K). Vitamin yang larut dalam air tidak pernah dalam keadaan toksisitas di didalam tubuh karena kelebihan vitamin ini akan dikeluarkan melalui urin. Vitamin adalah senyawa organik yang diperlukan oleh tubuh kita untuk mengatur metabolime tubuh agar tetap sehat dan membantu proses pertumbuhan. Tubuh kita tidak dapat memproduksi Vitamin sendiri, oleh karena itu kita perlu mendapatkan Vitamin dari berbagai makanan dan Suplemen agar kesehatan tubuh kita tetap terjaga. Pada dasarnya tubuh kita hanya memerlukan Vitamin dalam jumlah atau kadar yang sedikit, tetapi jika jumlah atau kadar yang diperlukan tersebut tidak mencukupi maka metabolisme tubuh akan terganggu sehingga menimbulkan penyakit. Gangguan kesehatan atau Penyakit yang timbul akibat kekurangan Vitamin disebut dengan istilah *Avitaminosis*.

Vitamin yang larut di dalam lemak Vitamin yang larut dalam lemak merupakan molekul hidrofobik apolar, yang semuanya adalah derivat isoprene. Molekul-molekul ini tidak disintesis tubuh dalam jumlah yang memadai sehingga harus disuplai dari makanan. Vitamin- vitamin yang larut dalam lemak ini memerlukan absorpsi lemak yang normal agar vitamin tersebut dapat diabsorpsi secara efisien. Diabsorpsi molekul vitamin tersebut harus diangkut dalam darah yaitu oleh lipoprotein atau protein pengikat yang spesifik. Yang merupakan vitamin yang larut di dalam lemak adalah vitamin A, D, E, dan K. Fungsi dalam biomedis Keadaan yang mempengaruhi proses pencernaan dan penyerapan seperti steatore dan kelainan system biliaris dapat mempengaruhi proses penyerapan vitamin- vitamin yang larut dalam lemak, sehingga dapat menimbulkan keadaan defisiensi. Defisiensi gizi akan mempengaruhi fungsi vitamin-vitamin tersebut.

9.2. Vitamin A

Vitamin A atau retinal merupakan senyawa poliisoprenoid yang mengandung cincin sikloheksenil. Vitamin A merupakan

istilah generik untuk semua senyawa dari sumber hewani yang memperlihatkan aktivitas biologik vitamin A.



Gambar 9.1. Struktur Vitamin A

Senyawa-senyawa tersebut adalah retinal, asam retinoat dan retinol. Hanya retinol yang memiliki aktivitas penuh vitamin A, yang lainnya hanya mempunyai sebagian fungsi vitamin A. Vitamin A mempunyai provitamin yaitu karoten. Pada sayuran vitamin A terdapat sebagai provitamin dalam bentuk pigmen berwarna kuning β karoten, yang terdiri atas dua molekul retinal yang dihubungkan pada ujung aldehyd rantai karbonnya. Tetapi karena β karoten tidak mengalami metabolisme yang efisien, maka β karoten mempunyai efektifitas sebagai sumber vitamin A hanya sepersepuluh retinal. Ester retinal yang terlarut dalam lemak makanan akan terdispersi di dalam getah empedu dan dihidrolisis di dalam lumen intestinum diikuti oleh penyerapan langsung ke dalam epitel intestinal. β - karoten yang dikonsumsi mungkin dipecah lewat reaksi oksidasi oleh enzim β - karoten dioksigenase. Pemecahan ini menggunakan oksigen molekuler, digalakkan dengan adanya garam-garam empedu dan menghasilkan 2 molekul retinaldehyd (retinal). Demikian pula, di dalam mukosa intestinal, retinal direduksi menjadi retinol oleh enzim spesifik retinaldehyd reduktase dengan menggunakan NADPH. Retinal dalam fraksi yang kecil teroksidasi menjadi asam retinoat. Sebagian besar retinal mengalami esterifikasi dengan asam-asam lemak dan menyatu ke dalam kilomikron limfe yang masuk ke dalam aliran darah. Bentuk ini kemudian diubah menjadi fragmen kilomikron yang diambil oleh hati bersama-sama dengan kandungan retinolnya. Di dalam hati, vitamin A disimpan dalam bentuk ester di dalam liposit, yang mungkin sebagai suatu kompleks lipoglikoprotein. Untuk pengangkutan ke jaringan, vitamin A dihidrolisis dan retinal yang terbentuk terikat dengan

protein pengikat aporetinol (RBP). Holo- RBP yang dihasilkan diproses dalam apparatus golgi dan disekresikan ke dalam plasma. Asam retinoat diangkut dalam plasma dalam keadaan terikat dengan albumin. Begitu di dalam sel-sel ekstrahepatik, retinal terikat dengan protein pengikat retinol seluler (CRBP). Toksisitas vitamin A terjadi setelah kapasitas RBP dilampaui dan sel-sel tersebut terpapar pada retinal yang terikat. Retinal dan retinol mengalami interkonversi dengan adanya enzim-enzim dehidrogenase atau reduktase yang memerlukan NAD atau NADP di dalam banyak jaringan. Namun demikian, begitu terbentuk dari retinal, asam retinoat tidak dapat diubah kembali menjadi retinal atau menjadi retinol. Asam retinoat dapat mendukung pertumbuhan dan differensiasi, tetapi tidak dapat menggantikan retinal dalam peranannya pada penglihatan atau pun retinol dalam dukungannya pada system reproduksi. Retinol setelah diambil oleh CRBP diangkut ke dalam sel dan terikat dengan protein nucleus, di dalam nucleus inilah retinal terlibat dalam pengendalian ekspresi gen-gen tertentu, sehingga retinal bekerja menyerupai hormon steroid. Retinal merupakan komponen pigmen visual rodopsin, yang mana rodopsin terdapat dalam sel-sel batang retina yang bertanggung jawab atas penglihatan pada saat cahaya kurang terang. 11-sis-Retinal yaitu isomer all - transretinal, terikat secara spesifik pada protein visual opsin hingga terbentuk rodopsin. Ketika terkena cahaya, rodopsin akan terurai serta membentuk all-trans retinal dan opsin. Reaksi ini disertai dengan perubahan bentuk yang menimbulkan saluran ion kalsium dalam membran sel batang. Aliran masuk ion-ion kalsium yang cepat akan memicu impuls syaraf sehingga memungkinkan cahaya masuk ke otak Asam retinoat turut serta dalam sintesis glikoprotein. Hal ini dapat dijelaskan bahwa asam retinoat bekerja dalam menggalakkan pertumbuhan dan differensiasi jaringan. Retinoid dan karotenoid memiliki aktivitas antikanker. Banyak penyakit kanker pada manusia timbul dalam jaringan epitel yang tergantung pada retinoid untuk berdifferensiasi seluler yang normal. β -karoten merupakan zat antioksidan dan mungkin mempunyai peranan dalam menangkap radikal bebas peroksi di dalam jaringan dengan tekanan parsial

oksigen yang rendah. Kemampuan β -karoten bertindak sebagai antioksidan disebabkan oleh stabilisasi radikal bebas peroksida di dalam struktur alkilnya yang terkonjugasi. Karena β - karoten efektif pada konsentrasi oksigen yang rendah, zat provitamin ini melengkapi sifat-sifat antioksidan yang dimiliki vitamin E yang efektif dengan konsentrasi oksigen yang lebih tinggi. Kekurangan atau defisiensi vitamin A disebabkan oleh malfungsi berbagai mekanisme seluler yang di dalamnya turut berperan senyawa-senyawa retinoid. Defisiensi vitamin A terjadi gangguan kemampuan penglihatan pada senja hari (buta senja). Ini terjadi karena ketika simpanan vitamin A dalam hati hampir habis. Depleksi selanjutnya menimbulkan keratinisasi jaringan epitel mata, paru-paru, traktus gastrointestinal dan genitourinarius, yang ditambah lagi dengan pengurangan sekresi mucus. Kerusakan jaringan mata, yaitu seroftalmia akan menimbulkan kebutaan. Defisiensi vitamin A terjadi terutama dengan dasar diet yang jelek dengan kekurangan konsumsi sayuran, buah yang menjadi sumber provitami A

Vitamin A alkohol atau akseroftol mudah dioksidasi oleh udara atau oleh senyawa oksidator lainnya dan peka terhadap sinar, sedangkan ester vitamin A relative lebih stabil terhadap oksidasi. Potensi sediaan vitamin A dihitung dari hasil pengukuran spectrum ultraviolet dan dinyatakan dalam satuan internasional (SI). Tiap SI setara dengan 0.344 μg *trans* vitamin A asetat atau 0.3 μg *trans* vitamin A.

Analisis Vitamin A

Ada beberapa metode yang dapat dilakukan dalam menganalisis vitamin A, seperti metode spektrofotometri, metode kalorimetri, metode kromatografi. Salah satu yang umum digunakan adalah metode spektrofotometri.

Metode Spektrofotometri:

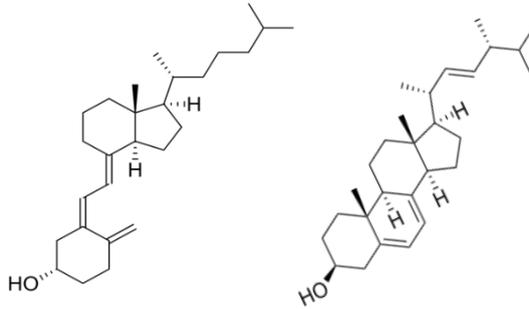
Spektrum absorpsi ultraviolet vitamin A dan vitamin A asetat mempunyai absorbansi maksimal pada panjang gelombang antara 325 sampai 328 nm dalam berbagai pelarut. Larutan vitamin

A dalam isopropanol absorbansinya diukur pada λ_{maks} dan pada dua titik, yakni satu disebelah kanan λ_{maks} dan satunya lagi pada sebelah kiri λ_{maks} . Absorbansi pada λ_{maks} dikoreksi terhadap senyawa pengganggu dengan menggunakan formula koreksi karena senyawa-senyawa ini akan ikut menyerap pada daerah UV. Beberapa pengganggu, terutama pada minyak ikan adalah vitamin A₂, kitol, anhidro vitamin A, dan asam polien. Pada vitamin A sintetik senyawa pengganggunya adalah senyawa-senyawa intermediet. Dengan demikian senyawa pengganggu pada vitamin A sintetik dengan minyak ikan berbeda.

Untuk mengoreksi pembacaan pada absorbansi maksimum, Morton dan Stubbs mengemukakan koreksi geometrik. Jika larutan vitamin A menyerap lurus pada daerah panjang gelombang 325-328 nm maka koreksi geometri dapat digunakan. Koreksi ini digunakan untuk mengoreksi senyawa pengganggu yang mempunyai absorbansi tetap, akan tetapi kesalahan yang besar akan terjadi apabila formula koreksi ini digunakan terhadap pengganggu yang tidak lurus.

9.3. Vitamin D

Dari beberapa vitamin D, dua diantaranya dianggap yang paling penting yaitu vitamin D₂ (ergo kalsiferol) dan vitamin D₃ (kolekalsiferol). Struktur kedua vitamin ini sangat mirip. Dalam AOAC, analisis kuantitatif vitamin D dalam minyak yang mengandung ≥ 100.00 SI kolekalsiferol atau vitamin D₃/g, dalam resin yang mengandung $\geq 20.000.000$ SI kolekalsiferol/gram, dan dalam serbuk atau disperse cair yang mengandung ≥ 25.000 SI kolekalsiferol/g dilakukan dengan menggunakan metode kromatografi cair kinerja tinggi dengan kolom kromatografi Lichrosorb SI 60 (ukuran partikel 5 μm) menggunakan detector UV 254 nm (sensitifitas detector 0.128 AUFS). Fase gerak: n-heksana: n-amin alcohol (997:3 v/v). Kecepatan alir fase gerak 2 mL/ menit (1 atm), sementara volume injeksi 20 μl .



Gambar 9.2. Struktur Vitamin D2 dan D3

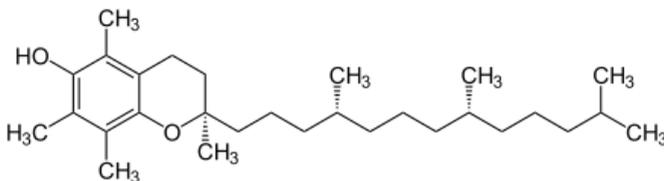
Prinsip analisisnya adalah konsentrat padat atau dispersi cair disabunkan dan diekstraksi. Larutan minyak dan resin yang mengandung vitamin dilarutkan dalam pelarut yang sesuai. Vitamin D dan previtamin D dipisahkan dari campuran dengan menggunakan kromatografi cair. Previtamin D dihitung sebagai vitamin D menggunakan faktor kalibrasi. Vitamin D merupakan jumlah dari vitamin D dan previtamin D. Vitamin D₂ banyak terdapat dalam bahan nabati, sementara vitamin D₃ banyak terdapat dalam minyak ikan hati. Vitamin D merupakan pro-hormon steroid. Vitamin ini diwakili oleh sekelompok senyawa steroid yang terutama terdapat pada hewan, tetapi juga terdapat dalam tanaman serta ragi. Melalui berbagai proses metabolik, vitamin D dapat menghasilkan suatu hormon yaitu Kalsitriol, yang mempunyai peranan sentral dalam metabolisme kalsium dan fosfat. Vitamin D dihasilkan dari provitamin ergosterol dan 7- dehidrokolesterol. Ergosterol terdapat dalam tanaman dan 7-dehidrokolesterol dalam tubuh hewan. Ergokalsiferol (vitamin D2) terbentuk dalam tanaman, sedangkan di dalam tubuh hewan akan terbentuk kolekalsiferol (vitamin D3) pada kulit yang terpapar cahaya. Kedua bentuk vitamin tersebut mempunyai potensi yang sama, yaitu masing-masing dapat menghasilkan kalsitriol D2 dan D3. Vitamin D3 ataupun D2 dari makanan diekstraksi dari dalam darah (dalam keadaan terikat dengan globulin spesifik), setelah absorpsi dari misel dalam intestinum. Vitamin tersebut mengalami hidrosilasi pada posisi -25 oleh enzim vitamin D3 - 25 hidrosikolekalsiferol, yaitu suatu enzim

pada retikulum endoplasmic yang dianggap membatasi kecepatan reaksi. 25- hidroksi D3 merupakan bentuk utama vitamin D dalam sirkulasi darah dan bentuk cadangan yang utama dalam hati. Dalam tubulus ginjal, tulang dan plasenta, 25-hidroksi3 selanjutnya mengalami hidroksilasi dalam posisi 1 oleh enzim 25-hidroksiD3 1-hidroksilase, yakni suatu enzim mitokondria. Hasilnya adalah 1,25-dihidroksi D3 (kalsitriol), yaitu metabolit vitamin D yang paling paten. Produksi hasil ini diatur oleh konsentrasinya sendiri, hormon paratiroid dan fosfat dalam serum. Defisiensi atau kekurangan vitamin D menyebabkan penyakit rakhtis terdapat pada anakanak dan osteomalasia pada orang dewasa. Kelainan disebabkan oleh pelunakan tulang yang terjadi akibat kekurangan kalsium dan fosfat. Ikan berlemak, kuning telur dan hati merupakan sumber vitamin D yang baik.

9.4. Vitamin E

Merupakan salah satu vitamin yang larut dalam lemak. Keaktifan vitamin E beberapa senyawa tokoferol berbeda. Dikenal α -; β -; γ -; dan δ -tokoferol. α -tokoferol menunjukkan keaktifan vitamin E yang paling tinggi. Struktur kimia tokoferol dapat diperhatikan pada gambar 9.3. Alfa-tokoferol alam memutar bidang polarisasi ke kanan, sedangkan alfa-tokoferol buatan adalah reseмик (DL). Tokoferol lainnya (beta, gamma dan delta) kurang penting karena potensi hayatinya rendah. Berbagai bentuk alfa-tokoferol telah diketahui potensinya yaitu:

1 mg L- α -tokoferol asetat	1 SI
1 mg (D-L)- α -tokoferol	1,1 SI
1 mg D- α -tokoferol asetat	1,36 SI
1 mg D- α -tokoferol	1,49 SI



Gambar 9.3. Struktur Kimia Tokoferol

Tokoferol bebas cepat dioksidasi oleh udara dan sinar karenanya dalam perdagangan digunakan tokoferol ester yang stabil. Vitamin E (Tokoferol) Ada beberapa jenis tokoferol dalam bentuk alami. Semuanya merupakan 6- hidrosikromana atau tokol yang tersubsitusi isoprenoid. Penyerapan aktif lemak meningkatkan absorpsi vitamin E. Gangguan penyerapan lemak dapat menimbulkan defisiensi vitamin E. Vitamin E di dalam darah diangkut oleh lipoprotein, pertama lewat penyatuan ke dalam kilomikron yang mendistribusikan vitamin ke jaringan yang mengandung lipoprotein lipase serta ke hati dalam fragmen sisa kilomikron, dan kedua, lewat pengeluaran dari dalam hati dalam lipoprotein berdensitas sangat rendah (VLDL). Vitamin E disimpan dalam jaringan adiposa Vitamin E (tokoferol) bertindak sebagai antioksidan dengan memutuskan berbagai reaksi rantai radikal bebas sebagai akibat kemampuannya untuk memindahkan hydrogen fenolat kepada radikal bebas perksil dari asam lemak tak jenuh ganda yang telah mengalami peroksidasi. Radikal bebas fenoksi yang terbentuk kemudian bereaksi dengan radikal bebas peroksil selanjutnya. Dengan demikian α - tokoferol tidak mudah terikat dalam reaksi oksidasi yang reversible, cincin kromana dan rantai samping akan teroksidasi menjadi produk non radikal bebas. Defisiensi atau kekurangan vitamin E dapat menimbulkan anemia pada bayi yang baru lahir. Kebutuhan akan vitamin E meningkat bersamaan dengan semakin besarnya masukan lemak tak- jenuh ganda. Asupan minyak mineral, keterpaparan terhadap oksigen (seperti dalam tenda oksigen) atau berbagai penyakit yang menyebabkan tidak efisiennya penyerapan lemak akan menimbulkan defisiensi vitamin E yang menimbulkan gejala neurologi.

Penetapan Kadar Tokoferol

Beberapa metode yang dapat dilakukan untuk penetapan kadar tokoferol, adalah:

a. Metode serimetri

Metode serimetri berdasarkan atas sifat mereduksi tokoferol setelah tokoferol asetat dihidrolisis dengan asam. Tokoferol tidak stabil dalam larutan basa. Pengukurannya: Lebih kurang 250 mg tokoferol asetat ditimbang seksama, dimasukkan ke dalam labu coklat kuning dasar bulat 100 ml dan dilarutkan dalam 25 ml etanol mutlak. Larutan ditambah 20 ml larutan asam sulfat 15% v/v dalam etanol 95%, lalu direfluks selama 3 jam dan didinginkan. Larutan dipindahkan ke dalam labu takar coklat kuning 200 mL dan diencerkan dengan etanol mutlak secukupnya hingga 200 mL. Sebanyak 50,0 mL larutan yang diukur secara seksama ditambah 50 mL larutan asam sulfat 1,5% v/v dalam etanol 95% dan 20 mL air. Sambil dicampur baik-baik, larutan dititrasasi dengan serium (IV) sulfat 0,01 N menggunakan indikator 2 tetes difenilamin. Titrasi dilakukan terlindung dari cahaya langsung, sebaiknya di tempat gelap, dengan tetesan diatur tiap 10 detik. Dilakukan juga titrasi blanko, tiap mL serium (IV) sulfat 0.01 N setara dengan 2,3638 mg tokoferol asetat.

b. Metode spektrofotometri

Alfa-tokoferol dalam etanol 95% menunjukkan absorbansi maksimum pada 292 nm dan minimum pada 257 nm. Jika digunakan pelarut sikloheksana maka alfa-tokoferol menunjukkan absorbansi maksimum pada 298 nm dan minimum 257 nm. Alfa tokoferol asetat dalam etanol 95% menunjukkan absorbansi maksimum pertama pada 284 nm dan kedua pada 279 nm serta absorbansi minimum di 281 nm. Dalam sikloheksan, alfa-tokoferol menunjukkan absorbansi maksimum ketiga pada 288 nm dengan maksimum pada 286 nm. Untuk penetapan kada alfa-tokoferol dalam etanol digunakan panjang gelombang 292 nm atau 298 nm dalam sikloheksan. Untuk penetapan kadar alfa-tokoferol asetat, absorbansi larutan diukur pada panjang gelombang 284 nm dan dapat digunakan untuk kedua pelarut tersebut. Kadar alfa-tokoferol dihitung berdasarkan kurva baku.

Ada beberapa metode lain yang dapat dilakukan untuk mengukur kadar tokoferol, seperti metode kalorimetri, dan KLT.

Vitamin E dirusak oleh pemasakan dan pengolahan makanan yang bersifat komersial, termasuk pembekuan. Benih gandum, minyak biji bunga matahari serta biji softlower, dan minyak jagung serta kedelai, semuanya merupakan sumber vitamin E yang baik.

9.5. Vitamin K

Vitamin yang tergolong ke dalam kelompok vitamin K adalah naftokuinon tersubsitusi - poliisoprenoid. Menadion (K3), yaitu senyawa induk seri vitamin K, tidak ditemukan dalam bentuk alami tetapi jika diberikan, secara *in vivo* senyawa ini akan mengalami alkilasi menjadi salah satu menakuinon (K2). Filokuinon (K1) merupakan bentuk utama vitamin K yang ada dalam tanaman. Menakuinon - 7 merupakan salah satu dari rangkaian bentuk tak jenuh polireinoid dari vitamin K yang ditemukan dalam jaringan binatang dan disintesis oleh bakteri dalam intestinum. Penyerapan vitamin K memerlukan penyerapan lemak yang normal. Malabsorpsi lemak merupakan penyebab paling sering timbulnya defisiensi vitamin K. Derivat vitamin K dalam bentuk alami hanya diserap bila ada garam-garam empedu, seperti lipid lainnya, dan didistribusikan dalam aliran darah lewat system limfatik dalam kilomikron. Menadion, yang larut dalam air, diserap bahkan dalam keadaan tanpa adanya garam-garam empedu, dengan melintas langsung ke dalam vena porta hati. Vitamin K ternyata terlibat dalam pemeliharaan kadar normal factor pembekuan darah II, VII, IX dan X, yang semuanya disintesis di dalam hati mula-mula sebagai precursor inaktif. Vitamin K bekerja sebagai kofaktor enzim karboksilase yang membantu residu α - karboksiglutamat dalam protein precursor. Reaksi karboksilase yang tergantung vitamin K terjadi dalam retikulum endoplasmic. Banyak jaringan dan memerlukan oksigen molekuler, karbondioksida serta hidrokuinon (tereduksi) vitamin K dan di dalam siklus ini, produk 2,3 epoksida dari reaksi karboksilase diubah oleh enzim 2,3 epoksida reduktase menjadi bentuk kuinon vitamin K dengan menggunakan zat pereduksi ditiol yang masih belum teridentifikasi. Reduksi

selanjutnya bentuk kuinon menjadi hidrokuinon oleh NADH melengkapi siklus vitamin K untuk menghasilkan kembali bentuk aktif vitamin tersebut. Defisiensi atau kekurangan vitamin K dapat menyebabkan terjadinya penyakit hemoragik pada bayi baru lahir. Hal ini disebabkan karena plasenta tidak meneruskan vitamin K secara efisien. Vitamin K tersebar luas dalam jaringan tanaman dan hewan yang digunakan sebagai bahan makanan dan produksi vitamin K oleh mikroflora intestinal pada hakekatnya menjamin tidak terjadinya defisiensi vitamin K. Defisiensi vitamin K dapat terjadi oleh malabsorpsi lemak yang mungkin menyertai disfungsi pancreas, penyakit biliaris, atrofi mukosa intestinal atau penyebab steatore lainnya. Di samping itu, sterilisasi usus besar oleh antibiotik juga dapat mengakibatkan defisiensi vitamin K. Disamping vitamin yang larut dalam lemak, beberapa vitamin lain dapat larut dalam air, yang fungsinya dalam biomedis. Tidak adanya vitamin atau defisiensi relatif vitamin dalam diet akan menimbulkan berbagai keadaan defisiensi dan penyakit yang khas. Defisiensi vitamin tunggal dari kelompok B kompleks jarang terjadi, karena diet yang jelek paling sering disertai dengan keadaan defisiensi multiple.

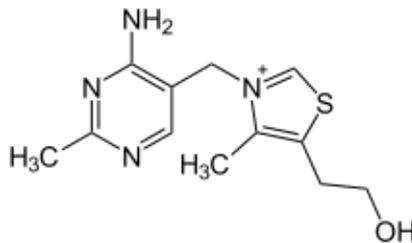
Vitamin yang larut di dalam air kelompok dari vitamin B kompleks merupakan kofaktor dalam berbagai reaksi enzimatik yang terdapat di dalam tubuh kita.

Vitamin B yang penting bagi nutrisi manusia adalah: Tiamin (vitamin B 1), Riboflavin (vitamin B2), Niasin (asam nikotinat, nikotinamida, vitamin B3), Asam pantotenat (vitamin B5) , Vitamin B6 (piridoksin, pridoksal, piridoksamin), Biotin, Vitamin B12 (kobalamin), Asam folat. Karena kelarutannya dalam air, kelebihan vitamin ini akan diekskresikan ke dalam urin dan dengan demikian jarang tertimbun dalam konsentrasi yang toksik. Penyimpanan vitamin B kompleks bersifat terbatas (kecuali kobalamin) sebagai akibatnya vitamin B kompleks harus dikonsumsi secara teratur.

9.6. Tiamin

Tiamin tersusun dari pirimidin tersubsitusi yang dihubungkan oleh jembatan metilen dengan tiazol tersubsitusi.

Bentuk aktif dari tiamin adalah tiamin difosfat, di mana reaksi konversi tiamin menjadi tiamin difosfat tergantung oleh enzim tiamin difosfotransferase dan ATP yang terdapat di dalam otak dan hati. Tiamin difosfat berfungsi sebagai koenzim dalam sejumlah reaksi enzimatik dengan mengalihkan unit aldehid yang telah diaktifkan yaitu pada reaksi: 1. Dekarboksilasi oksidatif asam-asam α - keto (misalnya α - ketoglutarat, piruvat, dan analog α - keto dari leusin isoleusin serta valin). 2. Reaksi transketolase (misalnya dalam lintasan pentosa fosfat). Semua reaksi ini dihambat pada defisiensi tiamin.



Gambar 9.4. Tiamin

Dalam setiap keadaan tiamin difosfat menghasilkan karbon reaktif pada tiazol yang membentuk karbanion, yang kemudian ditambahkan dengan bebas kepada gugus karbonil, misalnya piruvat. Senyawa adisi kemudian mengalami dekarboksilasi dengan membebaskan CO₂. Reaksi ini terjadi dalam suatu kompleks multienzim yang dikenal sebagai kompleks piruvat dehidrogenase. Dekarboksilasi oksidatif α - ketoglutarat menjadi suksinil ko-A dan CO₂ dikatalisis oleh suatu kompleks enzim yang strukturnya sangat serupa dengan struktur kompleks piruvat dehidrogenase. Defisiensi tiamin Pada manusia yang mengalami defisiensi tiamin mengakibatkan reaksi yang tergantung pada tiamin difosfat akan dicegah atau sangat dibatasi, sehingga menimbulkan penumpukan substrat untuk reaksi tersebut, misalnya piruvat, gula pento dan derivat α - ketoglutarat dari asam amino rantai bercabang leusin, isoleusin serta valin. Tiamin didapati hampir pada semua tanaman dan jaringan tubuh hewan yang lazim digunakan sebagai makanan, tetapi kandungannya biasanya kecil. Biji-bijian yang tidak digiling sempurna dan daging merupakan sumber tiamin yang baik.

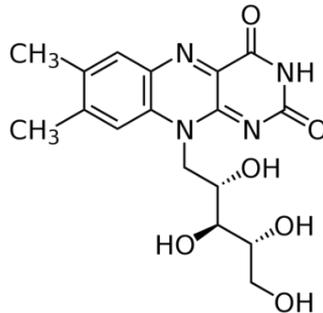
Penyakit beri-beri disebabkan oleh diet kaya karbohidrat rendah tiamin, misalnya beras giling atau makanan yang sangat dimurnikan seperti gula pasir dan tepung terigu berwarna putih yang digunakan sebagai sumber makanan pokok. Gejala dini defisiensi tiamin berupa neuropati perifer, keluhan mudah capai, dan anoreksia yang menimbulkan edema dan degenerasi kardiovaskuler, neurologis serta muskuler. Encefalopati Wernicke merupakan suatu keadaan yang berhubungan dengan defisiensi tiamin yang sering ditemukan diantara para peminum alkohol kronis yang mengkomsumsi hanya sedikit makanan lainnya. Ikan mentah tertentu mengandung suatu enzim (tiaminase) yang labil terhadap panas, enzim ini merusak tiamin tetapi tidak dianggap sebagai masalah yang penting dalam nutrisi manusia.

9.7. Riboflavin

Riboflavin terdiri atas sebuah cincin isoaloksazin heterosiklik yang terikat dengan gula alcohol, ribitol. Jenis vitamin ini berupa pigmen fluoresen berwarna yang relatif stabil terhadap panas tetapi terurai dengan cahaya yang visible. Bentuk aktif riboflavin adalah flavin mononukleatida (FMN) dan flavin adenin dinukleotida (FAD). FMN dibentuk oleh reaksi fosforilasi riboflavin yang tergantung pada ATP sedangkan FAD disintesis oleh reaksi selanjutnya dengan ATP dimana bagian AMP dalam ATP dialihkan kepada FMN. FMN dan FAD berfungsi sebagai gugus prostetik enzim oksidoreduktase, di mana gugus prostetiknya terikat erat tetapi nonkovalen dengan apoproteinnya.

Enzim-enzim ini dikenal sebagai flavoprotein. Banyak enzim flavoprotein mengandung satu atau lebih unsur metal seperti molibdenum serta besi sebagai kofaktor esensial dan dikenal sebagai metaloflavoprotein. Enzim-enzim flavoprotein tersebar luas dan diwakili oleh beberapa enzim oksidoreduktase yang penting dalam metabolisme mamalia, misalnya oksidase asam α amino dalam reaksi deaminasi asam amino, santin oksidase dalam penguraian purin, aldehyd dehidrogenase, gliserol 3 fosfat dehidrogenase mitokondria dalam proses pengangkutan sejumlah ekuivalen

pereduksi dari sitosol ke dalam mitokondria, suksinat dehidrogenase dalam siklus asam sitrat, Asil ko A dehidrogenase, serta flavoprotein pengalih electron dalam oksidasi asam lemak dan dihidrolipoil dehidrogenase dalam reaksi dekarboksilasi oksidatif piruvat serta áketoglutarat, NADH dehidrogenase merupakan komponen utama rantai respiratorik dalam mitokondria. Semua system enzim ini akan terganggu pada defisiensi riboflavin.

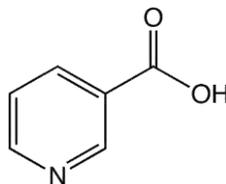


Gambar 9.5. Struktur Riboflavin

Dalam peranannya sebagai koenzim, flavoprotein mengalami reduksi reversible cincin isoaloksazin hingga menghasilkan bentuk FMNH₂ dan FADH₂. Defisiensi Riboflavin Bila ditinjau dari fungsi metaboliknya yang luas, kita heran melihat defisiensi riboflavin tidak menimbulkan keadaan yang bisa membawa kematian. Namun demikian kalau terjadi defisiensi tiamin, berbagai gejala seperti stomatitis angularis, keilosis, glositis, seboroik dan fotofobia. Riboflavin disintesis dalam tanaman dan mikroorganisme, namun tidak dibuat dalam tubuh mamalia. Ragi, hati dan ginjal merupakan sumber riboflavin yang baik dan vitamin ini diabsorpsi dalam intestinum lewat rangkaian reaksi fosforilasi - defosforilasi di dalam mukosa. Berbagai hormon (misalnya hormon tiroid dan ACTH), obat-obatan (misalnya klorpromazin, suatu inhibitor kompetitif) dan faktor-faktor nutrisi mempengaruhi konversi riboflavin menjadi bentuk-bentuk kofaktornya. Karena sensitivitasnya terhadap cahaya, defisiensi riboflavin dapat terjadi pada bayi yang baru lahir dengan hiperbilirubinemia yang mendapat fototerapi.

9.8. Niasin

Niasin merupakan nama generik untuk asam nikotinat dan nikotinamida yang berfungsi sebagai sumber vitamin tersebut dalam makanan. Asam nikotinat merupakan derivat asam monokarboksilat dari piridin. Bentuk aktif sari niasin adalah Nikotinamida Adenin Dinukleotida (NAD^+) dan Nikotinamida Adenin Dinukleotida Fosfat (NADP^+). Nikotinat merupakan bentuk niasin yang diperlukan untuk sintesis NAD^+ dan NADP^+ oleh enzim-enzim yang terdapat pada sitosol sebagian besar sel. Karena itu, setiap nikotinamida dalam makanan, mula-mula mengalami deamidasi menjadi nikotinat. Dalam sitosol nikotinat diubah menjadi diasetamido NAD^+ melalui reaksi yang mula-mula dengan 5- fosforibosil -1-pirofosfat (PRPP) dan kemudian melalui adenilasi dengan ATP. Gugus amido pada glutamin akan turut membentuk koenzim NAD^+ . Koenzim ini bisa mengalami fosforilasi lebih lanjut sehingga terbentuk NADP^+ . Fungsi Niasin Nukleotida nikotinmida mempunyai peranan yang luas sebagai koenzim pada banyak enzim dehidrogenase yang terdapat di dalam sitosol ataupun mitokondria. Dengan demikian vitamin niasin merupakan komponen kunci pada banyak lintasan metabolic yang mengenai metabolisme karbohidrat, lipid serta asam amino. NAD^+ dan NADP^+ merupakan koenzim pada banyak enzim oksidoreduktase. Enzim-enzim dehidrogenase yang terikat dengan NAD^+ mengkatalisis reaksi oksidoreduksi dalam lintasan oksidatif misalnya siklus asam sitrat, sedangkan enzim-enzim dehidrogenase yang terikat dengan NADP^+ ditemukan dalam lintasan yang berhubungan dengan sintesis reduktif misalnya lintasan pentosa fosfat.



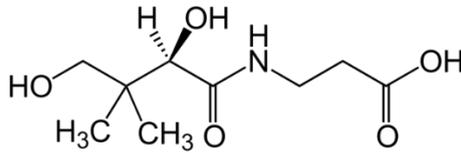
Gambar 9.6. Struktur Niasin

Defisiensi Niasin Kekurangan niasin menimbulkan sindroma defisiensi pellagra, gejalanya mencakup penurunan BB, berbagai

kelainan pencernaan, dermatitis, depresi dan demensia. Niasin ditemukan secara luas dalam sebagian besar makanan hewani dan nabati. Asam amino esensial triptofan dapat diubah menjadi niasin (NAD^+) dimana setiap 60 mg triptofan dapat dihasilkan 1 mg niasin. Terjadinya defisiensi niasin apabila kandungan makanan kurang mengandung niasin dan triptofan. Tetapi makanan dengan kandungan leusin yang tinggi dapat menimbulkan defisiensi niasin karena kadar leusin yang tinggi dalam diet dapat menghambat kuinolinat fosforibosi transferase yaitu suatu enzim kunci dalam proses konversi triptofa menjadi NAD^+ . Piridoksal fosfat yang merupakan bentuk aktif dari vitamin B6 juga terlibat sebagai kofaktor dalam sintesis NAD^+ dari triptofan. Sehingga defisiensi vitamin B6 dapat mendorong timbulnya defisiensi niasin.

9.9. Asam Pantotenat

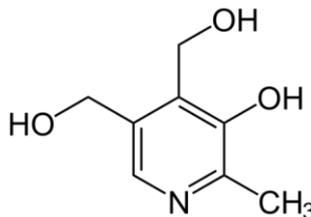
Asam pantotenat dibentuk melalui penggabungan asam pantoat dengan alanin. Asam pantoneat aktif adalah Koenzim A (Ko A) dan Protein Pembawa Asil (ACP). Asam pantoneat dapat diabsorpsi dengan mudah dalam intestinum dan selanjutnya mengalami fosforilasi oleh ATP hingga terbentuk 4'- fosfopantoneat. penambahan sistein dan pengeluaran gugus karboksilnya mengakibatkan penambahan netto tiotanolamina sehingga menghasilkan 4' - fosfopantein, yakni gugus prostetik pada ko A dan ACP. Ko A mengandung nukleotida adenin. Dengan demikian 4' - fosfopantein akan mengalami adenilasi oleh ATP hingga terbentuk defosfo koA. Fosforilasi akhir terjadi pada ATP dengan menambahkan gugus fosfat pada gugus 3 - hidroksil dalam moitas ribose untuk menghasilkan ko A. Defisiensi Asam pantoneat Kekurangan asam pantoneat jarang terjadi karena asam pantoneat terdapat secara luas dalam makanan, khususnya dalam jumlah yang berlimpah dalam jaringan hewan, sereal utuh dan kacang-kacangan. Namun demikian, *burning foot syndrom* pernah terjadi diantara para tawanan perang akibat defisiensi asam pantoneat dan berhubungan dengan menurunnya kemampuan asetilasi.



Gambar 9.7. Asam Pantotenat

9.10. Vitamin B6

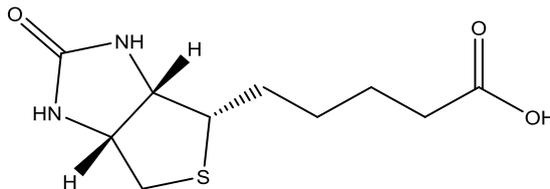
Vitamin B6 terdiri atas derivat piridin yang berhubungan erat yaitu piridoksin, piridoksal serta piridoksamin dan derivat fosfatnya yang bersesuaian. Bentuk aktif dari vitamin B6 adalah piridoksal fosfat, di mana semua bentuk vitamin B6 diabsorpsi dari dalam intestinum, tetapi hidrolisis tertentu senyawa-senyawa ester fosfat terjadi selama proses pencernaan. Piridoksal fosfat merupakan bentuk utama yang diangkut dalam plasma. Sebagian besar jaringan mengandung piridoksal kinase yang dapat mengkatalisis reaksi fosforilasi oleh ATP terhadap bentuk vitamin yang belum terfosforilasi menjadi masing-masing derivat ester fosfatnya. Piridoksal fosfat merupakan koenzim pada beberapa enzim dalam metabolisme asam amino pada proses transaminasi, dekarboksilasi atau aktivitas aldolase. Piridoksal fosfat juga terlibat dalam proses glikogenolisis yaitu pada enzim yang memperantarai proses pemecahan glikogen. Defisiensi Vitamin B6 Kekurangan vitamin B6 jarang terjadi dan setiap defisiensi yang terjadi merupakan bagian dari defisiensi menyeluruh vitamin B kompleks. Namun defisiensi vitamin B6 dapat terjadi selama masa laktasi, pada alkoholik dan juga selama terapi isoniazid. Hati, ikan mackel, alpukat, pisang, daging, sayuran dan telur merupakan sumber vitamin B6 yang terbaik.



Gambar 9.8. Stuktur Vitamin B6

9.11. Biotin.

Biotin merupakan derivat imidazol yang tersebar luas dalam berbagai makanan alami. Karena sebagian besar kebutuhan manusia akan biotin dipenuhi oleh sintesis dari bakteri intestinal, defisiensi biotin tidak disebabkan oleh defisiensi ditarik biasa tetapi oleh cacat dalam penggunaan. Biotin merupakan koenzim pada berbagai enzim karboksilase. Defisiensi biotin Gejala defisiensi biotin adalah depresi, halusinasi, nyeri otot dan dermatitis. Putih telur mengandung suatu protein yang labil terhadap panas yakni avidin. Protein ini akan bergabung kuat dengan biotin sehingga mencegah penyerapannya dan menimbulkan defisiensi biotin. Konsumsi telur mentah dapat menyebabkan defisiensi biotin. Tidak adanya enzim holokarboksilase sintase yang melekatkan biotin pada residu lisin apoenzim karboksilat, juga menyebabkan gejala defisiensi biotin, termasuk akumulasi substrat dari enzim-enzim yang tergantung pada biotin (piruvat karboksilase, asetyl ko A karboksilase, propionil ko A karboksilase dan β - metilkrotonil ko A). Pada sebagian kasus, anak-anak dengan defisiensi ini juga menderita penyakit defisiensi kekebalan

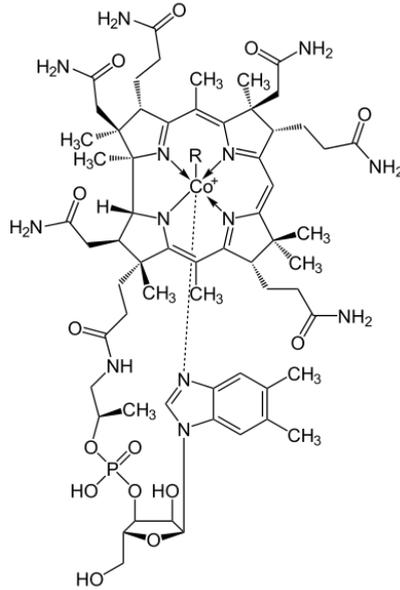


Gambar 9.9. Struktur Kimia Biotin

9.12. Vitamin B12 (Kobalamin)

Vitamin B12 (kobalamin) mempunyai struktur cincin yang kompleks (cincin corrin) dan serupa dengan cincin porfirin, yang pada cincin ini ditambahkan ion kobalt di bagian tengahnya. Vitamin B12 disintesis secara eksklusif oleh mikroorganisme. Dengan demikian, vitamin B12 tidak terdapat dalam tanaman kecuali bila tanaman tersebut terkontaminasi vitamin B12 tetapi tersimpan pada binatang di dalam hati tempat vitamin B12 ditemukan dalam bentuk

metilkobalamin, adenosilkobalamin, dan hidrosikobalamin. Absorpsi intestinal vitamin B12 terjadi dengan perantara tempat-tempat reseptor dalam ileum yang memerlukan pengikatan vitamin B12, suatu glikoprotein yang sangat spesifik yaitu faktor intrinsik yang disekresi sel-sel parietal pada mukosa lambung. Setelah diserap vitamin B12 terikat dengan protein plasma, transkobalamin II untuk pengangkutan ke dalam jaringan. Vitamin B12 disimpan dalam hati terikat dengan transkobalamin I. Koenzim vitamin B12 yang aktif adalah metilkobalamin dan deoksiadenosilkobalamin. Metilkobalamin merupakan koenzim dalam konversi Homosistein menjadi metionin dan juga konversi Metiltetrahidrofolat menjadi tetrahidrofolat. Deoksiadenosilkobalamin adalah koenzim untuk konversi metilmalonil Ko A menjadi suksinil Ko A. Kekurangan atau defisiensi vitamin B12 menyebabkan anemia megaloblastik. Karena defisiensi vitamin B12 akan mengganggu reaksi metionin sintase. Anemia terjadi akibat terganggunya sintesis DNA yang mempengaruhi pembentukan nukleus pada eritrosit yang baru. Keadaan ini disebabkan oleh gangguan sintesis purin dan pirimidin yang terjadi akibat defisiensi tetrahidrofolat. Homosistinuria dan metilmalonat asiduria juga terjadi. Kelainan neurologik yang berhubungan dengan defisiensi vitamin B12 dapat terjadi sekunder akibat defisiensi relatif metionin.

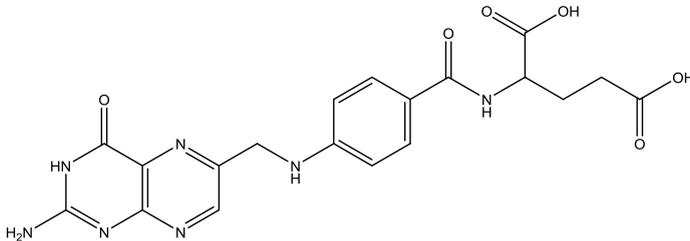


Gambar 9.10. Struktur Kimia Kobalamin

9.13. Asam Folat

Asam Folat nama generiknya adalah folasin. Asam folat ini terdiri dari basa pteridin yang terikat dengan satu molekul masing-masing asam P-aminobenzoat acid (PABA) dan asam glutamat. Tetrahydrofolat merupakan bentuk asam folat yang aktif. Makanan yang mengandung asam folat akan dipecah oleh enzim-enzim usus spesifik menjadi monoglutamil folat agar bisa diabsorpsi. Kemudian oleh adanya enzim folat reduktase sebagian besar derivat folat akan direduksi menjadi tetrahydrofolat dalam sel intestinal yang menggunakan NADPH sebagai donor ekuivalen pereduksi. Tetrahydrofolat ini merupakan pembawa unit-unit satu karbon yang aktif dalam berbagai reaksi oksidasi yaitu metil, metilen, metenil, formil dan formimino. Semuanya bisa dikonversikan. Serin merupakan sumber utama unit satu karbon dalam bentuk gugus metilen yang secara reversible beralih kepada tetrahydrofolat hingga terbentuk glisin dan N5, N10 - metilen - H4 folat yang mempunyai peranan sentral dalam metabolisme unit satu karbon. Senyawa di

atas dapat direduksi menjadi N5 - metil - H4 folat yang memiliki peranan penting dalam metilasi homosistein menjadi metionin dengan melibatkan metilkobalamin sebagai kofaktor. Defisiensi atau kekurangan asam folat dapat menyebabkan anemia megaloblastik karena terganggunya sintesis DNA dan pembentukan eritrosit. II.9. Asam Askorbat Bentuk aktif vitamin C adalah asam askorbat itu sendiri dimana fungsinya sebagai donor ekuivalen pereduksi dalam sejumlah reaksi penting tertentu. Asam askorbat dioksidasi menjadi asam dehidroaskorbat, yang dengan sendirinya dapat bertindak sebagai sumber vitamin tersebut. Asam askorbat merupakan zat pereduksi dengan potensial hydrogen sebesar +0,008 V, sehingga membuatnya mampu untuk mereduksi senyawa-senyawa seperti oksigen molekuler, nitrat, dan sitokrom a serta c.



Gambar 9.11. Stuktur Kimia Asam Folat

Mekanisme kerja asam askorbat dalam banyak aktivitasnya masih belum jelas, tetapi proses di bawah ini membutuhkan asam askorbat:

1. Hidroksilasi prolin dalam sintesis kolagen.
2. Proses penguraian tirosin, oksidasi Hidroksi -fenilpiruvat menjadi homogentisat memerlukan vitamin C yang bisa mempertahankan keadaan tereduksi pada ion tembaga yang diperlukan untuk memberikan aktivitas maksimal.
3. Sintesis epinefrin dari tirosin pada tahap dopamine-hidroksilase.
4. Pembentukan asam empedu pada tahap awal 7 alfa - hidroksilase.

5. Korteks adrenal mengandung sejumlah besar vitamin C yang dengan cepat akan terpakai habis kalau kelenjer tersebut dirangsang oleh hormon adrenokortikotropik.
6. Penyerapan besi digalakkan secara bermakna oleh adanya vitamin C.
7. Asam askorbat dapat bertindak sebagai antioksidan umum yang larut dalam air dan dapat menghambat pembentukan nitrosamin dalam proses pencernaan. Defisiensi atau kekurangan asam askorbat menyebabkan penyakit skorbut, penyakit ini berhubungan dengan gangguan sintesis kolagen yang diperlihatkan dalam bentuk perdarahan subkutan serta perdarahan lainnya, kelemahan otot, gusi yang bengkak dan menjadi lunak dan tanggalnya gigi, penyakit skorbut dapat disembuhkan dengan memakan buah dan sayur-sayuran yang segar. Cadangan normal vitamin C cukup untuk 34 bulan sebelum tanda-tanda penyakit skorbut.

B. Mineral

Sebagian besar bahan makanan, yaitu 96% terdiri atas bahan organik dan air. Sisanya terdiri atas unsur-unsur mineral. Unsur mineral juga dikenal sebagai bahan anorganik atau kadar abu. Mineral dibagi menjadi 2, yaitu mineral makro (dibutuhkan tubuh dalam jumlah yang besar) seperti natrium, kalium, klorida, kalsium, fosfor, magnesium, dan belerang; dan mineral mikro (dibutuhkan tubuh dalam jumlah sedikit) seperti besi, iodium, mangan, tembaga, seng, kobalt, dan fluor. Tabel berikut berisi berbagai mineral, baik mineral makro (tabel 9.1) atau mineral mikro (tabel 9.2), fungsi bagi tubuh serta sumber-sumber makanan yang mengandung mineral-mineral tersebut:

Tabel 9.1. Mineral makro, fungsi, dan sumber-sumbernya

No	Mineral	Fungsi	Sumber
1	Natrium	Memelihara pH dan volume cairan tubuh	Daging, sayuran garam, bumbu (<i>ingredient</i>)
2	Kalium	Memelihara pH cairan tubuh intraseluler	Daging, buah-buah, susu, sereal, ikan, telur, sayur-sayuran
3	Klorida	Memelihara kesetimbangan elektrolit dalam tubuh memelihara pH cairan ekstraseluler	Sayuran, buah-buahan
4	Kalsium	Membantu pembentukan tulang dan gigi	Buah-buahan, susu, telur, biji-bijian, ikan
5	Magnesium	Memelihara fungsi kardiovaskuler, tekanan darah, kontraksi otot jantung sebagai activator enzim yang memecah gugus fosfat.	Susu, sereal, sayuran hijau, daging, buah-buahan, kacang-kacangan.
6	Fosfor	Pembentukan tulang dan gigi	Daging, sayuran, kedelai, ikan
7	Belerang	Sebagai suatu unsur penyusun protein	Susu, daging.

Bahan pangan mengandung abu sebagai komponen anorganik yang tersusun atas beberapa jenis mineral dengan komposisi yang beragam. Pangan sumber mineral : Susu, telur, biji-bijian, sereal, buah dan sayur serta air minum. Dalam pandangan nutrisi mineral merupakan bahan inorganik yang dibutuhkan untuk

proses kehidupan baik dalam bentuk ion atau elemen bebas. Diperoleh dari makanan (tubuh tidak dapat memproduksinya). Mineral berfungsi sebagai katalisator berbagai reaksi biokimiawi dalam tubuh, juga mampu dan berfungsi dalam transmisi sinyal/pesan pada sel saraf.

Tabel 9.2. Mineral mikro, fungsi, dan sumber-sumbernya.

No	Mineral	Fungsi	Sumber
1	Besi	Pembentukan hemoglobin (Hb) Berperan sebagai kofaktor sitokrom oksidase, Memelihara kerja mioglobulin oto jantung	Ikan, hati, jantung, ginjal, kuning telur, daging
2	Iodium	Pembentukan tiroksin	Garam iodium
3	Mangan	Kofaktor enzim mevalonat-kinase dan piruvat-kinase	Hati, ginjal, kacang-kacangan, biji-bijian.
4	Tembaga	Kofaktor enzim tirosinase dan sitokrom oksidase	Hati, kerang, udang, coklat, buah.
5	Seng	Berperan dalam pembentukan insulin dan aktivasinya untuk menyembuhkan luka	Gandum, kacang, telur, ikan, sayur.
6	Kobalt	Sebagai kofaktor enzim peptidase yang merupakan bagian dari vitamin B ₁₂ yang dapat mencegah anemia pernisiiosa.	Hati, ginjal, sayur-sayuran, buah-buahan
7	Fluor	Mencegah karang gigi	Susu

9.14. Analisis Mineral

Analisis mineral dapat dilakukan dengan melakukan penentuan mineral total (dengan menentukan kada abu) dan dengan melakukan penentuan masing-masing komponen mineral (jika dihendaki) dengan spektrofotometri serapa atom (SSA).

a. Analisis Kandungan Mineral Total (Kadar Abu)

Untuk analisis kandungan abu (mineral) dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:

1. Cara kering

Metode ini digunakan untuk penetapan kadar abu (mineral total) dalam makanan secara gravimetric sampai diperoleh bobot konstan (bobot yang diperoleh dari 2 kali penimbangan dengan selisih ≤ 0.5 mg/g sampel).

Rumusan Penentuan:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{w} \times 100\%$$

Keterangan:

w = bobot sampel sebelum diabukan (dalam gram)

w1 = bobot sampel + cawan sesudah diabukan (dalam gram)

w2 = bobot cawan kosong (dalam gram)

2. Cara basah

Prinsip cara ini adalah: bahan organik dimusnahkan dan dioksidasi dengan bantuan campuran asam pengoksidasi kuat yang dididihkan bersama-sama dalam abu Kjeldahl. Pereaksi yang biasa digunakan adalah: asam nitrat pekat; asam sulfat pekat; asam perklorat; atau hydrogen peroksida (H_2O_2) 30% (perhidrol).

b. Analisis Kandungan Masing-masing Mineral dengan Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi serapan atom (SSA) pertama kali digunakan pada tahun 1955 oleh Walsh. Sesudah itu tidak kurang dari 65 unsur diteliti dan dapat dianalisis dengan cara tersebut. SSA digunakan untuk analisis kuantitatif unsur-unsur logam dalam jumlah kelumit (*trace*) dan ultra kelumit (*ultratrace*). Cara analisis ini memberikan kadar total unsur logam dalam suatu cuplikan dan tidak tergantung pada bentuk molekul dari logam dalam cuplikan tersebut. Cara ini cocok untuk analisis kelumit loga karena mempunyai kepekaan yang tinggi (batas deteksi kurang dari 1ppm), pelaksanaannya relatif sederhana, dan gangguannya sedikit.

Sebagaimana metode analisis instrumental lain, SSA bukan merupakan metode analisis yang absolut. Suatu perbandingan dengan baku (biasanya berair) merupakan metode yang umum dalam melakukan metode analisis kuantitatif. Kurva baku dalam SSA dibuat dengan memasukkan sejumlah tertentu konsentrasi larutan dalam system dan dilanjutkan dengan pengukuran absorbansinya. Dalam prakteknya disarankan untuk membuat paling tidak 4 konsentrasi baku yang berbeda dan 1 blanko untuk membuat kurva baku linier yang menyatakan hubungan antara absorbansi (A) dengan konsentrasi analit untuk melakukan analisis. Disarankan absorbansi sampel tidak melebihi dari absorbansi baku tertinggi dan tidak kurang dari absorbansi baku terendah. Dengan kata lain, absorbansi sampel harus terletak pada kisaran absorbansi kurva baku. Jika absorbansi sampel terletak di luar kisaran absorbansi kurva baku, maka diperlukan pengenceran atau pemekatan. Ekstrapolasi atau pembacaan absorbansi sampel di luar kisaran absorbansi baku tidak direkomendasikan karena kurangnya linearitas.

Pada prinsipnya penetapan kadar mineral dengan SSA: setelah bahan organik dalam sampel dimusnahkan melalui pengabuan kering atau pengabuan basah, sisa abu dilarutkan dalam asam encer, Logam yang diatomisasi dalam nyala akan menyerap energy tertentu yang diemisikan oleh lampu katoda. Jumlah energi terserap logam-logam tertentu seperti Na, K dan Ca dapat ditetapkan dengan pengukuran emisi yang terjadi setelah logam tersebut tereksitasi dalam nyala.

Konsentrasi logam dalam sampel dihitung berdasarkan pada kurva baku yang diperoleh dengan perhitungan seperti dibawah ini:

$$\text{Konsentrasi logam (mg/100g)} = \frac{(a-b) \times V \times fp \times 100}{10B}$$

$$\text{Konsentrasi logam (\mu g/g)} = \frac{(a-b) \times V \times fp \times 100}{a}$$

Keterangan:

- B = Bobot sampel (dalam gram)
- V = Volume ekstrak (dalam mL)

- a = Konsentrasi larutan sampel ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
- b = Konsentrasi larutan blanko ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
- fp = Faktor pengenceran (bila diperlukan)

Kebanyakan analisis dengan SSA dilakukan pada sampel yang tidak identik dengan baku dalam larutan air, karenanya pada kasus ini diperlukan pencampuran matriks sampel dengan matriks baku. Jika matriks sampel tidak diketahui atau bervariasi dari satu sampel ke sampel yang lain, maka metode penambahan baku (*standard addition method*) sering kali digunakan. Metode ini digunakan untuk menghindari gangguan-gangguan, baik gangguan kimia maupun gangguan spectra. Prosedur penambahan baku melibatkan pengukuran absorbansi sampel dengan SSA (S); selanjutnya sejumlah kecil baku (S_x) ditambahkan pada sampel dan diukur absorbansinya ($S+S_x$). Langkah penambahan baku ini diulangi dengan menggunakan konsentrasi baku S_x yang berbeda-beda (S_{x1} , S_{x2} , S_{x3} , dsb) dan dilanjutkan dengan pembacaan absorbansinya. Proses penambahan baku pada sampel ini disebut dengan *spiking*.

Mineral pada dasarnya sangat dibutuhkan dalam kehidupan dan pertumbuhan makhluk hidup, khususnya manusia. Jika konsumsi mineral makro seperti kalsium, natrium rendah dalam pertumbuhan akan mengganggu sistem perkembangan. Kalsium misalnya, memainkan peranan penting dalam tubuh manusia terutama dalam fungsi neuromuscular, karena banyak enzim yang membutuhkan mineral ini sebagai mediator dalam proses enzimatik juga pembekuan darah. Seperti yang tersaji dalam tabel 9.3 tentang kebutuhan kalsium di beberapa group usia, dan jenis kelamin berbeda satu sama lainnya.

Tabel 9.3. Jumlah kalsium teoritis berdasarkan pada hewan asupan protein 20-40 g

Group	Jumlah Konsumsi (mg/hari)
Bayi dan Anak-Anak	
0-6 Bulan	
Susu Manusia	300
Susu Sapi	400
7-12 Bulan	450
1-3 Tahun	500
4-6 Tahun	550
7-9 Tahun	700
Remaja	
10-18 Tahun	1000 ^a
Wanita	
19 Tahun hingga Menopause	750
Pasca Menopause	800
Pria	
19-65 Tahun	750
65 Lebih	800
Wanita Hamil	800
Wanita Menyusui	750

^a Khusus selama masa pertumbuhan

Alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi larutan-larutan yang mengandung ion adalah Spektrofotometer serapan atom yang dilengkapi dengan lampu katoda untuk masing-masing logam Ca, Mg, Fe, Na, K, Cu, Mn, Zn, Cr, dan Se. Sebelum digunakan, alat harus disiapkan sesuai dengan instruksi dalam buku pegangan (manual) alat tersebut (i) lampu katoda dipasang, dinyalakan, dan dibiarkan (dikondisikan) selama 15 menit; (ii) alat pembakar dinyalakan dan aliran udara dan gas asetilen diatur sesuai dengan instruksi dalam manual alat; (iii) besar *slit* diatur demikian rupa, begitu juga panjang gelombangnya diatur pada panjang gelombang maksimal.

9.15. Tugas Akhir Bab

1. Sebutkan dan Jelaskan Pembagian Protein Berdasarkan Kebutuhan Manusia!
2. Bagaimana Peran Mineral dalam Tubuh MakhluK Hidup?
3. Mengapa ada Mineral Mikro dan Makro dalam tubuh MakhluK Hidup?
4. Mengapa Mineral juga Memiliki Jumlah yang Bervariasi dibutuhkan Manusia, sesuai dengan Usia atau jenis kelaminnya?
5. Dari mana saja suplai mineral yang dapat diakses oleh makhluK hidup?
6. Sebutkan dan Jelaskan Beberapa Metode yang dapat dilakukan dalam menganalisa Mineral !

bermutu, bergizi dan lebih mampu bersaing dengan pasar global. Kebijakan keamanan pangan (*food safety*), dan pembangunan gizi nasional (*food nutrient*) merupakan bagian integral dari kebijakan pangan nasional, termasuk penggunaan bahan tambahan makanan.

Dalam kehidupan sehari-hari BTM sudah digunakan secara umum oleh masyarakat. Kenyataannya masih banyak produsen makanan yang menggunakan bahan tambahan makanan yang berbahaya bagi kesehatan. Efek dari bahan tambahan beracun tidak dapat langsung dirasakan, tetapi secara perlahan, terakumulasi dan pasti dapat menyebabkan penyakit. Penyimpangan atau pelanggaran mengenai penggunaan BTM yang sering dilakukan oleh produsen pangan, yaitu: 1) Menggunakan bahan tambahan yang dilarang penggunaannya untuk makanan; 2) Menggunakan BTM melebihi dosis yang diizinkan. Penggunaan bahan tambahan yang beracun atau BTM yang melebihi batas akan membahayakan kesehatan masyarakat, dan berbahaya bagi pertumbuhan generasi yang akan datang. Karena itu produsen pangan perlu mengetahui peraturan-peraturan yang telah dikeluarkan oleh pemerintah mengenai penggunaan BTM. Secara khusus tujuan penggunaan BTM di dalam pangan adalah untuk: 1) Mengawetkan makanan dengan mencegah pertumbuhan mikroba perusak pangan atau mencegah terjadinya reaksi kimia yang dapat menurunkan mutu pangan; 2) Membentuk makanan menjadi lebih baik, renyah dan lebih enak di mulut, 3) Memberikan warna dan aroma yang lebih menarik sehingga menambah selera, 4) Meningkatkan kualitas pangan dan 5) menghemat biaya. Produsen produk pangan menambahkan BTM dengan berbagai tujuan, misalnya membantu proses pengolahan, memperpanjang masa simpan, memperbaiki penampilan dan cita rasa, serta pengaturan keseimbangan gizi. Penggunaan bahan tambahan makanan sebaiknya dengan dosis di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Secara garis besar ada 2 Jenis Bahan tambahan makanan yaitu: *Generally Recognized as Safe* (GRAS), zat ini aman dan tidak berefek toksik, sedangkan jenis lainnya yaitu, *Acceptable Daily Intake* (ADI), dimana jenis BTM ini selalu ditetapkan batas penggunaan hariannya demi menjaga dan melindungi konsumen.

Terkait dengan keamanan bahan tambahan makanan, FAO dan WHO sudah menetapkan spesifikasi BTM mengenai identitas, kemurnian bahan, toksikologi dan efektifitasnya. Sedangkan di Indonesia, pemerintah telah menyusun aturan tentang bahan tambahan makanan yang diizinkan dan dilarang digunakan yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 722/MenKes/Per/IX/88.

10.2. Bahan Tambahan Makanan

Bahan Tambahan Makanan (BTM) adalah bahan atau campuran bahan yang secara alami bukan merupakan bagian dari bahan baku pangan, tetapi ditambahkan kedalam pangan untuk mempengaruhi sifat atau bentuk pangan, antara lain bahan pewarna, pengawet, penyedap rasa, anti gumpal, pemucat dan pengental. Dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 722/Menkes/Per/IX/88 dijelaskan bahwa BTM adalah bahan yang biasanya tidak digunakan sebagai pangan dan biasanya bukan merupakan ingredien khas pangan, mempunyai atau tidak mempunyai nilai gizi, yang dengan sengaja ditambahkan kedalam pangan. Tujuan penggunaan bahan tambahan makanan adalah untuk meningkatkan dan mempertahankan nilai gizi dan kualitas makanan. Secara umum bahan tambahan makanan dapat dibagi menjadi dua golongan besar yaitu:

- a. Bahan tambahan makanan yang ditambahkan dengan sengaja ke dalam makanan, dengan mengetahui komposisi bahan dan maksud penambahan BTM dapat mempertahankan kesegaran, cita rasa dan membantu pengolahan seperti: pengawet, pewarna dan pengeras.
- b. Bahan tambahan makanan yang tidak sengaja ditambahkan, yaitu bahan yang tidak mempunyai fungsi dalam makanan tersebut, terdapat secara tidak sengaja, baik dalam jumlah sedikit atau cukup banyak akibat perlakuan selama proses produksi, pengolahan dan pengemasan. Bahan ini dapat pula merupakan residu atau kontaminan dari bahan yang sengaja ditambahkan untuk tujuan produksi bahan mentah atau penanganannya yang

masih terbawa ke dalam makanan yang akan dikonsumsi. Contoh: residu pestisida, antibiotik dan pupuk. Selain itu, berdasarkan asalnya, bahan tambahan makanan dapat berasal dari sumber alamiah, seperti lesitin, asam sitrat dan lainnya dan bahan tambahan makanan sintesis. Lesitin, asam sitrat dan lainnya juga dapat disintesis dari bahan kimia yang mempunyai sifat serupa dengan bahan alamiah yang sejenis, baik susunan kimia maupun sifat metabolismenya misalnya asam askorbat dan beta karoten. Penggunaan bahan tambahan makanan sintesis lebih sering digunakan karena memiliki kelebihan yaitu: lebih pekat, lebih stabil dan lebih murah. Kelemahannya sering terjadi ketidaksempurnaan proses sehingga mengandung zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan dan kadang bersifat karsinogen yang dapat merangsang terjadinya kanker pada hewan dan manusia. Untuk itu, secara umum TM yang digunakan hanya dapat dibenarkan apabila:

- dimaksudkan untuk dapat mencapai masing-masing tujuan penggunaan dalam pengolahan
- tidak digunakan untuk menyembunyikan penggunaan bahan yang salah atau tidak memenuhi persyaratan.
- tidak digunakan untuk menyembunyikan cara kerjanya bertentangan dengan cara produksi yang baik untuk pangan
- tidak digunakan untuk menyembunyikan kerusakan bahan pangan.

10.3. Penggolongan Bahan Tambahan Makanan

Makanan Berdasarkan fungsinya, menurut peraturan Menkes No. 235 tahun 1979, BTM dapat dikelompokkan menjadi 14 yaitu: Antioksidan; Antikempal; Pengasam, penetral; Enzim; Pemanis buatan; Pemutih dan pematang; Penambah gizi; Pengawet; Pengemulsi, pematap dan pengental; Peneras; Pewarna sintesis dan alami; Penyedap rasa dan aroma, Sekuestran; dll. BTM dikelompokkan berdasarkan tujuan penggunaannya di dalam pangan. Pengelompokan BTM yang diizinkan digunakan pada makanan dapat digolongkan sebagai: Pewarna; Pemanis buatan; Pengawet;

Antioksidan; Antikempal; Penyedap dan penguat rasa serta aroma; Pengatur keasaman; Pemutih dan pematang tepung; Pengemulsi; Pemanthap dan pengental; Pengeras, Sekuestran, Humektan, Enzim dan Penambah gizi.

Penggolongan BTM yang diizinkan digunakan pada pangan menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 722/Menkes/Per/IX/88 adalah sebagai berikut:

- a. Pewarna, yaitu BTM yang dapat memperbaiki atau memberi warna pada pangan.
- b. Pemanis buatan, yaitu BTM yang dapat menyebabkan rasa manis pada pangan, yang tidak atau hampir tidak mempunyai nilai gizi.
- c. Pengawet, yaitu BTM yang dapat mencegah atau menghambat fermentasi, pengasaman atau peruaian lain pada pangan yang disebabkan oleh pertumbuhan mikroba.
- d. Atioksida, yaitu BTM yang dapat mencegah atau menghambat proses oksidasi lemak sehingga mencegah terjadinya ketengikan.
- e. Antikempal, yaitu BTM yang dapat mencegah mengempalnya (menggumpalnya) pangan yang berupa serbuk seperti tepung atau bubuk.
- f. Penyedapa rasa dan aroma, menguatkan rasa, yaitu BTM yang dapat memberikan, menambah atau mempertegas rasa aroma
- g. Pengatur keasaman (pengasam, penetral dan pendapar) yaitu BTM yang dapat mengasamkan, menetralkan dan mempertahankan derajat keasaman pangan.
- h. Pemutih dan pematang tepung, yaitu BTM yang dapat mempercepat proses pemutihan dan atau pematang tepung sehingga dapat memperbaiki mutu pemanggangan.
- i. Pengemulsi, pemanthap dan pengental yaitu BTM yang dapat membantu terbentuknya dan memantapkan sistem dispersi yang homogen pada pangan.
- j. Pengeras, yaitu BTM yang dapat memperkeras atau mencegah melunaknya pangan.
- k. Sekuestran, yaitu BTM yang dapat mengikat ion logam yang ada dalam pangan, sehingga memantapkan warna, aroma dan tekstur.

Selain BTP yang tercantum dalam Peraturan Menteri tersebut, masih ada beberapa BTM lainnya yang biasa digunakan dalam pangan, misalnya:

1. Enzim, yaitu BTM yang berasal dari hewan, tanaman atau mikroba, yang dapat menguraikan secara enzimatis, misalnya membuat pangan menjadi lebih empuk, lebih larut dan lain-lain.
2. Penambah gizi, yaitu bahan tambahan berupa asam amino, mineral atau vitamin, baik tunggal maupun campuran, yang dapat meningkatkan nilai gizi pangan.
3. Humektan, yaitu BTM yang dapat menyerap lembab (uap air) sehingga mempertahankan kadar air pangan.

Menurut Permenkes RI No. 722/MenKes/Per/IX/88 BTM yang banyak beredar dan digunakan masyarakat namun pada dasarnya dilarang penggunaannya, diantaranya:

1. Formalin (formaldehid)
2. Natrium tetraborat (boraks)
3. Kloramfenikol
4. Kalium klorat
5. Nitrofuranzon
6. Asam salisilat dan garamnya
7. Minyak nabati yang dibrominasi
8. Diethylpirokarbonat
9. P-Phenitilkarbamida

Sedangkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No 1168/MenKes/PER/X/1999, beberapa bahan kimia yang dilarang penggunaannya sebagai BTM, seperti: rhodamin B (pewarna merah), methanyl yellow (pewarna kuning) dulsin (pemanis sintetis) dan potassium bromat (pengeras) Asam borat atau Boraks (*boric acid*) merupakan zat pengawet berbahaya yang tidak diizinkan digunakan sebagai campuran bahan makanan. Boraks adalah senyawa berbentuk kristal putih, tidak berbau, dan stabil pada suhu dan tekanan normal. Dalam air, boraks berubah menjadi natrium hidroksida dan asam borat. Boraks umumnya digunakan dalam pembuatan gelas dan enamel, sebagai pengawet kayu, dan pembasmi kecoa. Boraks ini sering disalah gunakan untuk

dicampurkan dalam pembuatan baso, tahu, ikan asin, mie dll. Boraks bersifat iritan dan racun bagi sel-sel tubuh, berbahaya bagi susunan saraf pusat, ginjal dan hati. Jika tertelan dapat menimbulkan kerusakan pada usus, otak atau ginjal. Kalau digunakan berulang-ulang serta kumulatif akan tertimbun dalam otak, hati dan jaringan lemak. Asam boraks ini akan menyerang sistem saraf pusat dan menimbulkan gejala kerusakan seperti rasa mual, muntah, diare, kejang perut, iritasi kulit dan jaringan lemak, gangguan peredaran darah, kejangkejang akibatnya koma, bahkan kematian dapat terjadi karena ada gangguan sistem sirkulasi darah.

Asam salisilat sering disebut aspirin, bersifat analgetik dan anti-inflamasi. Penelitian telah menunjukkan bahwa aspirin dapat mengurangi jumlah asam folat dalam darah, meskipun kepastian perubahan belum terbukti. Asam salisilat (*ortho-Hydroxybenzoik acid*) dapat mencegah terjadinya penjamuran pada buah dan telah digunakan dalam pabrik cuka. Namun, penggunaan asam salisilat sebagai pengawet makanan seperti yang diatur Pemerintah Amerika pada tahun 1904 disalahgunakan untuk pengawet makanan pada produsen-produsen makanan yang nakal. Asam salisilat dilarang digunakan sebagai bahan pengawet makanan di Indonesia. Pasalnya, asam salisilat memiliki iritasi kuat ketika terhirup atau tertelan. Bahkan ketika ditambah air, asam salisilat tetap memberikan gangguan kesehatan pada tubuh karena dapat menyebabkan nyeri, mual, dan muntah jika tertelan. Pada sebuah survei terhadap sup sayuran, disebutkan bahwa sup sayuran nonorganik mengandung asam salisilat hampir enam kali lipat ketimbang sup sayuran organik. Kandungan asam salisilat dalam tanaman secara alami berguna untuk tanaman bertahan dari serangan penyakit. Namun bila kandungan asam salisilat melebihi dan berlebihan masuk ke dalam tubuh, maka gangguan kesehatan dapat terjadi, misalnya terjadi pengerasan dinding pembuluh darah dan kanker saluran pencernaan. Dietilpirokarbonat (DEP) termasuk di dalam bahan kimia karsinogenik mengandung unsur kimia $C_6H_{10}O_5$ adalah bahan kimia sintesis yg tdk ditemukan dlm produk-produk alami dan digunakan sebagai pencegah peragian pada

minuman yang mengandung alkohol maupun minuman yang tidak beralkohol. DEP sering digunakan untuk susu dan produk susu, bir, jus jeruk dan minuman buah-buahan lain sehingga minuman ini dapat bertahan lama. DEP apabila masuk ke dalam tubuh dan terakumulasi dalam jangka panjang, dapat memicu timbulnya kanker. Dulsin adalah pemanis sintetik yang memiliki ras manis kira-kira 250 kali dari sukrosa atau gula tebu, yang tidak ditemukan pada produk-produk pemanis alami lainnya. Dulsin telah diusulkan untuk digunakan sebagai pemanis tiruan. Dulsin ditarik total dari peredaran pada tahun 1954 setelah dilakukan pengetesan dulsin pada hewan dan menampakkan sifat karsinogenik yang dapat memicu munculnya kanker. Formalin merupakan zat pengawet terlarang yang paling banyak disalahgunakan untuk produk pangan. Zat ini termasuk bahan beracun dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Jika kandungannya dalam tubuh tinggi, akan bereaksi secara kimia dengan hampir semua zat yang terdapat dalam sel sehingga menekan fungsi sel dan menyebabkan kematian sel yang menyebabkan keracunan pada tubuh. Formalin adalah larutan 37 persen formaldehida dalam air, yang biasanya mengandung 10 sampai 15 persen metanol untuk mencegah polimerasi. Formalin dapat dipakai sebagai bahan anti septik, disinfektan, dan bahan pengawet dalam biologi. Zat ini juga merupakan anggota paling sederhana dan kelompok aldehid dengan rumus kimia HCHO . Kalium bromat (*potasium bromat*) digunakan untuk memperbaiki tepung yang dapat mengeraskan kue. Kalium bromat digunakan para pembuat roti maupun perusahaan pembuat roti untuk membantu proses pembuatan roti dalam oven dan menciptakan tekstur bentuk yang lebih bagus pada proses penyelesaian akhir produknya, bila digunakan dalam jumlah kecil, zat ini akan hilang selama pembakaran atau pemanasan. Bila terlau banyak digunakan, sisa kalium bromate akan tetap banyak dalam roti. Kalium bromat dilarang pada beberapa negara karena dianggap sebagai karsinogen, pemicu kanker. *The Centre for Science in teh Public Interest* (CPSI), sebuah lembaga advokasi nutrisi dan kesehatan terkemuka di Amerika Serikat.

Beberapa peraturan pemerintah yang berhubungan dengan penggunaan bahan tambahan pangan antara lain:

- a. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor.329/Menkes/Per/XII/76 tentang produksi dan peredaran makanan.
- b. Peraturan Menteri Kesehatan RI No.79/Menkes/Per/III/78 tentang label dan periklanan makanan.
- c. Keputusan Menteri Kesehatan RI No.23/Menkes/SK/I/78 tentang pedoman cara produksi yang baik untuk makanan.
- d. Peraturan Menteri Kesehatan RI No.453/Menkes/Per/XI/83 tentang bahan-bahan berbahaya.
- e. Peraturan Menteri Kesehatan RI No.208/Menkes/Per/IV/85 tentang Pemanis buatan.
- f. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor.239/Menkes/Per/V/85 tentang Warna tertentu yang dinyatakan sebagai bahan berbahaya.
- g. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor.722/Menkes/Per/XI/88 tentang bahan tambahan makanan.
- h. Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan makanan No.02987/B/SK/IV/91 tentang pendaftaran bahan tambahan makanan tertentu.
- i. Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan makanan No.02240/B/SK/VII/91 tentang pedoman persyaratan mutu serta label dan periklanan makanan
- j. Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan makanan No.02593/B/SK/VIII/91 tentang penggunaan bahan tambahan makanan.
- k. Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan makanan No.02593/B/SK/VIII/91 tentang tata cara pendaftaran dan produk bahan tambahan makanan.

1) BTM Pewarna

Pewarna, digunakan untuk mempertinggi daya tarik visual produk makanan, mencegah kehilangan warna selama penyimpanan. Beberapa zat ini diturunkan dari zat warna alami,

misalnya karoten (jingga), klorofil (hijau), dan miglobin (merah pada daging), daun pandan (hijau), kunyit (kuning), buah coklat (coklat), wortel (kuning merah). Reaksi karamelisasi akan membentuk warna coklat. Pewarna sintetis yang boleh dipakai pada makanan misalnya merah 2 (amaranth), merah 3 (erythrosine), biru 2 (indigo sulfonat), kuning 2 (kuning naphthol) dan tatrazin.

Tabel 10.1. Ringkasan sifat-sifat berbagai pigmen alamiah

Golongan pigmen	Jumlah Senyawa	Warna	Sumber	Larut dalam	Kestabilan
Antosianin	120	Orange, merah	Tanaman	Air	Peka terhadap pH dan panas
Flavonoid	600	Tak berwarna, kuning	Sebagian besar tanaman	Air	Agak tahan panas
β -antosianin	20	Tak berwarna	Tanaman	Air	Tahan panas
Tanin	20	Tak berwarna	Tanaman	Air	Tahan panas
Betalain	70	Kuning, merah	Tanaman	Air	Peka terhadap panas
Kuinon	200	Kuning sampai hitam	Tanaman bakteri, algaea	Air	Tahan panas
Xanton	20	Kuning	Tanaman	Air	Tahan panas
Karatenoid	300	Tak berwarna	Tanaman	Lemak	Tahan panas
Klorofil	25	Hijau, coklat	Tanaman	Air, lemak	Peka terhadap Panas
Pigmen heme	6	Merah, coklat	Hewan	Aair	Peka terhadap panas

Tabel 10.2. Kelas-kelas zat warna sintetis menurut JECFA

No	Nama	Warna	No	Nama	Warna
Azo:			Triarylmethane		
1	Tartrazine	Kuning	1	Briliant Blue FCF	Biru
2	Sunset Yellow FCF	Oranye	2	Patent Blue V	Biru
3	Allura Red AC	Merah (kekuningan)	3	Green S	Biru kehijauan
4	Red 2G	Merah	4	Fast Green CFC	Hijau
5	Ponceau 4R	Merah	5		
6	Azorubine	Merah	Quinoline		
7	Fast Red E	Merah	1	Quinoline Yello	Kuning Kehijauan
8	Amaranth	Merah (Kebiruan)	Xanthene		
9	Briliant Black BN	Ungu	1	Erythrosine	Merah
10	Brown FK	Kuning coklat	Indigoid		
11	Brown HT	Coklat	1	Indigotine	Biru Kemerahan

JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)

2) Bahan Pengawet

Bahan pengawet ditambahkan untuk memperpanjang umur (*shelf life*) makanan dengan mencegah atau menghambat pertumbuhan mikroba. Teknik penambahan bahan pengawet dilakukan dengan cara: Pencampuran (untuk bahan makanan yang berbentuk cairan atau setengah cair), Pencelupan (untuk bahan makanan yang berbentuk padat), Penyemprotan (untuk bahan makanan padat dan konsentrasi bahan pengawet yang diperlukan adalah tinggi), pengasapan (untuk bahan makanan yang dikeringkan, bahan yang sering digunakan adalah belerang dioksida), dan pelapisan pada pembungkus (dengan penambahan/pelapisan bahan pengawet pada bungkus makanan). Syarat penggunaan bahan pengawet yaitu: memberikan nilai ekonomis, dimanfaatkan bila cara pengawetan

lain tidak tersedia, meningkatkan umur simpan, kualitas tidak berubah, mudah dilarutkan/ ditambahkan, cukup aman dalam dosis pemakaian, mudah ditentukan dengan analisis kimia, aktivitasnya tidak menghambat enzim pencernaan, dll. Jenis - jenis bahan pengawet adalah asam benzoat, asam propionat, asam sorbat, dan belerang dioksida dan turunan - turunannya

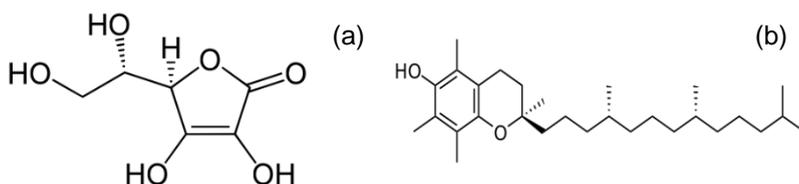
Tabel 10.3. *Beberapa Bahan Pengawet Makanan*

Bahan Pengawet Makanan	
Asam Benzoat	Kalsium Benzoat
Asam Propinat	Kalsium Propinat
Asam Sorbat	Kalsium Sorbat
Belerang Dioksida	Natrium Benzoat
Etil p-hidroksi benzoate	Metil p-hidroksi benzoate
Kalium Benzoat	Natrium Bisulfit
Kalium Bisulfit	Natrium metabisulfit
Kalium metabisulfit	Natrium nitrat
Kalium nitrat	Natrium nitrit
Kalium nitrit	Natrium propionat
Kalium propionat	Natrium sulfit
Kalium sorbat	Nisin
Kalium sulfit	Propil p-hidroksi-benzoat

3) Zat Antioksidan

Antioksidan, ditambahkan pada minyak untuk mencegah tengik yang merupakan hasil perubahan oksidatif. Sebagian ditambahkan pada buah - buahan dan sayur- sayuran untuk mencegah pencokelatan enzimatik. Bahan yang sering ditambahkan sebagai antioksidan yang digunakan adalah : a) Askorbat, antioksidan untuk kaldu (1g/kg), makanan bayi (500 mg/kg), ikan beku (400 mg/kg), potongan kentang goreng beku (100 mg/kg). BHA (hidroksional berbuthil), untuk lemak dan minyak makan serta mentega (200 mg/kg), margarin (100 mg/kg) b) BHT (hidroksiltoluena berbuthil), untuk ikan beku (1g/kg), minyak, lemak, margarine, mentega dan ikan asin (200 mg/kg).

Propil galat, untuk lemak dan minyak makan (100 mg/kg)
 Tokoferol, untuk makanan bayi (300 mg/kg) kaldu (50 mg/kg



Gambar 10.1. Asam Askorbat (Vitamin C)

4) Zat/Bahan pengemulsi, pemantap dan pengental

Zat ini ditambahkan untuk memperbaiki kehomogenan, stabilitas dan badan dari berbagai jenis produk makanan. Jenis makanan yang biasanya menggunakan bahan tambahan ini adalah es krim, es puter, saus sardin, jeli dan sirup. Bahan pengemulsi, pemantap dan penstabil yang diizinkan adalah:

- a) Agar-agar, untuk sarden dan sejenis (20 g/kg) es krim dan sejenisnya (10 g/kg), keju (8 g/kg), Yoghurt (5 g/kg), dan kaldu (3 g/kg).
- b) Alginat, untuk sarden dan sejenis (20 g/kg), keju (5 g/kg), dan kaldu (3 g/kg).
- c) Dekstrin, Keju (5 g/kg), Yoghurt (10 g/kg).
- d) Gelatin, Keju (5 g/kg), Yoghurt (10 g/kg).
- e) Karagen untuk sarden dan sejenis (20 g/kg) es krim dan sejenisnya (10 g/kg) , keju (5 g/kg), Yoghurt (5 g/kg), dan kaldu (5 g/kg), ketimun dalam kaleng (500 mg/kg)
- f) Lesitin, es krim dan sejenisnya, keju, makanan bayi, susu instan (5 g/kg).
- g) Karboksimetil selulosa untuk sarden dan sejenis (20 g/kg) es krim dan sejenisnya (10 g/kg), keju (5 g/kg), dan kaldu (5 g/kg).
- h) Pektin untuk sarden dan sejenis (20 g/kg) es krim dan sejenisnya (30 g/kg), keju (8 g/kg), Yoghurt (10 g/kg), dan sirup (2.5 g/kg).
- i) Pati asetat, untuk es krim dan sejenisnya (30 g/kg, Yoghurt (10 g/kg), dan kaldu (secukupnya).

5) BTM Antioksidan

Antioksidan Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No.722/Menkes/Per/IX/1988 tentang Bahan Tambahan Makanan, Antioksidan Adalah Bahan tambahan makanan yang dapat mencegah atau menghambat oksidasi. Antioksidan adalah bahan tambahan yang digunakan untuk melindungi komponen-komponen makanan yang bersifat tidak jenuh (mempunyai ikatan rangkap), terutama lemak dan minyak. Meskipun demikian antioksidan dapat pula digunakan untuk melindungi komponen lain seperti vitamin dan pigmen, yang juga banyak mengandung ikatan rangkap di dalam strukturnya. Adanya ion logam, terutama besi dan tembaga, dapat mendorong terjadinya oksidasi lemak. Ion-ion logam ini seringkali diinaktivasi dengan penambahan senyawa pengkelat, dan dapat juga disebut bersifat sinergistik dengan antioksidan karena menaikkan efektivitas antioksidan utamanya. Untuk dapat digunakan sebagai antioksidan, suatu senyawa harus mempunyai sifat-sifat : tidak toksik, efektif pada konsentrasi rendah (0,01-0,02%), dapat terkonsentrasi pada permukaan/lapisan lemak (bersifat lipofilik) dan harus dapat tahap pada kondisi pengolahan pangan umumnya. Berdasarkan sumbernya antioksidan dapat digolongkan ke dalam dua jenis. Pertama, antioksidan yang bersifat alami, seperti komponen fenolik/flavonoid, vitamin E, vitamin C dan beta-karoten. Kedua, antioksidan sintetis seperti BHA (Butylated Hydroxyanisole), BHT (Butylated Hydroxytoluene), PG (Propil Galat), dan TBHQ (di-t-Butyl Hydroquinone). Tabel 1 menunjukkan komponen-komponen flavonoid yang memiliki aktivitas antioksidan beserta sumbernya BHA (Butylated Hydroanisole). BHA merupakan campuran dua isomer, yaitu 2- dan 3- tertbutilhidroksianisol. Di antara kedua isomer tersebut, isomer 3-tert memiliki aktivitas antioksidan yang lebih efektif dibandingkan isomer 2-tert. Bentuk fisik BHA adalah padatan putih menyerupai lilin, bersifat larut dalam lemak dan tidak larut dalam air.

BHT (*Butylated Hydroxytoluene*).

Sifat-sifat BHT sangat mirip dengan BHA dan bersinergis dengan BHA. Propil Galat. Propil galat merupakan ester propanol dari asam trihidroksi benzoat. Bentuk fisik propil galat adalah kristal putih. Propil galat memiliki sifat-sifat : (1) dapat bersinergis dengan BHA dan BHT, (2) sensitif terhadap panas, (3) membentuk kompleks berwarna dengan ion logam, oleh karenanya jika dipakai dalam makanan kaleng dapat mempengaruhi penampakan produk. TBHQ (*Tertiary Butylhydroquinone*). TBHQ merupakan antioksidan yang paling efektif dalam minyak makan dibandingkan BHA, BHT, PG dan tokoferol. TBHQ memiliki sifat-sifat: (1) bersinergis dengan BHA (2) cukup larut dalam lemak (3) tidak membentuk kompleks dengan ion logam tetapi dapat berubah menjadi merah muda, jika bereaksi dengan basa Dosis penggunaan tiap-tiap antioksidan sintetis ini tidak sama untuk masing-masing negara. Tabel 2 menunjukkan dosis pemakaian antioksidan BHA, BHT, Galat dan TBHQ di beberapa negara Jenis-jenis Antioksidan Jenis antioksidan yang diizinkan digunakan dalam pangan terdiri dari:

- a. *Ascorbic Acid* (Asam askorbat dan garamnya (natrium askorbat, kalsium askorbat, dan kalium askorbat))
- b. *Ascorbil palmitate* (Askorbil palmiat)
- c. *Ascorbil stearate* (Askorbil stearat) d
- d. *Erythroic Acid* ((Asam eritrobat dan garamnya (natrium eritrobat))
- e. *Tertiary butyl hydroquinone* (TBHQ) (Butil Hidrokinon Tersier)
- f. *Butylated hydroxyanisole* (BHA) (Butil Hidroksianisol)
- g. *Butylated hydroxy Toluene* (BHT) (Butil Hidroksitoluen)
- h. *Propyl gallate* (Propil galat)
- i. *Tocopherol* (tokoferolcampuran pekat, alfa tokoferol dan gama tokoferol), yang telah diyakini keamanannya.
- j. *Dilauryl Thiodipropionate* (Dilauryl Tiodipropionat) k. Stannous Chloride (Timah II Klorida)

6) BTM Anti Penggempalan Makanan

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 722/MENKES/PER/ IX/88, anti kempal dapat mencegah penggempalan makanan yang berupa serbuk. Contoh: aluminium silikat (susu bubuk), dan kalsium aluminium silikat (garam meja). Fungsi Anti Kempal adalah senyawa anhidrat yang dapat mengikat air tanpa menjadi basah dan biasanya ditambahkan ke dalam bahan pangan yang bersifat bubuk atau partikulat seperti garam meja, campuran kering (*dry mixes*), dan lain-lain. Penambahan senyawa anti kempal bertujuan untuk mencegah terjadinya penggumpalan dan menjaga agar bahan tersebut tetap dapat dituang (*free flowing*). Senyawa anti kempal biasanya merupakan garam-garam anhidrat yang bersifat cepat terhidrasi dengan mengikat air, atau senyawa-senyawa yang dapat mengikat air melalui pengikatan di permukaan (*surface adhesion*) tanpa menjadi basah dan menggumpal. Senyawasenyawa tersebut biasanya adalah senyawa yang secara alami berbentuk hampir kristal (*near crystalline*). Senyawa anti kempal dapat digolongkan menjadi:

- a) Garam (aluminium, amonium, kalsium, potassium, dan sodium).
- b) Kalsium posfat.
- c) Magnesium oksida.
- d) Garam (magnesium, kalsium, dan campuran kalsium aluminium) dari asam silikat.

Senyawa golongan 1, 2, dan 3 membuat hidrat, sedangkan senyawa 4 dan 5 menyerap air. Senyawa anti kempal biasanya dapat dimetabolisme atau tidak toksik pada tingkat penggunaan yang diizinkan. Kalsium silikat banyak digunakan untuk menghindari penggumpalan baking powder dan mempunyai kemampuan untuk mengikat air 2,5 kali dari beratnya. Selain mengikat air, kalsium silikat juga dapat mengikat minyak dan senyawa-senyawa nonpolar lainnya. Sifat inilah yang membuat kalsium silikat banyak digunakan di dalam campuran-campuran yang mengandung bumbu, terutama yang kandungan minyak atsirinya tinggi. Kalsium stearate sering digunakan sebagai

processing aid dalam pembuatan permen keras (hard candy). Senyawa anti kempal yang relatif baru dikembangkan adalah bubuk selulose berkristal mikro (microcrystalline cellulose powder). Senyawa ini banyak dipakai untuk produk keju parut agar tidak membentuk gumpalan. Bahan-bahan makanan yang tergolong bahan anti kempal di antaranya:

- a) *Aluminium Silicate* (Aluminium silikat)
- b) *Calcium Aluminium Silicate* (Kalsium aluminium silikat)
- c) *Calcium Silicate* (Kalsium silikat)
- d) *Magnesium Carbonate* (Magnesium karbonat)
- e) *Magnesium Oxide* (Magnesium oksida)
- f) *Magnesium Silicate* (Magnesium silikat)
- g) *Sodium Alumino Silicate* (Natrium alumino silikat)
- h) *Myristic Acid, Palmitic Acid and Stearic Acid* (Miristat, palmitat dan stearat)
- i) *Silicon Dioxide amorphus* (Silikon Dioksida Amorf)
- j) *Calcium Phosphate, Tribasic* (Tri-kalsium fosfat)
- k) *Magnesium Phosphate, Tribasic* (Tri-magnesium fosfat)

7) BTM Pengatur Keasaman

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No.722/Menkes/Per/IX/1988 tentang Bahan Tambah Makanan, Pengatur keasaman adalah bahan tambahan makanan yang dapat mengasamkan, menetralkan dan mempertahankan derajat keasaman makanan. Zat aditif ini dapat mengasamkan, menetralkan, dan mempertahankan derajat keasaman makanan. Contoh: asam asetat, aluminium amonium sulfat, amonium bikarbonat, asam klorida, asam laktat, asam sitrat, asam tentrat, dan natrium bikarbonat. Fungsi Asam, baik organik maupun anorganik, secara alami terdapat di dalam bahan pangan. Keberadaannya beragam, dari sebagai metabolit antara hingga sebagai komponen pendapar (*buffering agent*). Asam seringkali ditambahkan ke dalam bahan pangan dan proses pengolahan pangan. Fungsinya yang paling penting adalah sebagai senyawa pendapar. Asam dan garamnya sering pula ditambahkan sebagai

campuran pembentuk adonan (*leavening system*), sebagai antimikroba dan senyawa pengkelat. Asam berperan sangat penting dalam pembentukan gel pektin, dapat bertindak sebagai penghilang busa (*defoaming agent*) dan membantu proses denaturasi protein dalam pembuatan yogurt, keju, dan produk-produk fermentasi susu lainnya. Dalam proses pengolahan buah dan sayuran, asam sering ditambahkan untuk menurunkan pH dan mengurangi kebutuhan panas selama proses sterilisasi. Fungsi lain dari asam yang tak kalah pentingnya, tentu saja adalah kontribusinya terhadap rasa dan aroma bahan pangan. Asam juga mempunyai kemampuan untuk mengubah dan meningkatkan intensitas rasa dari komponen citarasa lainnya. Asam lemak rantai pendek berkontribusi terhadap aroma berbagai makanan. Bahan-bahan yang tergolong pengatur keasaman di antaranya:

- a) Alumunium Amonium Sulfat
- b) Aluminium Natrium Sulfat
- c) Alumunium kalium Sulfat
- d) Amonium Bikarbonat.
- e) Amonium Hidroksida
- f) Amonium Karbonat
- g) Asam Adipat
- h) Asam Asetat Glasial
- i) Asam Fosfat
- j) Asam Fumarat
- k) Asam Klorida
- l) Asam Laktat
- m) Asam Malat
- n) Asam Sitrat
- o) Asam Tartrat
- p) Diamonium Fosfat
- q) Dikalsium Fosfat
- r) Dinatrium Fosfat
- s) Kalium Bikarbonat

8) Pemanis Non Kalori

Pemanis Non Kalori Pemanis non kalori umumnya dibuat dari bahan sintetis atau bahan kimia. Pemanis non kalori mempunyai kadar manis yang kuat, jauh lebih kuat dari manis gula alami atau sukrosa. Beberapa pemanis buatan yang masuk pada pemanis non kalori adalah:

- a) Alitam (INS 956)
 - Memiliki rumus kimia ($C_{14}H_{25}N_3O_4S_2 \cdot 5H_2O$.)
 - Dibuat dari sintesis asam amino L-asam aspartat dan Alanin.
 - Kadar manis 2.000 kali tingkat sukrosa.
- b) Asesulfam-K (INS 950)
 - Memiliki rumus kimia $C_4H_4KNO_4S$.
 - Kadar manis 200 kali tingkat sukrosa
- c) Aspartam (INS 951)
 - Memiliki rumus kimia $C_{14}H_{18}N_2O_5$.
 - Kadar manis 220 kali tingkat sukrosa
- d) Siklamat (INS 952)
 - Memiliki rumus kimia $C_6H_{13}NO_3S$.
 - Kadar manis 30 kali tingkat sukrosa.
- e) Sakarin (INS 954)
 - Memiliki rumus kimia $C_{14}H_8CaN_2O_6S_2 \cdot 3H_2O$ atau $C_7H_4KNO_3S \cdot 2H_2O$ atau $C_7H_4NaNO_3S \cdot 2H_2O$
 - Kadar manis 300 sampai 500 kali tingkat sukrosa.
- f) Neotam (INS 961)
 - Memiliki rumus kimia $C_{20}H_{30}N_2O_5$
 - Kadar manis 7.000 sampai 13.000 kali tingkat sukrosa.
- g) Manitol (INS 421)
 - Memiliki rumus kimia $C_6H_{14}O_6$.
 - Dibuat dengan cara hidrogenasi maltosa yang diperoleh dari hidrolisis pati.
 - Kadar manis 0,7 kali tingkat sukrosa.
 - Dapat menimbulkan efek laksatif jika dikonsumsi lebih dari 20 g/hari.

- h) Sorbitol (INS 420)
- Memiliki rumus kimia $C_6H_{14}O_6$.
 - Kadar manis 0,5-0,7 kali tingkat sukrosa.
 - Dapat menimbulkan efek laksatif, jika dikonsumsi lebih dari 50 g/hari.
- i) Silitol (INS 967)
- Memiliki rumus kimia $C_5H_{12}O_5$.
 - Umum terdapat pada buah dan sayur.
 - Kadar manis sama dengan sukrosa.
- j) Laktitol (INS 966).
- Memiliki rumus kimia $C_{12}H_{24}O_{11}$.
 - Dibuat dari proses reduksi glukosa yang berasal dari disakarida laktosa.
 - Kadar manis 0,3-0,4 kali tingkat sukrosa.
 - Dapat menimbulkan efek laksatif jika dikonsumsi lebih dari 20 g/hari.
- k) Isomalt (INS 953).
- Dibuat dari sukrosa melalui dua tahap proses enzimatik, mengandung glukomanitol dan glukosorbitol.
 - Kadar manis 0,45-0,65 kali tingkat sukrosa.
- l) Maltitol (INS 965)
- Memiliki rumus kimia $C_{12}H_{14}O_{11}$.
 - Dibuat dengan cara hidrogenasi maltosa yang diperoleh dari hidrolisis pati.
 - Kadar manis 0,9 kali tingkat sukrosa.
- m) Sukralosa (INS 955)
- Memiliki rumus kimia $C_{12}H_{19}Cl_3O_8$.
 - Kadar manis 600 kali tingkat sukrosa.

9. Toksikologi Zat Tambahan Makanan

Zat tambahan yang penting ditinjau dari segi toksikologi sekitar 600 zat tambahan makanan sengaja ditambahkan pada berbagai jenis makanan kita. Toksisitas dari kebanyakan zat tambahan ini telah dievaluasi sesuai dengan prosedur yang berlaku dan terbukti aman. Tetapi penggunaan beberapa zat

tambahan telah dibatasi dan dilarang, atau harus dibeli label deklarasi karena bahaya toksikologinya.

Karsinogenik

Contohnya, keamanan sakarin telah diragukan karena ada laporan mengenai karsinogenisitasnya. Sebenarnya penelitian pertama yang mengungkapkan meningkatnya tumor kandung kemih pada tikus melibatkan pemberian dosis kombinasi sakarin dan siklamat pada hewan itu dengan perbandingan 1 : 9. Penelitian berikutnya banyak yang gagal menentukan resiko / keamanannya dan oleh sebab itu di beberapa negara penggunaannya telah dibatasi. Siklamat dianggap tidak berbahaya dan digunakan secara luas dalam makanan dan minuman selama bertahun-tahun. Tetapi keamanannya mulai diragukan setelah ada penemuan bahwa pada hewan dan manusia zat itu dapat dimetabolisme oleh flora usus menjadi sikloheksilamin yang tampaknya lebih toksik (Classen, 1968). Penggunaannya sebagai zat tambahan makanan dilarang pada tahun 1969 saat ditemukan bahwa campuran sakarin dan siklamat meningkatkan insiden tumor kandung kemih pada tikus (Price, 1970). Penelitian berikutnya menunjukkan bahwa siklamat terbukti tidak bersifat karsinogen dan uji mutagenitas jangka pendek tidak membuahkan hasil yang konsisten. Ini juga berlaku untuk sikloheksilamin. Penggunaannya diizinkan kembali di beberapa negara, meskipun di Amerika Serikat masih tidak diijinkan untuk digunakan sebagai zat tambahan makanan.

Nitrat dan nitrit adalah bahan pengawet yang berguna dan memberikan warna dan rasa khusus pada daging, misalnya ham dan *corned beef*. Tetapi zat ini dapat bergabung dengan amin tertentu membentuk berbagai jenis nitrosamin yang kebanyakan bersifat karsinogen kuat. Meskipun demikian, nitrat dan nitrit berguna untuk mengendalikan mikroorganisme pembentuk toksin misalnya *Clostridium botulinum*. Selain itu nitrit terdapat dalam tubuh, terutama dalam liur, dan telah terbukti bahwa penitroan amin tertentu dapat terjadi dalam perut. Karena alasan-

alasan tersebut, penggunaan bahan pengawet ini belum dilarang tetapi tingkat penggunaannya dikurangi. Dilain pihak, bahan pengawet *dietilpirokarbonat* (DEPC) memberikan suatu gambaran yang jelas beda. Zat ini pernah digunakan dalam berbagai jenis minuman, tetapi penggunaannya telah dilarang. Karena berdasarkan penemuan bahwa DEPC dapat bergabung dengan ion amonium dalam minuman untuk membentuk ureten, suatu karsinogen yang berspektrum luas dalam semua spesies hewan yang diuji, dan berdasarkan fakta bahwa penggunaannya tidak mutlak diperlukan.

BHA (*butil hidroksianisol*) dan **BHT** (*butyl hidroksitoluena*) dipergunakan secara luas sebagai antioksidan dan telah diselidiki dalam beberapa penelitian jangka panjang tanpa menunjukkan efek merugikan yang berbahaya. Tetapi Ito, dkk, 1983 melaporkan BHA pada kadar diet yang sangat tinggi dapat menginduksi hiperplasia dan tumor dalam perut depan tikus. Karena tumor hanya ditemukan pada perut depan, relevansi penemuan ini dari segi bahaya kesehatan manusia masih diragukan. Penelitian lain dilakukan dengan menggunakan spesies tanpa perut depan. Pada anjing hasilnya negatif, tetapi pada babi BHA menginduksi hiperhidrosis (keluarnya keringat yang berlebihan) dan meningkatkan laju mitosis (proses pembelahan inti sel) pada esofagus (WHO, 1987). Olsen, dkk (1983 melaporkan suatu peningkatan dalam adenoma (tumor jinak) hepatoseluler (yang berhubungan dengan sel hepar) dan karsinoma (tumor pada jaringan epitel). Tetapi beberapa penelitian lain memberikan hasil negatif. Selain itu, penelitian lain pada antioksidan ini bahkan menunjukkan adanya efek perlindungan terhadap kanker (Prochaska 1985). Mengingat hasil- hasil yang bertentangan ini BHA dan BHT masih digunakan sambil menantikan penelitian lebih lanjut. Reaksi hipersensitivitas Beberapa zat tambahan makanan diketahui dapat menginduksi reaksi hipersensitivitas pada orang yang rentan. Berikut ini adalah zat - zat tambahan makanan penyebab hipersensitivitas yang dikenal secara luas.

Tatrazin, zat pewarna kuning yang dipergunakan secara luas dalam berbagai makanan olahan telah diketahui dapat menginduksi reaksi alergi, terutama bagi orang yang alergi terhadap aspirin (Juhlin, 1980).

Sulfur dioksida, (SO₂) dan zat kimia yang berhubungan, misalnya bisulfit dan metabisulfit, digunakan sebagai bahan pengawet dalam makanan olahan selain salad.

Monosodium glutamat (MSG), telah digunakan sebagai bumbu penyedap selama puluhan tahun di Cina dan Jepang tidak ada efek buruk yang dilaporkan. Meskipun demikian, suatu sidroma restoran cina telah dilaporkan (Schaumberg, 1969). Gejala ini biasanya muncul setelah orang makan sup khusus Cina yang relatif banyak mengandung MSG. Reaksi hipersensitivitas yang muncul antara lain adalah rasa panas, rasa tertusuk-tusuk diwajah dan leher, dada sesak dll. Menurut Hiroshi Ohgura , dari The Horosaky University menyatakan bahwa pemberian jangka panjang pada tikus percobaan akan memberikan efek kehilangan penglihatan, menderita kelainan retina mata , dan kerusakan sel-sel syaraf mata . Pada manusia efek yang terjadi dapat sama jika MSG dalam makanan dikonsumsi secara kronis. Bahan penyedap makanan MSG akan melekat pada sel retina mata dan mengganggu kemampuan sel untuk memancarkan signal ke otak. Berdasarkan ketentuan

10.4. Tugas Akhir Bab

1. Jelaskan pengertian bahan tambahan makanan dan penggolongannya?
2. Mengapa penambahan bahan tambahan makanan semakin marak digunakan dalam proses pengolahan pangan?
3. Mengapa penggunaan bahan tambahan makanan perlu menjadi perhatian pemerintah, universitas dan masyarakat?
4. Jelaskan kasus-kasus keracunan makanan akibat penggunaan bahn tambahan makanan yang pernah terjadi?

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Djaeni Sediaoetama. 2008. Ilmu Gizi. Dian Rakyat. Jakarta
- Alabaster, JS dan R Lloyd. 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. Second Edition. Food and Agriculture Organization of United Nations. Butterworths. London.
- Anonim. 2002. Hand out Pelatihan Analisis Kualitas Air. Untuk pelajar SMU se-Jabodetabek. Universitas Nasional. Jakarta.
- Anonim. 2013. Cara Pengambilan Sampel Air. www.slideshare.net diunduh pada tanggal 11 Desember 2013 jam 16.04.
- Anonimous, 1980. *Manuals of Food Quality Control. 2. Additives Contaminants Techniques*. FAO Food and Nutrition Paper, FAO of the United Nations, Rome
- Anonimous. 2006. *Bahan Tambahan Makanan - Food Additives*. Ebook Pangan. Com Blackie. 1991. *Food Additives User's Handbook*. New York: Publ. In USA by Avi
- Anonymous. 2010. *Total Dissolved Solids*. http://en.wikipedia.org/wiki/Total_dissolved_solids. diakses 17 Juni 2012.
- Athena S, Hendro M, Anwar M, Haryono. 2004. *Kandungan Bakteri Total Coli dan E.coli/Fecal coli Air Minum dari Depot Air Minum Isi Ulang di Jakarta, Tangerang dan Bekasi*.
- Boyd. 1982. *Water Quality Management for Pond Fish Culture*. Auburn University. Alabama. USA
- Brown, A.L. 1987. *Freshwater Ecology*. Heinemann Educational Books, Londoh. 163 p.
- Cahyadi., W. 2008. *Analisi dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Manakan*. Jakarta. Bumi Aksara
- Charles, J.P.S. 1990. *Metode Analisis Penetapan Kadar Pewarna Sintetis yang Larut dalam Air pada Makanan MInuman*. Dirjen POM Depkes RI

- Cole, G.A. 1988. *Textbook of Limnology*. Third Edition. Waveland Press, Inc. Illionis, USA
- Dahuri. R, dkk. 2003. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Davis, M.L. and Cornwell, D.A. 1991. *Intoduction to Environtmental Engineering*. Second edition. Mc-Graw-Hill, Inc., New York. 882p
- Dean, J. and Bradley, R. 1984. *Part I. Industrial Surfactans: A Complex Market, Buffered by Shifting Trends in Technology, Raw Material, Sales Strategies*. Chem. Week. 135(24): 3-34.
- De-Man, John M., 1997, "Kimia Makanan/ John M. deMan diterjemahkan oleh Kosasih Padmawinata, Penerbit ITB, Bandung.
- Dirjen Pengairan Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *Pedoman Pengamatan Kualitas Air*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelola Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 257 hal.
- F.G. Winarno. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Fennema, O.R. (ed.), 1976. *Principles of Food Science*, Marcel Dekker Inc., New York.
- Fennema, O.R. and W.D. Powrie, 1964. "Proposed Structure for water and for Ice" *Advanced in Food Research*, 13: 219
- G Alerts dan Santika, 1987. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional Surabaya. 309 hal.
- Hadi, A. 2007. *Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan*. Gramedia Pustaka. Jakarta. 235
- Hakim, L. 2009. Makrozoobenthos Sebagai Indikator Pencemaran Lingkungan. <http://ilmukelautan.com>.
- Haslam, S.M. 1995. *River Pollution and Ecological Perspective*. John Wiley and Sons, Chichester. UK. 253 p.
- Hellawel, J.M. 1986. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science Publisher, London.

- Hilsenhoff, W. L. 1977. Use of arthropods to evaluate water quality of streams. Technical. Bulletin No. 100 google.com
<http://id.shvoong.com/exactsciences/chemistry/2157090-penentuan-kadar-dengan-metode-gravimetri/>. diakses 17 Juni 2012.
- <http://misnanidulhadi.blogspot.com/>. diakses 17 Juni 2012.
- Irha. 2011. *Penentuan Kadar Menggunakan Gravimetri*.
- Istiqomah., K. 2002. Analisis Kromatografi CAir Kinerja Tinggi Pemanis BUatan Kalium Asesulfam dengan Na-Sakarin sebagai Baku Dalam. Bandung Institut Teknologi Bandung
- Jeffries, D.S., Wales, D.L., Kels, J.R.M. and Linthurst, R.A. 1989. *Regional Characteristic of Lakes in North America; Water Air Soil Pollution*. Part I Eastern Canada. 31: 555-567
- Jeffries, M. and Mills, D. 1996. *Freshwater Ecology, Principles, and Applications*. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 285 p.
- John M deMan, 1997, Kimia Makanan, Penerbit ITB. Bandung
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2006. Himpunan Peraturan Perundangan – Undangan di Bidang Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta. Khopkar, SM. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Kusnaedi. 2002. *Mengolah Air Gambut dan Air Kotor untuk Air Minum*. Penerbit Swadaya. Jakarta.
- Lu., F.C ., 1995, " Basic Toxicology : fundamentals Target ,Organs, and Risk Assesment (Toksikologi Dasar Asas, Organ, Sasaran dan Penilaian Resiko)", Penerjemah Edi Nugroho, Ed 2, UI Press, Jakarta.
- Mukono., H.J., 2005," Toksikologi Lingkungan ", Cet-1, Airlangga University Press, Surabaya.
- Mahmudi, M.2005. Produktivitas Perairan. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang
- Mays. L. W. 1996. *Water Resources Handbook*. MC Graw-Hill New York. P:8.27-8.28
- Mason, C.F. 1993. *Biology of Freshwater Pollution*. Second edition. Longman Scientific and Technical, New York. 351 p.

- Misnani. 2010. *Praktikum Teknik Lingkungan Total Padatan Terlarut..*
- Nasution, MI. 2008. *Penentuan Jumlah Amoniak dan Total Padatan Tersuspensi Pada Pengolahan Air Limbah PT. Bridgestone Sumatera Rubber Estate Dolok Merangkir.* Universitas Sumatera Utara.
- Novonty V dan H. Olem. 1994. *Water Quality, Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution.* Van Nostrans Reinhold. New York.
- Nybakken, A.J. 1992. *Biologi Laut* (Terjemahan oleh Dietrich, Bengen, Koesobiono, Eidman). PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology.* University of Georgia. Athens Georgia (diterjemahkan oleh Samingan dan Srigandono). 697 hal 236
- Oram, B. 2010. *Total Dissolved Solids*, <http://www.water-research.net/totaldissolvedsolids.htm>. diakses tanggal 17 Juni 2012.
- Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 722/MenKes/Per/IX/1988. Bahna Tambahan Makanan Rismana., E dan Paryanto., I. 2002. Beberapa Bahan Pemanis Alternatif yang Aman. Jakarta: Kompas Cyber Media.
- Rahardi F. Kristiawati R, Nazaruddin. 2001. *Agribisnis Perikanan.* Penebar Swadaya. Jakarta. 21 hal.
- Romimohtanto dan Juwana. 2001. *Biologi Laut.* Djambatan. Jakarta
- Romimohtarto, Kasijan dan Sri Juwana. 2005. *Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut.* Dlambatan. Jakarta.
- Romimohtarto.K.1985.*Kualitas Air Dalam Budidaya Laut.* In Seafarming workshop report, Bandar Lampung, 28 October - 1 November. Fisheries and Agriculture Department
- Sahlan, 1982. *Planktonologi.* Fakultas Peternakan dan Perikanan UNDIP. Semarang. 132 hal.
- Shaleh F R, dkk. 2012. Laporan Praktikum Produktivitas Perairan. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perairan. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Soesono. 1989. *Limnology.* Direktorat Jenderal Perikanan. Departemen Pertanian Bogor. Subandiyo. 1992. *Limnologi*

- Metode Analisa Kualitas Air. Edisi 1. Fakultas Perikanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Subandriyo. 1996. *Faktor Fisika dan Kimia Air. Dasar-dasar Kualitas Air untuk Budidaya Udang*. PT. Central Perwira Bratasena. Lampung 23 hal.
- Sudarjanti dan Wijarni. 2006. *Keanekaragaman dan Kelimpahan Makrozoobenthos*. Erlangga. Jakarta
- Sumawijaya, K. 1974. *Limnologi*. Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi IPB. Bogor. 81 hal
- Sutika N. 1989. *Ilmu Air*. Universitas Padjdjaran. BUNPAD Bandung.
- Sutika. H.1999. *Ilmu Air*. Buku Pegangan Mahasiswa Politeknik Pertanian. Departemen Pendidikan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Universitas Padjadjaran
- Schaumberg, H.H., Byck, R., Gerstl, R., and Marshman, J.H., (1969), *Monosodium Glutamat : Its pharmacology and role in the Chinese restaurant syndrome*. Science
- Sutjiyanto, R. 2003. *Biodeversitas Plankton sebagai Indikator Kualitas Perairan*
- Sutrisno, T dan E, Suciastuti. 2002. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*, Rineka Cipta. Jakarta.
- Suwondo dkk, 2004. *Keanekaragaman, densitas dan distribusi benthos di perairan sungai pepe Surakarta*.
- Tarigan, M.S, dan Edward. 2003. *Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara*.
- Tebbutt, T.H.Y. 1992. *Principles of Water Quality Control*. Fourth edition. Pergamon Press, Oxford. 251 p.
- Tim Asisten Ekologi Perairan. 2012. *Panduan Praktikum Ekologi Perairan. Ekosistem Sungai Metro, Kota Malang*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang
- Umaly, R.C. dan L.A Cuvin. 1988. *Lymnology: Laboratory and Field Guide, Physicochemical Factor, Biological Factor*. National Book Store, Inc. Publisher. Metro Manila 322p

- Wardoyo S.T.H. 1975. *Pengelolaan Kualitas Air*. Fakultas perikanan. IPB bogor. 80 hal
- WHO. 2004. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Third Edition. Volume 1: Recommendation. Geneva.
- Winarno, F., G., dan Rahayu. 1994. *Bahan Tambahan Makanan Untuk Pangan dan Kontaminan*. Cet 1. Jakarta. Pustaka Sinar Harapan
- Yates, M.V. 1992. *Biomonitoring of Environmental Contamination*. In *Encyclopedia of Microbiology*, Academic Press, INC., San Diego, USA. 231-331p.