

DASAR-DASAR BIOMEDIK

Integrasi Ilmu Biologi, Teknologi,
dan Kesehatan



Penulis:

**Bunga Anggreini Sari; Hastuti Herman; Tien; Asriyani Abdullah; Citya Putri
Kwarta; Eleventi Oktarina Putri; Ahmad Ridwan Kadir; Wahdaniar; Fitri
Andrianti Indah Gustaman; Kesaktian Manurung; Assyafiya Salwa; Niken
Rahmah Ghanny**

BUKU AJAR
DASAR-DASAR BIOMEDIK:
INTEGRASI ILMU BIOLOGI,
TEKNOLOGI, DAN KESEHATAN

Penulis:

**Bunga Anggreini Sari; Hastuti Herman; Tien;
Asriyani Abdullah; Cityta Putri Kwarto;
Eleventi Oktarina Putri; Ahmad Ridwan Kadir;
Wahdaniar; Fitri Andrianti Indah Gustaman;
Kesaktian Manurung; Assyafiya Salwa;
Niken Rahmah Ghanny**

Editor:

Bandaru Rahmatari



PT. Mustika Sri Rosadi

BUKU AJAR DASAR-DASAR BIOMEDIK: INTEGRASI ILMU BIOLOGI, TEKNOLOGI, DAN KESEHATAN

Penulis:

Bunga Anggreini Sari; Hastuti Herman; Tien; Asriyani Abdullah; Cityta Putri Kwarto; Eleventi Oktarina Putri; Ahmad Ridwan Kadir; Wahdaniar; Fitri Andrianti Indah Gustaman; Kesaktian Manurung; Assyafiya Salwa; Niken Rahmah Ghanny

Editor: Bandaru Rahmatari

Layout: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

Desain Sampul: Eri Manuri

ISBN: 978-634-7535-20-7 (PDF)

Cetakan Pertama: 10 Desember 2025

Hak Cipta 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

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

Diterbitkan oleh Penerbit PT Mustika Sri Rosadi

Alamat Penerbit: Citra Indah City, Bukit Heliconia AG
23/32, Kecamatan Jonggol, Kab. Bogor.

Email: mars.mustikasrirosadi@gmail.com

KATA PEGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya, buku ajar **“Dasar-Dasar Biomedik: Integrasi Ilmu Biologi, Teknologi, dan Kesehatan”** ini dapat diselesaikan. Buku ini disusun sebagai referensi komprehensif yang menggabungkan konsep dasar biologi dengan perkembangan teknologi modern untuk memahami berbagai fenomena dalam ilmu kesehatan.

Perkembangan biomedik yang begitu cepat menuntut adanya sumber belajar yang terstruktur, mudah dipahami, dan relevan dengan tantangan akademik maupun praktis. Oleh karena itu, buku ajar ini hadir untuk membantu mahasiswa, pendidik, dan praktisi dalam memperoleh landasan ilmiah yang kuat mengenai mekanisme biologis tubuh manusia, penggunaan teknologi dalam penelitian biomedik, serta penerapannya dalam upaya peningkatan kesehatan.

Kami menyadari bahwa penyusunan buku ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua rekan, institusi, dan mahasiswa yang telah memberikan masukan, motivasi, serta kontribusi positif selama proses penyusunan.

Semoga buku ajar ini dapat menjadi sumber pengetahuan yang bermanfaat dan mendorong lahirnya

pemahaman yang lebih mendalam mengenai integrasi ilmu biologi, teknologi, dan kesehatan. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Bogor, 10 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1. DASAR-DASAR BIOMEDIK: INTEGRASI ILMU BIOLOGI, TEKNOLOGI, DAN KESEHATAN	1
A. Pendahuluan	1
B. Sejarah Perkembangan Ilmu Biomedik.....	2
C. Ruang Lingkup Ilmu Biomedik.....	4
D. Peran Ilmu Biomedik Dalam Kesehatan Modern	7
E. Tantangan Dan Prospek Ilmu Biomedik.....	8
F. Latihan Soal	14
BAB 2. STRUKTUR DAN FUNGSI SEL DALAM PERSPEKTIF BIOMEDIK	18
A. Pendahuluan	18
B. Konsep Sel sebagai Unit Dasar Kehidupan	19
C. Morfologi Sel: Membran, Sitoplasma, dan Nukleus	22
D. Organel Intraseluler: Struktur dan Fungsi.....	27
E. Dinamika Transport Membran: Difusi, Osmosis, dan Transporter	29
F. Sinyal Intraseluler dan Jalur Transduksi.....	32
G. Siklus Sel, Proliferasi, dan Kontrol Check-point.....	33
H. Dasar Apoptosis dan Nekrosis dalam Patologi Sel	35
I. Latihan Soal	37

BAB 3. BIOMOLEKUL PENTING: PROTEIN, ENZIM, DAN ASAM NUKLEAT	42
A. Pendahuluan	42
B. Protein Mesin Kehidupan	44
C. Enzim Sebagai Katalis Biologis	55
D. Asam Nukleat: Penyimpan Informasi dan Dasar Genetik Kehidupan	57
E. Latihan Soal	65
BAB 4. GENETIKA DAN BIOLOGI MOLEKULER DALAM KESEHATAN	69
A. Pendahuluan	69
B. Asam Nukleat (Nucleic Acid)	70
C. Pewarisan Genetik	77
D. Teknologi Rekayasa Genetik	82
E. Latihan Soal	84
BAB 5. DASAR-DASAR IMUNOLOGI	88
A. Pendahuluan	88
B. Struktur dan Organ Sistem Imun	89
C. Molekul Efektor: Antigen dan Antibodi	92
D. Mekanisme Pertahanan Tubuh	94
E. Regulasi dan Keseimbangan Sistem Imun	96
F. Latihan Soal	96
BAB 6. TEKNOLOGI DIAGNOSTIK BIOMEDIK	100
A. Pendahuluan	100
B. Perkembangan Diagnostik Biomedik	101
C. Diagnostik Molekuler: Amplifikasi Asam Nukleat	101
D. Diagnostik Molekuler : Sekuensing	108

E. Latihan Soal	111
BAB 7. BIOTEKNOLOGI DALAM PENGEMBANGAN OBAT DAN TERAPI	116
A. Produksi Obat Bioteknologi	116
B. Terapi Gen.....	119
C. Penggunaan Sel Punca (Stem Cell) Dalam Terapi	130
D. Latihan Soal	144
BAB 8. FISILOGI DAN PATOFISIOLOGI SISTEM TUBUH	154
A. Konsep Dasar Patofisiologi dan Keseimbangan Seluler	154
B. Patofisiologi Sistem Organ	156
C. Sistem Saraf.....	159
D. Sistem Kardiovaskular.....	161
E. Sistem Respirasi	165
F. Sistem Pencernaan	168
G. Sistem Endokrin	172
H. Latihan Soal	176
BAB 9. BIOINFORMATIKA DAN DATA KESEHATAN	180
A. Pengantar Analisis Data Biologis.....	180
A. Aplikasi Perangkat Lunak	184
B. Pemanfaatan <i>Big Data</i> dalam Biomedis	193
D. Latihan Soal.....	196
BAB 10. ETIKA DAN REGULASI DALAM PENELITIAN BIOMEDIK	200
A. Pendahuluan	200

B. Rumusan Masalah.....	203
C. Tujuan	204
D. Konsep Etika dan Regulasi dalam Penelitian Biomedik.....	204
E. Etika dan Regulasi dalam Penelitian Biomedik...	207
F. Latihan Soal	211
BAB 11. NANOTEKNOLOGI DAN REKAYASA JARINGAN DALAM BIOMEDIK	214
A. Pendahuluan	214
B. Prinsip Rekayasa Jaringan.....	215
C. Nanoteknologi: Definisi dan Prinsip	218
D. Nanomaterial dalam Rekayasa Jaringan	219
E. Teknik Fabrikasi dan Konstruksi Perancah.....	223
F. Aplikasi Nanoteknologi dalam Rekayasa Jaringan	224
G. Tantangan dan Limitasi.....	227
H. Latihan Soal	228
BAB 12. ARAH MASA DEPAN BIOMEDIK PERSONALISASI dan KESEHATAN PRESISI.....	232
A. Pendahuluan	232
B. Peran Genomik, Biologi Sistem, dan Kecerdasan Buatan dalam Evolusi Biomedik	234
C. Pemanfaatan kecerdasan buatan untuk analisis kesehatan presisi	236
D. Kesehatan presisi, terobosan, batasan, dan kritiknya.....	239
E. Terapi gen dan uji prediktif dalam era kedokteran presisi	242

F. Kontroversi dan Tantangan Etis dalam Gerakan Kedokteran Personal.....	246
G. Arah Masa Depan: Menuju Kesehatan Presisi yang Inklusif dan Berkeadilan.....	249
H. Latihan Soal	251
DAFTAR PUSTAKA.....	254
BIOGRAFI PENULIS.....	285
KUNCI JAWABAN	301
SINOPSIS	303

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Komposisi asam amino peptida yang aktif secara biologi.....53

Tabel 9. 1. Daftar Basis Data Bioinformatika 185

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Model penelitian pasien berbasis biomarker dan teknologi omics (Ahmed, 2020).....	6
Gambar 2. 1. (A) Mikroskop Elektron; (B) Mikroskop Cahaya, Virtual Microscopy-Histology guide by Brelje & Sorenson 2025.....	21
Gambar 2. 2. Representasi skematik sel kolumnar sederhana yang menunjukkan struktur tiga dimensi dan komponen utama pada sel yang teramati, Virtual Microscopy-Histology guide by Brelje & Sorenson 2025.	24
Gambar 2. 3. Nukleus [Mikroskop Elektron], EM 007 Nucleus. 1000 nm. Virtual Microscopy-Histology guide by Brelje & Sorenson 2025.....	26
Gambar 2. 4. Struktur sel [Mikroskop Elektron], EM 001 Cell structures. 2000 nm. Virtual Microscopy-Histology guide by Brelje & Sorenson 2025.	27
Gambar 3. 1. Struktur asam amino (Marks, 2007).....	45
Gambar 3. 2. Reaksi pembentukan ikatan peptide oleh 2 residu asam amino. Ikatan peptida terbentuk dari penggabungan gugus karboksil pada asam amino pertama (sebelah kiri) dan gugus amino pada asam amino kedua (sebelah kanan) (Lehninger, 2015)	46
Gambar 3. 3. Zwitter ion (Lehninger, 2015)	49

Gambar 3. 4. Struktur basa nitrogen: purin dan pirimidin. Basa purin terdiri atas adenin dan guanin, sedangkan basa pirimidin terdiri atas sitosin, timin dan urasil.....	59
Gambar 3. 5. 2 jenis gula pentose penyusun asam nukleat. Pada DNA, disusun oleh gula deoksiribosa, sedangkan pada RNA disusun oleh gula ribosa	59
Gambar 3. 6. Struktur gugus fosfat penyusun asam nukleat.....	60
Gambar 3. 7. Asam nukleat DNA berupa struktur untai ganda (double helix).	61
Gambar 4. 1. Struktur DNA. (Minchin & Lodge, 2019).	71
Gambar 4. 2. Struktur DNA. (Minchin & Lodge, 2019).	73
Gambar 4. 3. Struktur RNA (Minchin & Lodge, 2019) ..	75
Gambar 5. 1. Struktur dan Organ Sistem Imun.....	90
Gambar 7. 1. Transfer gen intra-artikular model arketipe untuk terapi gen ortopedi. (Atas) Strategi eksperimental untuk pengiriman gen terapeutik dan asam nukleat ke jaringan yang sakit atau rusak melibatkan berbagai sistem vektor Virus dan Non-Virus. (Evans et al., 2021).	125
Gambar 7. 2. Kloning DNA menggunakan DNA plasmid dan sistem bakteri inang.....	127
Gambar 7. 3. Sebuah gen baru dimasukkan langsung ke dalam sel.....	128
Gambar 7. 4. Menyisipkan fragmen DNA ke dalam plasmid bakteri dengan memanfaatkan enzim ligase. (Alberts B, Johnson A, Lewis J, et al., 2002).	129

Gambar 7. 5. Teknologi terapi gen dalam penyuntikan dalam tubuh manusia (Christopher F. et al., 2022).	129
Gambar 7. 6. Proses terapi gen dasar yang diekstraksi dari pasien.	130
Gambar 7. 7. Generasi sel punca embrionik manusia pluripotent (Odessa Yabut dan Harold S. Bernstein, 2011)	133
Gambar 7. 8. Terapi sel punca menggunakan sel punca embrionik (ESC), sel punca pluripoten terinduksi (iPSC), dan sel punca mesenkim (MSC) untuk degenerasi retina.	136
Gambar 7. 9. Sel punca berdasarkan sumbernya	137
Gambar 7. 10. Sel punca yang membentuk sistem hematopoietik dari sumsum tulang. (Zech, 2004)	138
Gambar 7. 11. Human Mesenchymal Stem Cells (MSCs)	138
Gambar 7. 12. Potensi Sel punca dari tali pusar. (cells4life.com 2016)	139
Gambar 7. 13. Sel punca yang berasal dari embrio. (sccr.id, 2025)	140
Gambar 7. 14. Sel punca dewasa yang berasal dari tubuh manusia. (sccr.id, 2025)	141
Gambar 7. 15. Sel punca yang berasal dari tali pusar (sccr.id, 2025)	142
Gambar 8. 1. Sistem Respirasi	165
Gambar 8. 2. Organ Dalam Sistem Pencernaan	170
Gambar 8. 3. Sistem Endoktrin (Russell & Lightman, 2020)	174

Gambar 9. 1. Interaksi Ligan-Reseptor a) Interaksi Hidrofobik; b) Ikatan Hidrogen (Millan-Casarrubias et al., 2025).....	193
--	-----

BAB I. DASAR-DASAR BIOMEDIK: INTEGRASI ILMU BIOLOGI, TEKNOLOGI, DAN KESEHATAN

A. Pendahuluan

Ilmu biomedik mempunyai peran sentral dalam pendidikan kedokteran dan kesehatan, karena memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk memahami mekanisme biologis tubuh manusia yang sangat penting dalam penanganan, pencegahan, dan terapi medis. Pada kurikulum kedokteran yang modern banyak menekankan pentingnya penguasaan ilmu biomedik agar calon dokter memiliki pemahaman yang mendalam tentang dasar patologi dari suatu penyakit dan dapat mengembangkan keahlian klinis yang tinggi (Buja, 2019). Selain itu, biomedik juga berperan dalam membekali mahasiswa dengan keterampilan lintas ilmu disiplin seperti kolaborasi, komunikasi dan pemecahan masalah yang sangat di butuhkan dalam praktik kedokteran masa kini (Valentijn et al., 2024).

Perkembangan teknologi, seperti digitalisasi dan kecerdasan buatan, semakin memperluas cakupan biomedik dalam Pendidikan kedokteran yang menuntut inovasi kurikulum dan peningkatan kompetensi globab bagi tenaga Kesehatan. Integrasi biomedik dengan bidang lainnya, seperti bioinformatika dan bioetika juga menjadi kunci dalam mempersiapkan professional medis yang adaptif terhadap perubahan dan mampu

memberikan pelayanan Kesehatan yang berbasis ilmu pengetahuan dan nilai-nilai kemanusiaan (Lee et al., 2024).

Bab ini bertujuan untuk memberikan Gambaran dasar mengenai biomedik, konsep-konsep utama dalam ilmu ini, serta ruang lingkupnya dalam konteks pendidikan kedokteran dan kesehatan.

B. Sejarah Perkembangan Ilmu Biomedik

Sejarah ilmu biomedik dimulai sebelum adanya penemuan mikroskop, saat itu pemahaman tentang tubuh manusia dan Kesehatan didasarkan pada observasi langsung serta studi anatomi sederhana oleh tokoh-tokoh seperti Hippocrates, Galenus, dan Avicenna. Pada masa peradaban kuno, pengetahuan medis masih sangat dipengaruhi oleh kepercayaan dan pendekatan empiris yang terbatas, namun sudah mulai berkembang ke arah pemisahan antara praktik medis dan unsur supranatural, serta penekanan pada observasi dan etika kedokteran, seperti yang tercermin dalam sumpah Hippokrates (History & Erwin, 2016).

Meskipun teknologi seperti mikroskop belum ditemukan, namun Upaya untuk memahami struktur dan fungsi tubuh manusia sudah dilakukan melalui studi anatomi dan fisiologi dasar, yang menjadi fondasi penting bagi perkembangan ilmu biomedik selanjutnya (History & Erwin, 2016). Pendekatan empiris dan rasional

yang diperkenalkan oleh para ilmuwan dan filsuf pada masa itu menjadi titik awal transformasi ilmu kedokteran dari tradisi kearah sains.

Penemuan mikroskop pada abad ke-17 oleh ilmuwan seperti Antonie van Leeuwenhoek dan Robert Hooke menjadi tonggak penting untuk para ilmuwan mengamati struktur mikroskopis, termasuk sel, yang sebelumnya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Robert Hooke memperkenalkan istilah "cell" setelah mengamati struktur seperti ruang-ruang kecil pada irisan gabus tanaman, sementara Leeuwenhoek berhasil melihat organisme bersel tunggal dan struktur mikroskop lainnya (Kunakh, 2024).

Penemuan ini juga membuka jalan Revolusi Sel pada abad ke-19, oleh Matthias Schleiden, Theodor Schwann, dan Rudolf Virchow yang menyatakan bahwa sel adalah unit dasar kehidupan dan semua makhluk hidup tersusun atas sel (Kunakh, 2024).

Pada abad ke-20, kemajuan dalam biologi molekuler dan genetika membawa ilmu biomedik ke era revolusioner dengan penemuan struktur DNA oleh James Watson dan Francis Crick, yang membuka pemahaman baru tentang genetika dan hereditas. Teknologi seperti PCR (Polymerase Chain Reaction) dan analisis sekuens DNA mempercepat penelitian tentang mekanisme genetika yang mengatur berbagai proses biologi, termasuk penyakit genetic dan kanker, serta

memungkinkan deteksi mutasi dan kelainan kromosom (Allayee et al., 2023).

Saat ini, ilmu biomedik berada di puncak perkembangan teknologi. Teknologi omics seperti genomics, proteomics, dan metabolomics memungkinkan ilmuawan untuk mempelajari ekspresi gen, protein, dan metabolit dalam skala besar. Disisi lain perkembangan kecerdasan buatan dalam analisis data medis berperan besar dalam diagnosis yang lebih cepat dan lebih akurat. Precision medicine atau pengobatan presisi semakin berkembang yang memungkinkan pengobatan (He et al., 2023).

C. Ruang Lingkup Ilmu Biomedik

1. Cabang Utama Ilmu Biomedik

Ilmu biomedik merupakan bidang interdisipliner yang mencakup berbagai cabang utama, yaitu biokimia, biologi molekuler, imunologi, patologi, fisiologi, farmakologi, mikrobiologi, serta genetika dan genomic. Setiap cabang ilmu mempunyai peran penting dalam memahami mekanisme dasar tubuh manusia, penyakit serta pengembangan intervensi terapeutik. Selain itu, ilmu biomedik juga mempelajari bidang seperti rekayasa jaringan, pengembangan obat, epidemiologi, dan kesehatan masyarakat. Pengetahuan dari cabang ilmu ini membentuk

fondasi ilmiah bagi mahasiswa dan peneliti untuk memahami proses biologis dan mencari Solusi inovatif dalam bidang kesehatan (Huma & Ahmed, 2018).

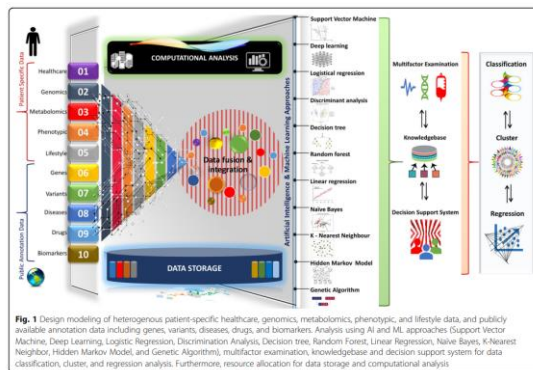
2. Hubungan Riset Dasar dan Terapan

Hubungan antara riset dasar dan terapan dalam biomedik saling melengkapi satu sama lain. Hal ini dikarenakan riset dasar bertujuan untuk mengungkap fenomena biologis fundamental tanpa aplikasi langsung, sedangkan riset terapan memanfaatkan pengetahuan tersebut untuk menciptakan solusi praktis, seperti pengembangan teknologi diagnostic atau terapi baru (Huma & Ahmed, 2018). Penelitian menunjukkan bahwa baik riset dasar maupun terapan sama-sama berkontribusi pada inovasi, termasuk dalam pengembangan paten dan aplikasi klinis, serta translasi pengetahuan dari laboratorium ke praktek medis. Kontribusi antara peneliti dasar dan klinisi sangat penting untuk mempercepat proses translasi dan memastikan hasil riset yang dapat memberikan dampak nyata bagi pasien (Anckaert et al., 2020).

3. Integrasi Biomedik Dengan Kedokteran Klinis

Integrasi ilmu biomedik dan kedokteran klinis sangat penting untuk meningkatkan diagnosis, pengobatan dan pencegahan penyakit.

Pemahaman tentang mekanisem molekuler dan seluler penyakit memungkinkan pengembangan tes diagnostic berbasis biomarker dan teknologi omics yang digunakan dalam praktek klinis untuk diagnosis yang lebih akurat terutama pada penyakit kompleks seperti kanker (Gambar 1) (Ahmed, 2020; Karczewski & Snyder, 2018)



Gambar 1. 1. Model penelitian pasien berbasis biomarker dan teknologi omics (Sumber: Ahmed, 2020)

Selain itu, penelitian biomedik mendorong terciptanya terapi baru yang lebih spesifik, seperti terapi berbasis genetik dan pengobatan yang dipersonalisasi sesuai profil genetik pasien, sehingga meningkatkan efektivitas dan mengurangi efek samping. Teknologi canggih seperti imaging biomolekuler, analisis genomik,

dan digital biobanks juga mempercepat integrasi data klinis dan biomedik, mendukung precision medicine dan pengambilan keputusan klinis berbasis data. Kolaborasi erat antara peneliti biomedik dan praktisi klinis, serta reformasi pendidikan kedokteran yang mengintegrasikan riset biomedik, terbukti meningkatkan kompetensi dokter dalam menerapkan ilmu terbaru untuk perawatan pasien (Ahmed, 2020; Karczewski & Snyder, 2018).

D. Peran Ilmu Biomedik Dalam Kesehatan Modern

Ilmu biomedik memegang peran sentral dalam kesehatan modern dengan menjadi fondasi utama bagi pemahaman, diagnosis, pencegahan, dan pengobatan penyakit. Pengetahuan biomedik memungkinkan identifikasi mikroorganisme penyebab penyakit, pengembangan tes diagnostik yang akurat, serta penentuan terapi yang tepat, sehingga sekitar 70% diagnosis klinis sangat bergantung pada hasil laboratorium biomedik. Inovasi di bidang biomedik, seperti penemuan vaksin, terapi berbasis genetik, dan teknologi diagnostik canggih, telah merevolusi sistem kesehatan global dan meningkatkan harapan hidup (Alsallum et al., 2024).

E. Tantangan Dan Prospek Ilmu Biomedik

1. Isu Bioetika dan Penelitian Hewan/Manusia

1) Bioetika Dalam Penelitian

Bioetika adalah cabang etik yang mempelajari nilai-nilai moral, prinsip, dan norma dalam bidang kesehatan, kedokteran dan penelitian biomedik, serta menjadi landasan penting dalam memastikan penelitian yang melibatkan makhluk hidup (Tornini et al., 2023). Dalam konteks biomedik, bioetika menekankan prinsip utama seperti otonomi, beneficence, non-maleficence, dan keadilan, yang sangat relevan baik untuk penggunaan hewan uji ataupun manusia (Panadés & Yuguero, 2025; Tornini et al., 2023).

Selain itu, bioetika juga mulai berkembang dalam menghadapi tantangan baru, seperti penggunaan teknologi digital dan kecerdasan buatan dalam kesehatan yang menuntut pada isu privasi data, transparansi dan keadilan akses (Panadés & Yuguero, 2025).

Pengetahuan dan pemahaman tentang bioetika di kalangan peneliti dan tenaga Kesehatan juga masih bervariasi, sehingga pelatihan dan edukasi bioetika sangat diperlukan untuk memastikan kepatuhan

standar etis dalam penelitian dan praktik medis (Thangavelu et al., 2024).

Dengan demikian, bioetika berperan penting dalam menjaga integritas ilmiah dan perlindungan subjek penelitian, baik manusia maupun hewan di era kemajuan biomedik dan teknologi (Panadés & Yuguero, 2025; Tornini et al., 2023).

2) Etika Penelitian Hewan

Penelitian biomedik sering menggunakan hewan yang digunakan untuk mempelajari pathogenesis dari suatu penyakit, menguji keamanan obat, dan mengevaluasi efektivitas terapi baru. Penggunaan hewan dalam penelitian diatur oleh prinsip 3R, yaitu *Replacement* (mengganti hewan dengan metode alternatif seperti kultur sel, organ-on-chip, atau model computer jika memang memungkinkan), *Reduction* (mengurangi jumlah hewan yang digunakan tanpa mengorbankan validitas data), *Refinement* (memperbaiki prosedur agar mengurangi rasa sakit, stress dan penderitaan hewan). Prinsip 3R ini telah menjadi standar internasional dan telah diadopsi dalam berbagai regulasi, termasuk Indonesia yang mewajibkan persetujuan dari Komisi Etik Penelitian Hewan

sebelum dilakukannya penelitian, serta merujuk pada pedoman internasional seperti *Guide for the Care Use of Laboratory Animals* (Cheluvappa et al., 2017; Strech & Dirnagl, 2019)

Selain 3R, beberapa peneliti juga mengusulkan penambahan prinsip lainnya, seperti *Robustnes*, *Registration* dan *Reporting* yang memastikan nilai ilmiah dan transparansi penelitian hewan (Strech & Dirnagl, 2019). Tantangan etika dalam penelitian hewan juga perlu penilaian multidisipliner dan internasional, serta perlunya edukasi dan evaluasi berkelanjutan terhadap proses peninjauan etik (Milford et al., 2025).

3) Etika Penelitian Manusia

Etik penelitian pada manusia didasarkan pada prinsip yang diatur dalam Belmont Report, yaitu *Respect for Person* (menghormati otonomi subjek dan memastikan adanya informed consent), *Beneficence* (memaksimalkan manfaat dan meminimalkan resiko bagi subjek), dan *Justice* (memastikan distribusi yang adil dalam pemilihan partisipan agar tidak ada kelompok yang dieksploitasi). Selain itu, perlindungan hak dan kesejahteraan partisipan juga diatur dalam standar

internasional, seperti Declaration of Helsinki, yang menekankan pentingnya persetujuan etis sebelum penelitian dimulai, perlindungan data pribadi, dan perlakuan adil terhadap semua subjek penelitian (Ong, 2021).

Penelitian yang melibatkan manusia wajib mendapatkan persetujuan dari Komisi Etik Penelitian (KEP) di institusi terkait sebelum dimulai, dan proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa penelitian dilakukan secara etis dan transparan (Ong, 2021).

4) Peran Komisi Etik

Komisi etik berperan penting dalam memastikan protocol penelitian memenuhi standar etik dan melindungi hak serta kesejahteraan subjek penelitian. Tugas utamanya meliputi telaah risiko manfaat, evaluasi formular informed consent untuk memastikan subjek mendapat informasi yang memadai, serta pengawasan pelaksanaan kegiatan penelitian agar tetap sesuai dengan prinsip etika (Mehta et al., 2023).

Selain itu, komisi etik juga bertanggung jawab dalam menjaga kerahasiaan data, mencegah terjadinya konflik kepentingan, dan memastikan penelitian dapat diterima secara moral dan sosial. Pengawasan berkelanjutan

juga dilakukan untuk melindungi peserta selama penelitian berlangsung, dan komite etik juga berperan dalam mendorong transparansi, pendaftaran uji klinis, serta mencegah terjadinya penipuan atau pelanggaran etik. Dengan demikian, komite etik tidak hanya menjamin validitas ilmiah, tetapi juga integritas moral dan sosial penelitian (Mehta et al., 2023).

2. Tantangan Riset Biomedik

Riset biomedik menghadapi berbagai tantangan utama di era modern, mulai dari aspek etika, data, hingga kolaborasi. Tantangan signifikan meliputi pengelolaan data yang kompleks dan beragam, kebutuhan akan interoperabilitas, keamanan, serta kolaborasi lintas disiplin dan institusi untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi penelitian. Selain itu, masalah rekrutmen dan retensi partisipan, pengelolaan informed consent yang dinamis, serta perlindungan privasi data menjadi perhatian penting, terutama dalam penelitian berskala besar dan lintas negara (Sriram et al., 2025).

Tantangan lain adalah rendahnya reproduisibilitas dan relevansi hasil riset, keterbatasan model praklinis, serta tingginya biaya dan kompleksitas uji klinis yang seringkali menghambat translasi

hasil riset ke praktik klinis. Kolaborasi internasional juga menghadapi kendala seperti ketimpangan kekuasaan, perbedaan regulasi, dan masalah kepercayaan antar mitra. Selain itu, perkembangan teknologi seperti kecerdasan buatan membawa tantangan baru terkait keadilan, transparansi, dan potensi bias dalam analisis data biomedik. Untuk mengatasi tantangan-tantangan ini, diperlukan inovasi dalam manajemen data, penguatan kolaborasi, reformasi pendanaan, serta pendekatan etis dan inklusif dalam pengembangan teknologi dan penelitian biomedik (Sriram et al., 2025).

3. Prospek Masa Depan Ilmu Biomedis

Masa depan ilmu biomedis sangat menjanjikan dengan kemajuan pesat di berbagai bidang teknologi dan aplikasi klinis. Inovasi seperti penggunaan material baru (misalnya graphene dan paduan magnesium langka) menawarkan potensi besar untuk pengembangan biosensor, sistem penghantaran obat, rekayasa jaringan, dan implan medis yang lebih biokompatibel dan efisien. Integrasi kecerdasan buatan dan machine learning dalam riset biomedik mempercepat penemuan obat, diagnosis penyakit, serta personalisasi terapi, sekaligus membuka peluang baru dalam translational medicine dan

pengembangan robotik medis (Weerarathna et al., 2024).

Teknologi biosensor canggih, nanoteknologi DNA, serta pemanfaatan organisme seperti cyanobacteria untuk terapi dan rekayasa jaringan juga diprediksi akan menjadi pilar utama inovasi biomedis di masa depan (Weerarathna et al., 2024). Kolaborasi lintas disiplin antara ilmu teknik, biologi, dan kedokteran semakin memperkuat pengembangan solusi kesehatan yang lebih presisi dan berkelanjutan.

F. Latihan Soal

1. Ilmu biomedik adalah cabang ilmu yang mempelajari:
 - a. Pengobatan alternatif dan herbal
 - b. Interaksi antara system sosial dan kesehatan
 - c. Dasar biologis dari Kesehatan dan penyakit pada manusia
 - d. Hubungan antara faktor ekonomi dan pelayanan kesehatan
2. Perbedaan utama ilmu biomedik dan kedokteran klinis adalah:
 - a. Biomedik fokus pada pencegahan, kedokteran fokus pada kuratif
 - b. Biomedik berorientasi pada riset dasar, kedokteran fokus pada aplikasi klinis

- c. Biomedik hanya mempelajari hewan, kedokteran mempelajari manusia
 - d. Biomedik menggunakan metode kualitatif, kedokteran menggunakan kuantitatif
3. Penemuan mikroskop pertama kali yang memungkinkan pengamatan sel dilakukan oleh:
 - a. Robert Koch
 - b. Louis Pasteur
 - c. Antonie van Leeuwenhoek
 - d. Gregor Mendel
 4. Teori sel yang menyatakan bahwa semua makhluk hidup tersusun atas sel dikemukakan oleh:
 - a. Schwann dan Schleiden
 - b. Virchow
 - c. Watson dan Crick
 - d. Hooke
 5. Teknik PCR (Polymerase Chain Reaction) yang merevolusi biologi molekuler ditemukan oleh:
 - a. Rosalind Franklin
 - b. Kary Mullis
 - c. James Watson
 - d. Frederick Sanger
 6. Ruang lingkup ilmu biomedik mencakup, kecuali:
 - a. Immunologi
 - b. Biokimia
 - c. Patologi
 - d. Sosiologi kesehatan

7. Peran utama ilmu biomedik dalam kesehatan modern adalah:
 - a. Mengatur kebijakan pelayanan Kesehatan
 - b. Menyediakan bukti ilmiah untuk diagnosis, terapi dan pencegahan
 - c. Mengajarkan etika kedokteran kepada mahasiswa
 - d. Menentukan tarid rumah sakit
8. Contoh kontribusi biomedik terhadap kesehatan masyarakat adalah:
 - a. Penetapan tarif obat oleh pemerintah
 - b. Penemuan vaksin dan pengembangan alat diagnostik
 - c. Penyusunan regulasi kesehatan kerja
 - d. Analisis biaya pelayanan kesehatan
9. Salah satu tantangan besar penelitian biomedik di era global adalah:
 - a. Kurangnya tenaga kesehatan di rumah sakit
 - b. Keterbatasan akses terhadap teknologi dan pendanaan riset
 - c. Rendahnya minat masyarakat terhadap ilmu biologi
 - d. Perubahan kurikulum pendidikan kedokteran

10. Konsep "Precision Medicine" dalam biomedik mengacu pada:
- a. Pengobatan berbasis pengamatan klinis semata
 - b. Terapi yang sama untuk semua pasien dengan penyakit tertentu
 - c. Penggunaan data genetic dan biomarker untuk terapi yang dipersonalisasi
 - d. Penggunaan obat tradisional berbasis bukti

BAB 2. STRUKTUR DAN FUNGSI SEL DALAM PERSPEKTIF BIOMEDIK

A. Pendahuluan

Sel adalah kesatuan paling kecil yang masih dapat menjalankan fungsi kehidupan, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya hampir seluruh peristiwa biologis yang relevan bagi diagnostik dan terapi modern. Hal ini menjadikan *cell biology* bukan sekadar mata kuliah dasar, melainkan sebagai penghubung antara anatomi, biokimia, farmakologi, dan teknologi kesehatan. Dalam konteks biomedik, setiap perubahan struktur organel. Apakah itu pembengkakan mitokondria atau fragmentasi *Golgi*, dapat menjadi sinyal dini disfungsi jaringan jauh sebelum gejala klinis muncul. Oleh karena itu, pemahaman menyeluruh tentang arsitektur seluler menjadi prasyarat bagi calon ahli biomedik untuk merancang alat deteksi yang peka, menafsirkan temuan morfologis, maupun mengembangkan hal-hal terkait.

Penemuan sel dimulai pada tahun 1665 ketika Robert Hooke mengamati irisan gabus di bawah mikroskop sederhana dan memperkenalkan istilah "*cell*" karena tampaknya yang menyerupai ruang kecil. Melalui pendekatan korelasional Rudolf Virchow, dunia medis menyadari bahwa "*omnis cellula e cellula*" yang berarti setiap sel berasal dari sel, sehingga kelainan fungsi sel

menjadi dasar penyakit. Revolusi mikroskop elektron pada tahun 1950-an memperlihatkan kompleksitas organel, diikuti era fluoresensi konfokal yang memungkinkan pengamatan *real time* terhadap dinamika protein tunggal. Dewasa ini, teknologi *super resolution* bahkan mampu memetakan *pore-forming* dengan ketelitian di bawah 20 nm, membuka peluang baru bagi deteksi dini kanker. Sejarah ini menunjukkan bahwa kemajuan teknologi pengamatan sel mendorong terobosan diagnostik. Sebaliknya, kebutuhan klinis memacu inovasi alat pengamatan.

B. Konsep Sel sebagai Unit Dasar Kehidupan

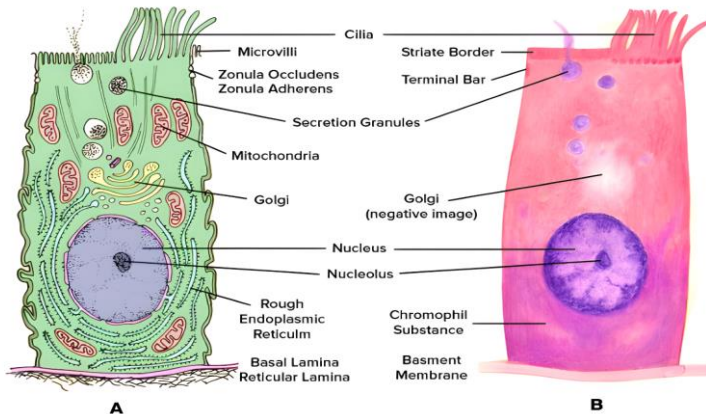
Sel merupakan entitas paling sederhana yang mampu menjalankan *metabolism*, *growth*, *adaptation*, serta *reproduction*, sehingga disepakati sebagai unit dasar kehidupan. Pemahaman ini menjadi fondasi logis: jika sel rusak, maka jaringan gagal berfungsi, organ kehilangan kapasitas, dan akhirnya sistem organ kolaps. Oleh karena itu, setiap inovasi diagnostik maupun terapeutik dimulai dari *biosensor* hingga *tissue engineering*. Bermula dari upaya memperbaiki, menggantikan, atau sekadar memantau perilaku sel.

Istilah "sel" pertama kali diperkenalkan Robert Hooke pada 1665 ketika ia menemukan ruang-ruang berdinding tipis pada irisan gabus kering. Meski Hooke hanya melihat dinding sel (tampak sebagai rongga

kosong), bukan protoplasma hidup, namun observasinya menandai kelahiran *cell theory*. Teori ini kemudian disempurnakan Theodor Schwann dan Matthias Schleiden (1838-1839) yang menyatakan bahwa “semua organisme tersusun atas sel” serta “sel adalah unit struktural dan fungsional kehidupan”. Butuh kontribusi Rudolf Virchow (1855) untuk melengkapi dogma ketiga: *omnis cellula e cellula*, menegaskan bahwa sel berasal dari sel *preexisting*, bukan dari *spontaneous generation*. Bagi dunia kesehatan, dogma ini memberi implikasi krusial: sel kanker yang berkembang biak secara tak terkendali tetap berasal dari sel normal, sehingga terapi harus menasar mekanisme *cell-cycle* spesifik bukan sekadar mematikan jaringan.

Perkembangan mikroskop elektron pada 1950-an memperlihatkan bahwa “kesederhanaan” sel hanya ilusi optik; ternyata sel penuh dengan jaringan membran, vesikel, dan *cytoskeleton* (Gambar 2.1). Kompleksitas ini memaksa kita memperluas definisi: sel ialah sistem *open* yang mampu menjaga *homeostasis* internal melalui pertukaran energi dan materi dengan lingkungan. Definisi termodinamik ini penting bagi teknologi kesehatan karena menekankan bahwa setiap gangguan hipoksia, *oxidative stress*, atau paparan toksik akan tercermin sebagai perubahan keseimbangan sel. Deteksi dini berbasis *biosensor* memanfaatkan prinsip ini. Misalnya, peningkatan *reactive oxygen species* (ROS)

yang keluar dari sel melewati membran dapat dipantau secara *real time* menggunakan elektroda nanoperak.



Gambar 2. 1. (A) Mikroskop Elektron; (B) Mikroskop Cahaya, Virtual Microscopy-Histology guide (Sumber: Brelje & Sorenson, 2025)

Sel juga merupakan arena *decision making* molekuler. Ketika reseptor permukaan menerima sinyal *ligand*, kaskade fosforilasi memicu translokasi protein ke inti, mengaktifasi transkripsi, dan akhirnya mengubah fenotip sel. Rangkaian ini membutuhkan waktu 5-30 menit, lebih cepat dari waktu pengambilan sampel darah rutin. Implikasi klinisnya, *point of care* harus mempertimbangkan *time window* sinyal; pengukuran *phosphoprotein* misalnya, harus dilakukan sebelum fosfatase memulai degradasi.

Sel tidak hidup dalam ruang hampa, sel menjalin komunikasi *paracrine* dan *juxtacrine* dengan tetangganya. *Gap junction* memungkinkan ion Ca^{2+}

menyebarkan dalam hitungan detik, mensinkronkan kontraksi *cardiomyocyte*. Pada infark miokard, hilangnya fungsi *gap junction* memicu *arrhythmia*.

Paradigma *stem cell* memperluas konsep "sel sebagai unit dasar" menjadi "sel sebagai unit regenerasi". *Totipotent* zygote mampu membentuk organisme utuh, sementara *pluripotent embryonic stem cell* terbatas pada jaringan embrional. *Mesenchymal stem cell* dewasa yang diisolasi dari *Wharton jelly* memiliki potensi *multipotent* dan imunomodulator.

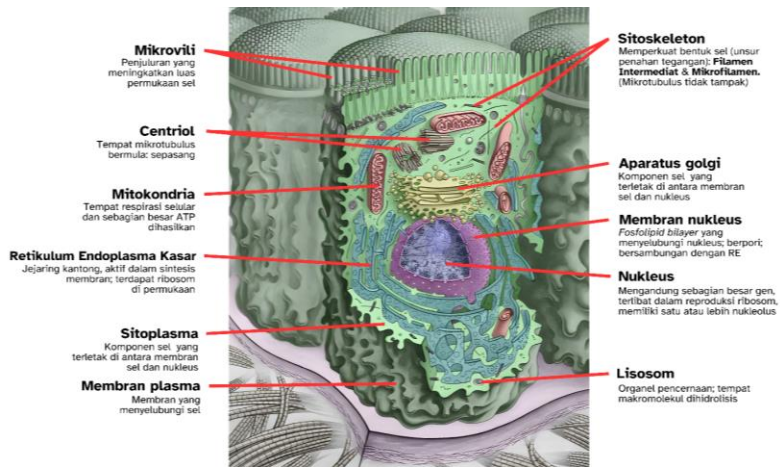
C. Morfologi Sel: Membran, Sitoplasma, dan Nukleus

Membran plasma bukan sekadar pembatas luar sel yang pasif, melainkan *checkpoint* pertama yang menentukan apakah obat dapat masuk, sinyal elektrik dapat merambat, atau virus dapat diinternalisasi. Struktur fosfolipid ganda ini menyimpan *asimetri fungsional* yang ketat, fosfatidilserin terkonsentrasi pada lapisan dalam, dan ketika ia "terbalik" ke lapisan luar oleh *scramblase*, sel segera ditandai sebagai target fagositosis. Fenomena *flip-flop* ini menjadi dasar *annexin-V assay* untuk deteksi apoptosis dini, sangat bermanfaat ketika laboratorium klinik memantau kemoterapi pasien kanker.

Cholesterol yang tersebar di antara fosfolipid berperan sebagai "pengeras" atau "pelunak" membran tergantung suhu, pada 37 °C sel menjaga *fluidity* optimal

agar *receptor tyrosine kinase* dapat berdimerisasi. Namun, pada hiperkolesterolemia, penumpukan *cholesterol* di lembar luar eritrosit membentuk *spicule* yang serupa *burr cell*, dapat diamati pada *peripheral blood smear*. Morfologi ini dapat dicatat sebagai petunjuk awal dislipidemia sebelum profil lipid darah diperiksa. Artinya, perubahan membran sel darah telah menjadi *visual biomarker* yang non invasif.

Protein membran dikelompokkan menjadi *integral* dan *peripheral*, masing-masing dengan *turnover* setengah hidup berbeda. *Sodium potassium ATPase*, misalnya, memiliki setengah hidup ~60 jam. Kerusakan oksidatif akibat ROS mempercepat *endosytosis* dan degradasi enzim tersebut, akan berujung pada pembengkakan sel akibat akumulasi Na^+ . Dalam dunia klinik, peristiwa ini tercermin pada *ischemia reperfusion injury* pasien stroke. Mengetahui laju *turnover* membran protein membantu perancangan *drug delivery system* yang melepaskan antioksidan tepat pada waktu puncak ROS, bukan saat kerusakan telah ireversibel.



Gambar 2. 2. Representasi skematik sel kolumnar sederhana yang menunjukkan struktur tiga dimensi dan komponen utama pada sel yang teramati, Virtual Microscopy-Histology guide (Sumber: Brelje & Sorenson, 2025)

Sitoplasma diartikan sebagai komponen berupa cairan antara inti dan membran, menyimpan jaringan *cytoskeleton* yang sangat dinamis. *Microtubule* dengan polaritas plus minusnya menjadi rel transport vesikel menuju *Golgi*, sementara *actin filament* menentukan kekuatan migrasi sel imun. Pada pasien luka bakar, fibroblas harus bergerak cepat menutup *wound bed*, tanpa *actin* yang terorganisir, proses granulasi terhambat.

Organel di sitoplasma (dibahas terpisah) berinteraksi melalui *membrane contact site* (MCS). Titik sentuh antara mitokondria dan retikulum endoplasma (MAM) memungkinkan transfer Ca^{2+} yang mengatur *ATP*

synthesis sekaligus *apoptosis threshold*. Kegagalan MCS ini diamati pada *metabolic syndrome*, di mana *calcium overload* memicu *mitochondrial permeability transition pore* (mPTP) terbuka.

Nukleus atau inti sel, sering disebut sebagai "pusat regulasi" yang sangat dinamis. *Nuclear envelope* yang dilapisi *lamin* mengalami *phosphorylation* *dephosphorylation* siklis selama mitosis, memungkinkan kromatin menyebar ke sitoplasma. Mutasi *lamin A/C* menyebabkan *nuclear blebbing* yang menjadi ciri *Hutchinson Gilford progeria syndrome*; fenotip ini dapat ditangkap pada kultur sel menggunakan *high content imaging*.

Kromatin dalam inti tersusun dalam domain *topologically associating* (TAD) yang menjaga ekspresi gen tetap segmental. *Histone post-translational modification*, asetilasi, metilasi, fosforilasi menjadi "kode epigenetik" yang dapat dibaca oleh *biomedical scientist* melalui teknik *CUT&Tag*. Perubahan kode ini seringkali lebih awal terjadi dibandingkan mutasi DNA, sehingga menjadi target *epidrug*.