

# **Biomedik I**

**Nurul Awainah, S.Farm.,  
M.Si.,**

# Biomedik I

**Nurul Awainah, S.Farm., M.Si.,**



Penerbit CV Cemerlang Publishing merupakan perseroan dibidang penerbitan, percetakan dan perdagangan buku didirikan pada tahun 2023 dan beralamat di Alamat: Jl. Raflesia Lrg. 4 No.1, Madatte, Kec. Polewali, Kabupaten Polewali Mandar, Sulawesi Barat 91315. Penerbit CV Cemerlang Publishing telah resmi bergabung pada Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI) dengan nomor 001/SULBAR/2024.

Web: <https://www.cvcemerlangpublishing.com/>

# Ajar Biomedik I

**Penulis** : Nurul Awainah, S.Farm., M.Si.,  
**Tahun rerbit** : September 2025  
**ISBN** :  
**Editor** : Muh. Said Mukharrim, SKM., M. Kes  
**Desain Kover** : Asri, S.K.M., M.Kes  
**Layouter** : Ratnawati, S.Pd  
**Penerbit** : CV. Cemerlang Publishing  
**Ukuran** : 15 X 23 CM

**Redaksi:**

Hp. 085145459727

Email: [cemerlangpublishing949@gmail.com](mailto:cemerlangpublishing949@gmail.com)

Web: <https://www.cvcemerlangpublishing.com>

Cetakan Pertama: September 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

# Kata Pengantar

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya modul **Ajar Biomedik I** ini dapat disusun dengan baik. Modul ini disusun sebagai salah satu sumber belajar bagi mahasiswa dalam memahami konsep dasar biomedik yang menjadi fondasi penting dalam pendidikan kedokteran dan ilmu kesehatan.

Materi yang tercakup di dalam modul ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam membangun pemahaman yang komprehensif mengenai struktur, fungsi, serta mekanisme biologis tubuh manusia. Dengan demikian, mahasiswa dapat mengaitkan ilmu dasar biomedik dengan penerapan klinis secara lebih utuh dan aplikatif.

Penyusunan modul ini tentu belum sempurna, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan modul di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan modul ini. Semoga modul ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, maupun pembaca lainnya, serta menjadi kontribusi dalam meningkatkan mutu pendidikan kedokteran dan kesehatan.

# Kerangka Modul Ajar Biomedik I

## **Identitas Buku**

### **1. Biomedik I**

Nama Penulis: *Nurul Awainah, S.Farm., M.Si.*, Program Studi Kesehatan Masyarakat, Universitas Al Asyariah Mandar, 2025

### **2. Kata Pengantar**

### **3. Daftar Isi**

### **4. Daftar Gambar & Tabel**

## **Bab 1. Konsep Dasar Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat**

- Pengertian biomedik
- Ruang lingkup biomedik
- Peran biomedik dalam kesehatan masyarakat
- Hubungan ilmu biomedik dengan disiplin kesehatan lain

## **Bab 2. Struktur dan Fungsi Sel**

- Teori sel
- Komponen sel: membran, inti, sitoplasma, organel
- Fungsi dasar sel dalam kehidupan
- Komunikasi antar sel

## **Bab 3. Jaringan Tubuh Manusia**

- Epitel
- Jaringan ikat
- Otot

- Saraf
- Keterkaitan jaringan dengan fungsi organ

## **Bab 4. Sistem Integumen dan Muskuloskeletal**

- Struktur kulit dan fungsi protektif
- Tulang, sendi, otot, dan gerakan
- Gangguan umum pada sistem integumen dan muskuloskeletal

## **Bab 5. Sistem Peredaran Darah dan Limfatik**

- Struktur jantung dan pembuluh darah
- Siklus peredaran darah
- Sistem limfatik dan imunitas
- Penyakit kardiovaskuler & relevansinya di masyarakat

## **Bab 6. Sistem Pernapasan**

- Anatomi dan fisiologi sistem respirasi
- Pertukaran gas
- Mekanisme pernapasan
- Gangguan respirasi

## **Bab 7. Sistem Pencernaan**

- Organ pencernaan dan fungsinya
- Proses pencernaan dan penyerapan
- Enzim pencernaan

- Penyakit sistem pencernaan

## **Bab 8. Sistem Urinaria**

- Ginjal dan struktur nefron
- Proses pembentukan urin
- Peran ginjal dalam homeostasis
- Gangguan sistem urinaria

# DAFTAR ISI

Ajar Biomedik I .....	ii
<b>Kata Pengantar</b> .....	iii
📖 Kerangka Modul Ajar Biomedik I .....	iv
DAFTAR ISI .....	vii
Konsep Dasar Biomedik dalam .....	1
1. Tujuan Pembelajaran .....	1
<b>Bab 1.</b> .....	1
2. Pengertian Biomedik .....	1
3. Ruang Lingkup Biomedik .....	4
4. Peran Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat .....	11
5. Hubungan Ilmu Biomedik dengan Disiplin Kesehatan Lain .....	19
Struktur dan Fungsi Sel .....	32
1. Pendahuluan .....	32
<b>Bab 2.</b> .....	32
2. Teori Sel .....	33
3. Komponen Sel: Membran, Inti, Sitoplasma, dan Organel .....	34
4. Fungsi Dasar Sel dalam Kehidupan .....	37
5. Komunikasi Antar Sel .....	38
Jaringan Tubuh Manusia .....	42
1. Tujuan Pembelajaran .....	42
<b>Bab 3.</b> .....	42
2. Jaringan Epitel (Epitelium) .....	43
3. Jaringan Ikat (Konektif) .....	44
4. Jaringan Otot (Muskular) .....	46
5. Jaringan Saraf (Neural) .....	47
	vii



6. Keterkaitan Jaringan dengan Fungsi Organ .....	48
Sistem Integumen dan Muskuloskeletal .....	51
1. Pendahuluan.....	51
<b>Bab 4.</b> .....	51
2. Struktur Kulit dan Fungsi Protektif .....	52
3. Tulang, Sendi, Otot, dan Gerakan.....	54
Gangguan Umum pada Sistem Integumen dan.....	56
Sistem Peredaran Darah dan Limfatik .....	60
1. Tujuan Pembelajaran.....	60
<b>Bab 5.</b> .....	60
2. Struktur Jantung dan Pembuluh Darah .....	60
3. Siklus Peredaran Darah.....	61
4. Sistem Limfatik dan Imunitas .....	62
5. Integrasi Sistem: Peran Sinergis .....	63
6. Penyakit Kardiovaskuler & Relevansinya di Masyarakat.....	63
Sistem Pernapasan.....	66
1. Pendahuluan.....	66
<b>Bab 6.</b> .....	66
2. Anatomi dan Fisiologi Sistem Respirasi .....	67
3. Pertukaran Gas .....	69
4. Mekanisme Pernapasan .....	71
5. Gangguan Respirasi .....	72
Sistem Pencernaan.....	76
1. Tujuan Pembelajaran.....	76
<b>Bab 7.</b> .....	76
2. Organ Pencernaan dan Fungsinya .....	77
3. Proses Pencernaan dan Penyerapan .....	78

4. Enzim Pencernaan .....	79
5. Penyakit Sistem Pencernaan .....	79
Sistem Urinaria .....	83
1. Pendahuluan.....	83
<b>Bab 8.</b> .....	83
2. Ginjal dan Struktur Nefron .....	84
3. Proses Pembentukan Urin .....	86
4. Peran Ginjal dalam Homeostasis .....	87
5. Gangguan Sistem Urinaria .....	89

# Konsep Dasar Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat

## 1. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan definisi dan asal-usul istilah *biomedik* serta keterkaitannya dengan ilmu kesehatan.
2. Menguraikan ruang lingkup utama ilmu biomedik beserta cabang-cabangnya.
3. Mendeskripsikan peran ilmu biomedik dalam konteks kesehatan masyarakat.
4. Mengidentifikasi hubungan antara ilmu biomedik dengan disiplin ilmu kesehatan lainnya.
5. Membangun pemahaman kritis terhadap kontribusi ilmu biomedik dalam inovasi, diagnostik, dan pengembangan terapi kesehatan.



# Bab 1.

Tujuan-tujuan ini menjadi landasan penting agar mahasiswa mendapatkan pemahaman mendasar tentang ilmu biomedik dan aplikasinya dalam kesehatan masyarakat.

## 2. Pengertian Biomedik

Istilah *biomedik* berasal dari gabungan “bio” (hidup) dan “medik” (obat/penyembuhan), mencerminkan bidang ilmu

yang menggabungkan prinsip-prinsip biologi dengan medis untuk memahami aspek fisiologis dan patologis kehidupan pada berbagai tingkat analisis [Stikes Hang Tuah Surabaya Repositoryinfolabmed.comStudocu](https://stikes.hangtuahsurabaya.com/studocu).

Menurut *Buku Ajar Dasar Biomedik Kesehatan Masyarakat*, biomedik adalah cabang ilmu kedokteran yang menggunakan asas serta pengetahuan dasar ilmu alam (biologi, kimia, fisika) untuk menjelaskan fenomena hidup pada tingkat molekul, sel, organ, dan organisme utuh; serta menghubungkannya dengan penyakit dan upaya pengembangan bahan untuk pencegahan, pengobatan, dan perbaikan akibat penyakit [Yayasan Bina Lentera Insan](https://yayasanbinalenterainsan.com).

Universitas Indonesia menjelaskan bahwa ilmu tersebut menjadi dasar untuk:

- Memahami fenomena kehidupan hingga tingkat molekuler.
- Menjelaskan hubungan antara fenomena tersebut dan patogenesis penyakit.
- Menemukan atau mengembangkan strategi baru untuk pencegahan, pengobatan, serta pemulihan fungsi tubuh yang terganggu akibat penyakit [biomedicine.ui.ac.id](https://biomedicine.ui.ac.id).

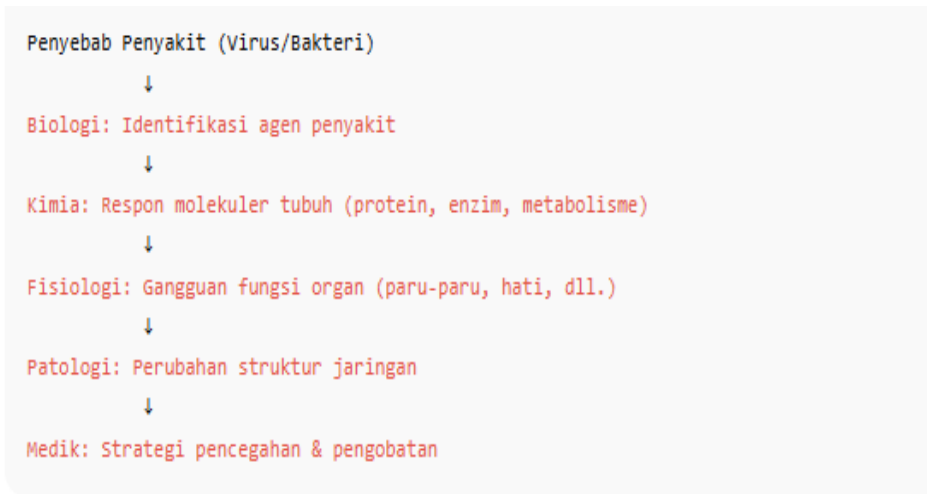
Dengan demikian, ilmu biomedik merupakan fondasi dari pemahaman klinis dan teknologi medis modern, berfokus pada pendekatan berbasis bukti dan penelitian ilmiah untuk menyelesaikan permasalahan kesehatan.

## Ilustrasi Konseptual

Bayangkan seorang pasien bernama **Andi** yang mengalami demam tinggi dan batuk berkepanjangan.

1. **Biologi:** Dokter melakukan pemeriksaan laboratorium dan menemukan bahwa ada virus yang menyerang sel-sel saluran pernapasan Andi. Ini menunjukkan peran biologi dalam memahami *apa* penyebab penyakit.
2. **Kimia:** Analisis biokimia menunjukkan peningkatan kadar protein tertentu dalam darah yang menandakan adanya respon imun tubuh. Kimia membantu menjelaskan *bagaimana* reaksi tubuh terjadi pada tingkat molekuler.
3. **Fisiologi:** Saat virus menyerang, fungsi paru-paru terganggu sehingga kadar oksigen dalam darah menurun. Di sinilah fisiologi menjelaskan *apa dampak* gangguan itu pada sistem tubuh.
4. **Patologi:** Perubahan struktur jaringan paru-paru dapat diamati lewat foto rontgen. Inilah aspek biomedik yang menjelaskan *perubahan fisik* akibat penyakit.
5. **Medik:** Dengan pemahaman tersebut, dokter memberi pengobatan antivirus dan terapi suportif, yang merupakan aplikasi ilmu biomedik dalam menyembuhkan penyakit.

## Diagram Ilustrasi



Dari ilustrasi di atas, terlihat bahwa **biomedik adalah jembatan yang menghubungkan ilmu dasar (biologi, kimia, fisika) dengan praktik medis**. Dengan memahami biomedik, tenaga kesehatan tidak hanya mengetahui gejala, tetapi juga mampu menjelaskan **mengapa gejala itu terjadi** dan **bagaimana cara terbaik mengatasinya**.

### 3. Ruang Lingkup Biomedik

Berdasarkan pustaka dan modul ajar, berikut cabang-cabang utama biomedik:

1. **Anatomi** – struktur tubuh dan keterkaitan antarsistem organ [Stikes Hang Tuah Surabaya Repository.repository.penerbiteureka.com](http://Stikes_Hang_Tuah_Surabaya_Repository.repository.penerbiteureka.com).
2. **Fisiologi** – fungsi dan mekanisme kerja sistem tubuh (molekuler hingga organ) [sar.ac.id/repository.penerbiteureka.com](http://sar.ac.id/repository.penerbiteureka.com).
3. **Biokimia** – proses kimia di dalam organisme hidup, seperti metabolisme [sar.ac.id/Google Books](http://sar.ac.id/Google_Books).

4. **Patofisiologi** – perubahan fungsi tubuh akibat penyakit [Stikes Hang Tuah Surabaya Repository](#).
5. **Farmakologi dan Terapi** – pengembangan obat dan terapi, mekanisme kerja, efek serta dosis [sar.ac.idStikes Hang Tuah Surabaya Repository](#).
6. **Mikrobiologi dan Parasitologi** – studi patogen seperti bakteri, virus, parasit sebagai penyebab penyakit [Stikes Hang Tuah Surabaya Repository](#).
7. **Gizi** – peran nutrisi dalam kebutuhan dasar tubuh dan pemulihan [Stikes Hang Tuah Surabaya Repository](#).

Dalam perspektif teknik dan teknologi, terdapat cabang seperti:

- **Teknologi Biomedis / Rekayasa Biomedik**, termasuk biomekanik, biomaterial, bioinstrument, bioimaging, dan bioteknologi—berfokus pada pengembangan perangkat medis, biomaterial, sistem citra medis seperti MRI/CT scan, serta aplikasi bioteknologi [Wikipedia](#).

Ruang lingkup ini mencakup aspek teoretis dan praktis – dari pengenalan struktur dan fungsi tubuh, sampai aplikasi alat diagnostik dan terapi modern.

Ilmu biomedik memiliki cakupan yang sangat luas karena bertujuan memahami fenomena biologis dan medis dari tingkat molekuler hingga sistemik, serta mengaplikasikan pengetahuan tersebut untuk meningkatkan kesehatan manusia. Ruang lingkup biomedik tidak hanya mencakup ilmu dasar seperti anatomi, fisiologi, dan biokimia, tetapi juga

merambah ke ranah terapan seperti farmakologi, patofisiologi, mikrobiologi, gizi, serta teknologi biomedis. Setiap cabang memiliki kontribusi signifikan dalam menjembatani pengetahuan dasar dengan praktik medis, riset, dan kesehatan masyarakat.

## 1. Anatomi

Anatomi adalah cabang biomedik yang mempelajari struktur tubuh manusia serta hubungan antar organ. Pemahaman anatomi menjadi dasar bagi semua cabang kedokteran dan kesehatan. Dengan anatomi, tenaga medis dapat memahami lokasi, struktur, dan hubungan fungsional antar organ tubuh.

Penelitian menunjukkan bahwa pemahaman anatomi yang baik berpengaruh langsung terhadap keterampilan klinis, misalnya dalam pembedahan dan interpretasi pencitraan medis (Estai & Bunt, 2016). Bahkan dengan perkembangan teknologi, anatomi kini banyak dipelajari melalui *virtual dissection* dan *3D imaging* yang meningkatkan pemahaman mahasiswa kedokteran.

## 2. Fisiologi

Fisiologi mempelajari bagaimana tubuh bekerja, mulai dari sel, jaringan, hingga sistem organ. Misalnya, fisiologi



kardiovaskular menjelaskan mekanisme aliran darah dan tekanan darah, sedangkan fisiologi respirasi mempelajari mekanisme pertukaran gas di paru-paru.

Menurut Hall (2020), fisiologi adalah jembatan antara ilmu dasar dengan aplikasi klinis, karena hampir semua penyakit melibatkan gangguan pada mekanisme fisiologis normal. Fisiologi juga merupakan dasar untuk memahami mekanisme terapi farmakologis dan intervensi medis.

### **3. Biokimia**

Biokimia mengkaji reaksi kimia dalam tubuh, seperti metabolisme glukosa, sintesis protein, serta regulasi hormon. Bidang ini sangat penting karena hampir semua penyakit memiliki dasar biokimia, misalnya diabetes melibatkan gangguan metabolisme glukosa, sementara kanker berhubungan dengan mutasi molekuler dan jalur sinyal sel yang abnormal.

Studi oleh Berg, Tymoczko, & Gatto (2019) menekankan bahwa biokimia tidak hanya penting dalam memahami penyakit, tetapi juga dalam pengembangan obat dan terapi molekuler, termasuk terapi target untuk kanker.

### **4. Patofisiologi**

Patofisiologi mempelajari perubahan fungsi tubuh akibat penyakit. Misalnya, pada gagal jantung terjadi penurunan kemampuan pompa jantung, sementara pada asma terdapat penyempitan saluran pernapasan akibat peradangan kronis.

Menurut Kumar et al. (2022), patofisiologi adalah kunci dalam menghubungkan temuan klinis dengan penyebab penyakit di tingkat sel dan molekul. Dengan memahami patofisiologi, tenaga medis dapat menentukan strategi diagnostik dan terapi yang lebih efektif.

## 5. Farmakologi dan Terapi

Farmakologi adalah ilmu tentang obat, mencakup mekanisme kerja, efek samping, metabolisme, dan ekskresi. Terapi melibatkan penerapan obat atau intervensi medis untuk mengatasi penyakit.

Farmakologi modern berkembang ke arah *personalized medicine* atau terapi presisi, yang menyesuaikan pengobatan dengan profil genetik pasien (Ingelman-Sundberg, 2018). Hal ini menunjukkan keterkaitan erat antara farmakologi, biokimia, dan genetika dalam era medis kontemporer.

## 6. Mikrobiologi dan Parasitologi

Mikrobiologi mempelajari bakteri, virus, dan jamur sebagai penyebab penyakit infeksi, sementara parasitologi berfokus pada protozoa, cacing, dan ektoparasit. Ilmu ini sangat penting dalam epidemiologi penyakit menular, termasuk pandemi global seperti COVID-19.

Studi oleh Morens, Daszak, & Taubenberger (2020) menegaskan bahwa mikrobiologi dan parasitologi adalah fondasi dalam memahami dinamika penyakit menular baru (emerging diseases) dan kesiapsiagaan kesehatan masyarakat global.

## **7. Gizi**

Ilmu gizi dalam konteks biomedik menekankan peran zat gizi dalam fungsi tubuh, pertumbuhan, metabolisme, dan pemulihan penyakit. Malnutrisi maupun gizi berlebih (obesitas) sama-sama berdampak pada kesehatan masyarakat, termasuk peningkatan risiko penyakit kronis seperti diabetes dan penyakit jantung.

Menurut Willett et al. (2019), gizi memiliki peran sentral dalam pencegahan penyakit tidak menular dan mendukung pembangunan kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.

## **8. Teknologi Biomedis / Rekayasa Biomedik**

Selain cabang-cabang klasik, biomedik kini berkembang pesat dengan hadirnya rekayasa biomedik. Bidang ini mencakup biomekanik, biomaterial, bioinstrumentasi, bioimaging, dan bioteknologi.

- **Biomekanik:** mempelajari pergerakan tubuh dan interaksi mekanisnya, misalnya untuk merancang prosthesis.
- **Biomaterial:** menciptakan material baru untuk implan medis.
- **Bioinstrumentasi:** mengembangkan perangkat medis seperti monitor EKG atau alat pacu jantung.
- **Bioimaging:** menciptakan teknologi pencitraan medis seperti MRI, CT scan, dan PET scan.
- **Bioteknologi:** memanfaatkan sel hidup atau molekul biologis untuk memproduksi obat, vaksin, dan terapi genetik.

Menurut Ratner et al. (2020), rekayasa biomedik merupakan jembatan antara ilmu teknik dan medis, yang menghadirkan solusi inovatif untuk diagnosis, terapi, dan rehabilitasi pasien.

## Kesimpulan

Ruang lingkup biomedik sangat luas dan melibatkan berbagai disiplin ilmu yang saling berkaitan. Dimulai dari pemahaman dasar tentang struktur (anatomi) dan fungsi tubuh (fisiologi), hingga proses molekuler (biokimia), perubahan akibat penyakit (patofisiologi), pengembangan obat (farmakologi), serta pemahaman tentang patogen (mikrobiologi dan parasitologi). Ilmu gizi menambah perspektif preventif, sedangkan teknologi biomedis membuka peluang inovasi dalam pengembangan alat kesehatan dan terapi modern.

Dengan ruang lingkup yang komprehensif ini, biomedik bukan hanya ilmu dasar, tetapi juga pilar penting dalam praktik kedokteran, kesehatan masyarakat, dan riset medis mutakhir.

#### **4. Peran Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat**

Ilmu biomedik memiliki beberapa peran penting dalam meningkatkan sistem kesehatan masyarakat:

1. **Diagnostik dan Pemantauan Penyakit**  
Polisi medis seperti PCR, MRI, CT scan adalah aplikasi biomedik yang mempercepat diagnosis dan penanganan [infolabmed.com](http://infolabmed.com).
2. **Terapi Presisi**  
Terapi genetik dan pengobatan kanker sesuai profil genetik menunjukkan peran biomedik dalam personalisasi medicine [infolabmed.com](http://infolabmed.com).

3. **Inovasi Alat Medis**  
Pacu jantung, prostetik canggih, sensor kesehatan berbasis wearable dirancang melalui riset biomedik dan teknologi [infolabmed.com](http://infolabmed.com).
4. **Riset dan Inovasi Lokal**  
Kemandirian pengembangan alat kesehatan di Indonesia melalui sinergi universitas-pemerintah-industri, termasuk produk seperti high-flow nasal cannula, sangat bergantung pada teknologi biomedik [Kemdikdiksa Intek](http://Kemdikdiksa Intek).
5. **Basis Ilmiah Kesehatan Masyarakat**  
Ilmu biomedik sebagai substrat bagi disiplin kesehatan masyarakat adalah salah satu disiplin pokok di samping ilmu sosial [Medical Ebook](#). Ini menunjukkan pentingnya biomedik dalam pendekatan preventif, promotif, dan kuratif.

Secara keseluruhan, biomedik memperkuat sistem kesehatan masyarakat lewat inovasi diagnostik, terapi yang lebih efektif, alat kesehatan canggih, serta fondasi ilmiah untuk intervensi kesehatan populasi.

Ilmu biomedik memiliki kontribusi yang sangat besar dalam memperkuat sistem kesehatan masyarakat. Peran ini dapat terlihat dari upaya dalam mempercepat diagnosis penyakit, menyediakan terapi presisi, menghasilkan inovasi alat medis, mendukung riset lokal, serta memberikan basis ilmiah bagi pendekatan kesehatan masyarakat. Integrasi ilmu biomedik dengan bidang lain memungkinkan terwujudnya pelayanan kesehatan yang lebih efektif, efisien, dan berorientasi pada kebutuhan populasi.

## 1. Diagnostik dan Pemantauan Penyakit

Salah satu peran paling nyata dari ilmu biomedik adalah dalam pengembangan teknologi diagnostik. Metode seperti *Polymerase Chain Reaction* (PCR), Magnetic Resonance Imaging (MRI), dan Computed Tomography (CT scan) telah merevolusi cara tenaga kesehatan mendeteksi dan memantau penyakit.

PCR, misalnya, menjadi metode utama dalam mendeteksi patogen penyebab penyakit infeksi, termasuk SARS-CoV-2 pada pandemi COVID-19 (Corman et al., 2020). Dengan PCR, diagnosis penyakit dapat dilakukan dengan sensitivitas tinggi, bahkan dari sampel yang sangat kecil. Hal ini mempercepat proses pengambilan keputusan medis dan menekan penyebaran penyakit menular.

Teknologi pencitraan medis seperti MRI dan CT scan juga berperan penting dalam mendeteksi kelainan organ dan jaringan secara non-invasif. Menurut Smith-Bindman et al. (2019), peningkatan penggunaan pencitraan diagnostik berkontribusi terhadap deteksi dini kanker, stroke, dan penyakit jantung, yang berdampak pada peningkatan angka harapan hidup.

Selain itu, biomedik juga mendukung pengembangan *point-of-care testing* (POCT), yaitu perangkat diagnostik yang dapat digunakan langsung di lapangan atau fasilitas kesehatan primer. WHO (2021) menekankan bahwa POCT sangat bermanfaat di negara berkembang karena dapat memperluas akses diagnosis cepat pada komunitas yang jauh dari fasilitas laboratorium modern.

## 2. Terapi Presisi

Biomedik juga berperan besar dalam era *precision medicine* atau pengobatan presisi, yaitu pendekatan terapi yang disesuaikan dengan profil genetik, lingkungan, dan gaya hidup pasien.

Dalam bidang onkologi, terapi presisi telah merevolusi pengobatan kanker. Dengan menganalisis mutasi genetik pada tumor, dokter dapat memilih terapi target yang lebih efektif dibandingkan kemoterapi konvensional. Contoh nyata adalah penggunaan *tyrosine kinase inhibitors* untuk kanker paru dengan mutasi EGFR (Mok et al., 2017).

Selain kanker, terapi genetik juga semakin berkembang, misalnya dengan teknik *CRISPR-Cas9* untuk memperbaiki gen yang rusak. Studi oleh Maeder & Gersbach (2016)



menunjukkan bahwa teknologi ini membuka peluang besar dalam mengobati penyakit genetik seperti talasemia, distrofi otot, dan fibrosis kistik.

Terapi presisi tidak hanya meningkatkan efektivitas pengobatan, tetapi juga mengurangi risiko efek samping yang tidak perlu, sehingga memberikan manfaat yang lebih besar bagi pasien maupun sistem kesehatan secara keseluruhan.

### 3. Inovasi Alat Medis

Ilmu biomedik berkontribusi besar dalam pengembangan teknologi alat medis modern. Alat pacu jantung (*pacemaker*), prostetik canggih, hingga sensor kesehatan berbasis *wearable devices* merupakan hasil dari integrasi biomedik, rekayasa, dan teknologi informasi.

Pacemaker, misalnya, telah menyelamatkan jutaan pasien dengan gangguan irama jantung. Menurut Mond & Proclemer (2011), penggunaan pacemaker terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi usia lanjut, menjadikannya salah satu inovasi biomedik paling signifikan dalam kardiologi.

Inovasi prostetik modern kini memanfaatkan teknologi biomekanik dan kecerdasan buatan (AI) untuk menghasilkan

anggota tubuh buatan yang lebih fungsional dan responsif terhadap pergerakan otot. Penelitian oleh Resnik et al. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan prostetik berbasis *myoelectric control* dapat meningkatkan kualitas hidup penyandang disabilitas secara signifikan.

Selain itu, sensor kesehatan berbasis *wearable technology* seperti jam tangan pintar mampu memantau denyut jantung, kadar oksigen darah, hingga aktivitas fisik harian. Teknologi ini memungkinkan pemantauan kesehatan secara real-time, mendukung pencegahan penyakit, dan meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya gaya hidup sehat (Piwek et al., 2016).

#### **4. Riset dan Inovasi Lokal**

Dalam konteks Indonesia, biomedik berperan penting dalam mendorong kemandirian riset dan produksi alat kesehatan. Sinergi antara universitas, pemerintah, dan industri memungkinkan pengembangan teknologi medis lokal yang lebih terjangkau dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

Sebagai contoh, pada masa pandemi COVID-19, berbagai universitas di Indonesia berhasil mengembangkan *high-flow nasal cannula* dan ventilator sederhana untuk pasien dengan

gangguan pernapasan berat. Produk-produk ini dikembangkan melalui riset biomedik yang terintegrasi dengan rekayasa dan uji klinis, sehingga mampu memenuhi kebutuhan mendesak di rumah sakit (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2021).

Menurut Syahrul et al. (2022), peningkatan kapasitas riset biomedik di perguruan tinggi dapat memperkuat ketahanan sistem kesehatan nasional, sekaligus mengurangi ketergantungan pada impor alat medis.

## **5. Basis Ilmiah Kesehatan Masyarakat**

Selain dalam aspek klinis, ilmu biomedik juga menjadi dasar bagi kesehatan masyarakat. Biomedik menyediakan landasan ilmiah untuk memahami penyebab penyakit, mekanisme penularan, serta dampak biologis dari faktor lingkungan dan perilaku.

Sebagai contoh, epidemiologi penyakit menular sangat bergantung pada temuan biomedik untuk mengidentifikasi agen penyebab, memahami masa inkubasi, dan menentukan cara penularan. Studi mengenai patogenesis HIV, misalnya, memberikan dasar ilmiah bagi intervensi kesehatan

masyarakat seperti kampanye penggunaan kondom dan terapi antiretroviral (UNAIDS, 2020).

Selain itu, biomedik juga mendukung pendekatan promotif dan preventif, misalnya melalui pengembangan vaksin. Penelitian vaksin COVID-19 yang berbasis *mRNA* (Pfizer-BioNTech, Moderna) merupakan salah satu pencapaian terbesar biomedik yang langsung berdampak pada kesehatan masyarakat global (Polack et al., 2020).

Dengan demikian, biomedik tidak hanya terbatas pada level individu (klinis), tetapi juga berkontribusi pada level populasi melalui intervensi kesehatan masyarakat yang berbasis bukti.

## **Kesimpulan**

Peran biomedik dalam kesehatan masyarakat mencakup berbagai aspek, mulai dari diagnostik, terapi, inovasi teknologi, riset lokal, hingga penyediaan basis ilmiah untuk intervensi populasi. Integrasi biomedik dengan disiplin lain memperkuat sistem kesehatan dan mendukung pencapaian tujuan pembangunan kesehatan berkelanjutan.

Dalam konteks global, biomedik berkontribusi pada penemuan terapi presisi, alat medis modern, dan vaksin yang menyelamatkan jutaan nyawa. Sementara di Indonesia,

penguatan riset biomedik lokal sangat penting untuk mewujudkan kemandirian alat kesehatan dan pelayanan medis yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

## 5. Hubungan Ilmu Biomedik dengan Disiplin Kesehatan Lain

Ilmu biomedik bersifat multidisipliner dan berhubungan erat dengan beragam disiplin:

- **Ilmu Sosial:** Seperti antropologi dan pendidikan kesehatan – digabungkan dalam kurikulum kesehatan masyarakat untuk mendukung intervensi preventif dan promotif [Medical Ebook](#).
- **Epidemiologi, Biostatistik, dan Gizi Masyarakat:** Mengandalkan data biologis dari biomedik untuk analisis pola penyakit, tren kesehatan, dan dampak gizi [Medical Ebook](#).
- **Manajemen Kesehatan dan Kebijakan:** Intervensi berbasis biomedis memerlukan kerangka kebijakan, biaya, dan operasional yang efisien.
- **Teknologi Informasi dan Rekayasa:** Penerapan EMR (rekam medis elektronik) bergantung pada data klinis dan alat medis berbasis biomedik – menghasilkan efisiensi pelayanan [arXiv](#).

Dengan demikian, bidang biomedik tidak hanya menjadi ilmu dasar, tetapi juga jembatan antara pengetahuan ilmiah dengan aplikasi di lapangan, serta integrasi dengan disiplin sosial dan manajerial dalam kesehatan masyarakat.

Ilmu biomedik merupakan salah satu fondasi utama dalam ilmu kesehatan modern. Biomedik tidak berdiri sendiri,

melainkan bersifat **multidisipliner** dan berinteraksi erat dengan berbagai bidang kesehatan lainnya. Hal ini karena kesehatan masyarakat tidak hanya ditentukan oleh faktor biologis, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor sosial, lingkungan, ekonomi, serta teknologi. Oleh sebab itu, integrasi biomedik dengan disiplin lain menjadi penting untuk menghasilkan pendekatan kesehatan yang lebih komprehensif, efektif, dan berkelanjutan.

## 1. Hubungan Biomedik dengan Ilmu Sosial

Ilmu sosial, termasuk antropologi, sosiologi, dan psikologi kesehatan, memiliki kontribusi signifikan dalam memahami konteks sosial-budaya suatu masyarakat. Integrasi biomedik dengan ilmu sosial menghasilkan pendekatan yang lebih holistik dalam intervensi kesehatan.

Sebagai contoh, seorang pasien mungkin memahami penyakit tuberkulosis (TB) dari sisi biologis sebagai infeksi bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Namun, pemahaman sosial mengenai stigma, akses terhadap layanan kesehatan, dan kepatuhan minum obat sangat menentukan keberhasilan terapi. Biomedik menyediakan dasar pengetahuan tentang mekanisme penyakit, sementara ilmu sosial menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi perilaku pasien.

Studi oleh Farmer et al. (2013) menekankan bahwa pendekatan biomedis tanpa mempertimbangkan dimensi sosial sering kali gagal dalam menanggulangi penyakit menular, khususnya di negara berkembang. Oleh karena itu, perpaduan biomedik dengan antropologi kesehatan, pendidikan kesehatan, serta komunikasi kesehatan menjadi krusial dalam program preventif dan promotif.

**Contoh penerapan:** Program vaksinasi COVID-19 tidak hanya bergantung pada efektivitas vaksin (biomedik), tetapi juga keberhasilan kampanye sosial dalam meningkatkan penerimaan masyarakat (sosiologi & komunikasi kesehatan).

## **2. Hubungan Biomedik dengan Epidemiologi dan Biostatistik**

Epidemiologi berperan dalam mempelajari pola distribusi penyakit dalam populasi, sedangkan biostatistik memberikan metode analisis data untuk menghasilkan kesimpulan yang valid. Hubungan antara epidemiologi, biostatistik, dan biomedik sangat erat karena data biologis dan fisiologis yang dihasilkan dari penelitian biomedis menjadi input penting dalam analisis epidemiologis.

Misalnya, identifikasi biomarker (penanda biologis) dari penyakit kanker paru memberikan informasi awal yang dapat

digunakan epidemiolog untuk memprediksi risiko penyakit dalam populasi tertentu. Menurut Ioannidis (2018), integrasi antara data biomedik molekuler dengan big data epidemiologi memperkuat *precision public health*, yaitu pendekatan kesehatan masyarakat berbasis data yang lebih tepat sasaran.

**Contoh penerapan:** Penggunaan data PCR COVID-19 (biomedik) dipadukan dengan analisis tren epidemiologi membantu pemerintah dalam menetapkan kebijakan pembatasan sosial yang berbasis bukti.

### **3. Hubungan Biomedik dengan Ilmu Gizi Masyarakat**

Ilmu gizi sangat berkaitan erat dengan biomedik karena status nutrisi seseorang dapat dipahami melalui mekanisme biokimia dan fisiologi tubuh. Misalnya, defisiensi zat besi menyebabkan anemia yang dapat dijelaskan secara biomedis melalui penurunan sintesis hemoglobin. Namun, pada level populasi, masalah ini memerlukan pendekatan gizi masyarakat untuk intervensi yang efektif.

Menurut Popkin et al. (2020), transisi gizi global yang ditandai dengan meningkatnya konsumsi makanan ultra-proses telah berkontribusi pada epidemi obesitas dan penyakit tidak



menular. Pengetahuan biomedik mengenai metabolisme lipid dan karbohidrat menjadi dasar bagi intervensi gizi masyarakat dalam merancang program diet sehat.

**Contoh penerapan:** Pemantauan status gizi balita menggunakan indikator biomedik (BB/U, kadar hemoglobin, status vitamin A) yang kemudian dianalisis oleh ahli gizi masyarakat untuk program intervensi stunting.

#### **4. Hubungan Biomedik dengan Manajemen Kesehatan dan Kebijakan**

Manajemen kesehatan dan kebijakan publik membutuhkan basis data ilmiah dari biomedik untuk menyusun regulasi yang tepat. Misalnya, kebijakan pengendalian rokok didukung oleh bukti biomedik yang menunjukkan hubungan kausal antara nikotin, tar, dan kanker paru. Tanpa dasar biomedik, kebijakan kesehatan berisiko hanya menjadi spekulasi tanpa kekuatan ilmiah.

Menurut Frenk & Moon (2013), hubungan antara riset biomedis dan kebijakan publik harus diperkuat melalui mekanisme *knowledge translation*, yaitu proses penerjemahan hasil penelitian ke dalam bentuk kebijakan yang aplikatif.

**Contoh penerapan:** Program nasional pengendalian hipertensi di Indonesia menggunakan data biomedik berupa prevalensi tekanan darah tinggi yang dikombinasikan dengan strategi manajemen kesehatan berbasis komunitas.

## 5. Hubungan Biomedik dengan Teknologi Informasi dan Rekayasa

Di era digital, teknologi informasi dan rekayasa menjadi mitra penting biomedik. Data klinis, laboratorium, dan pencitraan medis diolah menggunakan *electronic medical records* (EMR) untuk meningkatkan efisiensi pelayanan kesehatan. Integrasi ini memunculkan cabang baru yang dikenal sebagai *bioinformatics* dan *health informatics*.

Studi oleh Topol (2019) menunjukkan bahwa kecerdasan buatan (AI) dapat menganalisis data biomedik skala besar untuk mendeteksi pola penyakit lebih cepat dibanding analisis manual. Selain itu, rekayasa biomedik juga menghasilkan perangkat seperti MRI, CT scan, dan robot bedah yang memperluas ruang lingkup intervensi medis.

**Contoh penerapan:** Penggunaan *machine learning* untuk mendeteksi kanker dari hasil mammogram adalah contoh integrasi biomedik, teknologi informasi, dan rekayasa medis.

## **6. Hubungan Biomedik dengan Kesehatan Lingkungan**

Kesehatan lingkungan juga tidak terlepas dari biomedik, karena paparan polutan, logam berat, maupun bahan kimia berbahaya dapat memengaruhi kondisi biologis tubuh manusia. Biomedik berperan dalam menjelaskan mekanisme toksikologi dari paparan tersebut.

Penelitian oleh Landrigan et al. (2018) menunjukkan bahwa pencemaran udara menjadi faktor risiko utama penyakit kardiovaskular dan respirasi. Ilmu biomedik menjelaskan mekanisme bagaimana partikel halus (PM2.5) masuk ke dalam paru-paru dan menyebabkan inflamasi sistemik. Hasil penelitian ini kemudian dijadikan dasar dalam kebijakan kesehatan lingkungan.

## **7. Hubungan Biomedik dengan Keperawatan dan Kebidanan**

Profesi keperawatan dan kebidanan sangat mengandalkan pemahaman biomedik dalam praktik sehari-hari. Seorang perawat perlu memahami fisiologi jantung untuk memantau pasien dengan gagal jantung, sementara bidan membutuhkan pemahaman biomedis tentang proses hormonal dalam kehamilan dan persalinan.

Menurut Alligood (2018), integrasi biomedik dalam pendidikan keperawatan penting untuk meningkatkan kompetensi klinis dan kemampuan pengambilan keputusan berbasis bukti.

## Kesimpulan

Ilmu biomedik bukanlah disiplin yang berdiri sendiri, melainkan sebuah **fondasi ilmiah** yang menopang berbagai cabang ilmu kesehatan. Integrasinya dengan ilmu sosial, epidemiologi, gizi, manajemen, teknologi, lingkungan, serta profesi kesehatan lain menjadikan biomedik sebagai jembatan antara pengetahuan dasar dan aplikasi praktis di lapangan. Dalam konteks kesehatan masyarakat, kolaborasi multidisipliner ini menjadi kunci keberhasilan dalam mencapai tujuan preventif, promotif, kuratif, dan rehabilitatif.

## Penutup

Bab 1 ini membimbing mahasiswa untuk memahami konsep dasar biomedik—dari definisi, ruang lingkup, peran, hingga kaitannya dengan disiplin lain—sebagai landasan dalam mengembangkan aplikasi kesehatan masyarakat modern.

Semoga uraian ini membantu penyusunan *Buku Ajar Biomedik I*. Jika Saudara membutuhkan penyesuaian berdasarkan konteks universitas atau cakupan kurikulum, saya siap membantu!

## Referensi

- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Gatto, G. J. (2019). *Biochemistry* (9th ed.). New York: W. H. Freeman.
- Estai, M., & Bunt, S. (2016). Best teaching practices in anatomy education: A critical review. *Annals of Anatomy*, 208, 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2016.02.010>
- Hall, J. E. (2020). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (14th ed.). Philadelphia: Elsevier.
- Ingelman-Sundberg, M. (2018). Pharmacogenetics of drug-metabolizing enzymes: Implications for personalized medicine. *Human Molecular Genetics*, 27(R1), R22–R30. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddy104>
- Kumar, V., Abbas, A. K., Aster, J. C. (2022). *Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease* (10th ed.). Philadelphia: Elsevier.
- Morens, D. M., Daszak, P., & Taubenberger, J. K. (2020). Escaping Pandora's box – Another novel coronavirus. *New England Journal of Medicine*, 382(14), 1293–1295. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2002106>
- Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., & Lemons, J. E. (2020). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine* (4th ed.). Academic Press.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., et al. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Corman, V. M., Landt, O., Kaiser, M., et al. (2020). Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-

- time RT-PCR. *Eurosurveillance*, 25(3), 2000045. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000045>
- Hall, J. E. (2020). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (14th ed.). Philadelphia: Elsevier.
  - Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2021). *Peran teknologi biomedik dalam riset dan inovasi bidang kesehatan*. Jakarta: Kemendikbud Ristek.
  - Maeder, M. L., & Gersbach, C. A. (2016). Genome-editing technologies for gene and cell therapy. *Molecular Therapy*, 24(3), 430–446. <https://doi.org/10.1038/mt.2016.10>
  - Mok, T. S., Wu, Y. L., Ahn, M. J., et al. (2017). Osimertinib or platinum-pemetrexed in EGFR T790M-positive lung cancer. *New England Journal of Medicine*, 376(7), 629–640. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1612674>
  - Mond, H. G., & Proclemer, A. (2011). The 11th world survey of cardiac pacing and implantable cardioverter-defibrillators: Calendar year 2009. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 34(8), 1013–1027. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2011.03150.x>
  - Morens, D. M., Daszak, P., & Taubenberger, J. K. (2020). Escaping Pandora’s box – Another novel coronavirus. *New England Journal of Medicine*, 382(14), 1293–1295. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2002106>
  - Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., & Joinson, A. (2016). The rise of consumer health wearables: Promises and barriers. *PLoS Medicine*, 13(2), e1001953. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>
  - Polack, F. P., Thomas, S. J., Kitchin, N., et al. (2020). Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine. *New England Journal of Medicine*, 383(27), 2603–2615. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2034577>

- Resnik, L., Klinger, S. L., & Etter, K. (2018). The DEKA Arm: Its features, functionality, and acceptance following home use. *Prosthetics and Orthotics International*, 38(1), 6–17. <https://doi.org/10.1177/0309364613506913>
- Smith-Bindman, R., Miglioretti, D. L., & Larson, E. B. (2019). Rising use of diagnostic medical imaging in a large integrated health system. *Health Affairs*, 27(6), 1491–1502. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.27.6.1491>
- Syahrul, Y., Hidayat, T., & Rahman, A. (2022). Strengthening biomedical research capacity in Indonesian universities: Challenges and opportunities. *Journal of Global Health*, 12, 04015. <https://doi.org/10.7189/jogh.12.04015>
- UNAIDS. (2020). *Seizing the moment: Tackling entrenched inequalities to end epidemics*. Geneva: UNAIDS.
- World Health Organization. (2021). *Global report on point-of-care diagnostics*. Geneva: WHO.
- Alligood, M. R. (2018). *Nursing theorists and their work* (9th ed.). Elsevier.
- Farmer, P., Kleinman, A., Kim, J. Y., & Basilio, M. (2013). *Reimagining global health: An introduction*. University of California Press.
- Frenk, J., & Moon, S. (2013). Governance challenges in global health. *New England Journal of Medicine*, 368(10), 936–942. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1109339>
- Ioannidis, J. P. A. (2018). Precision health: A new science of health and medicine. *Nature Medicine*, 24(12), 194–200. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., ... Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*,

391(10119), 462–512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)

- Popkin, B. M., Corvalan, C., & Grummer-Strawn, L. M. (2020). Dynamics of the double burden of malnutrition and the changing nutrition reality. *The Lancet*, 395(10217), 65–74. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32497-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32497-3)
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- Konsorsium Ilmu Biomedik Indonesia. (2025). *Konsorsium Ilmu Biomedik Indonesia*. [biomedicallsciences.or.id](http://biomedicallsciences.or.id)
- Maharani, R. A. (2025, Juli 20). *Biomedik: Pengertian, Ruang Lingkup, dan Perannya dalam Dunia Kesehatan Modern*. INFOLABMED.COM. [infolabmed.com](http://infolabmed.com)
- “DASAR-DASAR BIOMEDIK: Pengantar Ilmu Biomedik” (n.d.). [sar.ac.id](http://sar.ac.id)
- Pengantar Biomedik (n.d.). [Stikes Hang Tuah Surabaya Repository](http://StikesHangTuahSurabayaRepository)
- Buku Ajar Dasar Biomedik Kesehatan Masyarakat (2023). PT. Sonpedia Publishing Indonesia. [Yayasan Bina Lentera Insan](http://YayasanBinaLenteraInsan)
- Universitas Indonesia. (n.d.). *Scope & Concentration – Biomedicine Universitas Indonesia*. [biomedicine.ui.ac.id](http://biomedicine.ui.ac.id)
- Republik Indonesia, Kemdikbud. (2021). *Peran Teknologi Biomedik Dalam Riset dan Inovasi Bidang Kesehatan*. [Kemdikdiksa Intek](http://KemdikdiksaIntek)
- Medical Ebook. (n.d.). *Ruang Lingkup Kesehatan Masyarakat*. [Medical Ebook](http://MedicalEbook)



- Juliansyah, R., et al. (2024, Oktober 16). *Implementation of EMR System in Indonesian Health Facilities: Benefits and Constraints*. arXiv. [arXiv](#)

# Struktur dan Fungsi Sel

- **Tujuan Pembelajaran**
- Teori sel
- Komponen sel: membran, inti, sitoplasma, organel
- Fungsi dasar sel dalam kehidupan
- Komunikasi antar sel

## 1. Pendahuluan

Sel merupakan unit fundamental kehidupan, blok pembangun terkecil dari semua organisme yang masih menunjukkan karakteristik hidup. Pemahaman mendalam tentang struktur dan fungsi sel adalah landasan mutlak dalam

bidang biomedik. Setiap proses fisiologis, dari kontraksi otot hingga pemikiran kompleks, dan setiap patologi, dari infeksi hingga kanker, berakar pada mekanisme yang terjadi di tingkat seluler. Bab ini akan membahas teori sel, menguraikan komponen-komponen utama sel eukariotik (dengan fokus pada sel manusia), menjelaskan fungsi dasar sel yang menopang kehidupan, dan mengungkap cara sel berkomunikasi untuk menciptakan fungsi tubuh yang terkoordinasi dengan sempurna.

# Bab 2.

## 2. Teori Sel

Perkembangan pemahaman kita tentang sel tidak dapat dipisahkan dari kemajuan teknologi, khususnya mikroskop. Teori sel, yang merupakan salah satu prinsip penyatuan dalam biologi, dikembangkan pada abad ke-19 dan terdiri dari tiga postulat utama:

1. Semua organisme hidup terdiri dari satu atau lebih sel.
2. Sel adalah unit struktural, fungsional, dan organisasi paling dasar dari semua organisme.
3. Semua sel berasal dari sel-sel yang sudah ada sebelumnya melalui proses pembelahan sel (proliferasi).

Postulat pertama dan kedua menegaskan hierarki organisasi kehidupan, sementara postulat ketiga, yang dicetuskan oleh Rudolf Virchow dalam bukunya "Cellular Pathology" (1858), menolak teori generasi spontan dan menempatkan sel sebagai pusat pewarisan dan penyakit (Virchow, 1858, sebagaimana dikutip dalam Mazzarello, 1999). Teori sel memberikan kerangka kerja yang memungkinkan kita mempelajari kehidupan dari perspektif yang terpadu dan sistematis.

### 3. Komponen Sel: Membran, Inti, Sitoplasma, dan Organel

Sel eukariotik, seperti sel manusia, adalah sel kompleks yang memiliki kompartemen khusus yang dibatasi membran yang disebut organel. Kompartementalisasi ini memungkinkan berbagai reaksi biokimia yang seringkali bertentangan untuk terjadi secara simultan dan efisien.

1. **Membran Plasma (Membran Sel):** Ini adalah batas selektif yang memisahkan isi sel dari lingkungan eksternalnya. Strukturnya dijelaskan oleh **Model Mosaik Fluida** (Singer & Nicolson, 1972). Model ini menggambarkan membran sebagai lapisan ganda (bilayer) fosfolipid yang bersifat fluid (cair), di mana berbagai protein tersuspensi dan tertanam seperti mosaik. Fosfolipid memiliki kepala hidrofilik (suka air) dan ekor hidrofobik (takut air), yang secara spontan mengatur diri mereka menjadi bilayer dalam lingkungan berair. Protein membran berfungsi sebagai saluran (channels) untuk transportasi ion, reseptor untuk sinyal kimia, penanda identitas sel, dan enzim. Kolesterol yang terselip dalam bilayer memberikan stabilitas dan fluiditas. Sifat selektif permeabel membran sangat penting untuk mempertahankan homeostasis internal sel yang disebut sitosol.
2. **Inti Sel (Nukleus):** Nukleus adalah pusat kendali sel, yang menyimpan sebagian besar materi genetik sel dalam bentuk

DNA (deoxyribonucleic acid). Nukleus dibungkus oleh selubung nukleus, yang merupakan membran ganda yang dilubangi oleh pori-pori nukleus. Pori-pori ini mengatur lalu lintas molekul, seperti RNA dan protein, antara nukleus dan sitoplasma. Di dalam nukleus, DNA diorganisir menjadi struktur terputus-putus yang disebut kromosom. Daerah khusus dalam nukleus yang disebut nukleolus adalah tempat sintesis ribosom. DNA mengandung gen yang memberikan instruksi untuk membuat semua protein yang dibutuhkan sel. Proses dimana informasi dalam gen diubah menjadi protein melibatkan transkripsi (dari DNA ke RNA) di dalam nukleus, dan translasi (dari RNA ke protein) di sitoplasma (Alberts et al., 2022).

3. **Sitoplasma dan Organel:** Sitoplasma mengacu pada seluruh area di antara membran plasma dan selubung nukleus. Ini terdiri dari cairan semi-transparan yang disebut sitosol (air, ion, molekul terlarut) dan organel-organel yang tertanam di dalamnya.
  - **Ribosom:** Partikel kecil yang terdiri dari RNA dan protein yang berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Mereka dapat ditemukan bebas di sitosol atau melekat pada retikulum endoplasma kasar.
  - **Retikulum Endoplasma (RE):** Jaringan membran yang saling terhubung. **RE Kasar (RER)** ditutupi dengan ribosom dan

berperan dalam sintesis, pelipatan, dan modifikasi protein yang akan disekresikan atau dimasukkan ke dalam membran. **RE Halus (SER)** tidak memiliki ribosom dan berperan dalam sintesis lipid, detoksifikasi obat dan racun, dan penyimpanan ion kalsium.

- **Aparatus Golgi:** Bertindak sebagai pusat pengemasan, modifikasi, dan distribusi sel. Ia menerima protein dan lipid dari RE, memodifikasinya (misalnya, dengan menambahkan gula untuk membuat glikoprotein), mengemasnya ke dalam vesikel, dan mengirimkannya ke tujuan akhir di dalam sel atau untuk disekresikan.
- **Mitokondria:** Sering dijuluki "pusat pembangkit energi" sel. Organel ini melakukan respirasi seluler, sebuah proses metabolik yang memecah nutrien (seperti glukosa) untuk menghasilkan molekul energi adenosine trifosfat (ATP) melalui fosforilasi oksidatif. Mitokondria memiliki DNA sendiri dan diyakini berasal dari bakteri purba yang bersimbiosis dengan sel eukariotik awal (teori endosimbiosis).
- **Lisosom:** Vesikel yang mengandung enzim hidrolitik yang kuat. Mereka berfungsi sebagai "sistem pencernaan" sel, yang memecah materi yang ditelan oleh sel (seperti bakteri), organel yang rusak, dan molekul yang tidak diperlukan lagi. Fungsi mereka yang tepat sangat penting untuk mencegah penyakit penyimpanan lisosom (e.g., penyakit Tay-Sachs).

- **Sitoskeleton:** Jaringan serat protein yang membentang di seluruh sitoplasma. Ini memberikan dukungan struktural, mempertahankan bentuk sel, memungkinkan pergerakan organel di dalam sel, dan memainkan peran penting dalam pembelahan sel dan motilitas sel (seperti pergerakan amoeboid sel darah putih). Komponen utamanya adalah mikrofiliamen (aktin), filamen intermediet, dan mikrotubulus.

#### 4. Fungsi Dasar Sel dalam Kehidupan

Untuk mempertahankan kehidupan, semua sel harus melakukan fungsi-fungsi dasar tertentu:

- **Metabolisme dan Produksi Energi:** Sel melakukan semua reaksi kimia yang secara kolektif disebut metabolisme. Ini termasuk katabolisme (memecah molekul untuk mendapatkan energi, terutama di mitokondria) dan anabolisme (membangun molekul kompleks yang dibutuhkan sel, seperti di RE dan Golgi). ATP adalah mata uang energi untuk semua proses ini.
- **Sintesis Protein:** Setiap proses seluler bergantung pada protein, baik sebagai enzim, penanda struktural, reseptor, atau pembawa. Sintesis protein yang tepat berdasarkan kode genetik adalah fungsi sentral.
- **Reproduksi dan Pewarisan:** Sel membelah untuk menumbuhkan organisme, mengganti sel yang rusak, dan

mereproduksi. Pembelahan sel (mitosis) memastikan bahwa informasi genetik diteruskan secara akurat ke sel anak.

- **Respons terhadap Rangsangan:** Sel dapat mendeteksi dan merespons perubahan di lingkungan internal dan eksternalnya. Misalnya, sel saraf merespons neurotransmitter, dan sel otot merespons sinyal saraf.
- **Homeostasis:** Masing-masing sel mempertahankan lingkungan internal yang relatif konstan (misalnya, pH, konsentrasi ion, tekanan osmotik) meskipun ada perubahan di luar, terutama melalui aktivitas membran plasma yang selektif permeabel.

## 5. Komunikasi Antar Sel

Dalam organisme multiseluler seperti manusia, sel-sel tidak hidup dalam isolasi. Mereka harus berkomunikasi secara konstan untuk mengoordinasikan pertumbuhan, metabolisme, respons terhadap ancaman, dan banyak fungsi lainnya. Komunikasi sel terjadi melalui sinyal kimia. Prosesnya melibatkan tiga langkah utama: (1) Penerimaan sinyal, (2) Transduksi sinyal, dan (3) Respons (Alberts et al., 2022).

1. **Penerimaan:** Sebuah sel target mendeteksi sinyal (disebut ligan) dari luar sel. Ligan bisa berupa hormon (sinyal endokrin yang bersirkulasi dalam darah), neurotransmitter



(sinyal saraf), atau faktor pertumbuhan. Ligan berikatan dengan protein reseptor spesifik pada membran sel target (atau di dalam sitoplasma untuk ligan yang dapat melintasi membran, seperti hormon steroid).

2. **Transduksi Sinyal:** Pengikatan ligan mengubah bentuk reseptor, memulai rangkaian peristiwa molekuler di dalam sel yang disebut jalur transduksi sinyal. Jalur ini sering melibatkan molekul kurir kedua (seperti cAMP atau ion kalsium) dan aktivasi berurutan dari berbagai protein kinase yang memfosforilasi satu sama lain, memperkuat sinyal asli berkali-kali lipat.
3. **Respons:** Sinyal yang ditransduksi akhirnya memicu respons seluler spesifik. Respons ini dapat bervariasi, seperti mengubah aktivitas enzim yang sudah ada, merangsang transkripsi gen tertentu di nukleus untuk membuat protein baru, atau bahkan memicu pembelahan sel (proliferasi) atau kematian sel terprogram (apoptosis).

Pemahaman tentang komunikasi sel sangat penting dalam biomedik. Banyak penyakit, termasuk diabetes (resistensi insulin), kanker (proliferasi sel yang tidak terkendali akibat sinyal yang salah), dan gangguan autoimun, pada dasarnya adalah kegagalan dalam sistem komunikasi sel (Cooper & Hausman, 2019). Selain itu, sebagian besar obat farmasi bekerja dengan memengaruhi komponen dalam jalur

komunikasi sel ini, baik dengan meniru ligan alami (agonis) atau dengan memblokir reseptor (antagonis).

## Kesimpulan

Struktur sel eukariotik yang kompleks dan terkompartementalisasi adalah dasar dari semua fungsi kehidupan. Dari membran plasma yang mengatur pertukaran hingga nukleus yang menyimpan cetak biru genetik, dan dari mitokondria yang menghasilkan energi hingga jaringan komunikasi yang rumit, setiap komponen berkontribusi pada keseluruhan yang harmonis. Memahami anatomi dan fisiologi seluler ini bukan hanya latihan akademis; ini adalah prasyarat untuk memahami bagaimana tubuh manusia berfungsi dalam kesehatan dan bagaimana fungsinya menjadi salah dalam penyakit, sehingga membuka jalan untuk intervensi diagnostik dan terapeutik yang rasional di bidang biomedik.

## Daftar Pustaka

Alberts, B., Heald, R., Johnson, A., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2022). *Molecular biology of the cell* (7th ed.). W.W. Norton & Company.

Cooper, G. M., & Hausman, R. E. (2019). *The cell: A molecular approach* (8th ed.). Oxford University Press.

Mazzarello, P. (1999). A unifying concept: the history of cell theory. *Nature Cell Biology*, 1(1), E13–E15. <https://doi.org/10.1038/8964>

Singer, S. J., & Nicolson, G. L. (1972). The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, 175(4023), 720–731. <https://doi.org/10.1126/science.175.4023.720>

Virchow, R. (1858). *Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre*. Hirschwald.

# Jaringan Tubuh Manusia

- **Tujuan Pembelajaran**
- Epitel
- Jaringan ikat
- Otot
- Saraf
- Keterkaitan jaringan dengan fungsi organ

## 1. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa mampu menjelaskan pengertian dan karakteristik keempat jenis jaringan utama: epitel, ikat, otot, dan saraf.
2. Mahasiswa dapat membedakan struktur dan fungsi setiap jaringan serta contoh spesifik pada tubuh manusia.
3. Mahasiswa memahami bagaimana jaringan-jaringan tersebut bekerja sama membentuk organ dan sistem tubuh.
4. Mahasiswa mampu menganalisis hubungan antara struktur jaringan dengan fungsi organ tertentu.

# Bab 3.

5. Mahasiswa dapat memberi contoh gangguan atau penyakit yang terkait dengan masing-masing jaringan sebagai aplikasi klinik dasar.

## 2. Jaringan Epitel (Epitelium)

Jaringan epitel (epithelium) adalah jaringan yang membentuk lapisan tipis dan kontinu, menyediakan pelapis pelindung pada permukaan tubuh, organ, dan saluran (misalnya epidermis, kornea, dinding organ dalam, pembuluh darah) [WikipediaEncyclopedia Britannica](#). Jaringan ini bersifat avaskular – tidak memiliki pembuluh darah – namun diinervasi dan memperoleh nutrisi melalui difusi dari jaringan di bawahnya [Wikipedia](#).

### Struktur

Epitel memiliki sel-sel yang rapat dengan sedikit matriks ekstraseluler, dan dibatasi oleh membran basal (basement membrane) [WikipediaKenhub](#). Bentuk sel epitel bervariasi: skuamosa, kuboid, kolumnar, dan dapat tersusun dalam lapisan tunggal (simple), berlapis (stratified), atau pseudo-stratified [Wikipedia](#). Sel-selnya juga dilengkapi struktur khusus seperti mikrovili, silia, junctions (tight junctions,

desmosom, hemidesmosom, gap junctions) untuk fungsi spesifik [KenhubWikipedia](#).

## Fungsi

- Melindungi jaringan di bawahnya terhadap radiasi, dehidrasi, toksin, invasi patogen, dan trauma fisik.
- Mediator pertukaran zat antara tubuh dan lumen, serta difusi, filtrasi, sekresi, absorpsi selektif [Wikipedia](#).
- Membentuk kelenjar: eksokrin (melalui saluran) maupun endokrin (disekresikan ke sistem peredaran darah) [Wikipedia](#).
- Mengandung reseptor sensorik (contoh: indra penciuman, pengecapan, pendengaran, penglihatan) [Kenhub](#).
- Selain itu, epitel berkontribusi pada imunitas struktural dengan mengekspresikan mediator yang berinteraksi dengan sel imun darah [Wikipedia](#).

### 3. Jaringan Ikat (Konektif)

Jaringan ikat - dikenal sebagai yang paling melimpah dan beragam - mencakup jaringan longgar, padat, adiposa, tulang rawan, tulang keras, darah, dan lainnya [NCBIWikipedia](#). Semua memiliki tiga komponen utama: sel (fibroblas,

makrofag, adiposit, sel imun), matriks ekstraseluler (ground substance) dan serat (kolagen, retikular, elastis) [NCBIKenhub](#).

## Struktur

- **Ground substance:** zat sekaligus media pertukaran nutrisi/cairan, terdiri dari proteoglikan, hyaluronan, fibronectin, laminin [NCBI](#).
- **Serat:**
  - Kolagen (tipe I-IV), menyediakan kekuatan tarik, struktur [NCBIWikipedia](#).
  - Retikular: membentuk jaring, vital dalam organisasi jaringan rematik seperti limpa, hati [NCBI](#).
  - Elastis: memberikan elastisitas (contoh: aorta, paru, kulit) [NCBIWikipedia](#).

## Fungsi

- Memberikan struktur dan dukungan mekanis untuk jaringan dan organ.
- Menyediakan medium untuk pertukaran zat dan penyebaran nutrisi antar sel [NCBIWikipedia](#).
- Isolasi dan penyimpanan energi (jaringan adiposa).

- Pembentukan kerangka (tulang) dan proteksi (tulang rawan).
- Transportasi (darah).
- Imunitas (sel darah putih, makrofag) [Wikipedia](#).
- Resistensi terhadap regangan dan trauma (tendon, ligament) [Wikipedia](#).

#### 4. Jaringan Otot (Muskular)

Jaringan otot berperan dalam gerak melalui kontraksi yang digerakkan oleh interaksi protein kontraktilektin dan miosin [Wikipedia](#). Tiga jenis: skeletal (lurik), cardiac (jantung), smooth (otot polos) [WikipediaKenhub](#).

##### Struktur & Fungsi Tiap Jenis:

- **Skeletal muscle:** sel besar, silindris, multinukleat, terorganisasi paralel, bertanggung jawab gerakan sadar tubuh [KenhubWikipedia](#).
- **Cardiac muscle:** sel bercabang, memiliki interkalasi disk & gap junctions, kontraksi involunter terkoordinasi (otomatis) [KenhubWikipedia](#).
- **Smooth muscle:** sel spindle, tidak berstriasi, kontraksi lambat dan involunter, terdapat di organ tubular (saluran cerna, pembuluh darah) [KenhubWikipedia](#).



## 5. Jaringan Saraf (Neural)

Jaringan saraf adalah bagian utama dari sistem saraf; terdiri dari neuron (sel syaraf) dan neuroglia (sel penunjang) [WikipediaKenhub](#).

### Struktur

- **Neuron:** memiliki soma (badan sel), dendrit (resepsi impuls), dan akson (transmisi impuls) [KenhubWikipedia](#).
- **Glia:** astrocytes (dukungan & BBB), oligodendrosit (myelin di CNS), Schwann cells (myelin di PNS), microglia (imunitas saraf) [KenhubWikipedia](#).

### Fungsi

- Menerima input sensorik, memproses dan mengintegrasikan sinyal, serta mengontrol otot dan kelenjar [Wikipedia](#).
- Mengatur homeostasis dan aktivitas mental (suara, pikiran, refleksi) [Wikipedia](#).

## 6. Keterkaitan Jaringan dengan Fungsi Organ

Organ adalah struktur fungsional yang terdiri dari dua atau lebih jenis jaringan, bekerja bersama untuk menjalankan fungsi kompleks [Encyclopedia BritannicaKhan Academy](#).

### Contoh:

- **Jantung:** kombinasi otot jantung (kontraksi), jaringan konektif (dukungan), endotel (epitel), dan jaringan saraf (kontrol impuls) [Encyclopedia Britannica](#).
- **Kulit (integumentary system):** epitel (epidermis), jaringan ikat (dermis), otot polos (folikel rambut), saraf (reseptor sensorik); fungsi: proteksi, homeostasis, sensasi [WikipediaEncyclopedia Britannica](#).
- **Saluran pencernaan:** epitel (absorpsi dan sekresi), jaringan ikat (dukungan struktural), otot polos (peristaltik), saraf (koordinasi refleks) – bekerja sinergis untuk pencernaan dan penyerapan nutrisi.
- **Pembuluh darah:** lapisan endotelial (epitel), media (otot polos & jaringan ikat elastis), saraf otonom (regulasi tekanan darah).

### Kesimpulan (Rangkuman)

Keempat jenis jaringan—epitel, ikat, otot, saraf—memiliki struktur dan fungsi khas namun saling terintegrasi membentuk organ dan sistem tubuh. Pemahaman akan struktur-fungsi ini penting untuk melihat hubungan klinis serta gangguan potensial dalam konteks Biomedik.

## Referensi

1. Cleveland Clinic. (2025, April 1). *Body Tissue Types, Structure & Function*. Retrieved from Cleveland Clinic website [Cleveland Clinic](#)
2. Nezwek, T. A., & Varacallo, M. A. (2022). *Physiology, Connective Tissue*. StatPearls Publishing. [NCBI](#)
3. Kenhub. (2023, October 30). *Tissue types: Structure and function*. [Kenhub](#)
4. Wikipedia contributors. (2025, July). *Epithelium*. In *Wikipedia*. [Wikipedia](#)
5. Wikipedia contributors. (2025, August). *Connective tissue*. In *Wikipedia*. [Wikipedia](#)
6. Wikipedia contributors. (2025, August). *Muscle*. In *Wikipedia*. [Wikipedia](#)
7. Wikipedia contributors. (2025, January). *Nervous tissue*. In *Wikipedia*. [Wikipedia](#)

8. Britannica. (2025, July 28). *Human body*. In *Encyclopaedia Britannica*. [Encyclopedia Britannica](#)
9. Wikipedia contributors. (2025, February). *Integumentary system*. In *Wikipedia*. [Wikipedia](#)

# Sistem Integumen dan Muskuloskeletal

- **Tujuan Pembelajaran**
- Struktur kulit dan fungsi protektif
- Tulang, sendi, otot, dan gerakan
- Gangguan umum pada sistem integumen dan muskuloskeletal

## 1. Pendahuluan

Sistem integumen (kulit dan turunannya) dan sistem muskuloskeletal (tulang, sendi, dan otot) membentuk interface fundamental antara tubuh manusia dan lingkungan eksternalnya. Kedua sistem ini bekerja secara sinergis untuk memberikan

perlindungan, dukungan, dan mobilitas – fungsi-fungsi yang penting untuk kelangsungan hidup dan interaksi dengan dunia luar. Sistem integumen berperan sebagai perisai fisik dan kimia yang dinamis, sementara sistem muskuloskeletal menyediakan kerangka struktural dan mesin untuk pergerakan. Pemahaman mendalam tentang struktur, fungsi, dan hubungan simbiosis antara kedua sistem ini merupakan landasan esensial dalam ilmu biomedik, terutama dalam

# Bab 4.

memahami patofisiologi dari berbagai kondisi seperti luka bakar, osteoporosis, arthritis, dan distrofi otot.

## 2. Struktur Kulit dan Fungsi Protektif

Kulit adalah organ terbesar tubuh, menyusun sekitar 15-16% dari total berat badan orang dewasa, dan terdiri dari tiga lapisan utama: epidermis, dermis, dan hipodermis (subkutan) (Lopez-Ojeda et al., 2024).

1. **Epidermis:** Lapisan terluar ini terutama terdiri dari epitel skuamosa berlapis keratin. Sel-sel utama di epidermis adalah keratinosit, yang mengalami proses diferensiasi dan keratinisasi. Mereka berasal dari stratum basale (lapisan terdalam) dan secara bertahap bermigrasi ke permukaan, berubah menjadi sel-sel mati yang penuh dengan protein keratin pada stratum korneum (lapisan terluar). Proses ini memastikan adanya penghalang yang terus diperbarui. Sel-sel penting lainnya termasuk:
  - o **Melanosit:** Memproduksi melanin, pigmen yang menyerap radiasi ultraviolet (UV) yang berbahaya, melindungi DNA dalam sel-sel kulit dari mutasi yang dapat menyebabkan kanker.
  - o **Sel Langerhans:** Berperan sebagai sel penyaji antigen yang merupakan garis depan pertahanan imunologis kulit.

- **Sel Merkel:** Berfungsi sebagai mekanoreseptor untuk sensasi sentuhan ringan.
- 2. **Dermis:** Lapisan di bawah epidermis yang jauh lebih tebal dan terdiri dari jaringan ikat padat tidak teratur. Dermis mengandung pembuluh darah, ujung saraf, folikel rambut, dan kelenjar. Komponen utamanya adalah serat kolagen (memberikan kekuatan tarik) dan serat elastin (memberikan elastisitas). Kelenjar di dermis termasuk:
  - **Kelenjar Keringat:** Mensekresikan keringat untuk membantu regulasi suhu tubuh melalui penguapan.
  - **Kelenjar Sebaceous:** Mensekresikan sebum (minyak) untuk melumasi kulit dan rambut, memiliki sifat antibakteri dan antijamur ringan.
- 3. **Hipodermis:** Terdiri terutama dari jaringan adiposa (lemak). Lapisan ini berfungsi sebagai penyekat panas, bantalan untuk melindungi organ internal dari trauma mekanis, dan tempat penyimpanan energi.

Fungsi protektif kulit bersifat multifaset dan luar biasa:

- **Proteksi Kimia dan Fisik:** Stratum korneum yang keratin merupakan penghalang yang efektif terhadap air (mencegah dehidrasi) dan terhadap sebagian besar bahan kimia, mikroorganisme, dan abrasi ringan.

- **Proteksi Biologis:** Sel Langerhans dan sel-sel imun lainnya di kulit mengenali dan mempresentasikan patogen, memulai respons imun adaptif. Mikrobioma kulit, yaitu komunitas bakteri dan jamur komensal, juga membantu melindungi dari kolonisasi patogen dengan bersaing untuk mendapatkan nutrisi dan ruang.
- **Proteksi terhadap Radiasi UV:** Melanin yang diproduksi oleh melanosit secara efektif menyerap dan menyebarkan energi radiasi UV, mencegah kerusakan pada sel-sel yang membelah lebih dalam di epidermis dan dermis.
- **Regulasi Suhu:** Melalui dilatasi (vasodilatasi) dan konstriksi (vasokonstriksi) pembuluh darah di dermis, serta produksi keringat, kulit memainkan peran penting dalam mempertahankan homeostasis suhu tubuh.

### 3. Tulang, Sendi, Otot, dan Gerakan

Sistem muskuloskeletal adalah sistem yang memungkinkan tubuh mempertahankan postur dan menghasilkan gerakan yang terkoordinasi.

1. **Tulang (Sistem Skeletal):** Tulang adalah jaringan hidup yang dinamis yang melakukan berbagai fungsi kritis.
  - **Struktur:** Tulang panjang (seperti femur) memiliki diafisis (batang) dan epifisis (ujung). Diafisis terdiri dari tulang kompakta yang padat dan kuat, sementara epifisis terdiri dari



tulang spongiosa (berongga) yang ringan namun mampu menahan tekanan. Sumsum tulang di dalam rongga tulang adalah tempat produksi sel darah (hematopoiesis).

- **Fungsi:** Tulang memberikan **dukungan** (kerangka untuk tubuh), **perlindungan** (seperti tengkorak melindungi otak dan sangkar rusuk melindungi jantung dan paru-paru), **pergerakan** (sebagai tuas yang digerakkan oleh otot), **penyimpanan mineral** (terutama kalsium dan fosfat), dan **produksi sel darah**.
  - **Sel Tulang:** Osteoblas membentuk tulang baru, osteosit memelihara matriks tulang, dan osteoklas meresorpsi (memecah) tulang lama. Proses remodeling tulang ini berlangsung terus-menerus sepanjang hidup (Florencio-Silva et al., 2015).
2. **Sendi (Artikulasi):** Sendi adalah titik pertemuan antara dua atau lebih tulang. Mereka dapat diklasifikasikan berdasarkan strukturnya. Sendi sinovial (seperti lutut dan bahu) adalah yang paling mobile. Ciri khas sendi sinovial termasuk tulang rawan artikular yang halus untuk mengurangi gesekan, kapsul sendi, cairan sinovial yang melumasi, dan ligamen yang memperkuat sendi.
  3. **Otot (Sistem Muskular):** Otot skelet adalah organ yang menggerakkan tulang. Mereka melekat pada tulang melalui tendon.

- **Struktur:** Serat otot individu mengandung miofibril, yang tersusun dari sarkomer – unit fungsional yang mengandung filamen aktin dan miosin.
- **Kontraksi:** Proses kontraksi dijelaskan oleh **Model Filamen Geser**. Ketika sebuah sinyal saraf mencapai otot, ia menyebabkan pelepasan ion kalsium di dalam serat otot. Kalsium memicu interaksi antara aktin dan miosin, dimana filamen miosin "menarik" filamen aktin, memendekkan sarkomer dan seluruh serat otot, sehingga menghasilkan kontraksi (Powers & Howley, 2018). Proses ini membutuhkan energi dalam bentuk ATP.

**Gerakan** adalah hasil dari kerja sama yang terintegrasi antara sistem saraf, tulang, sendi, dan otot. Sistem saraf mengaktifkan kelompok otot tertentu (agonis) untuk berkontraksi, sementara otot yang berlawanan (antagonis) berelaksasi. Tulang berfungsi sebagai tuas, sendi berperan sebagai fulcrum (titik tumpu), dan kontraksi otot memberikan gaya yang diperlukan untuk menghasilkan gerakan.

## **Gangguan Umum pada Sistem Integumen dan Muskuloskeletal**

Gangguan pada kedua sistem ini sangat prevalen dan mencerminkan berbagai penyebab, termasuk infeksi, peradangan, degenerasi, dan trauma.

- **Gangguan Sistem Integumen:**

- **Kanker Kulit:** Jenis kanker yang paling umum, sering dikaitkan dengan paparan sinar UV. Tiga jenis utama adalah karsinoma sel basal, karsinoma sel skuamosa, dan melanoma (yang paling ganas).
- **Infeksi:** Bakteri (e.g., selulitis, impetigo), virus (e.g., herpes simplex, verruca vulgaris/ kutil), dan jamur (e.g., tinea pedis/ athlete's foot).
- **Dermatitis dan Psoriasis:** Kondisi inflamasi yang ditandai dengan kemerahan, gatal, dan lesi kulit. Psoriasis melibatkan proliferasi keratinosit yang berlebihan dan cepat.
- **Luka Bakar:** Kerusakan jaringan yang disebabkan oleh panas, bahan kimia, atau radiasi. Klasifikasinya berdasarkan kedalaman (tingkat 1, 2, 3) dan luasnya (aturan sembilan), yang menentukan pendekatan pengobatan dan risiko komplikasi seperti kehilangan cairan dan infeksi.

- **Gangguan Sistem Muskuloskeletal:**

- **Osteoporosis:** Penyakit degeneratif yang ditandai dengan penurunan massa tulang dan deteriorasi mikroarsitektur jaringan tulang, leading to increased bone fragility and risk of fracture (Sözen et al., 2017). Faktor risiko termasuk usia, defisiensi hormon (estrogen pada wanita), dan asupan kalsium serta vitamin D yang tidak memadai.

- **Osteoarthritis:** Bentuk arthritis yang paling umum, merupakan kondisi degeneratif di mana tulang rawan artikular mengalami keausan, menyebabkan nyeri, kekakuan, dan hilangnya mobilitas sendi.
- **Rheumatoid Arthritis:** Penyakit autoimun di mana sistem imun tubuh sendiri menyerang membran sinovial sendi, menyebabkan peradangan, nyeri, dan dapat menyebabkan erosi tulang dan deformitas sendi.
- **Cedera Otot dan Tendon:** Termasuk strain (cedera pada otot atau tendon) dan sprain (cedera pada ligamen). Fraktur (patah tulang) merupakan gangguan umum lainnya yang memerlukan proses penyembuhan yang kompleks.

## Kesimpulan

Sistem integumen dan muskuloskeletal adalah pilar fundamental dari struktur dan fungsi tubuh manusia. Kulit tidak hanya sekadar pembungkus, tetapi merupakan organ protektif, imunologis, dan homeostatik yang canggih. Sementara itu, tulang, sendi, dan otot membentuk suatu mesin yang memungkinkan dukungan, stabilitas, dan gerakan yang gesit. Gangguan pada sistem-sistem ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas hidup, mobilitas, dan kesehatan secara keseluruhan. Pemahaman biomedik yang komprehensif tentang anatomi, fisiologi, dan

patologi umumnya adalah prasyarat untuk pencegahan, diagnosis, dan penatalaksanaan yang efektif dari berbagai kondisi medis, mulai dari kanker kulit hingga patah tulang osteoporotik.

## Daftar Pustaka

Florencio-Silva, R., Sasso, G. R. da S., Sasso-Cerri, E., Simões, M. J., & Cerri, P. S. (2015). Biology of bone tissue: Structure, function, and factors that influence bone cells. *BioMed Research International*, 2015, 421746. <https://doi.org/10.1155/2015/421746>

Lopez-Ojeda, W., Pandey, A., Alhadj, M., & Oakley, A. M. (2024). Anatomy, skin (integument). In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441980/>

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2018). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (10th ed.). McGraw-Hill Education.

Sözen, T., Özıışık, L., & Başaran, N. Ç. (2017). An overview and management of osteoporosis. *European Journal of Rheumatology*, 4(1), 46–56. <https://doi.org/10.5152/eurjrheum.2016.048>

# Sistem Peredaran Darah dan Limfatik

- **Tujuan Pembelajaran**
- Struktur jantung dan pembuluh darah
- Siklus peredaran darah
- Sistem limfatik dan imunitas
- Penyakit kardiovaskuler & relevansinya di masyarakat

## 1. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Mengidentifikasi dan menjelaskan struktur anatomis jantung dan pembuluh darah (arteri, vena, kapiler).
2. Menjelaskan jalur dan siklus peredaran darah—pulmonal dan sistemik—dengan rinci.
3. Memahami peran sistem limfatik dalam menjaga homeostasis cairan dan imunitas tubuh.
4. Mendeskripsikan interaksi antara sistem kardiovaskuler dan limfatik.
5. Menganalisis berbagai penyakit kardiovaskuler, karakteristiknya, dan relevansi sosialnya.
6. Menginterpretasikan data epidemiologis dan peran pencegahan dalam mengurangi beban CVD di masyarakat.



# Bab 5.

## 2. Struktur Jantung dan Pembuluh Darah

### Jantung

Jantung adalah organ otot berukuran kira-kira sebesar kepalan tangan, terletak di mediastinum antara kedua paru (Osmosis) [Osmosis](#). Terdiri dari empat ruang: atrium kanan dan kiri, serta ventrikel kanan dan kiri, yang dipisahkan oleh septum (Kenhub; Wikipedia) [WikipediaKenhub](#). Atrium kanan menerima darah deoksigenasi dari vena cava superior dan inferior, lalu mengarah ke ventrikel kanan melalui katup trikuspid. Ventrikel kanan kemudian memompa darah ke paru (pulmonal). Atrium kiri menerima darah teroksigenasi dari paru, mengarah ke ventrikel kiri melalui katup mitral, dan ventrikel kiri memompa darah ke seluruh tubuh melalui aorta [OsmosisKenhub](#).

Jaringan otot jantung sendiri dipasok darah oleh sirkulasi koroner—arteri koroner kiri (yang bercabang menjadi arteri descendens anterior kiri dan arteri sirkumfleksi kiri) serta arteri koroner kanan—menjamin suplai oksigen dan nutrisi ke miokardium [Wikipedia](#).

## Pembuluh Darah

Sistem vaskular melibatkan tiga tipe utama:

- **Arteri:** membawa darah beroksigen (kecuali arteri pulmonalis) dari jantung ke jaringan. Dinding arteri terdiri dari tiga lapis—tunica intima, media, dan adventitia—memiliki otot dan serat elastis untuk menangani tekanan tinggi [Wikipedia](#).
- **Kapiler:** merupakan unit mikrovaskular tempat pertukaran gas, nutrisi, dan limbah antara darah dan jaringan.
- **Vena:** mengangkut darah kembali ke jantung, dengan tekanan rendah, memiliki katup untuk mencegah aliran balik dan dinding tipis dibanding arteri [University of Rochester Medical CenterKenhub](#).

## 3. Siklus Peredaran Darah

Sistem sirkulasi mencakup dua sirkuit utama:

1. **Sirkulasi pulmonal:** darah deoksigenasi dipompa dari ventrikel kanan ke paru melalui arteri pulmonalis, di mana gas diubah (CO<sub>2</sub> dikeluarkan, O<sub>2</sub> diserap), lalu kembali ke atrium kiri melalui vena pulmonalis [WikipediaKenhub](#).
2. **Sirkulasi sistemik:** darah oksigenasi dari ventrikel kiri mendistribusi ke organ dan jaringan melalui arteri besar (aorta dan cabang-cabangnya). Setelah pertukaran, darah deoksigenasi kembali ke atrium kanan melalui vena cava [WikipediaKenhub](#).

Sirkulasi mikro (arteri → arteriol → kapiler → venul → vena) adalah lokasi utama pertukaran zat.

## 4. Sistem Limfatik dan Imunitas

### Struktur dan Fungsi

Sistem limfatik meliputi kapiler limfatik, pembuluh limfatik, nodus (kelenjar) limfa, organ limfoid seperti limpa, timus, dan tonsil [KenhubWikipedia](#). Ia adalah sistem terbuka, melengkapi sistem peredaran darah. Tubuh memproduksi sekitar 20 liter plasma per hari; sekitar 3 liter menjadi cairan interstitial yang diangkat oleh sistem limfatik dan dikembalikan ke sirkulasi melalui duktus torasikus dan duktus limfatikus kanan ke vena subklavia [Wikipedia+1](#).

### Peran dalam Imunitas

Sistem ini memfasilitasi pertahanan tubuh dengan menyaring patogen melalui nodus limfa, menghasilkan dan mematangkan limfosit (B dan T), serta menyerap lemak dan vitamin larut dalam lemak dari usus (laktiferus) [Cleveland ClinicWikipedia](#).



## 5. Integrasi Sistem: Peran Sinergis

Sistem kardiovaskular dan limfatik bekerja bersama agar distribusi nutrisi, oksigen, hormon, limbah, dan imunitas berfungsi optimal. Darah membawa oksigen dan nutrisi, sedangkan sistem limfatik mengembalikan kelebihan cairan dan memfasilitasi respon imun. Komunikasi ini penting agar jaringan tidak mengalami edema dan infeksi dapat dicegah.

## 6. Penyakit Kardiovaskuler & Relevansinya di Masyarakat

### Epidemiologi Global

Penyakit kardiovaskuler atau CVD (termasuk serangan jantung, stroke, penyakit jantung rematik) merupakan penyebab utama kematian global—sekitar 19,8 juta jiwa pada 2022 (~32% dari seluruh kematian), dan lebih dari 85% akibat serangan jantung dan stroke [World Health Organization](#). Data tahun 2021 mencatat 20,5 juta kematian akibat CVD, dengan sekitar 80% terjadi di negara berpenghasilan rendah dan menengah [PMCWorld Heart Federation](#).

### Faktor Risiko & Pencegahan

Sebagian besar CVD dapat dicegah (~90%) melalui modifikasi gaya hidup: pola makan sehat, olahraga, hindari tembakau dan alkohol, serta kontrol hipertensi, diabetes, dan kadar lemak darah [Wikipedia](#).

Hipertensi adalah faktor risiko terbanyak yang dapat dimodifikasi; secara global menyebabkan hampir 11 juta kematian per tahun. Menariknya, intervensi murah seperti skrining dan pengobatan hipertensi memiliki efisiensi tinggi dengan ROI sekitar 16—penyediaan obat hanya \$3–11 per tahun [The Australian](#).

WHO telah mempublikasikan rencana komprehensif menangani hipertensi untuk menyelamatkan puluhan juta nyawa hingga 2050 [WIRED](#). Meski demikian, ketimpangan tetap ada—80% kematian CVD ada di negara berpenghasilan rendah dan menengah [The Times of India](#) [World Health Organization](#).

## Tren dan Beban Sosial

Di AS, penyakit jantung tetap penyebab utama kematian, dengan satu orang meninggal setiap 34 detik pada 2023 (sekitar 919.000 kematian) [CDC](#). Resistensi gaya hidup (obesitas, sedentarisme, merokok) disebut sebagai “silent killers” merajai penyebab CVD di dunia (~17,9 juta kematian per tahun) [The Times of India](#).

## Kesimpulan

Bab ini membahas secara mendalam:

- **Struktur anatomi** jantung dan pembuluh darah.
- **Siklus peredaran darah**—pulmonal dan sistemik—dengan peran vital jantung dan vaskular.
- **Sistem limfatik** sebagai pendukung sirkulasi dan pertahanan tubuh.
- **Integrasi fungsional** kedua sistem dalam menjaga homeostasis dan imunitas.
- **Epidemiologi dan dampak penyakit kardiovaskular**, dengan penekanan pada pencegahan dan strategi masyarakat.

## Referensi

- World Health Organization. (2025, Juli 31). *Cardiovascular diseases (CVDs)*. Retrieved from WHO website [World Health Organization](#)

- Di Cesare, M. (2024). *The heart of the world*. PMC. Retrieved from Global health data [PMC](#)
- Osmosis. (n.d.). *Cardiovascular system: Structure and function* [Osmosis](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Circulatory system*. In *Wikipedia* [WikipediaKenhub](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Heart*. In *Wikipedia* [Wikipedia](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Artery*. In *Wikipedia* [Wikipedia](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Cardiovascular disease*. In *Wikipedia* [Wikipedia](#)
- Kenhub. (2025). *Human body systems: Overview, anatomy, functions* [Kenhub](#)
- Cleveland Clinic. (2023). *Lymphatic system: Function, conditions & disorders* [Cleveland Clinic](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Lymphatic system*. In *Wikipedia* [Wikipedia](#)
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024, October 24). *Heart Disease Facts*. Retrieved from CDC [CDC](#)
- The Guardian. (2025, August 28). *Shingles jab may reduce risk of heart attack, pioneering research reveals* [The Guardian](#)
- Times of India. (2025, August 25). *Leading cardiac surgeon reveals 3 silent killers behind heart disease* [The Times of India](#)
- The Australian. (2024). *Getting to the heart of world's biggest killer* [The Australian](#)
- Wired. (2023). *High Blood Pressure Is the World's Biggest Killer. Now There's a Plan to Tackle It* [WIRED](#)
- Times of India. (2025). *Exercise and diet reduce the risk of heart diseases...* [The Times of India](#)

# Sistem Pernapasan

- **Tujuan Pembelajaran**
- Anatomi dan fisiologi sistem respirasi
- Pertukaran gas
- Mekanisme pernapasan
- Gangguan respirasi

## 1. Pendahuluan

Sistem pernapasan merupakan salah satu sistem organ yang paling vital bagi kehidupan, yang berfungsi utama untuk memfasilitasi pertukaran gas antara tubuh dan lingkungan. Setiap sel dalam tubuh memerlukan pasokan oksigen ( $O_2$ )

yang terus-menerus untuk melakukan respirasi seluler, proses metabolik yang menghasilkan energi dalam bentuk adenosine trifosfat (ATP). Sebaliknya, proses metabolisme ini menghasilkan karbon dioksida ( $CO_2$ ) sebagai produk limbah yang harus dikeluarkan dari tubuh. Kegagalan sistem ini selama lebih dari beberapa menit dapat menyebabkan kerusakan organ ireversibel dan kematian. Bab ini akan membahas anatomi dan fisiologi saluran napas, mekanisme fisik pernapasan, proses pertukaran gas yang rumit di tingkat



# Bab 6.

alveolar, serta menguraikan beberapa gangguan umum yang mempengaruhi sistem yang penting ini.

## 2. Anatomi dan Fisiologi Sistem Respirasi

Sistem pernapasan dapat dibagi secara fungsional menjadi dua zona utama: **zona konduksi** dan **zona respirasi**.

1. **Zona Konduksi:** Bertugas untuk mengangkut, memfilter, melembabkan, dan menghangatkan udara yang dihirup sebelum mencapai unit pertukaran gas.
  - **Hidung dan Rongga Hidung:** Udara masuk melalui nares (lubang hidung) ke dalam rongga hidung, yang dilapisi oleh epitel bersilia dan sel goblet penghasil mukus. Rambut-rambut halus (*vibrissae*) menyaring partikel besar, sementara mukus yang lengket menjebak debu, alergen, dan patogen. Silia kemudian mendorong mukus yang penuh dengan debris ini ke belakang tenggorokan untuk ditelan atau dibatukkan, sebuah mekanisme pertahanan yang dikenal sebagai *mucociliary escalator*. Konka nasal yang memiliki banyak pembuluh darah membantu menghangatkan dan melembabkan udara.
  - **Faring:** Merupakan persimpangan antara saluran napas dan pencernaan. Terbagi menjadi nasofaring, orofaring, dan laringofaring.

- **Laring:** Sering disebut sebagai "kotak suara", ia menghubungkan faring dengan trakea. Bagian pentingnya adalah pita suara (vocal folds) yang bergetar untuk menghasilkan suara. Epiglotis, sebuah tutup kartilago, menutup secara refleks selama menelan untuk mencegah makanan masuk ke saluran napas.
- **Trakea:** Tabung yang ditopang oleh cincin tulang rawan berbentuk C yang menjaga agar saluran tetap terbuka. Dilapisi dengan epitel bersilia dan sel goblet untuk terus membersihkan saluran udara.
- **Bronkus dan Bronkiolus:** Trakea bercabang menjadi dua bronkus utama (kiri dan kanan) yang memasuki paru-paru. Di dalam paru-paru, bronkus terus bercabang seperti pohon (pohon bronkial) menjadi bronkiolus yang lebih kecil. Bronkiolus terminal adalah bagian terakhir dari zona konduksi.
- 2. **Zona Respirasi:** Tempat terjadinya pertukaran gas sebenarnya.
  - **Bronkiolus Respiratori:** Percabangan dari bronkiolus terminal yang memiliki kantung alveolar kecil yang menempel di dindingnya.
  - **Duktus Alveolar:** Saluran yang seluruh dindingnya dipenuhi dengan alveoli.

- **Alveoli:** Kantung udara kecil berbentuk anggur yang merupakan situs utama pertukaran gas. Dinding alveoli sangat tipis dan dilapisi oleh sel-sel pneumosit tipe I yang datar. Sel-sel pneumosit tipe II mensekresikan **surfaktan**, zat yang mengurangi tegangan permukaan di alveoli, mencegahnya kolaps (atelektasis) selama ekspirasi. Alveoli dikelilingi oleh jaringan kapiler darah yang padat, menciptakan **membran respirasi** yang sangat tipis tempat difusi gas terjadi (Patwa & Shah, 2015).

### 3. Pertukaran Gas

Pertukaran gas terjadi melalui proses difusi sederhana, yang digerakkan oleh perbedaan tekanan parsial gas. Tekanan parsial (P) adalah tekanan yang diberikan oleh masing-masing gas dalam campuran. Gas akan berdifusi dari area dengan tekanan parsial tinggi ke area dengan tekanan parsial rendah.

Proses ini terjadi dalam dua tahap:

1. **Pertukaran Gas Eksternal (Pernapasan Eksternal):** Ini adalah pertukaran  $O_2$  dan  $CO_2$  antara udara dalam alveoli dan darah dalam kapiler paru.
- **Oksigen:** Tekanan parsial oksigen ( $PO_2$ ) dalam alveolus (~104 mmHg) jauh lebih tinggi daripada  $PO_2$  dalam darah vena

yang datang ke paru-paru (~40 mmHg). Oleh karena itu, O<sub>2</sub> berdifusi dengan cepat melintasi membran respirasi yang tipis ke dalam darah.

- **Karbon Dioksida:** Tekanan parsial karbon dioksida (PCO<sub>2</sub>) dalam darah vena (~45 mmHg) lebih tinggi daripada PCO<sub>2</sub> dalam alveolus (~40 mmHg). Akibatnya, CO<sub>2</sub> berdifusi dari darah ke dalam alveolus untuk dihembuskan.
2. **Pertukaran Gas Internal (Pernapasan Internal):** Ini adalah pertukaran O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> antara darah dalam kapiler sistemik dan sel-sel jaringan tubuh.
- **Oksigen:** PO<sub>2</sub> dalam darah arteri (~100 mmHg) lebih tinggi daripada PO<sub>2</sub> dalam cairan jaringan (<40 mmHg), sehingga O<sub>2</sub> berdifusi keluar dari darah dan masuk ke sel.
  - **Karbon Dioksida:** Sebaliknya, PCO<sub>2</sub> dalam sel (~46 mmHg) lebih tinggi daripada PCO<sub>2</sub> dalam darah arteri (~40 mmHg), sehingga CO<sub>2</sub> berdifusi dari sel ke dalam darah untuk dibawa kembali ke paru-paru.

Pengikatan dan pengangkutan gas dalam darah difasilitasi oleh pigmen hemoglobin dalam sel darah merah. Oksigen berikatan longgar dengan hemoglobin untuk membentuk oksihemoglobin. Sebagian besar CO<sub>2</sub> diangkut dalam plasma sebagai ion bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), suatu proses yang juga



membantu menjaga keseimbangan asam-basa (pH) darah (West, 2012).

#### 4. Mekanisme Pernapasan

Pernapasan, atau ventilasi pulmonal, adalah proses mekanis yang melibatkan perubahan volume dan tekanan dalam rongga toraks. Proses ini mengikuti prinsip fisika dasar: udara mengalir dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan rendah.

1. **Inspirasi (Menghirup):** Merupakan proses aktif yang melibatkan kontraksi otot.
  - Otot diafragma berkontraksi, merata, dan bergerak ke bawah.
  - Otot interkostalis eksternus berkontraksi, mengangkat tulang rusuk dan sternum ke atas dan ke luar.
  - Aksi ini meningkatkan volume rongga toraks.
  - Menurut Hukum Boyle, peningkatan volume menyebabkan penurunan tekanan intrapleura (tekanan dalam rongga pleura).
  - Ketika tekanan intrapleura menjadi lebih rendah daripada tekanan atmosfer, udara dari luar mengalir masuk ke dalam paru-paru hingga kedua tekanan tersebut seimbang.
2. **Ekspirasi (Menghembuskan):** Pada keadaan istirahat, ekspirasi adalah proses pasif.

- Otot diafragma dan interkostal berelaksasi.  
\*Elastisitas alami paru-paru dan dinding dada menyebabkan rongga toraks menyusut, mengurangi volumenya.
- Penurunan volume ini meningkatkan tekanan intrapleura di atas tekanan atmosfer.
- Udara kemudian didorong keluar dari paru-paru.
- Ekspirasi aktif, seperti selama batuk atau olahraga, melibatkan kontraksi otot perut dan interkostalis internal untuk lebih memaksa pengeluaran udara (Powers & Howley, 2018).

## 5. Gangguan Respirasi

Gangguan pada sistem pernapasan sangat umum dan dapat mempengaruhi saluran udara, parenkim paru, atau mekanisme ventilasi.

- **Penyakit Obstruktif:** Ditandai dengan hambatan aliran udara yang meningkatkan resistensi.
  - **Asma:** Penyakit inflamasi kronis yang menyebabkan hiperreaktivitas bronkial, bronkokonstriksi (penyempitan saluran napas), produksi mukus berlebih, dan sesak napas. Pemicunya termasuk alergen, olahraga, dan iritan.
  - **Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK):** Umumnya disebabkan oleh merokok dalam jangka panjang, ini adalah

istilah payung untuk **emfisema** (kerusakan dinding alveolar, mengurangi area permukaan untuk pertukaran gas) dan **bronkitis kronis** (inflamasi dan produksi mukus berlebihan yang berlangsung lama). Pasien mengalami kesulitan menghembuskan napas sepenuhnya.

- **Penyakit Restriktif:** Ditandai dengan pengurangan kapasitas paru-paru karena paru-paru yang "kaku" atau masalah dengan ekspansi dinding dada.
  - **Fibrosis Paru:** Jaringan parut (fibrosis) pada jaringan interstitial paru yang membuatnya kurang elastis dan sangat mengurangi kapasitas difusi. Penyebabnya bisa idiopatik (tidak diketahui) atau akibat paparan jangka panjang terhadap debu industri (pneumokoniosis).
- **Gangguan Infeksius:**
  - **Pneumonia:** Infeksi yang menyebabkan peradangan pada unit pertukaran gas (alveoli), yang dapat terisi dengan cairan dan nanah, sehingga sangat mengganggu pertukaran gas.
  - **Tuberkulosis (TBC):** Infeksi bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang dapat membentuk granuloma di paru-paru dan bersifat sangat menular melalui droplet.
- **Kanker Paru:** Salah satu kanker paling mematikan di dunia, sangat terkait dengan merokok. Seringkali berasal dari epitel bronkus dan dapat menyebar dengan cepat.

## Kesimpulan

Sistem pernapasan adalah sebuah keajaiban rekayasa biologis yang menggabungkan anatomi konduksi yang protektif dengan fisiologi pertukaran gas yang sangat efisien. Dari penyaringan udara di hidung hingga difusi gas di alveoli, setiap langkah dirancang untuk memastikan pasokan oksigen yang memadai dan pembuangan karbon dioksida yang efektif. Proses ini, yang digerakkan oleh mekanisme pernapasan dan diatur dengan ketat oleh sistem saraf dan kimiawi tubuh, adalah fondasi dari metabolisme energi dan homeostasis. Memahami fungsi normal sistem ini adalah prasyarat untuk mendiagnosis dan mengelola berbagai gangguan pernapasan yang memberikan beban penyakit yang signifikan secara global.

## Daftar Pustaka

Patwa, A., & Shah, A. (2015). Anatomy and physiology of respiratory system relevant to anaesthesia. *Indian Journal of Anaesthesia*, 59(9), 533–541. [https://doi.org/10.4103/0019-](https://doi.org/10.4103/0019-5049.165849)

[5049.165849](https://doi.org/10.4103/0019-5049.165849)

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2018). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (10th ed.). McGraw-Hill Education.

West, J. B. (2012). *Respiratory physiology: The essentials* (9th ed.).  
Lippincott Williams & Wilkins.

# Sistem Pencernaan

- **Tujuan Pembelajaran**
- Organ pencernaan dan fungsinya
- Proses pencernaan dan penyerapan
- Enzim pencernaan
- Penyakit sistem pencernaan

## 1. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat:

1. Mengidentifikasi struktur utama sistem pencernaan, termasuk organ saluran cerna dan organ aksesori, serta menjelaskan fungsi masing-masing.
2. Menjelaskan mekanisme pencernaan – mulai dari mekanis hingga kimiawi, serta penyerapan nutrisi di saluran cerna.
3. Memahami dan mengklasifikasi berbagai enzim pencernaan dan peranannya dalam proses pencernaan.
4. Mengenali penyakit umum sistem pencernaan, memahami mekanisme patofisiologinya, serta dampaknya secara sosial dan epidemiologis.
5. Menganalisis pentingnya kesehatan gastrointestinal dalam konteks nutrisi, pertumbuhan, dan kualitas hidup.



# Bab 7.

## 2. Organ Pencernaan dan Fungsinya

Sistem pencernaan terdiri dari **GI tract** (saluran cerna) dan **organ aksesori** (biliari dan kelenjar) [Cleveland ClinicNCBI](#).

### Saluran Cerna Utama (GI Tract):

- **Mulut:** proses awal pencernaan mekanik (mengunyah) dan kimiawi (air liur/amylase) [Verywell Healthtraining.seer.cancer.gov](#).
- **Esofagus:** saluran otot yang mendorong makanan lewat peristaltik menuju lambung [training.seer.cancer.govCleveland Clinic](#).
- **Lambung:** mencerna protein melalui asam lambung dan pepsin, membentuk chyme [Verywell HealthCleveland Clinic](#).
- **Usus halus (duodenum, jejunum, ileum):** pusat pencernaan dan penyerapan; duodenum menerima empedu dan enzim pankreas; jejunum dan ileum menyerap nutrisi secara aktif melalui villi dan mikrovilinya [sdmiramar.eduWikipediauofmhealth.org](#).
- **Usus besar:** menyerap air, membentuk feses, serta lokasi kolon dan rektum sebagai lembaga akhir pengeluaran [Verywell HealthCleveland Clinic](#).

### Organ Aksesori / Biliari:

- **Kelenjar air liur:** mencerna pati melalui amilase awal [training.seer.cancer.gov](#).
- **Hati:** menghasilkan empedu – penting untuk emulsifikasi lemak dan pencernaan lipid [Verywell Health+1](#).

- **Kantung empedu:** menyimpan dan mengkonsentrasikan empedu yang digunakan saat makanan berlemak hadir [Verywell Health+1](#).
- **Pankreas:** menghasilkan enzim pencernaan untuk karbohidrat, protein, dan lemak serta bikarbonat untuk menetralkan asam lambung [Verywell HealthNIDDKtraining.seer.cancer.gov](#).

### 3. Proses Pencernaan dan Penyerapan

#### Proses Pencernaan

1. **Ingesti** melalui mulut, dilanjut ke esofagus [training.seer.cancer.gov](#).
2. **Pencernaan Mekanis:** mengunyah di mulut; peristaltik di esofagus; pengadukan di lambung [training.seer.cancer.gov](#).
3. **Pencernaan Kimiawi:** oleh enzim air liur, asam lambung, enzim pankreas, dan empedu [NIDDKVerywell Health](#).

#### Penyerapan Nutrisi

- Di **usus halus**, nutrisi diserap melalui vili dan mikrovili—struktur yang memperbesar permukaan dan efisiensi difusi ke dalam pembuluh darah [sdmiramar.eduWikipedia](#).
- Hasil pencernaan:
  - Karbohidrat → monosakarida
  - Protein → asam amino
  - Lemak → asam lemak dan gliserol [NIDDKBetter Health Channel](#).
- **Usus besar** menyerap air dan membentuk feses akhir [NIDDKVerywell Health](#).



## Peran Tambahan

- Sistem syaraf, hormonal, dan mikrobiota (flora usus) bekerja sama mengoordinasikan pencernaan dan penyerapan [NIDDK](#).

## 4. Enzim Pencernaan

Berikut adalah beberapa enzim utama dan fungsinya:

- **Amilase (air liur & pankreas):** memecah pati menjadi disakarida
- **Pepsin (lambung):** mencerna protein menjadi peptida
- **Lipase (pankreas):** memecah trigliserida menjadi asam lemak dan gliserol
- **Enzim usus (disakarase, peptidase):** menyelesaikan pencernaan lemak, karbohidrat, dan protein di usus halus
- Peran empedu: **emulsifikasi lemak**, bukan enzim tetapi penting untuk pencernaan lipid [Verywell Health+1NIDDK](#).

## 5. Penyakit Sistem Pencernaan

### Epidemiologi Global dan Beban Penyakit

- Beban global menurun: pada 2019 kasus dan kematian meningkat tajam dibanding 1990, tapi angka standar per populasi (ASIR, ASDR, ASDALYs) sedikit menurun [Frontiers](#).

- Secara global, penyakit pencernaan mencakup sekitar 18,2% insiden, 14,2% kematian, dan 10,9% DALYs semua penyakit pada 2019 [gastrojournal.org](http://gastrojournal.org).

### Penyakit Utama Berdasarkan NIDDK (AS)

- **Hernia dinding abdomen, konstipasi kronis, penyakit divertikular, batu empedu, GERD, infeksi gastrointestinal, hemoroid, IBD (Crohn & UC)**— dengan beban besar dalam hal kunjungan medis dan biaya [NIDDK](#).
- **Ulser peptik (ulcer):** 14,8 juta orang di AS; gejala meliputi nyeri epigastrik, gangguan pencernaan [CDC](#).
- **IBS, Crohn's Disease, Diverticulosis, Kanker kolorektal, Celiac Disease** adalah kondisi umum lainnya [UChicago Medicine AdventHealthWikipedia+1](#).

### Penyakit Spesifik

- **GERD:** mempengaruhi hingga 20% populasi AS; ditandai dengan heartburn, regurgitasi, nyeri dada [NIDDKUChicago Medicine AdventHealth](#).
- **IBD (Crohn & Ulcerative Colitis):** IBD global dan gejala serius dengan mortalitas ribuan; UC prevalensinya di AS berkisar puluhan hingga ratus per 100.000 [Wikipedia+1](#).
- **Infeksi H. pylori:** dua pertiga populasi dunia terinfeksi; risiko ulkus dan kanker lambung meningkat terutama bila terinfeksi sejak usia dini [Wikipedia](#).
- **Celiac Disease:** gejala GI seperti diare, kembung; risiko kanker usus meningkat jika tidak diobati [Wikipedia](#).
- **Giardiasis:** prevalensi 3-7% di AS, hingga 30% di negara berkembang; berdampak pada pertumbuhan anak dan DALYs [Wikipedia](#).

- **Kanker GI pada usia muda:** peningkatan 185% kasus kolorektal antara usia 20–24 di AS; faktor risiko termasuk obesitas, pola makan buruk, gaya hidup [The Sun](#).
- **Gender & GI:** wanita lebih rentan terhadap gangguan GI (IBS, IBD, celiac), karena faktor hormonal, imun, dan psikologis [TIME](#).

## Ringkasan (Kesimpulan)

Bab ini membahas secara menyeluruh tentang:

1. Struktur dan fungsi saluran pencernaan utama dan aksesori.
2. Proses pencernaan dari mekanik hingga kimiawi dan penyerapan nutrisi.
3. Peran penting enzim pencernaan dan empedu.
4. Penyakit pencernaan umum dan epidemiologinya, termasuk gangguan infeksi, inflamasi, fungsional, hingga kanker GI, serta faktor risiko dan tren global.

## Referensi

- Cleveland Clinic. (2023). *What Is the Digestive System?* Retrieved from Cleveland Clinic website [Cleveland Clinic](#)
- National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (NIDDK). (2025). *Digestive Diseases Statistics for the United States*. Retrieved from NIDDK website [NIDDK](#)

- NIDDK. (2025). *Your Digestive System & How it Works*. Retrieved from NIDDK website [NIDDK](#)
- Wang, R. (2023). *Global burden of digestive diseases*. Retrieved from PMC [PMCFrontiers](#)
- Wang, Y. (2023). *Global burden of digestive diseases: A systematic study*. Gastroenterology [gastrojournal.org](#)
- Anatomy Lecture Notes. (2024). *The Digestive System*. SD Miramar [sdmiramar.edu](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Ulcerative colitis*. Retrieved from Wikipedia [Wikipedia](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Inflammatory bowel disease*. Wikipedia [Wikipedia](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Helicobacter pylori*. Wikipedia [Wikipedia](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Coeliac disease*. Wikipedia [Wikipedia](#)
- Wikipedia contributors. (2025). *Giardiasis*. Wikipedia [Wikipedia](#)
- Times of India. (2025). *Surge in early-onset GI cancers*. Retrieved from The Sun via Times of India [The Sun](#)
- Time. (2024). *Gut Health Issues More Common in Women*. Retrieved from Time [TIME](#)
- Verywell Health. (2008). *The Most Important Digestive System Organs and Functions*. Retrieved from Verywell Health [Verywell Health](#)

# Sistem Urinaria

- **Tujuan Pembelajaran**
- Ginjal dan struktur nefron
- Proses pembentukan urin
- Peran ginjal dalam homeostasis
- Gangguan sistem urinaria

## 1. Pendahuluan

Sistem urinaria merupakan sistem ekskresi utama yang berperan sebagai penyaring dan pembersih darah, menjaga keseimbangan kimiawi internal tubuh yang dikenal sebagai homeostasis. Tanpa fungsi ini, limbah nitrogen dari metabolisme protein akan menumpuk dengan cepat menjadi racun, keseimbangan cairan dan elektrolit akan kacau, dan tekanan darah menjadi tidak terkendali. Sistem ini, yang sering disederhanakan sebagai "sistem ginjal", jauh lebih dari sekadar penghasil urin; ia adalah regulator utama lingkungan internal tubuh (*milieu intérieur*). Bab ini akan menguraikan anatomi ginjal dan unit fungsionalnya yang menakjubkan, nefron, menjelaskan tiga proses utama pembentukan urin, merinci peran sentral ginjal dalam

# Bab 8.

mempertahankan homeostasis, dan mengkaji beberapa gangguan umum yang mengancam integritas sistem yang vital ini.

## 2. Ginjal dan Struktur Nefron

Sepasang ginjal terletak retroperitoneal (di belakang peritoneum) di dinding posterior abdomen. Setiap ginjal disuplai oleh arteri renalis yang besar, yang merupakan cabang langsung dari aorta abdominalis, yang menunjukkan pentingnya organ ini. Ginjal terdiri dari dua region utama: **korteks** (bagian luar) dan **medula** (bagian dalam yang terdiri dari piramida renal). Unit fungsional mikroskopis ginjal yang melakukan seluruh pekerjaan penyaringan adalah **nefron**. Setiap ginjal mengandung sekitar 1,2 juta nefron, dan kerusakan pada unit-unit ini bersifat irreversibel (Hall & Hall, 2020).

Sebuah nefron terdiri dari dua komponen utama:

1. **Korpuskulus Renal:** Bertindak sebagai filter darah. Terdiri dari:
  - o **Glomerulus:** Jaringan kapiler arteri yang bergelung dan memiliki tekanan hidrostatis tinggi. Dinding kapilernya bersifat fenestrated (berpori), memungkinkan lewatnya cairan dan solute kecil.

- **Kapsul Bowman:** Struktur berbentuk cangkir yang mengelilingi glomerulus, menerima filtrat yang tersaring.
- 2. **Tubulus Renal:** Tabung panjang dan berbelit yang bertanggung jawab untuk memproses filtrat menjadi urin. Terdiri dari:
  - **Tubulus Proksimal:** Segmen pertama setelah kapsul Bowman, sangat terlibat dalam reabsorpsi.
  - **Lengkung Henle:** Bagian berbentuk U yang menjulur ke dalam medula; menciptakan gradien osmotik untuk konsentrasi urin.
  - **Tubulus Distal:** Tempat terjadinya reabsorpsi dan sekresi yang lebih selektif, seringkali di bawah kendali hormonal.
  - **Tubulus Kolektif:** Mengumpulkan urin dari beberapa nefron dan menyalurkannya ke pelvis renalis. Bagian ini juga merupakan tempat akhir untuk fine-tuning konsentrasi urin, di bawah pengaruh hormon antidiuretik (ADH).

Pembuluh darah yang menyertainya, **arteriol aferen** (membawa darah ke glomerulus) dan **arteriol eferen** (membawa darah keluar dari glomerulus), serta jaringan kapiler peritubular yang mengelilingi tubulus, sangat penting untuk proses reabsorpsi dan sekresi.

### 3. Proses Pembentukan Urin

Pembentukan urin melibatkan tiga proses yang saling berhubungan dan terjadi secara berurutan di sepanjang nefron: filtrasi glomerulus, reabsorpsi tubulus, dan sekresi tubulus.

1. **Filtrasi Glomerulus:** Proses pertama dan non-selektif. Tekanan hidrostatik tinggi dalam glomerulus memaksa air dan solute kecil (seperti ion natrium, kalium, glukosa, urea, asam amino) melewati dinding kapiler yang berpori ke dalam kapsul Bowman. Protein plasma yang besar dan sel darah tertahan dalam kapiler karena ukuran dan muatannya. Hasil dari proses ini adalah **filtrat glomerulus**, yang komposisinya sangat mirip dengan plasma tetapi hampir tidak mengandung protein. Laju filtrasi glomerulus (GFR) adalah ukuran klinis penting dari fungsi ginjal (Hall & Hall, 2020).
2. **Reabsorpsi Tubulus:** Proses ini sangat selektif dan merupakan cara tubuh "mengambil kembali" apa yang masih dibutuhkannya. Sekitar 99% dari filtrat glomerulus direabsorpsi kembali ke dalam darah kapiler peritubular. Sebagian besar reabsorpsi (air, glukosa, asam amino, dan ion utama) terjadi di **tubulus proksimal** melalui transport aktif dan pasif. Glukosa, misalnya, direabsorpsi sepenuhnya hingga mencapai ambang batas tertentu. **Lengkung Henle** dan **tubulus kolektivus** (dikendalikan oleh ADH)



mereabsorpsi air, sehingga memekatkan urin. Reabsorpsi ion seperti natrium dan kalsium juga diatur secara hormonal (misalnya, oleh aldosteron dan hormon paratiroid) di tubulus distal.

3. **Sekresi Tubulus:** Proses kebalikan dari reabsorpsi. Ini adalah langkah aktif dimana zat-zat tertentu dipindahkan dari darah kapiler peritubular ke dalam filtrat di dalam tubulus. Sekresi berfungsi untuk:
- Membuang limbah yang tidak difiltrasi dengan baik di glomerulus (misalnya, kreatinin, asam urat, dan obat-obatan tertentu seperti penisilin).
  - Menyingkirkan kelebihan ion kalium dan hidrogen ( $H^+$ ) untuk membantu mengatur keseimbangan elektrolit dan asam-basa. Proses ini terutama terjadi di **tubulus distal** dan **tubulus kolektivus**.

Produk akhir dari ketiga proses ini adalah **urin**, yang terdiri dari air, urea, kelebihan ion, dan zat-zat lain yang tidak dibutuhkan tubuh. Urin kemudian dialirkan dari tubulus kolektivus ke pelvis renalis, melalui ureter menuju kandung kemih untuk disimpan sebelum diekskresikan.

#### 4. Peran Ginjal dalam Homeostasis

Ginjal adalah master regulator homeostasis, dengan fungsi yang jauh melampaui sekadar ekskresi.

- **Regulasi Keseimbangan Air:** Ginjal mengatur volume dan osmolaritas cairan ekstraseluler dengan mengubah jumlah air yang diekskresikan dalam urin. Hal ini dikendalikan terutama oleh **hormon antidiuretik (ADH)**. Ketika tubuh dehidrasi, ADH dilepaskan, membuat tubulus kolektivus lebih permeabel terhadap air, sehingga lebih banyak air yang direabsorpsi dan menghasilkan urin yang pekat. Sebaliknya, kelebihan air menghambat ADH, menghasilkan urin yang encer dan banyak.
- **Regulasi Keseimbangan Elektrolit:**
  - **Natrium (Na<sup>+</sup>):** Dikendalikan oleh sistem **renin-angiotensin-aldosterone (RAAS)**. Penurunan tekanan darah memicu pelepasan renin, yang akhirnya menghasilkan angiotensin II dan aldosteron. Aldosteron meningkatkan reabsorpsi Na<sup>+</sup> di tubulus distal, yang juga menyebabkan retensi air dan peningkatan tekanan darah.
  - **Kalium (K<sup>+</sup>):** Kadar K<sup>+</sup> dalam darah yang tinggi merangsang pelepasan aldosteron, yang meningkatkan sekresi K<sup>+</sup> ke dalam urin.
  - **Kalsium (Ca<sup>2+</sup>) dan Fosfat:** Dikendalikan oleh hormon paratiroid (PTH) dan kalsitriol (vitamin D aktif). PTH meningkatkan reabsorpsi Ca<sup>2+</sup> dan menurunkan reabsorpsi fosfat di ginjal.

- **Regulasi Keseimbangan Asam-Basa:** Ginjal adalah pertahanan jangka panjang utama terhadap asidosis (keasaman darah berlebihan). Mereka mengekskresikan ion  $H^+$  dan mereabsorpsi ion bikarbonat ( $HCO_3^-$ ), buffer utama dalam darah. Mereka juga dapat menghasilkan  $HCO_3^-$  baru (Viera & Wouk, 2019).
- **Regulasi Tekanan Darah:** Selain melalui RAAS, ginjal mengatur tekanan darah jangka panjang dengan mengontrol volume cairan ekstraseluler. Lebih banyak air yang direabsorpsi berarti volume darah lebih besar dan tekanan darah lebih tinggi.
- **Eritropoiesis:** Ginjal menghasilkan hormon **eritropoietin (EPO)** yang merangsang sumsum tulang untuk memproduksi sel darah merah. Hal ini memastikan kapasitas pembawa oksigen darah tetap memadai.
- **Metabolisme Vitamin D:** Ginjal mengubah vitamin D dari makanan atau sinar matahari menjadi bentuk aktifnya, kalsitriol, yang penting untuk penyerapan kalsium di usus.

## 5. Gangguan Sistem Urinaria

Gangguan pada sistem ini dapat mempengaruhi fungsi filtrasi, regulasi, atau aliran urin.

- **Gagal Ginjal:** Kehilangan fungsi ginjal yang signifikan. Dapat bersifat akut (AKI), seringkali akibat syok atau

nefrotoksin, atau kronis (CKD), yang progresif dan ireversibel akibat diabetes, hipertensi, atau glomerulonefritis yang tidak terkontrol. CKD stadium akhir memerlukan dialisis atau transplantasi ginjal.

- **Glomerulonefritis:** Peradangan pada glomerulus, seringkali terkait dengan respons imun yang tidak normal, yang merusak kemampuan penyaringan dan dapat menyebabkan proteinuria (protein dalam urin) dan hematuria (darah dalam urin).
- **Infeksi Saluran Kemih (ISK):** Infeksi bakteri, paling sering pada uretra dan kandung kemih (sistitis). Gejalanya termasuk disuria (nyeri saat berkemih), urgensi, dan frekuensi. Jika menjalar ke ginjal (pielonefritis), dapat menjadi serius.
- **Batu Ginjal (Nefrolitiasis):** Pembentukan kristal keras (biasanya dari kalsium oksalat atau asam urat) di saluran kemih. Dapat menyebabkan nyeri hebat (kolik renal) dan menghalangi aliran urin.
- **Kanker:** Kanker ginjal dan kanker kandung kemih adalah jenis yang signifikan, sering dikaitkan dengan merokok dan paparan toksin industri.

## Kesimpulan

Sistem urinaria, dengan ginjal sebagai pusatnya, adalah contoh sempurna dari bagaimana organ tubuh berfungsi

untuk mempertahankan lingkungan internal yang stabil dan optimal. Melalui aksi terkoordinasi dari jutaan nefron, ia dengan cermat menyaring darah, tidak hanya membuang limbah tetapi juga dengan presisi yang luar biasa mengatur volume, komposisi ionik, dan pH darah. Perannya dalam mengontrol tekanan darah, produksi sel darah merah, dan metabolisme tulang menjadikannya pusat integrasi fisiologis yang penting. Memahami fungsi normalnya adalah kunci untuk menghargai dampak luas yang ditimbulkan oleh penyakit ginjal dan mendasari praktik klinis dalam nefrologi dan urologi.

### **Daftar Pustaka**

Hall, J. E., & Hall, M. E. (2020). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th ed.). Elsevier.

Viera, A. J., & Wouk, N. (2019). Potassium disorders: Hypokalemia and hyperkalemia. *American Family Physician*, 99(2), 122-124.