

BIOKIMIA



Penulis:

1. Dian Wuri Astuti
2. Khafsah Sangadah
3. Vicha Nur Fatanah
4. Masfah Raudlotus Shofiyyah
5. Dewi Kurniasih
6. Muslina
7. Erisa Febriyani
8. Rina Setyawati
9. Renditya Ismiyati
10. Ratna Puspita

BIOKIMIA

Dian Wuri Astuti
Khafsah Sangadah
Vicha Nur Fatanah
Masfah Raudlotus Shofiyyah
Dewi Kurniasih
Muslina
Erisa Febriyani
Rina Setyawati
Renditya Ismiyati
Ratna Puspita

Editor: Wiwin Aprianie



PT. Mustika Sri Rosadi

BLOKIMIA

Penulis:

Dian Wuri Astuti
Khafsah Sangadah
Vicha Nur Fatanah
Masfah Raudlotus Shofiyyah
Dewi Kurniasih
Muslina
Erisa Febriyani
Rina Setyawati
Renditya Ismiyati
Ratna Puspita

Editor: Wiwin Aprianie

Layout: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

Desain Sampul: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

ISBN: 978-634-7775-37-5 (PDF)

Cetakan Pertama: 15 Juli 2026

Hak Cipta 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh **Penerbit Mustika Sri Rosadi**

Anggota IKAPI No. 544/JBA/2026

Alamat:

Citra Indah City, Bukit Heliconia, Kec. Jonggol, Kab. Bogor.

Email: mars.mustikasrirosadi@gmail.com

Website: mustikamars.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku "Biokimia" ini dapat disusun dan diselesaikan. Buku ini dirancang sebagai sumber pembelajaran yang komprehensif bagi mahasiswa, tenaga kesehatan, dan pembaca dalam memahami konsep-konsep dasar biokimia sebagai landasan ilmu kesehatan dan kedokteran.

Buku ini membahas berbagai materi penting, mulai dari pengantar biokimia, struktur air dan sistem buffer, karbohidrat, protein, enzim, asam nukleat, metabolisme karbohidrat dan protein, bioenergetika, hingga biokimia klinis serta hubungannya dengan berbagai penyakit. Materi disajikan secara sistematis agar memudahkan pembaca memahami keterkaitan proses biokimia dengan fungsi tubuh manusia dan praktik pelayanan kesehatan.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung tersusunnya buku ini. Semoga bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan praktik di bidang kesehatan.

Bogor, 15 Juli 2026
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB 1 PENGANTAR BIOKIMIA - Dian Wuri Astuti	1
A. Pendahuluan	1
B. Pengertian Biokimia	2
C. Ruang Lingkup Biokimia	3
D. Peran Biokimia dalam Memahami Proses Kehidupan	7
E. Aplikasi Biokimia dalam Bidang Kesehatan	9
F. Aplikasi Biokimia dalam Bidang Kedokteran	10
G. Integrasi Biokimia dalam Ilmu Kesehatan Modern	12
H. Kesimpulan	12
I. Latihan Soal	13
BAB 2 STRUKTUR AIR DAN SISTEM <i>BUFFER</i> - Khafsa Sangadah	17
A. Pendahuluan	17
B. Air	17
C. Sistem <i>Buffer</i>	22
D. Latihan Soal	33
BAB 3 KARBOHIDRAT DAN FUNGSINYA -Vicha Nur Fatanah	37
A. Pendahuluan	37
B. Karakteristik dan Fungsi Karbohidrat	38
C. Penggolongan Karbohidrat	42
D. Latihan Soal	46
BAB 4 PROTEIN DAN ASAM AMINO - Masfah Raudlotus Shofiyyah	49
A. Pendahuluan	49
B. Asam Amino	50

C. Protein	54
D. Denaturasi Protein	59
E. Aplikasi Klinik yang Menerapkan Konsep denaturasi Protein	60
F. Rangkuman	61
G. Latihan Soal	62
BAB 5 ENZIM - Dewi Kurniasih	65
A. Pendahuluan	65
B. Mekanisme Kerja Enzim	65
C. Faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim	69
D. Peran Enzim Dalam Mempercepat Reaksi Biokimia di Dalam Sel	72
E. Latihan Soal	75
BAB 6 STRUKTUR DAN FUNGSI ASAM NUKLEAT - Muslina	78
A. Pendahuluan	78
B. Peran Biomedis	79
C. Biosintesis Nukleotida Purin	80
D. Deoksiribonukleosida Urasil & Sitosin "Diselamatkan"	81
E. Metotreksat Menghambat Reduksi Dihidrofolat	82
F. Gout Adalah Gangguan Metabolik Katabolisme Purin	83
G. Katabolisme Pirimidin Memproduksi Metabolit Larut Air	85
H. Latihan Soal	86
BAB 7 METABOLISME KARBOHIDRAT - Erisa Febriyani	90
A. Pendahuluan	90
B. Pencernaan dan Absorpsi Karbohidrat	91
C. Glikolisis	93

D. Oksidasi Piruvat dan Siklus Asam Sitrat (Siklus Krebs)	94
E. Rantai Transpor Elektron dan Fosforilasi Oksidatif	96
F. Glikogenesis	98
G. Glikogenolisis	100
H. Glukoneogenesis	101
I. Jalur Pentosa Fosfat (<i>Pentose Phosphate Pathway</i>)	103
J. Latihan Soal	104
BAB 8 METABOLISME PROTEIN - Rina Setyawati .	107
A. Pendahuluan	107
B. Konsep Metabolisme Protein	107
C. Pencernaan dan Absorpsi Protein	110
D. Katabolisme Asam Amino	111
E. Siklus Urea	113
F. Anabolisme Asam Amino	116
G. Peran Hormon Pada Protein	118
H. Latihan Soal	120
BAB 9 BIOENERGETIKA DAN PRODUKSI ENERGI - Renditya Ismiyati	124
A. Pendahuluan	124
B. Konsep Dasar Bioenergetika	125
C. ATP: Mata Uang Energi Sel	126
D. Oksidasi Biologis	127
E. Rantai Transpor Elektron (RTE)	128
F. Fosforilasi Oksidatif	129
G. Aspek Farmakologis dan Klinis	131
H. Latihan Soal	132
BAB 10 BIOKIMIA KLINIS DAN HUBUNGANNYA DENGAN PENYAKIT - Ratna Puspita	136
A. Pendahuluan	136

B. Dasar-Dasar Biokimia Klinis	136
C. Biomarker Biokimia dalam Diagnosis Penyakit.....	138
D. Profil Biokimia untuk Organ Spesifik.....	140
E. Keterbatasan dan Interpretasi Hasil Laboratorium	143
F. Latihan Soal	147
DAFTAR PUSTAKA	152
BIOGRAFI PENULIS	164
BIOGRAFI EDITOR	174
LAMPIRAN	177
SINOPSIS	181

BAB 1

PENGANTAR BIOKIMIA

A. Pendahuluan

1. Tujuan Pembelajaran

Mahasiswa mampu memiliki landasan ilmiah untuk memahami proses kimia dalam makhluk hidup, yaitu:

- a. Memahami konsep dasar biokimia
- b. Mahasiswa mampu menjelaskan pengertian biokimia sebagai cabang ilmu yang mengkaji molekul penyusun makhluk hidup dan reaksi kimia yang terjadi di dalamnya.
- c. Menjelaskan struktur dan fungsi biomolekul
Mahasiswa memahami struktur, sifat, dan fungsi utama karbohidrat, protein, Lipid, Asam nukleat
- d. Memahami prinsip reaksi biokimia dan enzim
- e. Mahasiswa mampu menjelaskan peran enzim sebagai katalis biologis, mekanisme kerja, serta faktor yang memengaruhi aktivitas enzim.
- f. Memahami dasar metabolisme
- g. Mahasiswa mengenali konsep dasar jalur metabolisme seperti: Katabolisme (pemecahan molekul) dan Anabolisme (sintesis molekul)

- h. Mengaitkan biokimia dengan sistem biologis dan kesehatan
- i. Mahasiswa mampu memahami hubungan antara proses biokimia dengan fungsi tubuh serta kaitannya dengan penyakit.

2. Capaian Pembelajaran

Setelah mengikuti pembelajaran pada topik ini diharapkan mahasiswa mampu:

- a. Menjelaskan konsep dasar biokimia
- b. Menganalisis struktur dan fungsi biomolekul
- c. Menjelaskan prinsip reaksi biokimia dan peran enzim
- d. Memahami konsep dasar metabolisme
- e. Mengaitkan proses biokimia dengan sistem biologis dan kesehatan

B. Pengertian Biokimia

Biokimia merupakan ilmu yang mempelajari struktur, fungsi, dan interaksi biomolekul dalam makhluk hidup. Setiap proses biologis dalam tubuh makhluk hidup, seperti metabolisme energi, sintesis protein, dan regulasi gen, terjadi melalui reaksi kimia yang kompleks (Murray, dkk., 2018). Oleh karena itu, ruang lingkup biokimia tidak hanya terbatas pada kajian struktur molekul, tetapi juga mencakup dinamika interaksi molekuler serta implikasinya dalam sistem biologis. Perkembangan

biokimia telah memperluas cakupan kajian hingga mencakup bidang kesehatan, farmasi, bioteknologi, dan lingkungan. Hal ini menjadikan biokimia sebagai ilmu yang bersifat multidisiplin dan sangat relevan dalam menjawab berbagai tantangan kesehatan global (Garrett & Grisham, 2017).

C. Ruang Lingkup Biokimia

Ruang lingkup biokimia meliputi biokimia struktural, enzimologi, metabolisme, biologi molekuler, serta biokimia klinis. Pemahaman terhadap ruang lingkup ini sangat penting dalam menjelaskan mekanisme kehidupan serta pengembangan ilmu kesehatan modern.

1. Biokimia Struktural

Biokimia struktural mempelajari struktur dan sifat fisik biomolekul, termasuk protein, karbohidrat, lipid, dan asam nukleat. Fokus utama bidang ini adalah memahami hubungan antara struktur molekul dengan fungsi biologisnya.

Protein, misalnya, memiliki struktur hierarkis yang terdiri dari struktur primer, sekunder, tersier, dan kuartener. Perubahan kecil dalam struktur protein dapat menyebabkan perubahan fungsi yang signifikan, bahkan dapat menyebabkan penyakit seperti anemia sel sabit.

Selain itu, studi struktur DNA memberikan pemahaman tentang mekanisme penyimpanan dan pewarisan informasi genetik. Teknik seperti kristalografi sinar-X dan spektroskopi digunakan untuk mengungkap struktur molekul secara detail.

2. Enzimologi

Enzimologi adalah cabang biokimia yang mempelajari enzim sebagai katalis biologis. Enzim mempercepat reaksi kimia tanpa mengalami perubahan permanen, sehingga sangat penting dalam mempertahankan kehidupan.

- a. Ruang lingkup enzimologi meliputi:
- b. Mekanisme kerja enzim
- c. Kinetika enzim
- d. Regulasi aktivitas enzim
- e. Faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim (pH, suhu, inhibitor)

Konsep kunci dalam enzimologi adalah model "lock and key" dan "induced fit", yang menjelaskan interaksi antara enzim dan substrat. Gangguan pada aktivitas enzim dapat menyebabkan berbagai penyakit metabolik.

3. Metabolisme

Metabolisme mencakup seluruh reaksi kimia yang terjadi dalam sel (Voet, dkk., 2016).

Metabolisme dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu:

a. Katabolisme

Proses pemecahan molekul kompleks menjadi molekul sederhana yang menghasilkan energi dalam bentuk ATP.

b. Anabolisme

Proses sintesis molekul kompleks dari molekul sederhana yang membutuhkan energi.

Jalur metabolik utama yang dipelajari dalam biokimia meliputi:

- 1) Glikolisis
- 2) Siklus Krebs
- 3) Rantai transport elektron
- 4) Metabolisme lipid dan protein

Regulasi metabolisme sangat penting untuk menjaga keseimbangan energi dalam tubuh. Ketidakseimbangan metabolisme dapat menyebabkan penyakit seperti diabetes mellitus dan obesitas (Nelson & Cox, 2017).

4. Biologi Molekuler

Biologi molekuler merupakan bagian dari biokimia yang mempelajari mekanisme molekuler dalam ekspresi gen. Fokus utama bidang ini adalah pada DNA, RNA, dan sintesis protein.

Proses utama dalam biologi molekuler meliputi:

- a. Replikasi DNA
- b. Transkripsi (DNA → RNA)
- c. Translasi (RNA → protein)

Pemahaman tentang biologi molekuler sangat penting dalam pengembangan teknologi modern seperti rekayasa genetika, terapi gen, dan diagnostik molekuler (Berg, dkk., 2015).

5. Biologi Klinis

Biokimia klinis merupakan aplikasi biokimia dalam bidang kesehatan dan kedokteran. Bidang ini berfokus pada analisis cairan tubuh (darah, urin, cairan serebrospinal) untuk diagnosis dan pemantauan penyakit.

Ruang lingkup biokimia klinis meliputi:

- a. Analisis kadar glukosa darah
- b. Profil lipid
- c. Fungsi hati dan ginjal
- d. Penanda tumor
- e. Elektrolit dan keseimbangan asam-basa

Biokimia klinis berperan penting dalam membantu tenaga medis menentukan diagnosis, prognosis, dan terapi penyakit.

Semua bidang dalam biokimia saling berhubungan dan tidak dapat dipisahkan, misalnya:

- a. Struktur protein menentukan fungsi enzim
- b. Aktivitas enzim mempengaruhi jalur metabolisme

- c. Metabolisme diatur oleh ekspresi gen

Integrasi ini memungkinkan pemahaman yang komprehensif tentang sistem biologis dan membantu dalam pengembangan solusi terhadap berbagai masalah kesehatan.

D. Peran Biokimia dalam Memahami Proses Kehidupan

Biokimia memainkan peran penting dalam menjelaskan berbagai proses fundamental yang mendasari kehidupan.

1. Produksi dan Pengelolaan Energi

Salah satu peran utama biokimia adalah menjelaskan bagaimana organisme memperoleh, menyimpan, dan menggunakan energi. Energi dalam tubuh disimpan dalam bentuk adenosin trifosfat (ATP) yang dihasilkan melalui proses metabolisme seperti glikolisis, siklus Krebs, dan rantai transpor elektron. Proses ini memungkinkan sel untuk menjalankan berbagai fungsi vital, seperti kontraksi otot, sintesis molekul, dan transport zat (Campbell, dkk., 2020).

2. Sintesis dan Degradasi Biomolekul

Biokimia menjelaskan bagaimana tubuh mensintesis biomolekul penting seperti protein, lipid, karbohidrat, dan asam nukleat

(anabolisme) dan proses pemecahan molekul (katabolisme).

Sintesis protein, misalnya, melibatkan proses transkripsi dan translasi yang diatur secara ketat oleh sistem genetik. Kesalahan dalam proses ini dapat menyebabkan gangguan fungsi sel dan penyakit.

3. Regulasi dan Komunikasi Sel

Biokimia juga berperan dalam menjelaskan bagaimana sel berkomunikasi dan mengatur aktivitasnya melalui molekul sinyal seperti hormon, neurotransmitter, dan faktor pertumbuhan.

Mekanisme transduksi sinyal memungkinkan sel merespons perubahan lingkungan secara cepat dan tepat. Gangguan pada sistem ini dapat menyebabkan berbagai penyakit, termasuk kanker dan gangguan metabolik.

4. Pewarisan dan Ekspresi Genetik

Biokimia molekuler menjelaskan bagaimana informasi genetik disimpan dalam DNA dan diekspresikan menjadi protein yang berfungsi dalam tubuh.

Proses replikasi, transkripsi, dan translasi merupakan dasar dari pewarisan sifat dan fungsi biologis. Mutasi pada DNA dapat menyebabkan perubahan struktur protein yang berdampak

pada kesehatan organisme (McKee, & McKee., 2019).

5. Homeostasis

Biokimia berperan dalam menjaga keseimbangan internal tubuh (homeostasis), termasuk pengaturan pH, suhu, kadar glukosa, dan keseimbangan elektrolit.

Mekanisme ini melibatkan berbagai sistem biokimia yang bekerja secara terintegrasi untuk memastikan tubuh tetap berada dalam kondisi optimal.

E. Aplikasi Biokimia dalam Bidang Kesehatan

Pemahaman biokimia sangat penting dalam menjaga kesehatan dan mencegah penyakit.

1. Nutrisi dan Metabolisme

Biokimia membantu menjelaskan bagaimana tubuh mencerna, menyerap, dan memanfaatkan zat gizi. Pengetahuan ini digunakan untuk merancang pola makan yang sehat dan mencegah gangguan nutrisi seperti malnutrisi dan obesitas.

2. Sistem Imun

Biokimia menjelaskan mekanisme pertahanan tubuh terhadap patogen melalui interaksi molekuler antara antigen dan antibodi. Pemahaman ini penting dalam pengembangan vaksin dan terapi imun.

3. Biomarker Kesehatan

Biokimia digunakan untuk mengidentifikasi biomarker yang dapat menunjukkan kondisi kesehatan seseorang, seperti kadar glukosa, kolesterol, dan enzim tertentu dalam darah.

Biomarker ini membantu dalam deteksi dini penyakit serta pemantauan kondisi kesehatan. (Baynes & Dominiczak, 2019).

F. Aplikasi Biokimia dalam Bidang Kedokteran

Dalam dunia kedokteran, biokimia memiliki peran yang sangat penting dalam diagnosis, terapi, dan penelitian penyakit (Stryer, dkk., 2019).

1. Diagnosis Penyakit

Pemeriksaan laboratorium berbasis biokimia digunakan untuk mendiagnosis berbagai penyakit. Contohnya:

- a. Kadar glukosa darah untuk diagnosis diabetes mellitus
- b. Profil lipid untuk penyakit kardiovaskular
- c. Enzim hati untuk gangguan fungsi hati

Analisis ini memberikan informasi objektif mengenai kondisi fisiologis dan patologis pasien (Baynes & Dominiczak, 2019).

2. Pengembangan Obat

Biokimia berperan dalam memahami mekanisme kerja obat pada tingkat molekuler.

Pengetahuan tentang interaksi antara obat dan target biologis memungkinkan pengembangan obat yang lebih efektif dan spesifik.

Selain itu, biokimia juga digunakan dalam studi farmakokinetik dan farmakodinamik untuk menentukan dosis dan keamanan obat.

3. Terapi Berbasis Molekuler

Perkembangan biokimia molekuler telah memungkinkan munculnya terapi berbasis molekuler, seperti terapi gen dan terapi target (*targeted therapy*).

Terapi ini dirancang untuk menargetkan molekul spesifik yang terlibat dalam penyakit, sehingga meningkatkan efektivitas pengobatan dan mengurangi efek samping (Alberts, dkk., 2022).

4. Pemantauan Penyakit

Biokimia digunakan untuk memantau perkembangan penyakit dan respons terhadap terapi. Misalnya, kadar hemoglobin terglikasi (HbA1c) digunakan untuk memantau kontrol glukosa pada pasien diabetes (Burtis, dkk., 2023).

5. Pemahaman Patogenesis Penyakit

Biokimia membantu menjelaskan mekanisme terjadinya penyakit pada tingkat molekuler, seperti:

a. Resistensi insulin pada diabetes

- b. Mutasi gen pada kanker
- c. Peradangan kronis pada penyakit degeneratif

Pemahaman ini menjadi dasar dalam pengembangan strategi pencegahan dan pengobatan (Lodish, dkk., 2021).

G. Integrasi Biokimia dalam Ilmu Kesehatan Modern

Biokimia tidak berdiri sendiri, tetapi terintegrasi dengan berbagai bidang seperti:

- 1. Biologi molekuler
- 2. Farmasi
- 3. Mikrobiologi
- 4. Kedokteran klinis

Integrasi ini memungkinkan pendekatan multidisipliner dalam menangani masalah kesehatan, termasuk pengembangan pengobatan presisi (*precision medicine*) (Rodwell, dkk., 2021).

H. Kesimpulan

Biokimia memiliki peran yang sangat penting dalam memahami proses kehidupan pada tingkat molekuler. Ilmu ini menjelaskan berbagai mekanisme dasar kehidupan, seperti produksi energi, sintesis biomolekul, dan regulasi genetik.

Selain itu, biokimia memiliki aplikasi luas dalam bidang kesehatan dan kedokteran, termasuk

diagnosis penyakit, pengembangan obat, terapi, dan pemantauan kondisi klinis. Oleh karena itu, pemahaman biokimia merupakan fondasi penting dalam pengembangan ilmu kesehatan dan peningkatan kualitas hidup manusia.

I. Latihan Soal

1. Biokimia adalah ilmu yang mempelajari
 - A. Struktur bumi dan mineral
 - B. Makhluk hidup dan lingkungannya
 - C. Molekul penyusun makhluk hidup dan reaksi kimia yang terjadi di dalamnya
 - D. Penyakit menular pada manusia
 - E. Penyakit tidak menular pada manusia
2. Tujuan utama mempelajari biokimia adalah
 - A. Mengetahui sejarah perkembangan ilmu kesehatan
 - B. Memahami proses kehidupan pada tingkat molekuler
 - C. Menentukan jenis obat yang akan digunakan
 - D. Mempelajari struktur organ tubuh saja
 - E. Mengetahui cara hidup bersih dan sehat
3. Cabang biokimia yang mempelajari struktur biomolekul disebut
 - A. Enzimologi
 - B. Metabolisme
 - C. Biokimia struktural

- D. Biokimia klinis
 - E. Biologi
4. Berikut yang merupakan ruang lingkup biokimia adalah
- A. Struktur biomolekul
 - B. Metabolisme sel
 - C. Fungsi enzim
 - D. Semua benar
 - E. Semua salah
5. Biokimia memiliki peran penting dalam bidang kesehatan karena
- A. Membantu memahami mekanisme penyakit pada tingkat molekuler
 - B. Menggantikan ilmu anatomi
 - C. Menentukan harga obat
 - D. Mengukur tekanan darah
 - E. Menentukan status kesehatan masyarakat
6. Metabolisme adalah
- A. Proses pembelahan sel
 - B. Seluruh reaksi kimia dalam makhluk hidup
 - C. Sistem peredaran darah
 - D. Proses reproduksi
 - E. Sistem pernafasan
7. Pemecahan molekul kompleks menjadi molekul sederhana disebut
- A. Anabolisme
 - B. Katabolisme
 - C. Biosintesis

- D. Difusi
 - E. Transkripsi
8. Pembentukan molekul kompleks dari molekul sederhana disebut
- A. Katabolisme
 - B. Respirasi
 - C. Anabolisme
 - D. Oksidasi
 - E. Difusi
9. Berikut yang bukan aplikasi biokimia dalam bidang kedokteran, yaitu untuk ...
- A. Mendiagnosis penyakit
 - B. Pengembangan obat
 - C. Terapi berbasis molekuler, seperti terapi gen
 - D. Memantau perkembangan penyakit dan respons terhadap terapi
 - E. Perancangan struktur bangunan rumah sakit
10. Berikut yang bukan aplikasi biokimia dalam bidang kesehatan, yaitu untuk ...
- A. Merancang pola makan yang sehat dan mencegah gangguan nutrisi
 - B. Menjelaskan mekanisme pertahanan tubuh terhadap patogen melalui interaksi molekuler antara antigen dan antibodi.
 - C. Mengidentifikasi biomarker yang dapat menunjukkan kondisi kesehatan seseorang

- D. Pengukuran kadar glukosa darah dalam rangka diagnosis diabetes melitus
- E. Mendesain kebutuhan fasilitas kesehatan

BAB 2

STRUKTUR AIR DAN SISTEM *BUFFER*

A. Pendahuluan

1. Tujuan Pembelajaran

Mahasiswa mampu menjelaskan struktur dan sifat air serta konsep pH dan sistem buffer dalam menjaga keseimbangan asam-basa tubuh.

2. Capaian Pembelajaran

Setelah mengikuti pembelajaran pada topik ini diharapkan mahasiswa mampu:

- a. Menganalisis hubungan antara struktur dan sifat air dengan perannya dalam sistem biologis.
- b. Menganalisis konsep kesetimbangan air, kekuatan asam-basa, dan perhitungan pH.
- c. Mengevaluasi peran sistem buffer dalam menjaga kestabilan pH pada cairan biologis dan proses metabolisme.

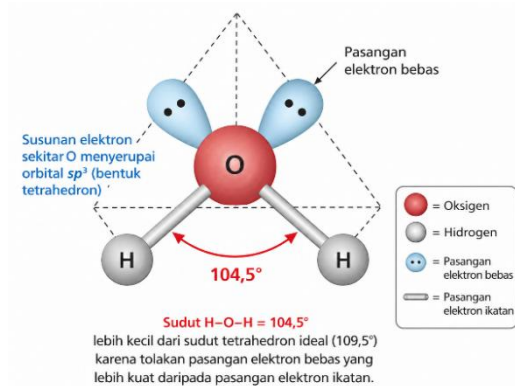
B. Air

Air merupakan komponen utama tubuh yang berperan sebagai pelarut biologis dan medium berbagai reaksi biokimia. Keberadaan air memungkinkan transportasi zat, pengaturan suhu, serta pemeliharaan fungsi sel dan jaringan. Pada bab ini akan dijelaskan struktur dan sifat air, konsep

pH, serta peran sistem buffer dalam mempertahankan homeostasis tubuh.

1. Struktur Molekul dan Kepolaran Air

Molekul air tersusun atas satu atom oksigen yang berikatan kovalen dengan dua atom hidrogen. Bentuk molekul air ditentukan oleh susunan orbital elektron terluar atom oksigen yang menyerupai orbital sp^3 sehingga membentuk struktur tetrahedron, dengan dua sudut ditempati atom hidrogen dan dua sudut lainnya ditempati pasangan elektron bebas. Sudut ikatan H-O-H pada molekul air sebesar $104,5^\circ$, sedikit lebih kecil dibandingkan sudut tetrahedron ideal $109,5^\circ$ karena adanya tolakan pasangan elektron bebas pada atom oksigen yang tidak terlibat dalam pembentukan ikatan. (Nelson & Cox, 2005). Gambar 1.1 menunjukkan bentuk dan geometri molekul air.



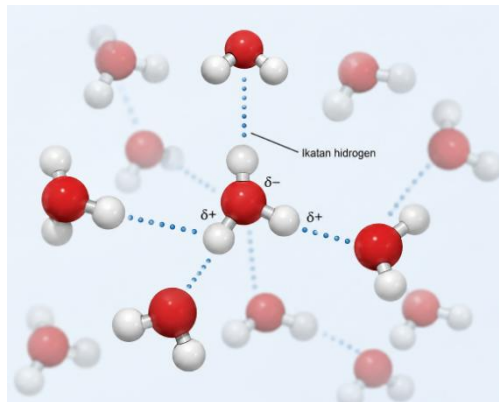
Gambar 2.1 Bentuk Molekul Air

Distribusi muatan listrik yang tidak merata pada molekul air menyebabkan air bersifat polar. Atom oksigen memiliki elektronegativitas lebih tinggi daripada atom hidrogen, sehingga elektron ikatan lebih tertarik ke arah oksigen. Akibatnya, atom oksigen bermuatan negatif parsial (δ^-), sedangkan atom hidrogen bermuatan positif parsial (δ^+). Sifat ini memungkinkan air berinteraksi dengan ion maupun molekul lain yang bermuatan.

2. Ikatan Hidrogen pada Air

Perbedaan distribusi muatan pada air membentuk sifat dipol dan gaya tarik elektrostatik antara atom oksigen dari satu molekul air dengan atom hidrogen dari molekul air lainnya yang dikenal sebagai ikatan hidrogen (Gambar 2). Ikatan hidrogen merupakan interaksi nonkovalen lemah antara atom hidrogen dari satu molekul dengan atom yang bersifat lebih elektronegatif pada molekul lain. (Haoxing & System, 2018) Energi yang diperlukan untuk memutus satu ikatan hidrogen air dalam wujud cair hanya sekitar 4,5 kkal/mol, yaitu kurang dari 5% energi yang dibutuhkan untuk memutus ikatan kovalen O–H. Ikatan hidrogen juga tidak berlangsung lama, dengan waktu paruh kurang lebih sekitar satu mikrodetik. Ikatan hidrogen menyebabkan

molekul-molekul air saling berinteraksi dan membentuk susunan yang lebih teratur. Rata-rata, satu molekul air membentuk ikatan hidrogen dengan sekitar 3,5 molekul air lainnya. Keseluruhan ikatan hidrogen antar molekul air memberikan kohesi pada air dalam wujud cair. Ikatan hidrogen sangat memengaruhi sifat fisik air dan menjadi penyebab tingginya tegangan permukaan dan titik didih air. (Wood, 1996)



Gambar 2.1 Ikatan Hidrogen Antar Molekul Air

Ikatan hidrogen tidak hanya terbentuk antar molekul air, tetapi juga antara atom elektronegatif (seperti oksigen atau nitrogen) yang memiliki pasangan elektron bebas dengan atom hidrogen yang terikat pada atom elektronegatif lainnya. Ikatan ini dapat terjadi dalam molekul yang sama maupun antarmolekul. Karena bersifat terarah, ikatan hidrogen berperan penting dalam mempertahankan susunan geometri dan

stabilitas struktur molekul. (Ahern, Rajagopal, 2014) Sifat ini berperan dalam pembentukan struktur tiga dimensi biomolekul seperti protein dan asam nukleat karena memiliki banyak ikatan hidrogen intramolekul. Selain itu, jaringan ikatan hidrogen yang luas dapat membentuk jembatan antarmolekul terlarut sehingga molekul-molekul besar, seperti protein dan asam nukleat, dapat saling berinteraksi tanpa harus bersentuhan langsung. (Nelson & Cox, 2005)

3. Air dan Gaya Antarmolekul dalam Sistem Biologis

Sifat kepolaran yang tinggi menjadikan air sebagai pelarut yang sangat efektif bagi senyawa ionik dan polar. Melalui proses hidrasi, air mampu memisahkan dan menstabilkan ion-ion bermuatan, seperti ion Na^+ , Cl^- , senyawa dengan gugus karboksilat, amonium, dan fosfat, sehingga melemahkan gaya elektrostatik serta meningkatkan kelarutannya dalam larutan. Sebaliknya, senyawa nonpolar bersifat hidrofobik karena tidak dapat berinteraksi secara menguntungkan dengan air. Akibatnya, molekul-molekul nonpolar cenderung berkumpul melalui interaksi hidrofobik untuk meminimalkan kontak dengan air, suatu fenomena yang berperan penting dalam

pembentukan misel, membran biologis, dan stabilisasi struktur tiga dimensi protein. Selain interaksi hidrofobik, biomolekul juga distabilkan oleh berbagai interaksi nonkovalen, seperti ikatan hidrogen, interaksi ionik, dan gaya van der Waals. Meskipun masing-masing interaksi ini relatif lemah dibandingkan ikatan kovalen, kombinasi banyak interaksi nonkovalen menghasilkan efek stabilisasi yang besar sehingga berperan penting dalam mempertahankan struktur dan fungsi biomolekul, termasuk protein, DNA, RNA, serta berbagai kompleks biomolekul.

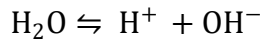
C. Sistem *Buffer*

1. Tetapan Keseimbangan Air (K_w) dan Konsep pH

Salah satu sifat air yang mendasari berbagai proses biologis adalah kemampuannya untuk mengalami ionisasi. Meskipun sebagian besar molekul air berada dalam bentuk utuh, sejumlah molekul air secara spontan terurai menjadi ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-). Proses ini dikenal sebagai autoionisasi air. Fenomena ini memiliki peranan yang sangat besar dalam menentukan sifat asam dan basa suatu larutan dan sistem buffer

dalam menjaga keseimbangan pH dalam sistem biologis.

Secara sederhana, proses ionisasi air sering dituliskan sebagai pembentukan ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-) melalui persamaan reaksi berikut:



Akan tetapi, proton bebas (H^+) sebenarnya tidak berada dalam keadaan bebas. Ion hidrogen yang terbentuk di dalam air akan segera berikatan dengan molekul air membentuk ion hidronium (H_3O^+) akibat adanya ikatan hidrogen. (Nelson & Cox, 2005) Seperti reaksi dua arah pada umumnya, Konstanta disosiasi air, K , dinyatakan sebagai berikut:

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

Pada suhu 25°C, satu liter air murni memiliki massa sekitar 1000 g. Karena massa molar air adalah 18 g/mol, maka konsentrasi air murni dapat dihitung sebesar 55,5 M. Meskipun air mengalami ionisasi secara spontan, hanya sebagian yang sangat kecil dari molekul air yang terionisasi pada suatu waktu. Oleh karena itu, konsentrasi air dapat dianggap konstan. Nilai konstanta disosiasi air (K) yang diperoleh melalui pengukuran konduktivitas listrik air

murni adalah sekitar $1,8 \times 10^{-16}$ pada suhu 25°C. Konsentrasi air yang konstan dapat digabungkan dengan nilai K membentuk konstanta baru yang disebut hasil kali ion air atau tetapan ionisasi air (K_w) dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_w = K [H_2O]$$

dengan memasukkan nilai K dan konsentrasi air, diperoleh:

$$K_w = (1,8 \times 10^{-16})(55,5M) = 1,0 \times 10^{-14}$$

Dengan demikian, pada suhu 25°C, hasil kali konsentrasi ion hidrogen dan ion hidroksida dalam setiap larutan berair selalu bernilai $1,0 \times 10^{-14} M^2$. Hubungan ini berlaku baik pada air murni maupun pada larutan yang bersifat asam atau basa.

$$[H^+][OH^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$

Dalam air murni, konsentrasi ion hidrogen dan ion hidroksida adalah sama. Oleh karena itu:

$$[H^+] = [OH^-]$$

karena:

$$[H^+][OH^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$

maka:

$$[H^+]^2 = 1,0 \times 10^{-14}$$

sehingga diperoleh:

$$[H^+] = [OH^-] = 1,0 \times 10^{-7} M$$

Keadaan ketika konsentrasi ion hidrogen sama dengan konsentrasi ion hidroksida disebut

netral. Nilai K_w yang konstan menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara konsentrasi ion hidrogen dan ion hidroksida. Apabila konsentrasi ion hidrogen meningkat hingga melebihi $1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$, maka konsentrasi ion hidroksida turun hingga kurang dari $1,0 \times 10^{-7} \text{ M}$ agar hasil kalinya tetap sama dengan K_w . Sebaliknya, apabila konsentrasi ion hidroksida meningkat, konsentrasi ion hidrogen akan menurun. (Wood, 1996)

pH merupakan ukuran yang digunakan untuk menyatakan Tingkat keasamaan atau kebasaan suatu arutan. Secara matematis, pH didefinisikan sebagai nilai negatif logaritma basis 10 dari konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan yang dinyatakan dalam satuan mol per liter (mol/L). Rumus pH dinyatakan dalam persamaan berikut:

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

Berdasarkan persamaan di atas, nilai pH air murni adalah 7 pada kondisi netral. Larutan dengan nilai pH kurang dari 7 bersifat asam akibat tingginya konsentrasi ion hidrogen dibandingkan ion hidroksida. Sebaliknya, larutan dengan nilai pH lebih dari 7.

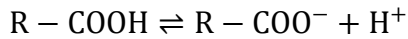
2. Kekuatan Asam-basa

Dalam sistem biologis, banyak molekul mengandung gugus fungsional yang bertindak

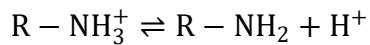
sebagai asam atau basa lemah, seperti gugus karboksil ($-\text{COOH}$), gugus amina ($-\text{NH}_2$), dan berbagai gugus pada rantai samping asam amino penyusun protein, gugus fosfat pada asam nukleat, dan gugus lain yang berasal dari berbagai senyawa metabolit. Selama proses metabolisme, gugus-gugus tersebut mempunyai kemampuan untuk melepas atau menangkap ion hidrogen dan turut serta memengaruhi perubahan pH intraseluler maupun ekstraseluler. Sebagian besar senyawa biologis merupakan asam lemah yang hanya terdisosiasi sebagian dan melepaskan sebagian ion hidrogen (H^+), berbeda dengan asam anorganik kuat seperti asam sulfat dan asam klorida yang terdisosiasi hampir sempurna dalam larutan. (Vasudevan et al., 2005)

Dalam reaksi asam-basa, bentuk molekul yang masih mengikat ion hidrogen (HA) disebut asam. Anion sisa asam atau asam yang telah melepaskan ion hidrogen disebut basa konjugat (A^-). Sedangkan suatu basa yang menerima ion hidrogen disebut dengan asam konjugat. Reaksi asam dan basa lemah memenuhi reaksi kesetimbangan sehingga dapat dinyatakan dengan konstanta kesetimbangan asam (K_a) dan konstanta kesetimbangan basa (K_b). Misal untuk asam lemak R-COOH dan basa lemah R-

NH₃⁺ mempunyai persamaan K_a dan K_b sebagai berikut:



$$K_a = \frac{[R - \text{COO}^-][\text{H}^+]}{[R - \text{COOH}]}$$



$$K_a = \frac{[R - \text{NH}_2][\text{H}^+]}{[R - \text{NH}_3^+]}$$

Nilai K_a dan K_b senyawa asam basa lemah menggambarkan kemampuan suatu asam atau basa untuk melepaskan ion hidrogen sehingga juga menunjukkan kekuatan asam atau basa. Nilai K_a umumnya sangat kecil dan sulit digunakan secara praktis, maka digunakan bentuk logaritmiknya yang disebut pK_a.

$$\text{pK}_a = -\log K_a$$

Nilai pK_a memberikan gambaran yang lebih mudah mengenai kekuatan suatu asam. Semakin kecil nilai pK_a, semakin besar kecenderungan asam tersebut untuk melepaskan proton (H⁺), sehingga semakin kuat sifat asamnya. Sebaliknya, nilai pK_a yang lebih besar menunjukkan bahwa asam tersebut lebih sulit terdisosiasi dan bersifat lebih lemah.

Selain untuk menggambarkan kekuatan asam, pKa juga digunakan untuk membandingkan kekuatan basa melalui asam konjugatnya. Hal ini karena terdapat hubungan terbalik antara asam dan basa konjugat. Semakin kuat suatu asam, semakin lemah basa konjugatnya, dan sebaliknya. Pada Tabel 1 terdapat daftar nilai pKA asam dan basa konjugatnya.

Tabel 2.1 Asam Metabolik dalam Darah, Nilai pKa, dan Sumber Pembentukannya. (Mark)

Asam	Anion	pKa	Sumber Utama
Asam kuat			
Asam sulfat (H_2SO_4)	Sulfat (SO_4^{2-})	Terdisosiasi sempurna	Sulfat dari makanan dan asam amino yang mengandung sulfur
Asam lemah			
Asam karbonat ($\text{R}-\text{COOH}$)	Bikarbonat ($\text{R}-\text{COO}^-$)	3,80	CO_2 dari siklus TCA
Asam laktat ($\text{R}-\text{COOH}$)	Laktat ($\text{R}-\text{COO}^-$)	3,73	Glikolisis anaerob
Asam piruvat ($\text{R}-\text{COOH}$)	Piruvat ($\text{R}-\text{COO}^-$)	2,39	Glikolisis
Asam sitrat ($\text{R}-3\text{COOH}$)	Sitrat ($\text{R}-3\text{COO}^-$)	3,13; 4,76; 6,40	Siklus asam sitrat dan makanan (misalnya buah sitrus)

Asam	Anion	pKa	Sumber Utama
Asam asetoasetat (R-COOH)	Asetoasetat (R-COO ⁻)	3,62	Oksidasi asam lemak menjadi badan keton
Asam β-hidroksibutirat (R-COOH)	β-Hidroksibutirat (R-COO ⁻)	4,41	Oksidasi asam lemak menjadi badan keton
Asam asetat (R-COOH)	Asetat (R-COO ⁻)	4,76	Metabolisme etanol
Dihidrogen fosfat (H ₂ PO ₄ ⁻)	Monohidrogen fosfat (HPO ₄ ²⁻)	6,8	Fosfat organik dari makanan
Ion amonium (NH ₄ ⁺)	Amonia (NH ₃)	9,25	Senyawa mengandung nitrogen dari makanan

3. *Buffer* dalam Sistem Biologis

Larutan *buffer* atau larutan penyangga merupakan larutan yang terdiri atas asam lemah dan basa konjugatnya, atau basa lemah dan asam konjugatnya, yang berfungsi mempertahankan pH agar tidak berubah secara signifikan ketika sejumlah kecil asam atau basa ditambahkan. Kemampuan ini dijelaskan melalui persamaan harderson-Hasselbalch, yang menunjukkan hubungan anatara pH, pKa, serta

perbandingan konsentrasi basa konjugat (A^-) dan asam lemah (HA) sebagai berikut:

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Pada larutan *buffer* yang terdiri atas asam lemah (HA) dan basa konjugatnya (A^-), kemampuan menahan perubahan pH mencapai kondisi optimum ketika pH sama dengan nilai pK_a atau konsentrasi HA sama dengan A^- . Ketika basa (OH^-) ditambahkan, asam lemah (HA) akan melepaskan ion H^+ yang kemudian bereaksi dengan OH^- membentuk air, sehingga kenaikan pH menjadi relatif kecil. Sebaliknya, jika asam (H^+) ditambahkan, basa konjugat (A^-) akan mengikat ion H^+ dan membentuk kembali HA, sehingga penurunan pH juga dapat diminimalkan. Dengan demikian, keberadaan HA dan A^- dalam jumlah yang seimbang memungkinkan *buffer* secara efektif menetralkan baik asam maupun basa yang ditambahkan, sehingga pH larutan tetap relatif stabil. Kondisi ini disebut dengan kapasitas *buffer* maksimum.

Dalam sel hidup, banyak reaksi metabolisme menghasilkan atau menggunakan ion H^+ sehingga berpotensi mengubah pH. Proses metabolisme dalam tubuh secara terus-

menerus menghasilkan sejumlah besar asam. Tanpa adanya mekanisme penyangga, akumulasi asam tersebut akan menyebabkan penurunan pH cairan tubuh secara drastis hingga mencapai tingkat yang tidak dapat mendukung kehidupan. Meskipun demikian, tubuh mampu mempertahankan pH darah dalam kisaran normal 7,36–7,44 dan pH intraseluler sekitar 7,1 melalui berbagai mekanisme pengaturan asam-basa. Berikut beberapa contoh sistem *buffer* dalam sistem biologis:

a. *Buffer* bikarbonat

Sistem *buffer* bikarbonat merupakan sistem penyangga utama dalam cairan ekstraseluler yang terdiri atas karbon dioksida (CO_2), asam karbonat (H_2CO_3), dan bikarbonat (HCO_3^-). CO_2 hasil metabolisme bereaksi dengan air membentuk asam karbonat yang kemudian terdisosiasi menjadi ion H^+ dan HCO_3^- . Sistem ini efektif menjaga keseimbangan asam-basa karena ketersediaan CO_2 dapat diatur oleh paru-paru melalui respirasi, sedangkan konsentrasi bikarbonat diatur oleh ginjal. Dengan kerja sama kedua organ tersebut, pH darah dapat dipertahankan dalam rentang normal. (Haoxing & System, 2018)

b. *Buffer* fosfat

pH cairan intraseluler (ICF) terutama dipertahankan oleh sistem *buffer* fosfat dan protein. *Buffer* fosfat terdiri atas pasangan H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} dengan pKa sekitar 7,2, sehingga sangat efektif menjaga pH di dalam sel. Selain itu, protein yang mengandung residu asam amino seperti histidin, serta senyawa fosfat organik seperti ATP dan glukosa-6-fosfat, juga berperan sebagai *buffer*. Keseimbangan pH intraseluler lebih lanjut dipertahankan melalui transport ion melintasi membran sel, termasuk pengeluaran H^+ dan anion metabolik, pertukaran H^+ dengan Na^+ saat sel terlalu asam, serta pertukaran HCO_3^- dengan Cl^- saat sel terlalu basa. (Satyanarayana, 2016)

c. Ekskresi Ion Hidrogen, Amonium, dan Fosfat melalui Urin

Asam nonvolatil yang dihasilkan dari metabolisme tubuh tidak dapat dikeluarkan sebagai CO_2 melalui paru-paru, sehingga harus diekskresikan melalui urin. Ekskresi asam terutama terjadi dalam bentuk ion fosfat (H_2PO_4^-) dan amonium (NH_4^+), yang berperan sebagai *buffer* urin dan membantu mempertahankan pH urin