

BIOLOGI SEL: DASAR-DASAR STRUKTUR, FUNGSI, DAN MEKANISME SELULER

Dewi Rulia Br Sitepu
Rury Trisa Utami
A.Fitriani Suryadi
Dheni Koerniawan
Dewi Ratih Tirto Sari

BIOLOGI SEL:

DASAR-DASAR STRUKTUR, FUNGSI, DAN MEKANISME SELULER

**Dewi Rulia Br Sitepu
Rury Trisa Utami
A.Fitriani Suryadi
Dheni Koerniawan
Dewi Ratih Tirto Sari**



GETPRESS INDONESIA

**BIOLOGI SEL:
DASAR-DASAR STRUKTUR, FUNGSI, DAN MEKANISME SELULER**

Penulis :

Dewi Rulia Br Sitepu
Rury Trisa Utami
A.Fitriani Suryadi
Dheni Koerniawan
Dewi Ratih Tirto Sari

ISBN : 978-623-125-643-0

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

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

PENERBIT GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022
Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

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

Cetakan pertama, Februari 2025

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, buku berjudul "BIOLOGI SEL: Dasar-Dasar Struktur, Fungsi, dan Mekanisme Seluler" ini dapat diselesaikan. Buku ini hadir sebagai upaya untuk memberikan pemahaman mendasar tentang sel, unit terkecil kehidupan yang menjadi fondasi bagi semua organisme. Melalui pembahasan yang sistematis, buku ini dirancang untuk membantu pembaca, baik mahasiswa, peneliti, maupun masyarakat umum, dalam memahami konsep-konsep penting biologi sel, mulai dari sejarah penemuan sel, struktur dan fungsi sel, hingga mekanisme kompleks seperti siklus sel, reproduksi sel, dan transportasi melalui membran sel.

Buku ini terdiri dari lima bab utama yang disusun secara bertahap. Bab pertama membahas pengantar biologi sel, termasuk sejarah penemuan sel, perkembangan teori sel, serta metode dan teknik dalam mempelajari sel. Bab kedua fokus pada struktur sel dan fungsinya, seperti membran sel, sitoplasma, dan inti sel. Bab ketiga mengulas siklus dan reproduksi sel, sementara bab keempat membahas mekanisme transportasi melalui membran sel. Harapan kami, buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat dan inspiratif bagi para pembaca dalam mengeksplorasi dunia mikroskopis sel yang menakjubkan. Kami menyadari masih ada kekurangan dalam penyusunan buku ini, sehingga saran dan kritik konstruktif dari pembaca sangat kami nantikan untuk perbaikan di masa mendatang.

Padang, Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	v
BAB 1 PENGANTAR BIOLOGI SEL	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sejarah Penemuan Sel	3
1.3 Perkembangan Teori Sel	4
1.4 Teknis Mempelajari Sel.....	8
1.5 Metode Pengamatan Sel	9
1.6 Kelebihan dan Kekurangan dalam Mempelajari Biologi Sel	14
BAB 2 STRUKTUR SEL DAN FUNGSINYA.....	23
2.1 Membran Sel atau Selaput Sel	25
2.2 Sitoplasma.....	28
2.3 Inti Sel (Nukleus)	36
DAFTAR PUSTAKA.....	39
BAB 3 PROSES METABOLISME SELULER	41
3.1 Metabolisme	41
3.2 Anabolisme	44
3.3 Katabolisme.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	57

BAB 4 SIKLUS DAN REPRODUKSI SEL.....	59
4.1 Pendahuluan.....	59
4.2 Siklus Sel	63
4.3 Reproduksi Sel.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	70
BAB 5 TRANSPORTASI MELALUI MEMBRAN SEL	73
5.1 Pendahuluan.....	73
5.2 Membran Sel.....	74
5.3 Membran <i>channel</i>	76
5.4 Membran Transporter.....	78
5.5 Mekanisme Transportasi Seluler	81
5.6 Peran Transportasi Seluler.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	88
BIODATA PENULIS.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Contoh Hewan Bersel Satu.....	23
Gambar 2. 2. Struktur Sel Hewan.....	24
Gambar 2. 3. Membran Sel.....	26
Gambar 2. 4. Ilustrasi Difusi	27
Gambar 2. 5. Ilustrasi Osmosis	28
Gambar 2. 6. Difusi sederhana, Difusi sederhana melalui Chanel Protein, Transpor Aktif.....	28
Gambar 2. 7. Ribosom	30
Gambar 2. 8. Retikulum Endoplasma.....	31
Gambar 2. 9. Badan Golgi.....	32
Gambar 2. 10. Mitokondria	33
Gambar 2. 11. Vakuola	34
Gambar 2. 12. Kloroplas	35
Gambar 2. 13. Struktur Sel Tumbuhan	36
Gambar 4. 1. Siklus sel	64
Gambar 4. 2. <i>Checkpoint</i> dan protein pengatur siklus sel.....	65
Gambar 4. 3. Perbandingan pembelahan mitosis dan meiosis	69
Gambar 5. 1. Struktur membran sel	75
Gambar 5. 2. Jenis ATPase dan ATPase Binding cassette (ABC)	81
Gambar 5. 3. Mekanisme transport glukosa melalui GLUT4	83
Gambar 5. 4. Jenis transportasi selul.....	85
Gambar 5. 5. Mekanisme Endositosis dan Eksositosis virus SARSCOV2 pada COVID-19	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbedaan Sel Tumbuhan dan sel Hewan.....	37
Tabel 2. 2. Fungsi Organel-Organel Sel.....	38
Tabel 4. 1. Beberapa terminologi dasar terkait pembelahan sel	62
Tabel 4. 2. Fase siklus sel eukariotik	63
Tabel 4. 3. Checkpoint dalam interfase	65
Tabel 4. 4. Fase Mitosis	67
Tabel 4. 5. Fase Meiosis.....	68

Biologi Sel:

Dasar-Dasar Struktur, Fungsi, dan Mekanisme Seluler

BAB 1

PENGANTAR BIOLOGI SEL

Oleh Dewi Rulia Br Sitepu

1.1 Pendahuluan

Biologi sel merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari sel sebagai unit dasar kehidupan. Sel adalah satuan struktural dan fungsional terkecil dari makhluk hidup yang menjadi fondasi bagi semua bentuk kehidupan di bumi (Alberts et al., 2014). Sejak pertama kali ditemukan oleh Robert Hooke pada abad ke-17, studi tentang sel telah mengalami perkembangan pesat, membuka jalan bagi berbagai disiplin ilmu seperti biokimia, genetika, dan biologi molekuler (De Robertis & De Robertis, 2017).

Pemahaman mendalam tentang sel sangat penting untuk mengerti bagaimana organisme hidup tumbuh, berkembang, dan beradaptasi dengan lingkungannya. Sel memiliki kemampuan luar biasa untuk melakukan berbagai fungsi vital seperti metabolisme, reproduksi, komunikasi antar sel, dan respons terhadap rangsangan eksternal. Proses-proses ini diatur oleh molekul-molekul biologis yang terdapat di dalam sel, termasuk DNA, RNA, protein, lipid, dan karbohidrat (Lodish et al., 2021).

Perkembangan teknologi, seperti mikroskop elektron dan teknik biologi molekuler, telah memungkinkan para ilmuwan untuk mengungkap struktur dan fungsi sel secara lebih rinci. Penemuan-penemuan ini tidak hanya membantu menjelaskan mekanisme kehidupan, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan dalam bidang kedokteran, pertanian, dan bioteknologi. Misalnya, pemahaman tentang siklus sel telah menjadi dasar dalam penelitian kanker, sementara manipulasi genetik pada sel tumbuhan telah meningkatkan hasil panen dan ketahanan terhadap penyakit (Campbell et al., 2018).

Buku ini disusun untuk memberikan pengantar yang komprehensif mengenai biologi sel, dimulai dari konsep dasar hingga aplikasi praktisnya dalam kehidupan sehari-hari. Materi yang dibahas mencakup struktur dan fungsi organel sel, siklus hidup sel, komunikasi seluler, serta teknik-teknik modern yang digunakan dalam studi biologi sel. Dengan mempelajari biologi sel, pembaca diharapkan dapat memahami kompleksitas kehidupan pada tingkat mikroskopis dan menghargai keindahan serta keajaiban yang ada dalam setiap sel makhluk hidup.

Sebagai ilmu yang terus berkembang, biologi sel menawarkan tantangan dan peluang untuk menjawab berbagai pertanyaan mendasar tentang kehidupan. Dengan demikian, mempelajari biologi sel tidak hanya memperkaya pengetahuan kita, tetapi juga membuka wawasan baru untuk menghadapi tantangan global seperti penyakit, perubahan iklim, dan kelangkaan sumber daya alam. Semoga buku ini dapat menjadi panduan yang bermanfaat dan

inspirasi bagi para pembaca dalam memahami dunia seluler yang menakjubkan.

1.2 Sejarah Penemuan Sel

Sejarah penemuan sel berawal dari pengamatan Robert Hooke pada tahun 1665. Dengan menggunakan mikroskop sederhana, Hooke mengamati irisan tipis gabus dan menemukan struktur kecil berbentuk kotak yang ia sebut "cellulae," yang berarti "ruangan kecil" dalam bahasa Latin (Alberts et al., 2014). Temuan Hooke menandai awal dari studi tentang sel, meskipun ia sebenarnya hanya melihat dinding sel mati tanpa memahami fungsi biologisnya.

Penemuan sel hidup pertama kali dilakukan oleh Antonie van Leeuwenhoek pada akhir abad ke-17. Menggunakan mikroskop buatan tangannya, Leeuwenhoek mengamati mikroorganisme hidup dalam air dan menyebutnya "animalcules" (Campbell et al., 2018). Observasi ini memperluas wawasan tentang keberadaan dunia mikroskopis yang sebelumnya tidak diketahui.

Pada awal abad ke-19, dua ilmuwan Jerman, Matthias Schleiden dan Theodor Schwann, mengajukan teori sel. Schleiden menyatakan bahwa semua tumbuhan tersusun atas sel, sementara Schwann memperluas konsep ini dengan menyatakan bahwa semua hewan juga terdiri dari sel (De Robertis & De Robertis, 2017). Teori ini menjadi fondasi bagi doktrin sel, yang menyatakan bahwa sel adalah unit dasar kehidupan.

Rudolf Virchow kemudian menyempurnakan teori sel pada tahun 1855 dengan menyatakan bahwa "Omnis cellula e cellula," yang berarti "semua sel berasal dari sel sebelumnya" (Lodish et al., 2021). Pernyataan ini menegaskan bahwa sel tidak muncul secara spontan, melainkan melalui proses pembelahan sel.

Dengan perkembangan teknologi, seperti mikroskop elektron pada abad ke-20, para ilmuwan mampu melihat struktur internal sel dengan lebih detail. Penemuan organel seperti nukleus, mitokondria, dan ribosom membuka pemahaman baru tentang fungsi seluler (Alberts et al., 2014). Penelitian lebih lanjut di bidang biologi molekuler juga mengungkapkan peran DNA sebagai materi genetik, memperkuat pemahaman tentang bagaimana sel mengatur kehidupan.

Sejarah penemuan sel tidak hanya mencerminkan perkembangan ilmu pengetahuan, tetapi juga menunjukkan bagaimana kolaborasi antar ilmuwan dan kemajuan teknologi telah membantu umat manusia memahami dasar-dasar kehidupan. Penemuan-penemuan ini menjadi landasan bagi penelitian modern di berbagai bidang, termasuk kesehatan, bioteknologi, dan ekologi.

1.3 Perkembangan Teori Sel

Teori sel adalah salah satu prinsip dasar dalam biologi yang menjelaskan bahwa sel adalah unit struktural dan fungsional dasar dari organisme hidup. Seiring dengan kemajuan pengetahuan ilmiah, teori sel telah berkembang pesat, dimulai dari penemuan awal tentang struktur sel hingga penemuan molekuler yang semakin kompleks.

Artikel ini akan mengulas perkembangan teori sel dari sejarah penemuan hingga konsep-konsep terbaru, serta menjelaskan secara detail kontribusi ilmuwan dalam memperkaya pemahaman kita tentang sel.

1.3.1 Awal Mula Teori Sel

Pada tahun 1665, ilmuwan Inggris Robert Hooke mengamati irisan gabus melalui mikroskop dan menemukan rongga-rongga kecil yang ia sebut sebagai "cellula" (Hooke, 1665). Meskipun Hooke mengamati sel yang mati, penemuannya memberikan fondasi bagi pengembangan teori sel. Tidak lama setelah itu, Antonie van Leeuwenhoek menggunakan mikroskop yang lebih canggih untuk mengamati organisme hidup, seperti bakteri dan spermatozoa, sehingga membuka pemahaman baru tentang sel sebagai struktur hidup (Leeuwenhoek, 1677).

1.3.2 Teori Sel oleh Schleiden dan Schwann

Pada abad ke-19, ilmuwan Jerman Matthias Schleiden dan Theodor Schwann mengembangkan teori sel lebih lanjut. Schleiden (1838) menyatakan bahwa tanaman terdiri dari sel, dan Schwann (1839) mengemukakan bahwa hewan juga tersusun dari sel. Mereka menegaskan bahwa sel adalah unit dasar kehidupan pada semua organisme hidup. Pada tahun 1855, Rudolf Virchow menambahkan bahwa sel berasal dari sel sebelumnya, menguatkan konsep biogenesis yang menyatakan bahwa kehidupan hanya bisa muncul dari kehidupan (Virchow, 1855).

1.3.3 Perkembangan Pengetahuan tentang Struktur Sel

Kemajuan dalam mikroskopi pada abad ke-20 memungkinkan para ilmuwan untuk memeriksa struktur internal sel. Dengan ditemukannya mikroskop elektron pada tahun 1930-an, ilmuwan dapat mempelajari organel-organel sel, seperti mitokondria, retikulum endoplasma, dan badan Golgi (Palade, 1955). Pemahaman tentang dua kategori besar sel—prokariotik dan eukariotik—juga berkembang pada abad ini (Woese, 1990), membedakan sel tanpa inti (prokariotik) dan sel dengan inti (eukariotik).

1.3.4 Penemuan DNA dan Genetika Sel

Penemuan struktur DNA oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953 (Watson & Crick, 1953) membuka jalan bagi pemahaman lebih dalam tentang proses informasi genetik dalam sel. DNA menyimpan informasi yang diperlukan untuk perkembangan dan fungsi sel, menjadikan sel tidak hanya unit struktural tetapi juga unit pengendali informasi biologis. Pada tahun-tahun berikutnya, pemahaman tentang genom sel berkembang pesat, mencakup studi tentang ekspresi gen, regulasi genetik, dan interaksi molekuler yang terjadi dalam sel.

Pada dekade terakhir, pemetaan genom manusia dan penerapan teknologi pengeditan gen seperti CRISPR-Cas9 telah memungkinkan pengembangan terapi gen dan penelitian dalam bidang bioteknologi (Doudna & Charpentier, 2014). CRISPR-Cas9 memungkinkan ilmuwan untuk mengedit DNA dengan presisi yang sangat tinggi, membawa revolusi dalam pengobatan penyakit genetik dan rekayasa genetika.

1.3.5 Sel Punca dan Pengobatan Regeneratif

Penelitian tentang sel punca (stem cells) telah mengalami lonjakan signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Sel punca embrionik memiliki potensi untuk berkembang menjadi berbagai jenis sel dalam tubuh, menjadikannya alat yang berpotensi dalam pengobatan regeneratif (Yamanaka & Takahashi, 2006). Baru-baru ini, peneliti berhasil mengembangkan teknik untuk mengubah sel dewasa menjadi sel punca pluripotent yang dapat berdiferensiasi menjadi berbagai tipe sel (Takahashi et al., 2007). Penemuan ini membuka kemungkinan baru dalam bidang terapi sel untuk mengobati penyakit degeneratif.

Pada tahun 2020, penelitian terbaru mengenai sel punca mesenkimal (MSC) menunjukkan potensi besar mereka dalam terapi untuk penyakit otot dan tulang, serta kemampuan mereka untuk memodulasi respons imun, yang menunjukkan aplikasi luas dalam pengobatan berbagai penyakit (Zhao et al., 2020).

1.3.6 Mikroskopi Super-Resolusi dan Teknologi Terkini

Pada beberapa tahun terakhir, teknologi mikroskopi telah berkembang pesat. Mikroskopi super-resolusi, seperti STED (stimulated emission depletion) dan PALM (photoactivated localization microscopy), memungkinkan ilmuwan untuk memvisualisasikan struktur sel pada resolusi yang jauh lebih tinggi daripada mikroskop konvensional (Betzig et al., 2006). Mikroskopi ini memungkinkan pengamatan organel-organel sel dan interaksi protein dalam sel dengan resolusi nanometer, membuka wawasan baru dalam bidang biologi sel.

Penggunaan mikroskopi cryo-elektron juga semakin berkembang, memungkinkan ilmuwan untuk mempelajari struktur tiga dimensi sel dan makromolekul dengan presisi yang sangat tinggi, bahkan pada suhu rendah untuk menjaga integritas sel dan komponen biomolekul (Feng et al., 2021).

1.3.7 Aplikasi dan Riset Terkini dalam Biologi Sel

Dalam beberapa tahun terakhir, riset biologi sel berfokus pada pemahaman mendalam tentang interaksi protein dalam sel dan bagaimana sel berkomunikasi satu sama lain melalui jaringan molekuler yang kompleks. Studi tentang jaringan sinyal seluler, termasuk protein G dan jalur transduksi sinyal seperti jalur Notch dan Wnt, semakin mendapat perhatian dalam penelitian kanker dan pengobatan penyakit lainnya (Bhan et al., 2022).

Selain itu, penelitian dalam bidang sel kanker juga telah berkembang pesat dengan penemuan dan pengembangan terapi imun yang menggunakan sel imun tubuh untuk menyerang dan menghancurkan sel kanker (Charych et al., 2022). Terapi sel imun seperti CAR-T (Chimeric Antigen Receptor T-cell) telah menjadi pilihan baru dalam pengobatan kanker, menggambarkan peran penting sel dalam pengobatan penyakit.

1.4 Teknis Mempelajari Sel

Studi mengenai sel adalah dasar dari biologi, yang melibatkan pemahaman tentang struktur, fungsi, dan interaksi berbagai komponen dalam sel. Penelitian sel telah berkembang dengan pesat berkat kemajuan teknologi dan

metode ilmiah yang lebih maju, memungkinkan para ilmuwan untuk mempelajari sel dengan lebih rinci. Buku ini akan membahas secara teknis bagaimana mempelajari sel, mulai dari penggunaan alat laboratorium hingga teknik-teknik terbaru dalam penelitian biologi sel.

Sel adalah unit struktural dan fungsional dari semua organisme hidup. Setiap aspek kehidupan, mulai dari pembelahan sel hingga respons terhadap rangsangan eksternal, terjadi dalam dan melalui sel. Oleh karena itu, untuk memahami proses biologis yang lebih besar, sangat penting untuk mempelajari mekanisme yang terjadi di tingkat sel. Dengan semakin banyaknya penyakit yang berkaitan dengan disfungsi sel, seperti kanker, diabetes, dan gangguan neurodegeneratif, pemahaman yang mendalam tentang sel sangat penting untuk pengembangan terapi dan teknologi medis.

1.5 Metode Pengamatan Sel

1.5.1 Metode Pengamatan Sel

Pengamatan sel dapat dilakukan dengan berbagai teknik, mulai dari mikroskopi sederhana hingga penggunaan teknologi mutakhir yang memungkinkan visualisasi sub-struktur seluler dengan resolusi tinggi.

a. Mikroskopi Cahaya

Mikroskopi cahaya adalah salah satu alat pertama yang digunakan untuk mempelajari sel. Mikroskop ini menggunakan cahaya untuk menerangi sampel dan memungkinkan pengamatan langsung pada sel.

Meskipun mikroskopi cahaya terbatas dalam hal resolusi, teknik ini masih digunakan untuk pengamatan umum sel hidup, seperti mengamati morfologi sel, pembelahan sel, atau gerakan sel (Luby-Phelps, 2013).

b. Mikroskopi Fluoresensi

Mikroskopi fluoresensi memungkinkan visualisasi struktur dan komponen dalam sel dengan menggunakan cahaya fluoresen untuk menandai molekul tertentu. Teknik ini sangat berguna untuk mempelajari lokasi dan distribusi protein, asam nukleat, dan organel dalam sel. Dengan menggunakan antibodi yang diberi label fluoresen atau menggunakan protein penanda fluoresen, ilmuwan dapat melacak komponen seluler dan mengamati interaksi antar-molekul dalam sel secara langsung (Patterson et al., 2021).

c. Mikroskopi Super-Resolusi

Teknik mikroskopi super-resolusi, seperti STED (Stimulated Emission Depletion) dan PALM (Photoactivated Localization Microscopy), memungkinkan ilmuwan untuk mengamati struktur subseluler dengan resolusi jauh lebih tinggi daripada mikroskopi konvensional, bahkan di bawah batas resolusi mikroskop cahaya tradisional. Teknik ini memungkinkan pengamatan molekul individu atau organel dalam skala nanometer, memberi wawasan yang lebih mendalam mengenai interaksi dan distribusi komponen-komponen sel (Betzig et al., 2006; Hell, 2015).

d. Mikroskopi Elektron

Mikroskopi elektron, termasuk TEM (Transmission Electron Microscopy) dan SEM (Scanning Electron Microscopy), memberikan gambaran lebih detail tentang struktur sel hingga level subseluler. Mikroskop TEM memungkinkan pengamatan struktur internal sel seperti mitokondria, retikulum endoplasma, dan inti sel dengan resolusi hingga beberapa nanometer (Feng et al., 2021).

1.5.2 Teknik Molekuler dalam Studi Sel

Studi sel tidak hanya melibatkan pengamatan struktur, tetapi juga analisis molekuler untuk memahami fungsi dan regulasi aktivitas dalam sel.

a. Western Blotting dan ELISA

Western blotting adalah teknik untuk mendeteksi dan mengidentifikasi protein berdasarkan ukurannya. Dengan memisahkan protein menggunakan elektroforesis gel, dan kemudian mengidentifikasi protein target menggunakan antibodi spesifik, ilmuwan dapat mempelajari ekspresi protein dalam berbagai kondisi (Alvarez et al., 2019). ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) juga digunakan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi protein, peptida, antibodi, atau antigen dalam sampel biologis (Kumar et al., 2020).

b. PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dan qPCR

PCR adalah teknik amplifikasi DNA yang digunakan untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan memanipulasi urutan genetik di dalam sel. Teknik ini

sangat penting dalam penelitian genetik dan diagnostik (Mullis & Faloona, 1987). qPCR (Quantitative PCR) memungkinkan ilmuwan untuk mengukur ekspresi gen secara kuantitatif, yang memberikan wawasan tentang regulasi gen dalam berbagai kondisi seluler (Heid et al., 1996).

c. Sequencing DNA dan RNA-Seq

Teknologi sequencing telah memungkinkan ilmuwan untuk mengurutkan DNA atau RNA dalam sel dengan kecepatan dan presisi yang luar biasa. DNA sequencing, seperti teknik Illumina, memungkinkan analisis genom seluruh sel atau spesies (Mardis, 2008). RNA-Seq, yang memetakan transkrip RNA dalam sel, memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi gen-gen yang diekspresikan dalam berbagai kondisi dan memahami regulasi genetik pada tingkat transkripsi (Wang et al., 2009).

d. CRISPR-Cas9: Pengeditan Genetik dalam Sel

Teknologi CRISPR-Cas9 telah merevolusi bidang biologi molekuler dengan kemampuannya untuk mengedit gen dengan presisi yang sangat tinggi. Teknik ini memungkinkan ilmuwan untuk memodifikasi genom sel secara langsung, mengganti atau menonaktifkan gen tertentu, serta mengembangkan model penyakit untuk pengujian obat dan terapi gen (Doudna & Charpentier, 2014).

1.5.3 Pengamatan Interaksi Seluler dan Jalur Sinyal

Dalam memahami bagaimana sel berfungsi, penting untuk mempelajari interaksi antar sel dan jalur sinyal yang mengatur proses-proses penting seperti proliferasi, diferensiasi, dan apoptosis.

a. FACS (Fluorescence-Activated Cell Sorting)

FACS adalah teknik yang memungkinkan pemisahan sel berdasarkan sifat molekuler atau fenotipe menggunakan antibodi berlabel fluoresen. FACS digunakan untuk menganalisis populasi sel secara spesifik, seperti sel stem, sel imun, atau sel kanker, berdasarkan ekspresi protein permukaan sel (Robinson, 2020).

b. Cytokine Profiling

Cytokine profiling adalah teknik yang digunakan untuk mempelajari respons sel terhadap berbagai rangsangan melalui analisis berbagai sitokin dan molekul sinyal. Teknik ini sering digunakan untuk mempelajari sistem imun dan reaksi peradangan dalam tubuh (Bhat et al., 2022).

1.5.4 Model Sel dan Aplikasi dalam Pengobatan

Salah satu cara untuk mempelajari sel adalah dengan menggunakan model sel yang dapat digunakan untuk menguji hipotesis atau terapi. Model sel dapat berupa kultur sel 2D, kultur sel 3D, atau bahkan organoid, yang lebih mirip dengan kondisi tubuh yang nyata.

a. Kultur Sel 2D dan 3D

Kultur sel 2D adalah model yang paling umum digunakan untuk penelitian sel, meskipun memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan lingkungan biologis yang sebenarnya. Sebaliknya, kultur sel 3D, seperti sferoid atau kultur organoid, memberikan gambaran yang lebih akurat tentang bagaimana sel berinteraksi dalam tubuh, dan telah digunakan dalam penelitian kanker dan pengembangan obat (Barker et al., 2010).

b. Organoid

Organoid adalah model sel tiga dimensi yang dapat tumbuh dan berkembang menjadi struktur mirip organ. Organoid memungkinkan studi seluler yang lebih realistis dalam konteks perkembangan, penyakit, dan pengobatan (Lancaster et al., 2013). Teknik ini membuka peluang baru dalam penelitian medis, terutama untuk menguji terapi pada tingkat seluler yang lebih mendalam.

1.6 Kelebihan dan Kekurangan dalam Mempelajari Biologi Sel

Mempelajari biologi sel merupakan bidang yang sangat penting dalam ilmu biologi karena sel adalah unit dasar kehidupan. Pemahaman tentang struktur, fungsi, dan interaksi dalam sel membuka banyak pintu bagi kemajuan dalam berbagai bidang, termasuk kedokteran, bioteknologi, dan penelitian ilmiah lainnya. Namun, seperti halnya disiplin ilmu lainnya, mempelajari biologi sel memiliki kelebihan dan

kekurangannya. Berikut ini adalah uraian mengenai kelebihan dan kekurangan dalam mempelajari biologi sel.

1.6.1 Kelebihan dalam Mempelajari Biologi Sel

- a. **Pemahaman Dasar Kehidupan** Salah satu kelebihan terbesar dari mempelajari biologi sel adalah pemahaman dasar kehidupan. Sel adalah unit struktural dan fungsional terkecil dari makhluk hidup, dan semua proses biologis penting (seperti metabolisme, pembelahan sel, sintesis protein, dan lain-lain) terjadi di dalam sel. Dengan memahami cara kerja sel, kita bisa memahami berbagai mekanisme tubuh yang lebih besar, termasuk sistem organ dan jaringan (Luby-Phelps, 2013).
- b. **Penyelesaian Masalah Kesehatan dan Penyakit** Biologi sel memberikan wawasan yang sangat berharga dalam memahami berbagai penyakit, seperti kanker, diabetes, dan gangguan neurodegeneratif. Dengan mempelajari bagaimana sel berfungsi secara normal dan bagaimana perubahan seluler dapat menyebabkan penyakit, kita dapat mengembangkan terapi yang lebih efektif. Penelitian sel juga memainkan peran penting dalam pencarian obat-obatan dan pengembangan terapi berbasis sel, seperti terapi gen dan terapi sel punca (Hanahan & Weinberg, 2011).
- c. **Pengembangan Teknologi Medis dan Bioteknologi** Penelitian biologi sel menjadi dasar bagi pengembangan berbagai teknologi medis, seperti vaksin, terapi berbasis antibodi, dan

pengobatan kanker. Selain itu, bioteknologi modern juga bergantung pada pemahaman tentang biologi sel untuk produksi obat dan protein terapeutik serta untuk rekayasa genetika organisme (Harty & De Marco, 2022). Penemuan teknologi seperti CRISPR-Cas9 memungkinkan pengeditan genetik sel dengan presisi tinggi, membuka peluang baru dalam pengobatan penyakit genetik (Doudna & Charpentier, 2014).

- d. Inovasi dalam Pengobatan Regeneratif** Bidang biologi sel juga mendasari kemajuan dalam terapi sel dan pengobatan regeneratif, terutama dalam pengembangan sel punca dan terapi jaringan. Ini memberikan harapan baru dalam pengobatan penyakit degeneratif, seperti Parkinson, Alzheimer, dan cedera sumsum tulang belakang (Yamanaka & Takahashi, 2006). Selain itu, organoid yang dihasilkan dari sel punca dapat digunakan untuk model penyakit dan uji coba terapi, meningkatkan efisiensi pengembangan obat (Lancaster et al., 2013).
- e. Peluang Karir dan Penelitian** Biologi sel membuka banyak peluang dalam dunia akademik dan industri, khususnya di bidang bioteknologi, kedokteran, farmasi, dan riset ilmiah. Profesi yang berfokus pada penelitian sel menawarkan banyak potensi karir di laboratorium riset, rumah sakit, atau perusahaan bioteknologi. Keahlian dalam biologi sel juga sangat dicari oleh institusi medis dan farmasi untuk penelitian dan pengembangan obat (Bhat et al., 2022).

1.6.2 Kekurangan dalam Mempelajari Biologi Sel

- a. **Kompleksitas Sel yang Tinggi** Salah satu tantangan terbesar dalam mempelajari biologi sel adalah kompleksitas struktur dan fungsi sel itu sendiri. Sel terdiri dari berbagai organel, molekul, dan jalur sinyal yang sangat kompleks. Memahami interaksi antar komponen ini dalam berbagai kondisi masih menjadi tantangan besar. Teknologi seperti mikroskopi super-resolusi dan analisis genetik canggih telah membantu, tetapi belum semua aspek dari sel dapat dipahami sepenuhnya (Betzig et al., 2006).
- b. **Keterbatasan Teknologi Pengamatan** Meskipun kemajuan dalam mikroskopi dan teknik pencitraan seluler telah memungkinkan kita untuk mengamati struktur dan proses dalam sel dengan tingkat resolusi yang lebih tinggi, masih ada keterbatasan dalam pengamatan sel yang sangat kecil dan dinamis. Misalnya, proses molekuler dalam sel yang terjadi pada skala waktu sangat cepat sering kali tidak dapat diamati dengan akurat. Teknik yang lebih canggih dan mahal, seperti mikroskopi elektron dan mikroskopi super-resolusi, sering kali hanya dapat diakses oleh laboratorium tertentu (Patterson et al., 2021).
- c. **Biaya Penelitian yang Tinggi** Penelitian biologi sel, terutama yang menggunakan teknologi mutakhir, dapat sangat mahal. Penggunaan alat-alat canggih seperti mikroskop elektron, perangkat pengeditan genetik, dan teknologi sequencing membutuhkan investasi besar dalam peralatan dan sumber daya

manusia yang terlatih. Ini dapat menjadi hambatan bagi banyak institusi pendidikan atau negara dengan sumber daya terbatas (Harty & De Marco, 2022).

- d. Masalah Etika** Beberapa penelitian dalam biologi sel, terutama yang melibatkan sel punca embrionik, menghadirkan dilema etika. Penggunaan embrio manusia untuk memperoleh sel punca dapat menimbulkan kontroversi terkait dengan hak embrio dan masalah moralitas. Meskipun teknologi sel punca induksi pluripotent (iPS) telah muncul sebagai alternatif yang lebih etis, isu-isu ini masih menjadi topik yang sensitif (Takahashi et al., 2007).
- e. Penyalahgunaan Teknologi** Kemajuan dalam teknologi biologi sel, seperti pengeditan genetik menggunakan CRISPR, membuka potensi penyalahgunaan, seperti rekayasa genetika yang tidak terkontrol atau bahkan modifikasi genetik pada manusia untuk tujuan non-terapeutik. Penggunaan teknologi ini untuk tujuan komersial atau tidak etis bisa menimbulkan masalah moral dan hukum yang serius, sehingga diperlukan regulasi yang ketat untuk mencegah penyalahgunaan (Doudna & Charpentier, 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Molecular Biology of the Cell*. Garland Science.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2018). *Biology*. Pearson.
- De Robertis, E. D. P., & De Robertis, E. M. F. (2017). *Cell and Molecular Biology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., Amon, A., & Scott, M. P. (2021). *Molecular Cell Biology*. W. H. Freeman.
- Hooke, R. (1665). *Micrographia*. London: John Martyn and James Allestry.
- Leeuwenhoek, A. van. (1677). *Observations upon the Little Animalcules*. Philosophical Transactions.
- Miller, S. L. (1992). *Living Systems: The Science of Life*. New York: HarperCollins.
- Schwann, T. (1839). *Microscopical Researches on the Accordance in the Structure and Growth of Animals and Plants*. London: Sydenham Society.
- Virchow, R. (1855). *Cellular Pathology*. London: John Churchill.
- Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature*, 171(4356), 737-738.

- Thomson, J. A., et al. (1998). Embryonic Stem Cell Lines Derived from Human Blastocysts. *Science*, 282(5391), 1145-1147.
- Jinek, M., et al. (2012). A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*, 337(6096), 816-821.
- Betzig, E., et al. (2006). *Imaging Intracellular Fluorescent Proteins at Nanometer Resolution*. *Science*, 313(5793), 1642-1645. <https://doi.org/10.1126/science.1127344>
- Bhan, S. A., et al. (2022). *The Role of Notch Signaling in Cancer Stem Cells and Tumorigenesis*. *Cell Reports*, 39(10), 110542. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2022.110542>
- Charych, D. H., et al. (2022). *CAR T-cell Therapy: A New Frontier in Cancer Immunotherapy*. *Journal of Immunology Research*, 2022, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2022/5439201>
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). *The New Era of Genome Editing with CRISPR-Cas9*. *Science*, 346(6213), 1258096. <https://doi.org/10.1126/science.1258096>
- Feng, Z., et al. (2021). *Cryo-Electron Microscopy in the Study of Cell and Virus Structures*. *Nature Methods*, 18(10), 1095-1102. <https://doi.org/10.1038/s41592-021-01052-3>
- Leeuwenhoek, A. van. (1677). *Observations upon the Little Animalcules*. *Philosophical Transactions*, 12, 1023-1034.

- Palade, G. E. (1955). *The Structure of Cells. Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, 1(3), 413-428.
<https://doi.org/10.1083/jcb.1.3.413>
- Takahashi, K., et al. (2007). *Induction of Pluripotent Stem Cells from Adult Human Fibroblasts by Defined Factors. Cell*, 131(5), 861-872.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.11.019>
- Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). *A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. Nature*, 171(4356), 737-
- Alvarez, I. J., et al. (2019). *Western blotting for the analysis of protein expression. Journal of Molecular Biology*, 431(5), 1073-1092.
<https://doi.org/10.1016/j.jmb.2019.02.008>
- Barker, N., et al. (2010). *Lgr5+ve stem cells drive self-renewal in the stomach and build colon-like organoids in culture. Nature*, 457(7229), 315-319.
<https://doi.org/10.1038/nature07577>
- Betzig, E., et al. (2006). *Imaging Intracellular Fluorescent Proteins at Nanometer Resolution. Science*, 313(5793), 1642-1645. <https://doi.org/10.1126/science.1127344>
- Bhat, R. A., et al. (2022).
- Betzig, E., et al. (2006). *Imaging Intracellular Fluorescent Proteins at Nanometer Resolution. Science*, 313(5793), 1642-1645. <https://doi.org/10.1126/science.1127344>
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). *The New Era of Genome Editing with CRISPR-Cas9. Science*, 346(6213), 1258096. <https://doi.org/10.1126/science.1258096>

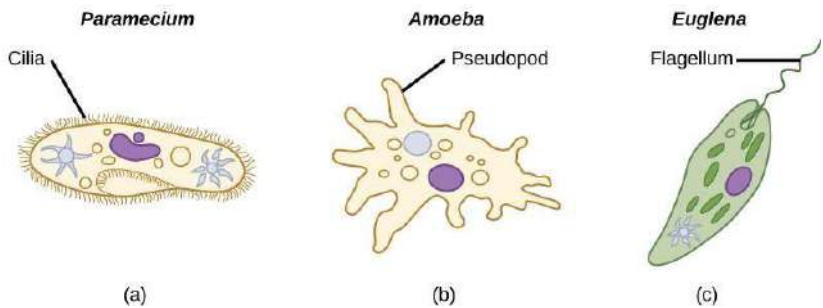
- Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). *Hallmarks of Cancer: The Next Generation*. *Cell*, 144(5), 646-674.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>
- Harty, W. J., & De Marco, D. (2022). *Biotechnology and its Application in Modern Medicine*. *Journal of Biotech Research*, 34(1), 12-19.
<https://doi.org/10.1002/jbr.305>
- Luby-Phelps, K. (2013). *The Physical Chemistry of Cytoplasm and Organelles*. *Current Opinion in Cell Biology*, 25(5), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2013.02.001>
- Takahashi, K., et al. (2007). *Induction of Pluripotent Stem Cells from Adult Human Fibroblasts by Defined Factors*. *Cell*, 131(5), 861-872.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.11.019>
- Yamanaka, S., & Takahashi, K. (2006). *Induced Pluripotent Stem Cells: Past, Present, and Future*. *Cell Stem Cell*, 10(1), 678-684.
<https://doi.org/10.1016/j.stem.2015.10.002>

BAB 2

STRUKTUR SEL DAN FUNGSINYA

Oleh Rury Trisa Utami

Tubuh terdiri dari banyak bagian atau unit kecil yang sangat kecil, seperti bangunan atau rumah. Komponen ini disebut sel. Sel, yang terdiri dari satuan struktural dan fungsional, adalah unit kehidupan terkecil. Makhluk hidup uniseluler adalah makhluk hidup yang terdiri dari satu sel. Termasuk dalam kategori ini adalah makhluk hidup bersel satu seperti bakteri, Amoeba, Paramecium, Euglena, dan ganggang hijau-biru.



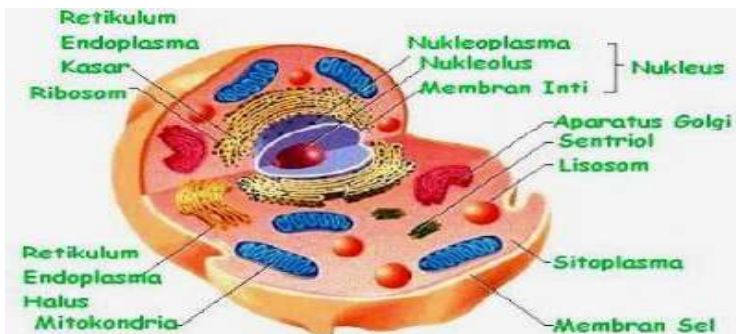
Gambar 2. 1. Contoh Hewan Bersel Satu

Berdasarkan adanya atau tidaknya membran inti, sel dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik tidak memiliki membran inti, contohnya adalah sel bakteri dan alga biru. Sementara itu, sel eukariotik dilengkapi dengan membran yang melindungi

materi inti. Organisme yang terdiri dari sejumlah sel yang bekerja sama disebut sebagai makhluk hidup multiseluler, di mana setiap fungsi kehidupannya dilaksanakan oleh sel-sel khusus..

Mikroskop merupakan alat yang memungkinkan kita melihat struktur sel dalam detail. Namun, ada beberapa jenis sel yang dapat kita amati dengan mata telanjang, seperti sel telur burung. Konsep sel pertama kali diperkenalkan oleh Robert Hooke pada tahun 1665, dalam abad ke-17. Hooke menggunakan istilah "sel" untuk menggambarkan struktur yang menyerupai kotak sarang lebah, yang ia lihat saat mengamati gabus melalui mikroskop dua lensa.

Pada abad ke-19, dua ilmuwan Jerman, Theodor Schwann dan Mathias Jacob Schleiden, mengemukakan bahwa hampir semua makhluk hidup, dari yang paling sederhana hingga yang paling kompleks, tersusun sepenuhnya dari sel. Sel-sel ini memainkan peranan yang vital dalam seluruh proses kehidupan. Mari kita amati gambar sel hewan di bawah ini dan perhatikan bagian-bagiannya!

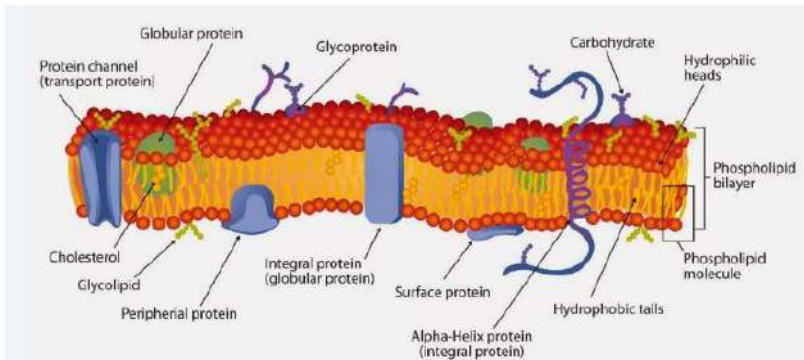


Gambar 2. 2. Struktur Sel Hewan Sumber: www.google.co.id

Tiga komponen utama terdiri dari sel: nukleus atau inti, membran sel atau membran plasma, dan sitoplasma. Plasma di luar sel disebut sitoplasma, dan plasma di dalam sel disebut nukleoplasma. Nukleoplasma dan sitoplasma disebut protoplasma. Protoplasma adalah cairan kental yang terdiri dari air, protein, karbohidrat, lemak, garam mineral, dan vitamin.

2.1 Membran Sel atau Selaput Sel

Membran sel adalah struktur yang membungkus bagian luar sel, berfungsi mengatur proses masuk dan keluarnya zat antara sel dan lingkungan sekitarnya, serta melindungi isi sel, yang dikenal sebagai protoplasma. Membran ini terdiri dari dua lapisan (bilayer) yang terbuat dari lipid dan protein. Di dalamnya, asam lemak bersifat hidrofobik sementara fosfat bersifat hidrofilik. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Singer dan Nicholson pada tahun 1972, membran sel dapat dijelaskan dengan model mosaik atau 'fluid mosaic', yang diungkapkan melalui teknik Freeze Fractured. Dalam model ini, protein dan molekul lainnya tercampur dalam matriks fluida dari bilayer lipid, yang memungkinkan fosfolipid dan protein bergerak bebas seperti dalam cairan. Konsep mosaik merujuk pada pola yang terbentuk oleh distribusi protein saat membran dilihat dari atas.



Gambar 2. 3. Membran Sel

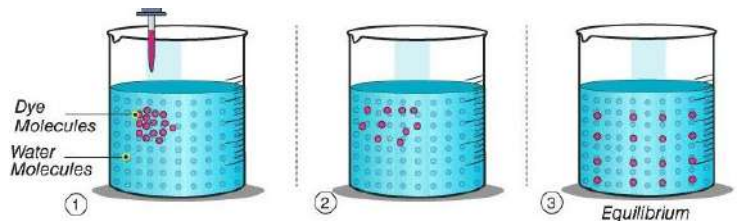
Hanya air dan beberapa zat lain, seperti cairan, gas, atau zat padat yang terlarut secara osmosis dan difusi, dapat melewati membran sel karena sifatnya yang semipermeabel. Menurut penjelasan, molekul atau ion tertentu dapat melewati membran plasma karena sifatnya yang selektif permeabel atau semipermeabel. Dua jenis perpindahan molekul atau ion melalui membran adalah transpor pasif dan aktif.

- 1) **Transpor pasif** terjadi tanpa energi sel dan terjadi secara spontan dari konsentrasi tinggi ke rendah. Transport pasif melalui difusi sederhana melalui dua lapisan lipid atau melalui channel protein. Difusi dan osmosis adalah dua contoh transportasi pasif.

➤ ***Difusi***

Difusi adalah proses di mana suatu senyawa bergerak dari daerah dengan konsentrasi tinggi menuju daerah dengan konsentrasi rendah, berlangsung melalui membran. Untuk senyawa nonelektrolit agar dapat berdifusi secara pasif

melalui membran, diperlukan adanya perbedaan konsentrasi larutan di kedua sisi membran, di mana satu sisi memiliki konsentrasi yang lebih besar dibandingkan sisi lainnya. Membran tersebut harus bersifat permeabel terhadap senyawa yang dimaksud, sehingga senyawa dapat melewati membran melalui pori-pori aqueous. Gerakan pasif ini cenderung lambat dan akan berhenti saat konsentrasi di kedua sisi mencapai keseimbangan. Dengan demikian, suatu zat akan berdifusi dari daerah yang lebih pekat menuju daerah yang kurang pekat. Proses difusi ini bersifat pasif dan tidak memerlukan energi tambahan, karena molekul-molekul tersebut memiliki energi kinetik alami yang memfasilitasi pergerakannya.

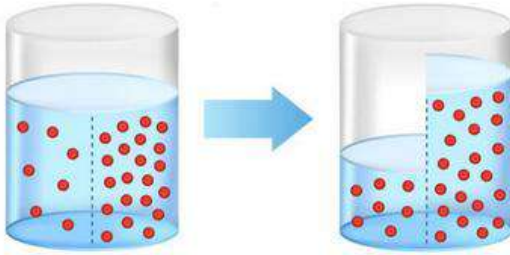


Gambar 2. 4. Ilustrasi Difusi

➤ **Osmosis**

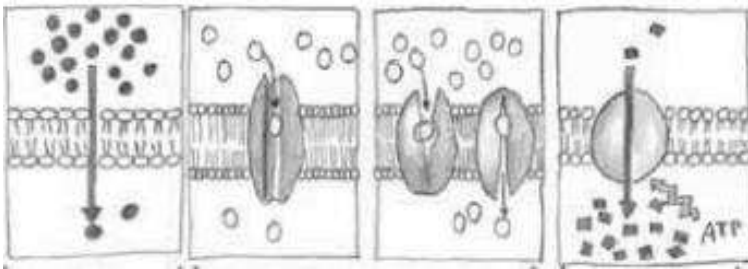
Osmosis adalah proses perpindahan molekul air melalui membran semipermeabel dari larutan yang memiliki konsentrasi air tinggi ke larutan dengan konsentrasi air rendah. Dengan kata lain, osmosis merupakan pemindahan molekul dari larutan dengan konsentrasi rendah (hipotonis) ke

larutan dengan konsentrasi tinggi (hipertonis).



Gambar 2. 5. Ilustrasi Osmosis

- 2) *Transpor aktif* adalah transpor aktif molekul atau ion yang menggunakan energi sel. Contohnya adalah pompa ion natrium (Na^+)/kalium (K^+), endositosis, dan eksositosis.



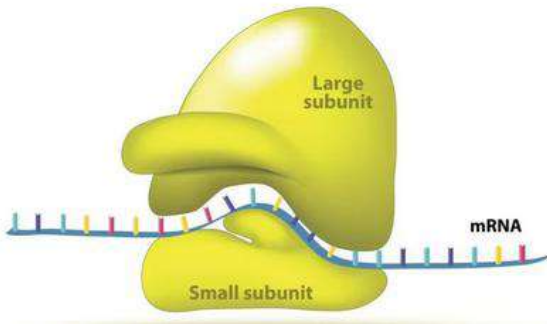
Gambar 2. 6. Difusi sederhana, Difusi sederhana melalui Chanel Protein, Transpor Aktif(Sumber: Kurniati Tuti, 2020)

2.2 Sitoplasma

Sitoplasma adalah cairan yang mengisi ruang antara membran sel dan inti sel. Didalam sitoplasma, terdapat berbagai struktur khusus yang disebut organel, serta

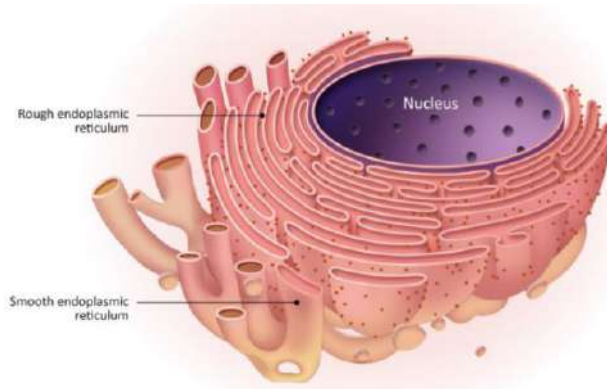
vakuola atau rongga sel. Beberapa organel yang dapat ditemukan di dalam sitoplasma meliputi ribosom, retikulum endoplasma, badan Golgi, dan mitokondria.

1. Ribosom adalah partikel berbentuk bulat yang berfungsi sebagai tempat pembentukan protein. Sebagai struktur multimolekuler, ribosom berperan sebagai pabrik untuk sintesis protein. Selama proses penerjemahan, ribosom terdiri dari molekul-molekul protein dan rRNA. Jumlah ribosom dalam suatu sel sangat banyak dan bervariasi tergantung pada jenis organismenya. Pengamatan dengan mikroskop cahaya menunjukkan adanya butir-butir halus berwarna basofilik di dalam sel. Untuk mengidentifikasi butir-butir ini, dilakukan pengamatan lebih lanjut dengan mikroskop elektron. Hasilnya menunjukkan bahwa ribosom adalah butir globular dengan diameter sekitar 150 hingga 200 Å (angstrom). Butir-butir ini ditemukan pada semua sel, baik prokariotik maupun eukariotik. Di sel prokariotik, ribosom terdapat bebas dalam sitosol, sementara pada sel eukariotik, ribosom dapat ditemukan bebas dalam sitosol, matriks mitokondria, stroma kloroplas, atau melekat pada permukaan sitoplasma dari retikulum endoplasma (RE).



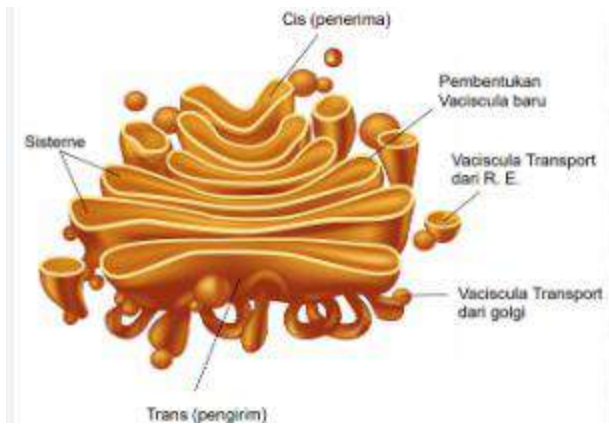
Gambar 2. 7. Ribosom

2. Retikulum endoplasma menghubungkan inti sel ke sitoplasma dan bertanggung jawab untuk menyekresi protein dan lemak. Semua sel eukariotik mengandung retikulum endoplasma, juga dikenal sebagai RE. (Kata "endoplasma" berarti "di dalam sitoplasma", dan "reticulum" adalah kata Latin untuk "jaring kecil"). RE menyusun lebih dari separuh membran banyak sel eukariot. Melainkan menjadi bagian dari sistem selaput yang mudah dikenali, organel ini bukanlah organel yang statis. Semua selaput organel yang ada di dalam sel termasuk dalam sistem selaput ini. Selaput RE mencakup 25% dari semua selaput sel. Dua daerah fungsional selaput RE dapat dilihat melalui mikroskop elektron. Daerah ini disebut REG karena permukaan sitosolik selaput ditempeli ribosom, sedangkan REA adalah bagian dari selaput yang sama tetapi tidak memiliki ribosom di permukaan sitosoliknya. Selain itu, bentuk dan susunan kedua wilayah ini berbeda.



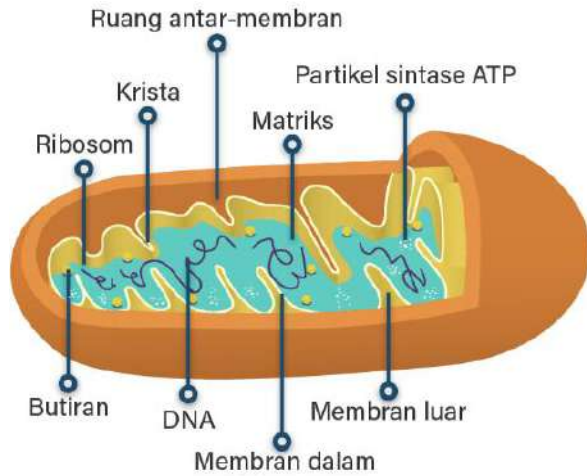
Gambar 2. 8. Retikulum Endoplasma

3. Badan golgi berfungsi untuk mengeluarkan darah. Mitokondria bertanggung jawab untuk melakukan respirasi sel dan melepaskan energi yang diperlukan sel untuk menjalankan fungsinya. Mikrograf elektron dari preparat yang diimpregnasi dengan osmium tetroksida menunjukkan adanya anyaman benang hitam di sekitar inti. Mikrograf elektron dari sayatan sel yang sangat tipis yang sama menunjukkan bahwa anyaman benang hitam terdiri dari setumpuk kantung pipih (sisterna) yang berselaputkan selaput agranular. Tumpukan kantung pipih ini disebut diktiosom dan setiap kantung pipih disebut sakulus.



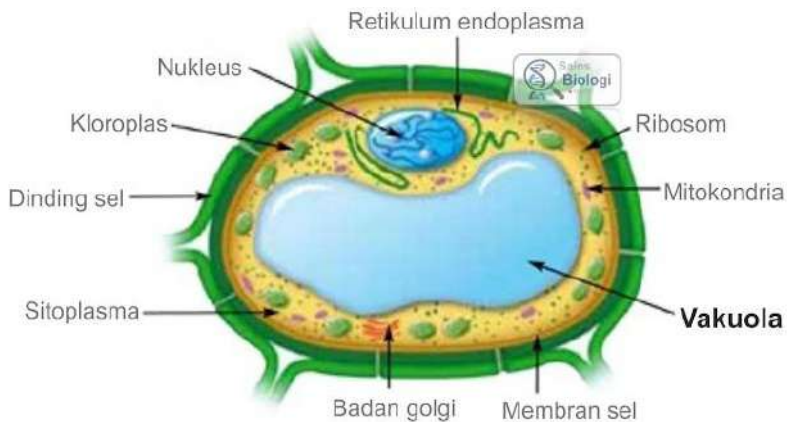
Gambar 2. 9. Badan Golgi

4. Mesosom menghasilkan energi. Mesosom biasanya berada di dekat dinding sel yang baru terbentuk selama pembelahan biner sel bakteri. Membran mesosom mengandung enzim pernapasan yang bertanggung jawab atas reaksi oksidasi yang menghasilkan energi.
5. Mitokondria, Berfungsi sebagai Respirasi sel. Sel-sel yang membutuhkan energi, seperti sel hati, otot, dan saraf, memiliki mitokondria. Mitokondria melakukan hal-hal berikut. Membran luar mitokondria membedakan bagian dalam membran dari sitoplasma. Kristal memperluas permukaan membran. Matriks mitokondria mengoksidasi asam lemak dan mengoksidasi asetil koenzim, dan lamela membran dalam melanjutkan rantai respirasi, yang kemudian menghasilkan ATP.



Gambar 2. 10. Mitokondria

6. Vakuola adalah rongga sel yang penuh dengan cairan. Vakuola jarang ditemukan pada sel hewan multiseluler. Hewan uniseluler, seperti Paramecium, memiliki vakuola makanan dan vakuola berdenyut. Sementara vakuola makanan berfungsi sebagai tempat pencernaan makanan, vakuola berdenyut berfungsi sebagai alat pengeluaran.



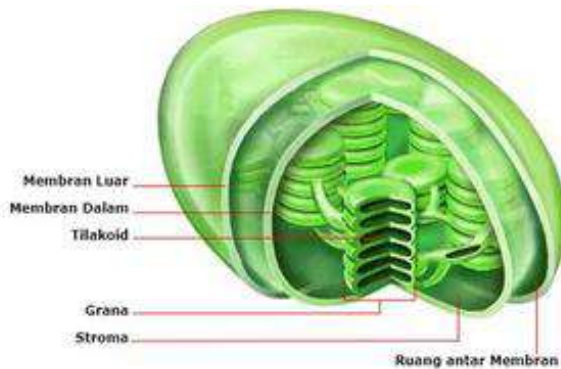
Gambar 2. 11. Vakuola

7. Kloroplas

Kloroplas, organel kecil menyerupai mitokondria, biasanya memiliki bentuk lensa. Dalam kondisi cahaya yang bervariasi, kloroplas dapat bergerak di dalam sel, misalnya, bergerak menuju permukaan sel untuk menyerap lebih banyak cahaya saat pencahayaan kurang. Sebagai organel yang bertanggung jawab untuk menghasilkan energi melalui proses fotosintesis, kloroplas hanya dapat ditemukan pada tumbuhan. Setiap sel mengandung antara 50 hingga 200 kloroplas. Dari samping, bentuk kloroplas tampak seperti lensa, dengan satu sisi cembung dan sisi lainnya cekung atau datar. Kloroplas memiliki sistem dua membran yang terdiri dari membran dalam dan membran luar, serta ruang antar membran di antara keduanya.

Membran tilakoid berfungsi membatasi stroma yang mengelilingi ruang ketiga. Kloroplas adalah lokasi utama berlangsungnya fotosintesis, dengan sekitar 0,5

juta kloroplas terdapat dalam setiap milimeter persegi permukaan daun. Klorofil, pigmen yang terdapat dalam kloroplas, menyerap cahaya dan mengubahnya menjadi energi untuk membentuk molekul makanan. Kloroplas dapat ditemukan pada jaringan palisade dan spons, juga dikenal sebagai mesofil. Stomata memfasilitasi masuknya CO₂ dan keluarnya oksigen. Selain itu, berkas pembuluh xilem mengalir dari akar ke daun, sementara berkas pembuluh floem mengalir kembali ke akar dan bagian tumbuhan yang tidak melakukan fotosintesis, membawa gula yang dihasilkan.



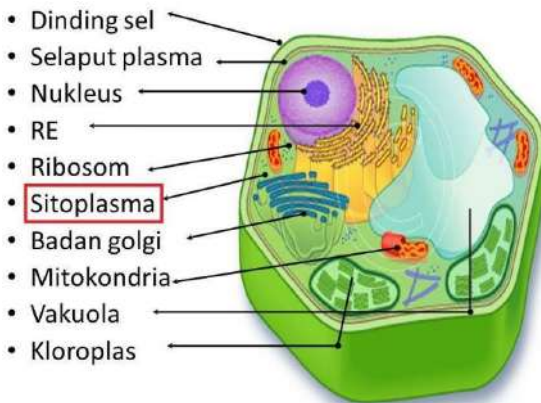
Gambar 2. 12. Kloroplas

8. DNA berperan sebagai pengangkut informasi genetik, yaitu sifat-sifat yang harus diteruskan kepada keturunannya. Karena itu, DNA sering disebut sebagai materi genetik.
9. RNA mengantarkan kode genetik yang diperintahkan oleh DNA. Kemudian, kode-kode tersebut

diterjemahkan menjadi urutan asam amino selama proses sintesis protein.

2.3 Inti Sel (Nukleus)

Inti sel, atau nukleus, merupakan bagian sel yang memiliki ukuran besar dan biasanya berbentuk bulat, oval, atau tidak beraturan. Ia dikelilingi oleh sitoplasma dan terletak agak di tengah sel. Umumnya, setiap sel hanya memiliki satu nukleus yang berfungsi sebagai elemen terpenting dalam mengatur seluruh aktivitas sel, terutama saat proses perkembangbiakan berlangsung. Di dalam inti sel, terdapat kromosom yang menyimpan gen-gen, yang berperan penting dalam pewarisan sifat. Selain itu, di dalam inti sel juga terdapat struktur kecil yang disebut nukleolus.



Gambar 2. 13. Struktur Sel Tumbuhan Sumber:
www.google.co.id

Membran sel hewan tidak memiliki dinding sel, tetapi membran sel tumbuhan memiliki dinding sel yang terbuat dari selulosa, yang membuatnya tebal dan kuat. Plastida, yang berwarna hijau dan mengandung klorofil, adalah

organel sel yang hanya ada dalam sel tumbuhan. Kloroplas, yang berperan dalam fotosintesis, adalah bagian dari plastida. Baik sel tumbuhan maupun hewan memiliki vakuola, tetapi vakuola pada sel tumbuhan lebih besar.

Tabel 2. 1. Perbedaan Sel Tumbuhan dan sel Hewan

Bagian-Bagian Sel	Sel Tumbuhan	Sel Hewan
1. Membran plasma	Ada	Ada
2. Dinding sel	Ada	Tidak ada
3. Nukleus	Ada	Ada
4. Sitoplasma	Ada	Ada
5. Retikulum endoplasma	Ada	Ada
6. Ribosom	Ada	Ada
7. Kompleks Golgi	Ada	Ada
8. Lisosom	Ada	Ada
9. Mitokondria	Ada	Ada
10. Kloroplas	Ada	Tidak ada
11. Vakuola	Ada	Tidak ada, kecuali hewan uniselular
12. Sentirol	Tidak ada, kecuali tumbuhan tingkat rendah	Ada
13. Sentrosom	Tidak ada, kecuali tumbuhan tingkat rendah	Ada
14. Plastida	Ada	Tidak ada

Tabel 2. 2. Fungsi Organel-Organel Sel

Jenis Organel	Fungsi Pembentukan
Nukleus	Sintesis DNA dan RNA, serta penyusunan subunit ribosom (dalam nukleolus). Sintesis polipeptida dan sintesis protein. Sintesis protein membran dan vesikel transpor serta sekresi protein dan enzim hidrolitik. Sintesis lipid, metabolisme karbohidrat dalam sel hati, detoksifikasi dalam sel hati, penimbunan ion kalsium. Modifikasi, penimbunan sementara, dan transpor makro molekul, pembentukan lisosom, dan vesikel transpor.
Ribosom	
RE kasar	
RE halus	
Badan Golgi	
Jenis Organel	Fungsi Pemecahan
Lisosom	Pencemaan makanan, bakteri dan organel yang rusak, kerusakan beberapa sel selama perkembangan embrio. Bermacam-macam proses metabolik, dengan memecah H_2O_2 menghasilkan $H_2O + O_2$. Pencemaan (seperti lisosom), penimbunan senyawa kimia, pembesaran sel, keseimbangan cairan.
Peroksisom	
Vakuola	
Jenis Organel	Fungsi Pemrosesan Tenaga
Kloroplas	Perubahan energi cahaya menjadi energi kimia gula (pada tumbuhan dan beberapa protista). Perubahan energi kimia makanan menjadi energi yang siap digunakan (ATP).
Mitokondria	
Jenis Organel	Fungsi Penyokong Pergerakan dan Komunikasi Antar sel
Sitoskeleton (termasuk silia, flagela, dan sentriol dalam sel hewan)	Pemeliharaan bentuk sel, perlekatan organel, pergerakan organel dalam sel, pergerakan sel, transmisi mekanik sinyal dari luar ke dalam sel. Pemeliharaan bentuk sel dan penyokong skeleton, melindungi permukaan sel, mengikat sel dengan jaringan. Mengikat sel dengan jaringan, melindungi permukaan, pengaturan aktifitas sel. Komunikasi antar sel, mengikat sel dengan jaringan.
Dinding sel (pada tumbuhan, fungi, dan beberapa protista)	
Matriks ekstraselular (pada hewan)	
Penghubung sel	

DAFTAR PUSTAKA

- Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) SD. Jakarta : Depdiknas.
- Purnomo, dkk. 2009. Biologi Kelas XI. Pusat Perbukuan. Departemen Pendidikan Nasional.
- Rompas, dkk. 2011. Struktur Sel Epidermis dan Stomata Daun Beberapa Tumbuhan Suku Orchidaceae. JURNAL BIOSLOGOS, AGUSTUS 2011, VOL. 1 NOMOR 1 <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/bioslogos/article/view/371/294>
- Rumanta, M. 2009. *Praktikum IPA di SD*. Jakarta : Universitas Terbuka
- Subardi, dkk. 2009. *Biologi untuk Kelas X* Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Usman Samatowa,. 2011. *Pembelajaran IPA di SD*. Jakarta : Indeks
- Widodo,A. dkk. 2006. *Pendidikan IPA di SD*. Bandung : UPI Press
- Winarsih, dkk. 2008. *IPA Terpadu untuk Kelas Menengah*, Depdikbud.
- Zuliani,R,dkk. 2014. *Konsep Dasar IPA I*. PGSD, Universitas Muhammadiyah Tangerang. Buku Biologi SD, SMP, SMA (yang relevan)

BAB 3

PROSES METABOLISME SELULER

Oleh A. Fitriani Suryadi

3.1 Metabolisme

Metabolisme sel merujuk pada serangkaian reaksi kimia yang terjadi di dalam sel yang berlangsung di dalam sel untuk mendukung dan mempertahankan kehidupan. Proses ini terbagi menjadi dua bagian utama yaitu anabolisme dan katabolisme. Proses metabolisme ini memiliki peran krusial dalam kehidupan makhluk hidup, yang melibatkan reaksi yang berlangsung secara simultan, juga berfungsi dalam produksi energi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup organisme (Dhani & Brata, 2022). Secara umum, metabolisme mencakup untuk menjaga keseimbangan kehidupan, termasuk pembentukan (anabolisme) serta pemecahan (katabolisme) molekul organik kompleks.

Anabolisme adalah proses di mana sel menyusun molekul-molekul kecil disusun menjadi molekul yang lebih besar dan kompleks. Proses ini membutuhkan energi agar sel bisa membangun komponen penting yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan fungsi tubuh. Contoh dari proses ini meliputi reaksi polimerisasi, fotosintesis, kemosintesis, serta sintesis lemak. Selama proses, energi dilepaskan dan dapat

digunakan oleh tubuh untuk berbagai aktivitas dan fungsi vital. Karena metabolisme memiliki peran yang sangat penting, para ilmuwan terus berupaya memahaminya lebih dalam melalui berbagai penelitian dan eksperimen.

Hal ini tidak sepenuhnya dipahami bagaimana setiap protein saling berinteraksi untuk membentuk jaringan metabolik yang stabil (kokoh) dan memastikan bahwa proses tersebut berlangsung dengan sempurna tanpa kesalahan. (Wagner, 2012). Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, muncul sebuah pemikiran metabolik yang kompleks, jika semua komponen sudah dipahami, oleh karena itu hasil akhirnya diketahui dan diukur secara kuantitatif. (Hefzi et al., 2013).

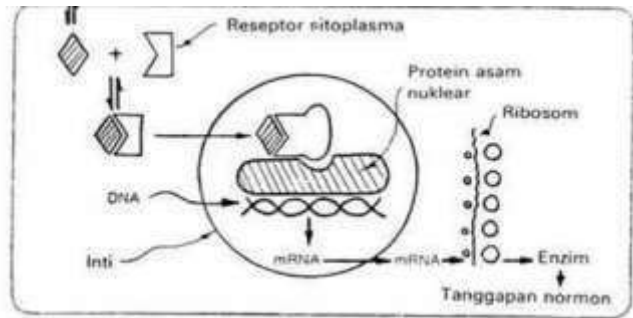
3.1.1 Konsep Dasar Metabolisme

Setiap tahap reaksi kimia dalam jalur metabolisme dikendalikan oleh enzim yang berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat proses dan memastikan reaksi berlangsung dengan efisien.

Metabolisme sel berlangsung secara alami dengan bantuan enzim. Proses ini tidak hanya melibatkan berbagai jalur metabolisme, tetapi juga berperan dalam memberikan energi dan mengelola kembali komponen-komponen yang sudah tidak diperlukan oleh tubuh. (Hefzi et al., 2013).

Regulasi menghasilkan ekspresi dalam bentuk protein yang berada di sitoplasma, retikulum endoplasma, atau melalui berbagai mekanisme translokasi protein lainnya. Fenotipe yang muncul berasal dari aliran informasi genetik, di mana DNA pertama-tama ditranskripsi menjadi RNA, lalu diubah dengan protein dalam serangkaian tahapan

transkripsi dan translasi.(Karp, 2013). Proses ini disajikan dalam ilustrasi berikut:



Gambar 3. 1. Proses transduksi sinyal yang memicu respons seluler (Suarsana, 2009).

Konsep ini menunjukkan bahwa setiap tingkat genetik (*genomic*) dapat menghasilkan ekspresi yang berbeda, tergantung pada bagaimana RNA diterjemahkan (*transcriptomic*) di dalam nukleus. Namun, proses ini belum sepenuhnya menentukan arah dan menentukan fungsi akhir. Keterkaitan antar protein *proteomic* yang membentuk jaringan metabolisme yang saling terhubung dan bekerja secara simultan masih belum dapat dijelaskan sepenuhnya. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pemahaman mengenai bagaimana protein-protein yang dihasilkan berinteraksi serta peran spesifiknya dalam proses metabolisme (Hein et al., 2013).

3.1.2 Perkembangan konsep metabolisme

Seiring dengan berkembangnya era *genome scale*, pemahaman tentang metabolisme juga semakin maju. Metabolisme kini tidak hanya dipandang menciptakan serta

memanfaatkan energi, tetapi sebagai interaksi kompleks antar protein. Proses ini mencakup berbagai aspek, termasuk kinetika enzim, parameter-parameter kimia, sinyal seluler (*signaling*), serta jaringan metabolik (*network*), yang semuanya berperan dalam mengatur keseimbangan metabolisme dalam tubuh.

Dari sisi matematika, metabolisme dikaji dengan pendekatan kuantitatif, sehingga prosesnya dapat dianalisis, diprediksi, dan dikendalikan. Sementara itu, dalam perspektif kimia, metabolisme dipahami sebagai serangkaian reaksi yang melibatkan interaksi antara substrat dan enzim, dengan regulasi yang didasarkan pada prinsip termodinamika, stoikiometri, dan kinetika reaksi. Di sisi lain, perspektif biologi berfokus pada peran genom (*genome scale* dan ekspresi gen) melalui mekanisme sinyal yang dipengaruhi oleh lingkungan (Zieger & Montpaisir, 2014).

3.2 Anabolisme

3.2.1 Pengertian Anabolisme

Anabolisme merupakan proses metabolisme berperan dalam membangun senyawa organik sederhana kemudian molekul atau senyawa kimia yang lebih kompleks. Agar dapat terjadi, tahapan ini memerlukan energi dari sumber eksternal kemudian dimanfaatkan untuk menghubungkan komposisi yang lebih terperinci. Dengan kata lain, digunakan dalam proses ini tidak hilang, melainkan disimpan dalam ikatan kimia dihasilkan. Anabolisme berlangsung dalam tiga tahap utama. Tahap pertama melibatkan pembentukan prekursor, seperti asam amino, monosakarida, dan

nukleotida, yang berfungsi sebagai bahan dasar dalam proses sintesis. Pada tahap kedua, senyawa-senyawa ini diaktifkan agar lebih reaktif dengan penggunaan energi dari ATP. Terakhir, pada tahap ketiga, prekursor yang telah diaktifkan dirangkai menjadi molekul kompleks, seperti protein, polisakarida, lemak, dan asam nukleat.

Proses ini berlangsung melalui beberapa tahapan utama. Tahap pertama dimulai dengan penyediaan prekursor, seperti asam amino, monosakarida, dan asam lemak, yang diperoleh dari jalur metabolisme katabolik. Selanjutnya, prekursor tersebut diaktifkan menggunakan energi, seperti adenosin trifosfat (ATP), sehingga menjadi lebih reaktif (Wagner, 2012). Setelah itu, terjadi proses polimerisasi, di mana prekursor yang telah diaktifkan disusun menjadi makromolekul, seperti protein, karbohidrat kompleks, dan lipid. Pada tahap terakhir, molekul yang terbentuk akan mengalami pengaturan struktur dan fungsi agar dapat berperan sesuai dengan kebutuhan sel, misalnya dalam pembentukan membran sel atau enzim (Hefzih, 2014).

Anabolisme juga melibatkan kofaktor seperti NADPH, yang berperan dalam mendukung reaksi reduksi yang dibutuhkan dalam proses biosintesis. Salah satu contohnya adalah sintesis asam lemak, yang dimulai dengan pembentukan malonil-KoA dari asetil-KoA. Proses ini kemudian berlanjut melalui serangkaian reaksi enzimatik hingga menghasilkan asam lemak dengan rantai yang lebih panjang (Voet et al., 2016). Selain itu, anabolisme dikendalikan secara ketat oleh sinyal hormonal serta mekanisme umpan balik, sehingga dapat menyesuaikan diri

dengan kebutuhan energi dan kondisi lingkungan tubuh (Campbell et al., 2022).

3.2.2 Contoh-contoh Anabolisme

Fotosintesis adalah salah satu proses anabolisme yang memanfaatkan cahaya sebagai sumber energi. Glukosa yang terbentuk dalam proses ini menyusun senyawa organik lain, misalnya selulosa, atau dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi tubuh. Setelah itu, glukosa dapat diproses lebih lanjut dengan respirasi seluler pada tumbuhan maupun hewan. Reaksi dalam respirasi seluler merupakan kebalikan dari reaksi fotosintesis. Sebelum mencapai mesofil yang menjadi tempat utama berlangsungnya fotosintesis, cahaya matahari terlebih dahulu menembus lapisan epidermis yang transparan. Lapisan kutikula yang terbuat dari lilin melapisi permukaan daun, menjadikannya tahan air. Lapisan ini berfungsi untuk membatasi penyerapan sinar matahari secara berlebihan sekaligus mengurangi penguapan air yang berlebihan.

Kemosintesis

Kemosintesis ialah proses organisme mengubah satu atau lebih molekul karbon, seperti karbon dioksida atau metana, serta senyawa nitrogen dan sumber nutrisi lainnya menjadi senyawa organik. Berbeda dengan fotosintesis yang mengandalkan cahaya matahari sebagai sumber energi, kemosintesis menggunakan energi dari oksidasi molekul anorganik, seperti gas hidrogen atau hidrogen sulfida, maupun dari metana. Secara sederhana, kemosintesis dapat disebut sebagai proses anabolisme yang bergantung pada

energi kimia. Energi ini dihasilkan melalui reaksi kimia, terutama reaksi oksidasi.

3.2.3 Sintesis Lemak

Lemak dapat disintesis dari protein dan karbohidrat dengan perantara asetil koenzim A. Sementara itu, metabolisme gliserol mengikuti jalur yang serupa dalam metabolisme karbohidrat, yaitu melalui proses pembentukan piruvat. Dalam proses sintesis lemak atau asam lemak, koenzim A berperan penting dalam memutus dan mengubah dua atom karbon sehingga terbentuk asetil Ko-A, yang menjadi komponen utama dalam pembentukan lemak. Karena pemecahan rantai karbon terjadi pada atom karbon kedua dalam struktur asam lemak, proses ini disebut beta-oksidasi. Beta-oksidasi berlangsung secara berulang hingga seluruh atom karbon dalam rantai lemak diubah dengan asetil Ko-A.

Asetil Ko-A berperan dalam metabolisme kemudian dikonversi kembali menjadi asam lemak. Oleh karena itu, Reaksi beta-oksidasi dikatakan sebagai reaksi reversibel, karena dapat berlangsung dalam dua arah. Dalam jalur metabolisme, asam piruvat yang dihasilkan dari pemecahan gliserol, bersama dengan asetil Ko-A, akan memasuki siklus asam trikarboksilat, yang berperan sebagai tahap akhir dalam proses metabolisme tubuh. Proses oksidasi lemak memerlukan lebih banyak oksigen dibandingkan oksidasi karbohidrat untuk menghasilkan energi. Hal ini disebabkan oleh perbedaan rasio atom karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dalam molekul lemak dan karbohidrat. Sebagai contoh, dalam molekul tristearin, perbandingan atom karbon, hidrogen, dan oksigen adalah 57 : 110 : 6. Sementara

itu, pada glukosa, yang juga mengandung enam atom oksigen, perbandingannya lebih kecil, yaitu 6 : 12 : 6. Perbedaan komposisi ini membuat pembakaran lemak menghasilkan energi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbohidrat. Sebagai contoh, setiap gram lemak dapat menghasilkan sekitar 9,3 kalori energi, sedangkan satu gram karbohidrat hanya menyumbang sekitar 4,1 kalori. Perbedaan nilai energi ini menunjukkan bahwa lemak menjadi sumber energi yang lebih efisien dan berfungsi sebagai cadangan energi utama dalam tubuh. Lemak dapat dibentuk dari hasil metabolisme protein dan karbohidrat dalam tubuh. Berikut proses sintesis lemak dari karbohidrat dan protein.

Sintesis Lemak dari Karbohidrat

- Glukosa dipecah menjadi piruvat, yang kemudian diubah menjadi gliserol.
- Glukosa juga dapat dikonversi menjadi gliseraldehida-3-fosfat, lalu menjadi asetil Ko-A, yang selanjutnya digunakan dalam pembentukan asam lemak.
- Gliserol yang bergabung dengan asam lemak akan membentuk lemak.

Sintesis Lemak dari Protein

- Protein dipecah menjadi asam amino dengan bantuan enzim protease.
- Asam amino tertentu dapat mengalami proses deaminasi, menghasilkan senyawa antara yang dapat dikonversi menjadi asetil Ko-A.
- Asetil Ko-A kemudian digunakan dalam sintesis asam lemak, yang selanjutnya berkontribusi dalam pembentukan lemak.

Sebelum diubah menjadi lemak, asam amino harus melewati proses deaminasi, yaitu penghapusan gugus amin dari strukturnya. Selanjutnya, hasil dari proses deaminasi akan masuk ke siklus Krebs untuk diproses lebih lanjut dalam metabolisme. Beberapa jenis asam amino, seperti serin, alanin, valin, leusin, dan isoleusin, dapat langsung dikonversi menjadi asam piruvat, yang selanjutnya diubah menjadi asetil Ko-A. Kemudian, asam piruvat dapat mengalami transformasi menjadi gliserol, yang kemudian diubah menjadi fosfogliseraldehid. Fosfogliseraldehid ini, bersama dengan asam lemak, akan mengalami proses esterifikasi sehingga terbentuk lemak. Lemak berperan sebagai cadangan energi utama bagi tubuh karena memiliki nilai kalori yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan karbohidrat. Sebagai perbandingan, setiap gram lemak dapat menghasilkan sekitar 9,3 kalori, sementara jumlah energi yang diperoleh dari satu gram karbohidrat hanya sekitar 4,1 kalori (Berg et al., 2019). Ini menunjukkan bahwa lemak adalah sumber energi yang lebih efisien dan berperan penting dalam menyimpan energi untuk jangka panjang di dalam tubuh.

3.2.4 Sintesis Protein

Sintesis protein adalah proses pembentukan rantai asam amino yang dikendalikan oleh kode genetik yang terdapat dalam DNA. Proses ini berlangsung di dalam sel dan melibatkan tiga komponen utama, yaitu DNA, RNA, dan ribosom. Dalam sintesis protein, molekul peptida terbentuk melalui ikatan antara gugus amino dari satu asam amino dengan gugus karboksil dari asam amino lainnya. Ketika dua asam amino bergabung, terbentuklah dipeptida. Sementara

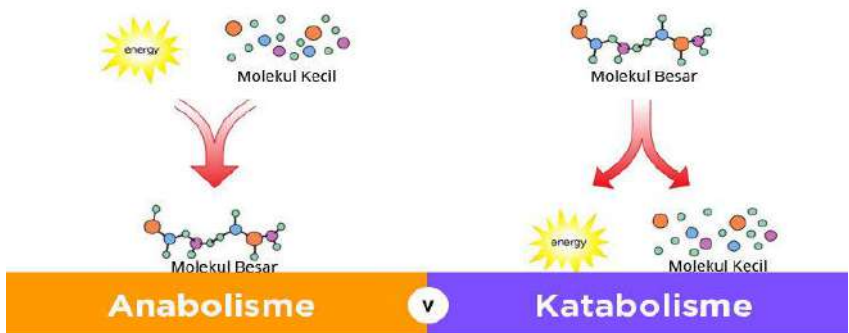
itu, jika tiga asam amino saling berikatan, hasilnya disebut tripeptida. Proses ini berlanjut hingga terbentuk rantai panjang asam amino yang disebut polipeptida. Secara umum, protein adalah polipeptida yang terbentuk dari banyak asam amino yang saling terikat dalam jumlah besar. Dengan demikian, semakin banyak asam amino yang bergabung dalam proses sintesis ini, semakin panjang rantai polipeptida yang terbentuk, hingga akhirnya membentuk struktur protein yang berfungsi sesuai dengan kebutuhan sel.

Setiap sel dalam tubuh mampu menghasilkan jenis protein tertentu sesuai dengan kebutuhannya. Proses sintesis protein ini berlangsung dengan bantuan molekul di dalam inti sel yang berperan dalam pengaturannya. Molekul utama yang mengendalikan proses ini adalah DNA dan RNA, yang berfungsi sebagai regulator utama dalam pembentukan protein.

3.3 Katabolisme

3.3.1 Definisi Katabolisme

Katabolisme yaitu proses metabolisme yang melibatkan pemecahan molekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana, disertai dengan pelepasan energi yang dapat digunakan oleh sel.



Gambar 3. 2. Pemecahan Molekul (Suarsana, 2009)

Proses pemecahan ini merupakan bagian dari katabolisme dan berlangsung di dalam mitokondria, sebuah organel yang sering disebut sebagai *powerhouse of the cell* berfungsi dalam produksi ATP, yang merupakan sumber energi utama bagi sel. Mitokondria terdiri dari dua lapisan membran, yaitu membran luar dan membran dalam, yang di dalamnya terdapat berbagai enzim penting untuk proses respirasi seluler. Berikut ini adalah tahapan katabolisme atau pemecahan karbohidrat, protein, dan lemak.

3.3.2 Katabolisme Karbohidrat

Katabolisme dimulai sejak makanan dicerna dalam tubuh. Pada tahap ini, polisakarida yang merupakan karbohidrat kompleks akan dipecah menjadi bentuk yang lebih sederhana, yaitu monosakarida. Proses ini dibantu oleh enzim yang berperan dalam mempercepat reaksi pemecahan tersebut.

Proses pemecahan karbohidrat menghasilkan energi yang kemudian dimanfaatkan oleh sel untuk berbagai aktivitas penting. Energi ini digunakan dalam pergerakan, proses pembelahan sel, transportasi zat, serta penyusunan molekul organik berukuran besar yang diperlukan untuk fungsi seluler.

a. Respirasi

Respirasi merupakan proses oksidasi dalam tubuh yang berlangsung dengan bantuan oksigen, yang berperan sebagai penerima elektron terakhir. Dalam mekanisme ini, oksigen mengalami reduksi dan berubah menjadi air (H_2O). Pada tahap awal, elektron dan hidrogen bebas ditangkap oleh NAD (*nicotinamide adenine dinucleotide*), yaitu senyawa yang berasal dari vitamin niasin, kemudian membentuk NADH_2 . Selanjutnya, hidrogen dan elektron tersebut dialirkan ke oksigen melalui rantai transport elektron. Proses ini memungkinkan NAD kembali ke bentuk awalnya, sementara air (H_2O) terbentuk sebagai produk akhirnya.

Tahap utama dalam respirasi aerob yaitu:

- 1) Glikolisis
- 2) Pembentukan Asetil Koenzim A
- 3) Siklus Asam Sitrat
- 4) Transpor Elektron (Fosforiasi Oksidatif)

b. Fermentasi

Fermentasi adalah proses penguraian senyawa organik untuk menghasilkan energi tanpa melibatkan oksigen sebagai penerima elektron terakhir. Fermentasi memiliki berbagai jenis yang diklasifikasikan berdasarkan produk akhirnya, seperti fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat.

Fermentasi Alkohol

Fermentasi alkohol berlangsung dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob), sehingga asam piruvat yang terbentuk pada tahap akhir glikolisis tidak dikonversi menjadi asetil koenzim A. Sebagai gantinya, asam piruvat mengalami proses dekarboksilasi menjadi asetaldehid dengan katalis enzim piruvat dehidrogenase. Selanjutnya, asetaldehid direduksi menjadi etanol dengan bantuan enzim alkohol dehidrogenase.

Contoh penerapan fermentasi alkohol dapat ditemukan dalam pembuatan tapai, yang dilakukan dengan bantuan ragi atau *khamir*. *Khamir* merupakan organisme anaerob fakultatif, artinya dapat berkembang dalam kondisi dengan oksigen (aerob) maupun tetap bertahan dalam lingkungan tanpa oksigen (anaerob) (Wagner, 2012).

3.3.3 Katabolisme lemak dan Protein

Selain karbohidrat, tubuh juga dapat memecah lemak dan protein untuk menghasilkan energi. Dalam proses katabolisme, pemecahan lemak dan protein biasanya menghasilkan energi dalam jumlah yang lebih kecil

dibandingkan dengan karbohidrat. Namun, lemak memiliki kandungan energi yang jauh lebih tinggi dibandingkan sumber energi lainnya, yaitu sekitar 9 kkal per gram, atau hampir dua kali lipat lebih banyak daripada karbohidrat.

Proses pemecahan lemak dimulai saat lemak memasuki sistem pencernaan. Di dalam tubuh, lemak akan diuraikan menjadi asam lemak dan gliserol. Agar dapat menghasilkan energi, asam lemak mengalami proses oksidasi di dalam mitokondria, sementara gliserol diolah melalui jalur glikolisis.

Metabolisme, gliserol akan dikonversi menjadi dihidroksi aseton fosfat sebelum digunakan dalam jalur energi. Sementara itu, Oksidasi asam lemak berlangsung dalam dua tahap utama. Tahap pertama melibatkan pemecahan asam lemak yang menghasilkan residu asetil Ko-A, sedangkan tahap kedua adalah proses oksidasi asetil Ko-A dalam siklus Krebs, yang pada akhirnya menghasilkan karbon dioksida dan energi bagi tubuh.

Katabolisme protein yaitu proses pemecahan protein, yang tersusun dari rantai asam amino, menjadi senyawa yang lebih sederhana. Walaupun protein bukan sumber energi utama bagi tubuh, oksidasi asam amino tetap menyumbang sekitar 10% dari total kebutuhan energi. Selama proses pencernaan, enzim protease menguraikan protein menjadi peptida yang lebih kecil, lalu dipecah lebih lanjut hingga menjadi asam amino. Selanjutnya, asam amino menjalani proses deaminasi, yaitu pemisahan gugus amino dari molekulnya. Proses ini berlangsung di hati melalui mekanisme deaminasi oksidatif.

3.3.4 Reaksi Katabolisme di Tubuh

Di dalam tubuh, protein mengalami proses katabolisme dan diuraikan menjadi asam amino. Setelah itu, asam amino mengalami oksidasi, yang menghasilkan urea dan karbon dioksida sebagai produk sampingan. Selain itu, proses ini juga berperan dalam menyediakan energi yang dapat digunakan oleh tubuh.

Selain berperan dalam pemecahan protein, proses katabolisme juga berfungsi menguraikan karbohidrat kompleks, seperti polisakarida, menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti glukosa, fruktosa, dan ribosa. Karbohidrat sederhana ini kemudian diproses lebih lanjut melalui jalur glikolisis untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan oleh sel.

Sementara itu, lemak diuraikan melalui proses hidrolisis, menghasilkan asam lemak dan gliserol. Selanjutnya, kedua komponen ini akan memasuki jalur glikolisis dan berbagai proses metabolisme lainnya hingga akhirnya menghasilkan energi (Karp, 2013).

Energi yang diperoleh dari berbagai proses tersebut disimpan dalam bentuk molekul adenosin trifosfat (ATP). ATP kemudian digunakan dalam berbagai proses anabolisme, seperti sintesis gula, hormon, enzim, serta untuk mendukung pertumbuhan sel dan perbaikan jaringan tubuh dari makanan yang dikonsumsi, satu gram protein yang mengalami oksidasi dapat menghasilkan sekitar 17 kJ energi, jumlah yang sama dengan energi yang dihasilkan dari satu gram karbohidrat. Sementara itu, lemak memiliki kandungan energi yang lebih tinggi, di mana satu gram lemak dapat menghasilkan sekitar 37 kJ. Berbagai sumber

energi ini diperoleh tubuh terutama melalui asupan makanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Berg, J.M., Tymoczko, J., Gatto, G.J., & Stryer, . (2019). Biochemistry. 8th ed. New York: W.H. Freeman and Company.
- Campbe, N.A., Urry, .A., Cain, M., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., & Reece, J.B. (2022). Bioogy. 12th ed. New York: Pearson Education.
- Costa et a. 2008. Compex networks: The key to systems bioogy. Instituto de Física de São Caros, Universidade de São Pao, São Caros, SP, Brazi. Jurna Genetics and Moecuar Bioogy
- Dhani, F. R., & Brata, W. W. W. (2022). Pengembangan Media Pembeajaran Menggunakan ectora Inspire pada Materi Metabolisme Se di SMA Negeri 2 Percut Sei Tuan. Bioogi Edukasi: Jurna Imiah Pendidikan Bioogi, 14(2), 42-48.
- Hefzi H et a .2013. Reconstruction of Genome Scae Metaboic Network. Hand Book of System Bioogy: Concept and Insight. First Edition. Esevier
- Karp G., (2013). Ce and Moecuar Bioogy. John Wiey & sons td.
- Kusnadi. 2009. Metabolisme. Fakutas Pendidikan Matematika dan Imu Pengetahuan Aam. Universitas Pendidikan Indonesia
- suarsana. 2009. Reguasi Metabolisme dan Sistem Organ. aboratorium Biokimia Veteriner Fakutas Kedokteran Hewan Universitas Udayana

- Wagner, A. 2012. The role of Robustness in Phenotypic Adaptation and Innovation. Institute of Evolutionary Biology and Environmental Studies, University of Zurich, Journal of The Royal Society
- Zieger, B., & Montpaysir, . (2014). Student perceived and determined knowledge of biology concepts in an upper-level biology course. *CBE—Life Sciences Education*, 13(2), 322

BAB 4

SIKLUS DAN REPRODUKSI SEL

Oleh Dheni Koerniawan

4.1 Pendahuluan

Kehidupan, dalam segala bentuknya yang beragam, dari ranah mikroskopis bakteri hingga kompleksitas makroskopis tumbuhan dan hewan, bergantung kesinambungannya pada proses mendasar yaitu pembelahan sel. Kemampuan sel yang luar biasa untuk mereplikasi diri sendiri ini bukan hanya mekanisme untuk menghasilkan individu baru, namun juga menjadi landasan pertumbuhan, perkembangan, perbaikan jaringan, dan pelestarian spesies (Alberts, 2017). Bab ini mengeksplorasi mekanisme yang mengatur siklus sel, urutan peristiwa yang sangat teratur dan tepat yang bertujuan pada duplikasi sel. Pembahasan bab ini akan menyelami fase yang berbeda dari siklus sel, melihat mekanisme seluler dan titik kontrol kritis yang memastikan keajegan proses dan mencegah kesalahan yang dapat mengakibatkan konsekuensi yang fatal bagi organisme. Pemahaman menyeluruh tentang proses ini tidak hanya penting untuk memahami prinsip-prinsip dasar biologi tetapi juga memberikan wawasan penting tentang asal-usul dan perkembangan berbagai penyakit, termasuk kanker, di mana kontrol siklus sel sering terganggu (Hanahan & Weinberg, 2011).

Pentingnya Pembelahan Sel: Pertumbuhan, Perbaikan, dan Reproduksi

Pentingnya pembelahan sel bervariasi tergantung pada organisme dan riwayat hidupnya. Pada organisme uniseluler pembelahan sel identik dengan reproduksi. Satu sel membelah melalui proses seperti pembelahan biner (pada bakteri) atau mitosis (pada beberapa protista), menghasilkan dua sel anak yang identik secara genetik, secara efektif menciptakan dua organisme baru (Lodish et al., 2021). Bentuk reproduksi ini, yang disebut reproduksi aseksual, menghasilkan populasi klonal di mana keturunannya hampir identik dengan induknya, kecuali mutasi langka.

Pada organisme multiseluler, peran pembelahan sel menjadi jauh lebih kompleks dan beragam. Selama perkembangan embrio, sel telur yang dibuahi (zigot) mengalami pembelahan sel yang cepat dan terkoordinasi dengan tepat, yang dikenal sebagai pembelahan, untuk membentuk embrio multiseluler. Proses embriogenesis ini tidak hanya melibatkan peningkatan jumlah sel tetapi juga diferensiasi sel, di mana sel mengkhususkan diri menjadi berbagai jenis dengan fungsi yang berbeda, yang pada akhirnya menimbulkan organisasi jaringan dan organ yang kompleks (Alicea, Bastani, Gordon, Crawford-Young, & Gordon, 2024; Carlberg & Molnár, 2018; Chipman, 2024; Karperien et al., 2014). Sepanjang umur organisme multiseluler, pembelahan sel terus memainkan peran penting. Sangat penting untuk pertumbuhan, memungkinkan organisme bertambah besar dengan menambahkan lebih banyak sel. Ini juga penting untuk

pemeliharaan dan perbaikan jaringan. Misalnya, sel-sel kulit terus-menerus ditumpahkan dan digantikan oleh sel-sel baru yang dihasilkan melalui pembelahan sel, memastikan integritas kulit sebagai penghalang pelindung. Demikian pula, organ dalam seperti hati memiliki kapasitas yang luar biasa untuk regenerasi melalui pembelahan sel setelah cedera atau kerusakan (Alberts, 2017).

Pembelahan sel sangat penting untuk reproduksi seksual pada eukariota. Proses ini melibatkan jenis pembelahan sel khusus yang disebut meiosis, yang menghasilkan gamet haploid (sel sperma dan sel telur). Gamet ini hanya mengandung setengah jumlah kromosom dibandingkan dengan sel induk. Perpaduan sperma dan sel telur selama pembuahan mengembalikan jumlah kromosom diploid dalam zigot yang dihasilkan, memulai perkembangan individu baru. Meiosis juga merupakan sumber variasi genetik dalam populasi yang bereproduksi secara seksual melalui proses seperti persilangan dan bermacam-macam kromosom independen.

Terminologi Dasar

Pemahaman yang jelas tentang istilah-istilah berikut sangat penting untuk memahami mekanisme pembelahan sel:

Tabel 4. 1. Beberapa terminologi dasar terkait pembelahan sel

<i>Siklus Sel</i>	Urutan peristiwa yang diurutkan yang dialami sel dari satu pembelahan sel ke pembelahan sel berikutnya. Proses siklus ini meliputi pertumbuhan sel, replikasi DNA, dan pemisahan kromosom yang tepat selama pembelahan sel.
<i>Mitosis</i>	Proses pembelahan nuklir dalam sel eukariotik, menghasilkan dua inti yang secara genetik identik dengan inti induk. Mitosis sangat penting untuk pertumbuhan, perbaikan, dan reproduksi asexual pada beberapa organisme.
<i>Meiosis</i>	Jenis pembelahan sel khusus yang terjadi pada organisme yang bereproduksi secara seksual untuk menghasilkan gamet haploid (kromosom seks). Meiosis melibatkan dua putaran pembelahan sel dan menghasilkan empat sel anak yang berbeda secara genetik, masing-masing dengan setengah jumlah kromosom sebagai sel induk.
<i>Sitokinesis</i>	Pembelahan sitoplasma, yang biasanya mengikuti pembelahan nuklir (mitosis atau meiosis), menghasilkan dua sel anak yang terpisah, masing-masing mengandung nukleus dan sebagian dari sitoplasma dan organel.
<i>Kromosom</i>	Struktur yang terdiri dari DNA dan protein (secara kolektif disebut kromatin) yang membawa informasi genetik dalam bentuk gen. Selama pembelahan sel, kromosom mengembun menjadi struktur yang kompak dan terlihat.
<i>Kromatin</i>	Kompleks DNA dan protein yang membentuk kromosom. Dalam sel yang tidak membelah, kromatin ada dalam keadaan yang kurang kental, memungkinkan akses untuk ekspresi gen. Selama pembelahan sel, kromatin mengembun untuk memfasilitasi pemisahan kromosom.
<i>Sister Chromatids</i>	Dua salinan identik dari kromosom yang diproduksi selama replikasi DNA dan digabungkan bersama di sentromer. Mereka dipisahkan selama mitosis dan meiosis II, memastikan bahwa setiap sel anak menerima salinan lengkap dari materi genetik.

<i>Kromosom Homolog</i>	Pasangan kromosom dalam organisme diploid yang membawa gen untuk sifat yang sama dalam urutan yang sama. Satu kromosom dari setiap pasangan diwarisi dari masing-masing orang tua. Kromosom homolog berpasangan selama meiosis I, memungkinkan rekombinasi genetik.
--------------------------------	---

Sumber : (Alberts, 2017; Lodish et al., 2021; Tortora & Derrickson, 2009)

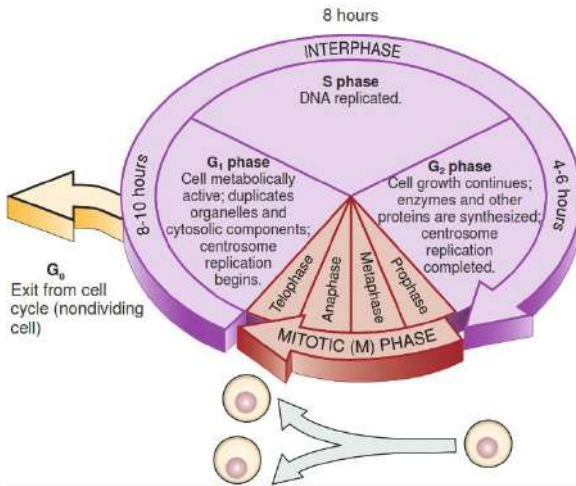
4.2 Siklus Sel

Siklus sel eukariotik secara klasik dibagi menjadi dua fase utama yaitu interfase dan mitosis yang dijabarkan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 2. Fase siklus sel eukariotik

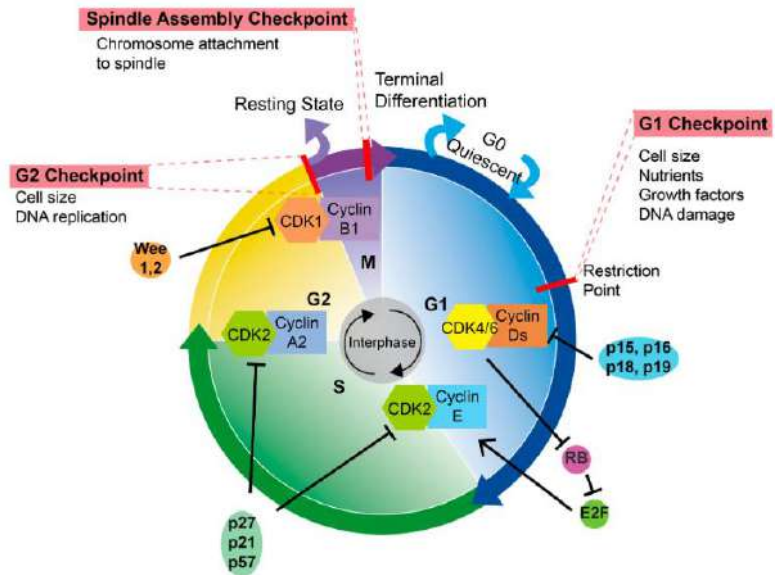
<i>Interfase</i>	Periode antara pembelahan sel, merupakan sebagian besar siklus sel. Selama interfase, sel tumbuh, mensintesis protein, mereplikasi DNA-nya, dan bersiap untuk pembelahan sel. Interfase dibagi lagi menjadi tiga fase berbeda
<i>Fase G1 (Gap 1)</i>	Periode pertumbuhan sel aktif, aktivitas metabolisme, dan sintesis protein. Sel memantau lingkungan dan keadaan internalnya untuk menentukan apakah akan melanjutkan pembelahan sel.
<i>Fase S (Sintesis)</i>	Fase penting dari replikasi DNA, di mana setiap kromosom diduplikasi untuk menghasilkan dua kromatid saudara yang identik.
<i>Fase G (Gap 2)</i>	Periode pertumbuhan sel lebih lanjut dan persiapan untuk mitosis. Sel mensintesis protein yang diperlukan untuk pembelahan sel dan memeriksa kerusakan DNA sebelum memasuki fase M.
<i>Fase M (Mitosis)</i>	Fase pembelahan sel aktif, meliputi pembelahan nuklir (mitosis) dan pembelahan sitoplasma (sitokinesis).

Sumber : (Alberts, 2017; Tortora & Derrickson, 2009)



Gambar 4. 1. Siklus sel (Tortora & Derrickson, 2009)

Siklus sel diatur secara ketat oleh serangkaian *checkpoint* dan protein pengatur, termasuk siklin dan *cyclin-dependent kinase* (CDK) (Lodish et al., 2021). Mekanisme regulasi ini memastikan bahwa siklus sel berkembang hanya ketika kondisinya memberikan dampak baik dan bahwa setiap kerusakan DNA diperbaiki sebelum pembelahan. *Checkpoint* ini menilai integritas DNA, ukuran sel, dan ketersediaan nutrisi.



Gambar 4. 2. Checkpoint dan protein pengatur siklus sel
(Hu & Huang, 2023)

Tabel 4. 3. Checkpoint dalam interfase

Checkpoint G1	<i>checkpoint</i> ini menilai ukuran sel, ketersediaan nutrisi, dan integritas DNA. Jika kondisinya tidak menguntungkan, sel dapat memasuki keadaan diam (fase G0) atau mengalami apoptosis.
Checkpoint G2	<i>checkpoint</i> ini memverifikasi bahwa replikasi DNA telah diselesaikan secara akurat dan tidak ada kerusakan DNA. Jika kesalahan terdeteksi, siklus sel dihentikan untuk memungkinkan perbaikan.
Checkpoint M	Juga dikenal sebagai <i>checkpoint</i> spindle, ini memastikan bahwa semua kromosom terpasang dengan benar ke alat spindle sebelum anafase dimulai.

Sumber : (Alberts, 2017)

Siklin dan CDK

Siklin adalah protein pengatur yang kadarnya berfluktuasi sepanjang siklus sel. Mereka mengaktifkan CDK, yang merupakan enzim yang memfosforilasi protein target untuk mendorong siklus sel ke depan. Kompleks siklin-CDK sangat penting untuk transisi antara fase yang berbeda dari siklus sel. Misalnya, kompleks siklin D-CDK4/6 mendorong perkembangan melalui fase G1, sedangkan kompleks siklin B-CDK1 sangat penting untuk inisiasi mitosis (Lodish et al., 2021).

Jika *checkpoint*, itu dapat menyebabkan pembelahan sel yang tidak terkontrol, yang mengakibatkan kanker. Misalnya, mutasi pada gen yang mengatur siklus sel dapat menyebabkan pembentukan tumor (Tamura, 2015).

4.3 Reproduksi Sel

Reproduksi sel adalah proses biologis mendasar yang memungkinkan organisme tumbuh, memperbaiki jaringan, dan bereproduksi. Proses ini terutama terjadi melalui dua jenis pembelahan sel: mitosis dan meiosis. Setiap jenis pembagian memiliki tujuan yang berbeda dan mengikuti mekanisme tertentu.

Mitosis: Proses Pembelahan Sel Somatik

Mitosis adalah proses di mana sel somatik tunggal (non-reproduksi) membelah untuk menghasilkan dua sel anak yang identik, masing-masing dengan jumlah kromosom yang sama dengan sel induk (Bianconi et al., 2013).

Tabel 4. 4. Fase Mitosis

<i>Interfase</i>	Sel bersiap untuk pembelahan dengan mereplikasi DNA dan organelnya.
<i>Profase</i>	Kromatin mengembang menjadi kromosom yang terlihat, dan selubung inti sel mulai menghilang.
<i>Metafase</i>	Kromosom sejajar pada bidang garis tengah sel.
<i>Anafase</i>	Kromatid identik ditarik terpisah ke kutub sel yang berlawanan.
<i>Telofase</i>	Selubung inti sel berubah di sekitar kromatid yang terpisah dan menjadi kromosom individual (tidak berpasangan).
<i>Sitokinesis</i>	Sitoplasma membelah, menghasilkan dua sel anak yang terpisah.

Mitosis sangat penting untuk pertumbuhan, perbaikan jaringan, dan reproduksi aseksual pada beberapa organisme. Ini memastikan bahwa setiap sel anak menerima salinan yang tepat dari materi genetik sel induk (Fisher & Kaldis, 2016).

Meiosis: Proses Pembentukan Gamet

Meiosis adalah bentuk khusus pembelahan sel yang mengurangi jumlah kromosom hingga setengahnya, menghasilkan empat sel haploid yang beragam secara genetik (sel sperma dan sel telur) dari satu sel induk diploid (Tortora & Derrickson, 2009).

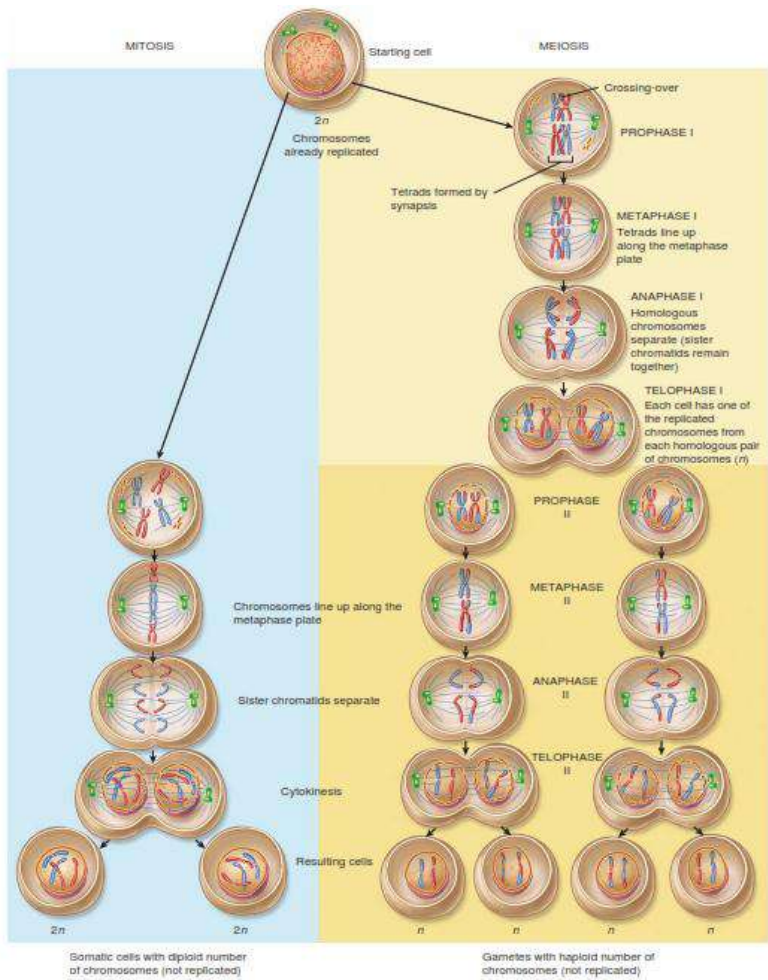
Tabel 4. 5. Fase Meiosis

Meiosis I	
<i>Profase I</i>	Kromosom homolog berpasangan dan bertukar materi genetik melalui persilangan, meningkatkan keragaman genetik.
<i>Metafase I</i>	Kromosom berpasangan sejajar di khatulistiwa.
<i>Anafase I</i>	Kromosom homolog ditarik terpisah ke kutub yang berlawanan.
<i>Telofase I</i>	Dua sel baru terbentuk, masing-masing dengan setengah dari jumlah kromosom asli
Meiosis II	
Mirip dengan mitosis, di mana dua sel dari Meiosis I membelah lagi untuk memisahkan kromatid saudara, menghasilkan empat sel haploid.	

Sumber : (Alberts, 2017; Tortora & Derrickson, 2009)

Meiosis sangat penting untuk reproduksi seksual, memastikan variasi genetik di antara keturunan, yang sangat penting untuk evolusi dan adaptasi (Bianconi et al., 2013).

Reproduksi sel melalui mitosis dan meiosis adalah proses yang kompleks namun penting yang mendukung pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi pada organisme hidup. Memahami proses ini dan regulasinya sangat penting untuk wawasan tentang biologi perkembangan dan pengobatan penyakit seperti kanker (Almalki, 2023; Mir & Sofi, 2023; Tamura, 2015; Visconti, Della Monica, & Grieco, 2016).



Gambar 4. 3. Perbandingan pembelahan mitosis dan meiosis (Tortora & Derrickson, 2009)

DAFTAR PUSTAKA

- Alberts, B. (2017). Molecular Biology of The Cell. In *Molecular biology of the cell*. Retrieved from https://books.google.com/books/about/Molecular_Biology_of_the_Cell.html?id=jK6UBQAAQBAJ
- Alicea, B., Bastani, S., Gordon, N. K., Crawford-Young, S., & Gordon, R. (2024). *The Molecular Basis of Differentiation Wave Activity in Embryogenesis*. <https://doi.org/10.1101/2024.06.04.597397>
- Almalki, S. G. (2023). The pathophysiology of the cell cycle in cancer and treatment strategies using various cell cycle checkpoint inhibitors. *Pathology Research and Practice*, 251. <https://doi.org/10.1016/J.PRP.2023.154854>
- Bianconi, E., Piovesan, A., Facchin, F., Beraudi, A., Casadei, R., Frabetti, F., ... Canaider, S. (2013). An estimation of the number of cells in the human body. *Annals of Human Biology*, 40(6), 463–471. <https://doi.org/10.3109/03014460.2013.807878>
- Carlberg, C., & Molnár, F. (2018). Embryogenesis and Cellular Differentiation. *Human Epigenomics*, 123–140. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7614-5_8
- Chipman, A. D. (2024). Embryogenesis. *Organismic Animal Biology*, 153–156. <https://doi.org/10.1093/OSO/9780192893581.003.0025>
- Fisher, A. G., & Kaldis, P. (2016). Quo Vadis Cell Growth and Division? *Frontiers in Cell and Developmental Biology / Www.Frontiersin.Org*, 1, 95. <https://doi.org/10.3389/fcell.2016.00095>
- Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell*, 144(5), 646–674. <https://doi.org/10.1016/J.CELL.2011.02.013>

- Hu, Q., & Huang, T. (2023). Regulation of the Cell Cycle by ncRNAs Affects the Efficiency of CDK4/6 Inhibition. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), 8939. <https://doi.org/10.3390/IJMS24108939/S1>
- Karperien, M., Roelen, B. A. J., Poelmann, R. E., Gittenberger-De Groot, A. C., Hierck, B. P., DeRuiter, M. C., ... Gibbs, S. (2014). Tissue Formation during Embryogenesis. *Tissue Engineering*, 67–109. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420145-3.00003-1>
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., ... Amon, A. (2021). Molecular Cell Biology. In *Molecular Cell Biology (International Edition)*. New York: W. H. Freeman & Company. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tudublin/reader.action?docID=6499946>
- Mir, M. A., & Sofi, S. (2023). Cell Cycle and Cancer. *Therapeutic Potential of Cell Cycle Kinases in Breast Cancer*, 83–101. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8911-7_4
- Tamura, K. (2015). Development of cell-cycle checkpoint therapy for solid tumors. *Japanese Journal of Clinical Oncology*, 45(12), 1097–1102. <https://doi.org/10.1093/JJCO/HYV131>
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2009). *Principles of Anatomy and Physiology* (12th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Visconti, R., Della Monica, R., & Grieco, D. (2016). Cell cycle checkpoint in cancer: A therapeutically targetable double-edged sword. *Journal of Experimental and Clinical Cancer Research*, 35(1). <https://doi.org/10.1186/S13046-016-0433-9>

BAB 5

TRANSPORTASI MELALUI MEMBRAN SEL

Oleh Dewi Ratih Tirto Sari

5.1 Pendahuluan

Transportasi seluler merupakan salah satu mekanisme dasar dalam sel yang penting untuk kelangsungan hidup sel. Transportasi sel didefinisikan sebagai proses pergerakan zat terlarut atau solute dan air melalui membrane sel untuk mencapai homeostasis. Kegiatan transportasi seluler ini berfungsi untuk mempertahankan komposisi intraseluler, mendukung fungsi vital sel seperti metabolisme, replikasi, dan mekanisme seluler lainnya. Selain itu, adanya pertukaran zat terlarut interseluler dan intraseluler juga berperan dalam mencukupi kebutuhan nutrisi seluler dan pensinyalan seluler. Mekanisme pertukaran zat terlarut ini difasilitasi oleh membrane sel. Transportasi seluler melalui membrane sel memegang peranan penting sebagai pemahaman mekanisme proses biologis sel baik seluler maupun molekuler. Selain itu, juga berperan penting dalam terapi penyakit dan system penghantaran obat di dalam tubuh. Oleh karena itu, pada bab ini diulas komponen transportasi seluler, mekanisme, jenis transporter, dan peranan membran transport.

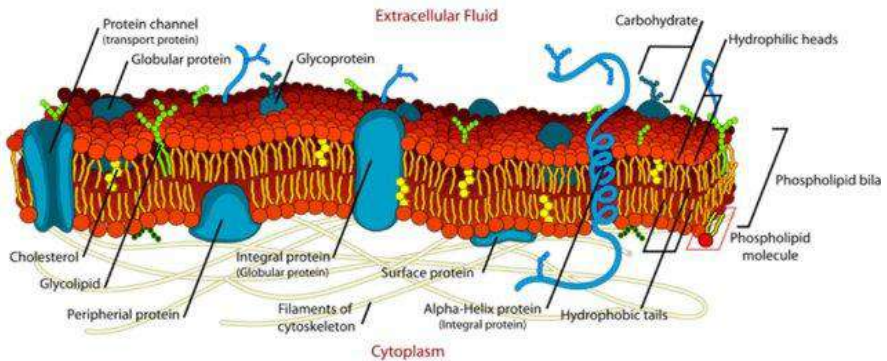
5.2 Membran Sel

Membran sel merupakan organel sel yang melindungi komponen di dalam sel. Membran sel memiliki bentuk yang tipis dengan ketebalan 4 – 10 nm. Struktur membran sel terdiri dari dua lapisan fosfolipid yang dikenal sebagai fosfolipid bilayer. Lapisan fosfolipid bilayer memiliki sifat polar pada kepala (luar) dan non-polar pada ekor (sisi dalam) (Gambar 5.1). Lipid pada membran terdiri atas fosfolipid dan sterol, yang mudah larut pada pelarut organik. Fosfolipid larut dalam air, sterol memiliki cincin hidrokarbon kompleks yang hidrofobik dan gugus hidroksil yang hidrofilik. Kedua komponen ini melengkapi membran sel bersifat amphiphilic, yang memiliki sifat kelarutan dalam lemak dan air. Sifat amphiphilic ini menyebabkan membran sel bersifat semi-permeable. Struktur membran sel terdiri atas kepala dan ekor. Bagian kepala terdiri dari molekul gliserol dan gugus fosfat yang bersifat hidrofilik/ polar. Pada kepala juga terdapat gugus fosfor (P) yang bermuatan negatif, dan menarik gugus lain yang bermuatan positif atau netral. Bagian kepala mengikat rantai asam lemak panjang yang membentuk seperti ekor.

Bagian ekor bersifat hidrofobik dan mudah larut dalam pelarut organik. Lipid bilayer pada membran sel merupakan struktur termodinamika yang paling stabil dengan afinitas kimia yang kompleks. Menariknya, struktur fosfolipid dan kolesterol yang dicampur dengan air akan membentuk struktur globular secara spontan. Struktur ini dikenal sebagai liposom. Liposom memiliki bentuk bulat konsentris dengan satu bentuk bulatan dengan bulatan lainnya membentuk setengah dari dinding berlapis ganda. Fosfolipid dari lapisan satu berhadapan dengan lapisan yang lain

dengan arah yang sama. Struktur ini akan membentuk seperti sandwich dengan rantai asam lemak dibagian tengah bercampur dalam larutan organik. Membran sel tidak sepenuhnya terdiri dari membran lipid, tetapi juga terdapat komponen protein dan karbohidrat.

Protein pada membran terdiri dari protein intrinsic dan ekstrinsik. Protein ekstrinsik terikat oleh ikatan ionik lemah pada fosfolipid, sedangkan protein intrinsic berikatan dengan ikatan ion kuat pada fosfolipid. Protein intrinsic mengandung urutan asam amino spesifik yang terdiri atas 20 – 24 asam amino. Protein membran juga memiliki rantai samping yang mengikat gula kompleks, yang disebut sebagai glikoprotein. Glikoprotein ini terlibat dalam pensinyalan seluler, dan mekanisme seluler lainnya. Jenis membran protein lainnya yaitu protein integral, globular, protein channel, protein transporter, dan protein perifer (Mumtaz, 2022).



Gambar 5. 1. Struktur membran sel
(Sumber : (Bodenes, 2017))

5.3 Membran *channel*

Membran *channel* atau protein transporter yang berbentuk saluran atau pori merupakan struktur protein yang memfasilitasi transport molekul atau ion. Protein *channel* memiliki jenis yang beragam berdasarkan spesifisitas dan ukuran. Protein *channel* memiliki mekanisme transport dengan difusi, mengalirkan zat terlarut berdasarkan gradien konsentrasi. Protein *channel* dalam membran memiliki mekanisme seperti saluran, hanya menyalurkan, tidak mengikat molekul atau ion yang bergerak. Aliran molekul diatur dengan mekanisme buka-tutup pori. Jenis membran *channel* dibagi menjadi tiga, yaitu α , β -barrel, dan *channel* berbentuk pori toksin (Alam et al., 2023; Mumtaz, 2022).

Channel tipe α memiliki struktur homo/hetero oligomer protein yang bervariasi, terdiri dari 2 – 22 α -heliks transmembran domain. Transportasi yang melewati channel tipe α tidak memerlukan energi dan pergerakannya menuju gradien konsentrasi rendah. Channel tipe α seperti channel spesifik K^+ , protein channel fosforilasi, Ca^{2+} intraseluler, dan protein G. Channel tipe β -barrel disebut juga porin, terdiri dari domain transmembran β . Tipe ini ditemukan pada ion channel yang terlibat pada proses apoptosis mitokondria. *Channel* berbentuk pori toksin merupakan channel yang ditemukan pada bakteri. Contoh channel berbentuk pori toksin yaitu defensin, protein antibiotik kaya sistein. Defensin berperan dalam regulasi endokrin selama infeksi dan ditemukan pada sel epitel dan hematopoietic.

Protein channel lainnya yaitu aquaporin (AQP), yang merupakan channel tipe- α yang bertanggung jawab dalam pergerakan molekul air. Aquaporin ditemukan di membran dalam bentuk homotetramer dengan enam domain α – heliks transmembran yang membentuk pori dan terdapat pada ginjal. Polimorfisme gen penyandi aquaporin menyebabkan disfungsi ginjal yang dikaitkan dengan diabetes insipidus nefrogenik (NDI), hipokalemia, dan hiperkalsemia. Ion channel, merupakan channel yang bertanggungjawab terhadap pergerakan ion. Ion channel dibagi menjadi enam didasarkan pada jenis ionnya, yakni kalsium, kalium, natrium, klorida, protein *gap junction*, dan porin (Schultz, 2013).

Ligand gate ion channel, merupakan channel yang memediasi aliran ion akibat adanya interaksi ligand dengan protein channel. Mekanisme pembukaan/penutupan channel diatur oleh interaksi ligand dan reseptornya. Jenis channel ini ditemukan pada pertukaran neurotransmitter. Famili protein *Ligand gate ion channel* dibagi menjadi 10 jenis, yaitu reseptor ionotropik 5-hidroksitriptamin (5-HT₃: serotonin), reseptor GABA-A, reseptor asetilkolin nikotinik (nAChR), reseptor glutamat ionotropik, saluran berpagar ATP (CFTR), reseptor IP₃, reseptor glisin (GlyR), reseptor purinergik (P₂X), reseptor ryanodin (RyR), dan saluran yang diaktifkan oleh seng (Zn²⁺) (Alam et al., 2023; Mumtaz, 2022; Schultz, 2013).

5.4 Membran Transporter

Protein membran transporter berperan penting dalam fisiologi, metabolisme dan pensinyalan seluler. Protein transporter memfasilitasi pergerakan ion anorganik, hormon, asam amino, gula, dan molekul lainnya. Sama seperti dengan protein channel, protein membran transporter juga bersifat spesifik bertanggung jawab pada molekul tertentu.

Protein transporter glukosa merupakan jenis superfamily transporter terbesar, dengan 74 famili protein dan lebih dari 10.000 jenis protein. Jenis transporter glukosa ditemukan di dalam organ beragam, tergantung pada fungsinya. GLUT1 ditemukan pada darah, otak, dan liver, GLUT2 ditemukan pada liver, pancreas dan usus halus. GLUT3 ditemukan pada neuron, otak, dan sperma, sedangkan GLUT5 dapat ditemukan pada otot rangka, jaringan adiposa, dan liver. Jenis protein transporter lainnya yaitu solute carrier (SLC) yang memegang peran penting dalam transport molekul kecil yang melewati lapisan lipid. SLC terdiri dari 450 jenis dengan substrat spesifik dan didasarkan pada kebutuhan metabolisme. SLC bertanggungjawab dalam nutrisi termasuk absorbs dan ekskresi nutrisi. Disfungsi SLC pada sel berkontribusi dalam proliferasi sel kanker dalam hal akumulasi biomassa, homeostasis reduksi-oksidasi, dan metabolisme sel. Mutasi gen penyandi SLC memengaruhi respon obat dalam terapi kanker (Alam et al., 2023). Selain itu, mutasi pada protein SLC6 mengindikasikan gangguan kecerdasan, efektif dan neurologis. Polimorfisme SLC6A2 dilaporkan menyebabkan depresi dan anoreksia, sedangkan disfungsi protein SLC6A1 teridentifikasi pada pasien epilepsi dan skizofrenia. Mutasi

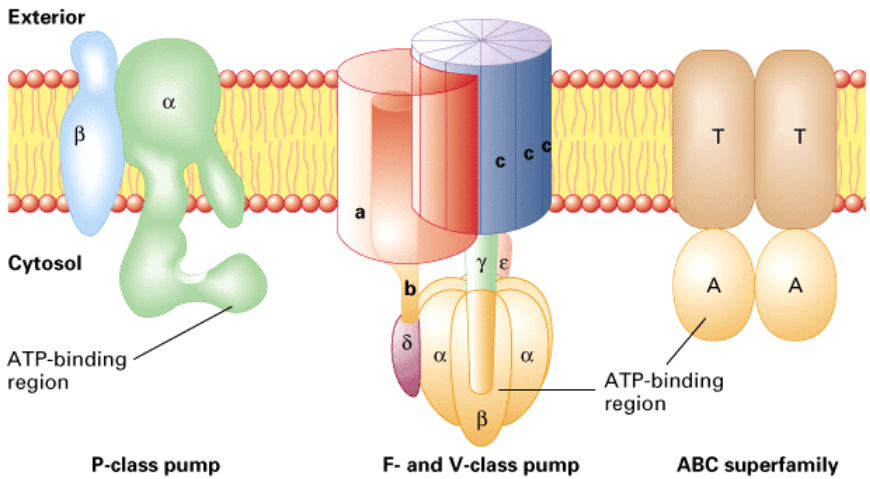
SLC6A3 terdeteksi pada pasien dengan Parkinson, sindrom Tourette, dan ADHD. Disfungsi SLC6A4 menyebabkan gangguan kecemasan, depresi, dan autisme (Colas et al., 2016).

Protein transporter tidak hanya teridentifikasi dalam asupan dan metabolisme sel, namun juga dilaporkan sebagai transporter asam lemak rantai pendek, asam monokarboksilat dan laktat, seperti halnya SLC5A8. SLC6A19 memegang peranan penting dalam sirkulasi asam amino netral, rendahnya ekspresi SLC6A19 menyebabkan gangguan sekresi asam amino di tubulus proksimal dengan gejala ruam, ataksia, dan psikosis. SLC11A2 terlibat dalam penyerapan zat besi (Fe), transportasi Mangan (Mn), Kobalt (Co), Kadmium (Cd), Nikel, Seng (Zn), dan Tembaga (Colas et al., 2016).

Jenis transporter lain yang terlibat dalam fosforilasi yaitu ATPase. ATPase menghidrolisis ATP selama proses perpindahan molekul melalui fosforilasi. Transporter ATPase terlibat dalam proses replikasi DNA, eksositosis dan endositosis. Jenis ATPase yang memegang peranan penting pada eukariot yaitu ada empat, ATPase Tipe – E, tipe – F, tipe – P, dan tipe V (Gambar 5.2). ATPase tipe-E merupakan transporter permukaan sel yang menghidrolisis berbagai nukleosida trifosfat (NTP) dan tergantung pada ion Ca^{2+} atau Mg^{2+} . Substrat yang digunakan ATPase tipe E yaitu ATP, ADP, dan UTP. ATPase tipe-F melakukan translokasi atom hidrogen di mitokondria selama fosforilasi oksidatif. ATPase tipe-P ditemukan di membran plasma dan terlibat dalam pengangkutan ion H^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Co^{2+} , K^+ , Na^+ , Cd^{2+} , Ag^{2+} , Ca^{2+} , dan Zn^{2+} . ATPase tipe V homolog dengan

ATPase tipe F, ditemukan pada vakuola, makrofag, neutrophil, lisosom, dan nefron renal. ATPase tipe V berperan dalam proses pelepasan neurotransmitter, endositosis, transportasi metabolit, dan pengangkutan protein (Kühlbrandt, 2004).

Transporter ATPase pada prokariot dikenal sebagai *ATP synthase (ATP)-binding cassette (ABC) transporters*. Jenis transporter ABC berperan penting untuk viabilitas sel, virulensi dan patogenesis. ABC transporter juga memegang peran penting dalam suplai nutrisi, termasuk pergerakan karbohidrat, lemak, dan asam amino. Sama seperti jenis transporter lainnya, transporter ABC juga memiliki jenis yang bervariasi. Transporter ABCA1 berperan dalam pengangkutan kolesterol, menginduksi inflamasi dengan meningkatkan kadar makrofag. Disfungsi ABCA1 mengakibatkan penyakit Tangier dengan gejala amandel dan menurunnya kadar HDL dalam serum (Jacobo-Albavera et al., 2021). Transporter jenis ABCB4, merupakan famili dari P-glikoprotein yang resisten terhadap obat. Polimorfisme gen ABCB4 menyebabkan gangguan sirosis hati dan kolelitiasis. Heterodimer transpor ABCG5 dan ABCG8, berperan mencegah absorpsi sterol dan kolesterol pada usus dan bertanggungjawab menyalurkan kolesterol dari liver ke empedu. Protein transporter ABCB7 terlokalisasi pada inner membran mitokondria yang terlibat dalam homeostasis zat besi. Kelainan ABCB7 memicu terjadinya anemia (Nie et al., 2021; Wang et al., 2022).



Gambar 5. 2. Jenis ATPase dan ATPase Binding cassette (ABC)
 (Sumber : (Lodish, 2000))

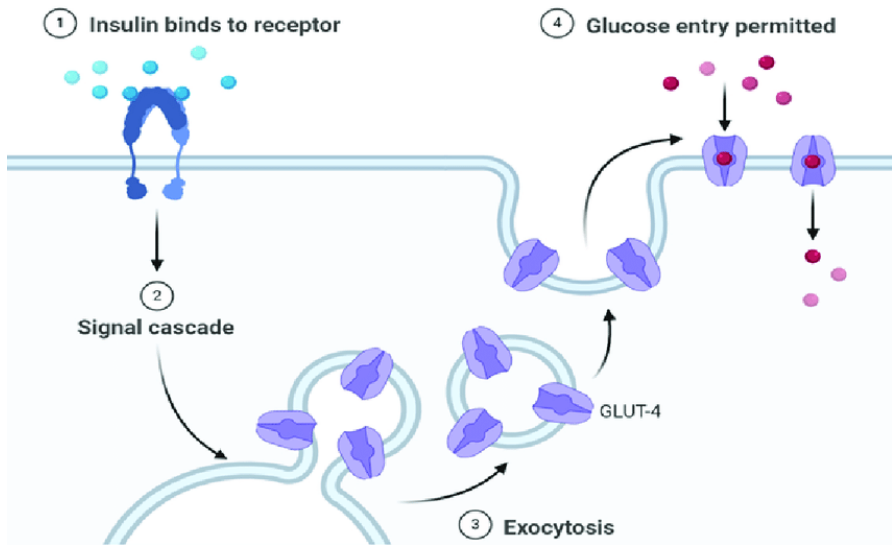
5.5 Mekanisme Transportasi Seluler

Mekanisme transportasi seluler didefinisikan perpindahan molekul atau material dari dalam ke luar sel atau sebaliknya. Berdasarkan kebutuhan energi, mekanisme transportasi seluler dibagi dua yaitu transportasi aktif dan pasif. Transportasi aktif membutuhkan energi, sebaliknya transport pasif tidak memerlukan energi, namun perpindahan molekul pada transportasi pasif dengan menuruni gradien konsentrasi dari konsentrasi tinggi ke rendah.

Transportasi pasif seperti difusi sederhana dan terfasilitasi yang melibatkan channel protein seperti aquaporin. Difusi merupakan proses spontan zat bergerak dari konsentrasi solut tinggi ke konsentrasi solute rendah

untuk mencapai homeostasis. Difusi dibagi menjadi difusi sederhana dan terfasilitasi. Difusi sederhana merupakan transportasi seluler yang melintasi membrane sel secara langsung, tanpa melalui transporter, sedangkan difusi terfasilitasi pergerakan molekul yang melibatkan protein transporter. Difusi sederhana seperti pergerakan molekul air dari luar ke dalam sel atau sebaliknya.

Difusi terfasilitasi dapat ditemukan pada perpindahan molekul glukosa melalui transporter GLUT4 (Gambar 5.3). Transporter GLUT4 terdapat pada adiposa dan otot rangka. Perpindahan glukosa melalui GLUT4 dipicu oleh insulin, yang menyebabkan glukosa dari luar sel dapat berpindah ke dalam sel. Jumlah glukosa yang masuk sebanding dengan jumlah glukosa yang dikonsumsi, hingga konsentrasi glukosa di dalam sel tersaturasi. Dalam kasus diabetes mellitus, sel tidak merespon insulin, sehingga GLUT4 tidak mentransport glukosa ke dalam sel, yang berimbas pada lonjakan glukosa darah.



Gambar 5. 3. Mekanisme transport glukosa melalui GLUT4

(Sumber : (Singh et al., 2020)

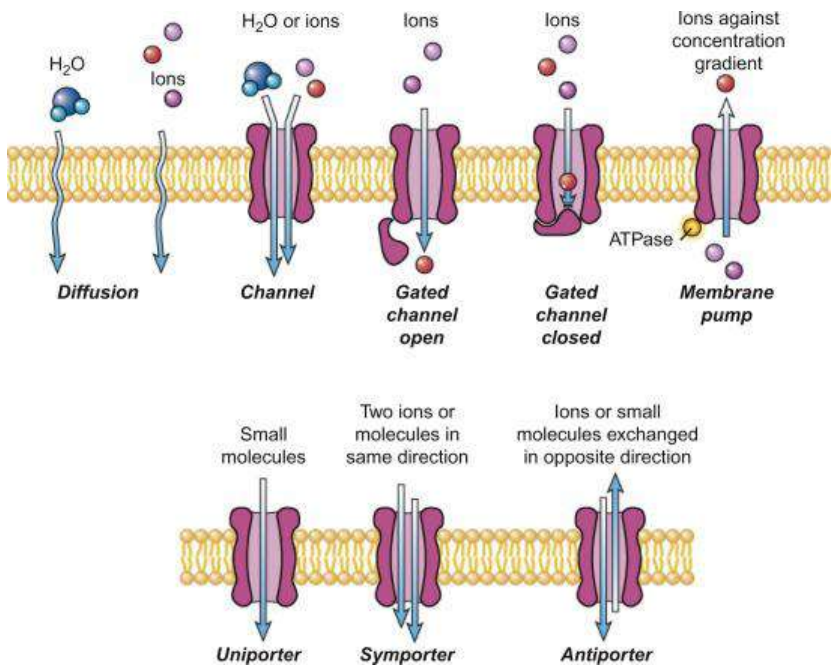
Osmosis merupakan salah satu mekanisme transportasi molekul akibat perbedaan konsentrasi zat terlarut di kedua sisi sel. Perpindahan osmosis terjadi Ketika molekul air melewati membrane dari konsentrasi air yang tinggi ke konsentrasi yang rendah. Osmosis dibagi menjadi dua, yaitu endosmosis dan eksosmosis. Endosmosis terjadi akibat masuknya air ke dalam sel, sedangkan eksosmosis merupakan proses keluarnya air dari dalam sel. Eksosmosis yang berlebihan menyebabkan penyusutan sitoplasma yang berakibat plasmolysis. Proses osmosis yang tidak seimbang akibat kelebihan air di dalam sel menyebabkan hipotonis, yang ditandai dengan pembengkakan sel, sebaliknya kekurangan cairan di dalam sel menyebabkan kondisi hipertonis. Adanya osmosis bertujuan untuk

menyeimbangkan jumlah air atau yang dikenal dengan kondisi isotonis.

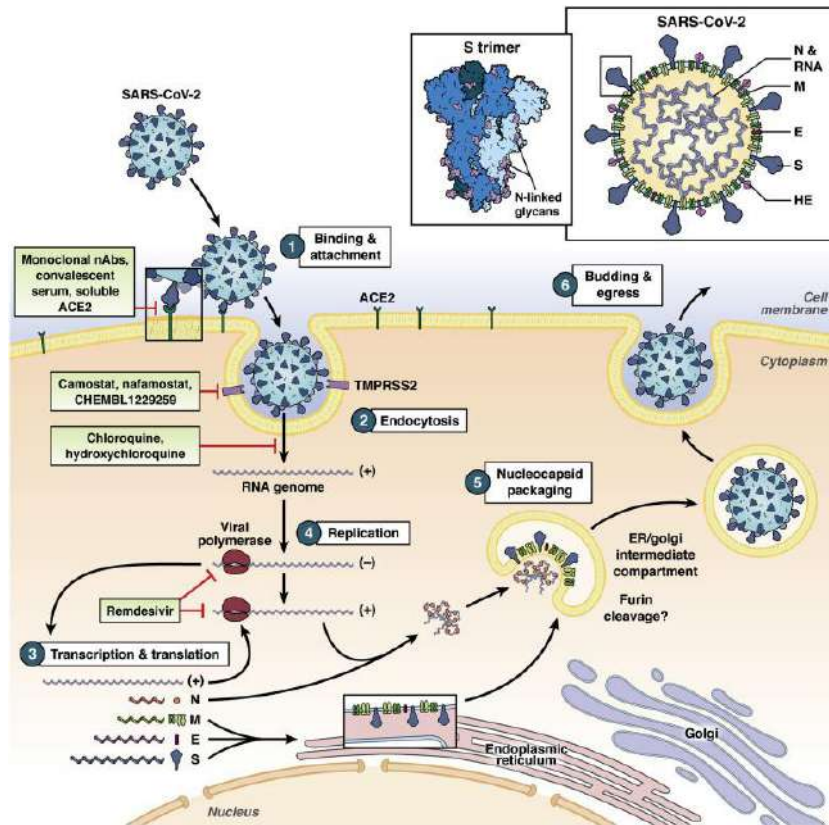
Mekanisme transportasi seluler lainnya yaitu transportasi aktif, yang memerlukan energi berupa ATP. Transport aktif bertanggungjawab memindahkan zat atau molekul melawan gradien konsentrasi. Transport aktif membutuhkan transporter yang dibagi menjadi dua, yaitu transporter primer dan sekunder. Transporter primer diantaranya menggunakan ATPase dan ABC, sedangkan transporter sekunder memanfaatkan gradien elektrokimia. Contoh transporter sekunder seperti pompa ion Na^+/K^+ ATPase dalam perpindahan ion sodium atau potasium. Contoh lainnya seperti perpindahan glukosa melalui transporter SGLT2 dengan memasukkan glukosa ke dalam sel dengan membawa ion sodium. Mekanisme transport glukosa dan sodium ke arah yang sama dikenal dengan mekanisme simporter, sedangkan mekanisme berlawanan arah dikenal dengan antiporter (Gambar 5.4). Penukar ion natrium dan kalsium termasuk transportasi dengan mekanisme antiporter. Mekanisme antiporter ini dimanfaatkan dalam pengobatan jantung dengan pemberian digoksin. Digoksin, salah satu senyawa dari *Digitalis purpurea* diberikan kepada pasien jantung ketika kondisi fibrilasi atrium atau jantung berdetak dengan cepat. Mekanisme yang terjadi, digoksin menghambat pertukaran ion natrium dengan kalium, menyebabkan akumulasi ion kalsium meningkat dan menginduksi kontraksi otot jantung.

Jenis transportasi lainnya yaitu transportasi vesicular. Transportasi vesicular dibagi menjadi dua yaitu endositosis dan eksositosis. Endositosis merupakan proses masuknya

molekul ke dalam sel dengan membentuk vesikel atau cekungan. Sedangkan eksositosis merupakan proses keluarnya molekul dengan membentuk tonjolan keluar. Contoh mekanisme endositosis seperti virulensi atau proses infeksi virus SARSCOV2 dengan endositosis yang diinduksi dengan interaksi antara spike glycoprotein dengan reseptor angiotensin converting enzyme-2 (ACE2) (Ding & Liang, 2020; Tassakka et al., 2023; Watuguly et al., 2022). Eksositosis dapat dijumpai ketika keluarnya virus baru dari dalam sel yang telah diinfeksi (Gambar 5.5).



Gambar 5. 4. Jenis transportasi seluler
 (Sumber : (Bodenes, 2017))



Gambar 5. 5. Mekanisme Endositosis dan Eksositosis virus SARSCOV2 pada COVID-19
(Sumber : (Ding & Liang, 2020)

5.6 Peran Transportasi Seluler

Transportasi seluler dalam level seluler berperan penting dalam berbagai bidang, baik fisiologi sel, maupun pengembangan obat-obatan. Dalam mempertahankan kondisi fisiologi sel yang baik, transportasi sel memegang peranan penting dalam menjaga keseimbangan larutan di dalam dan diluar sel, penyerapan nutrisi, metabolisme,

sekresi, dan mempertahankan pH sel. Dibiidang penemuan obat, transporter membrane berperan penting dalam penemuan obat, seperti halnya dari aspek farmakokinetika dan bioavaibilitas obat. Selain itu, transporter protein menjadi alternatif target terapi berbagai macam penyakit, melalui kajian polimorfisme gen-gen penyandi protein transporter. Protein transporter juga erat kaitannya dengan Tingkat kemanjuran obat yang membantu mengkaji penyerapan, distribusi, interaksi dan eliminasi obat di dalam tubuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S., Doherty, E., Ortega-Prieto, P., Arizanova, J., & Fets, L. (2023). Membrane transporters in cell physiology, cancer metabolism and drug response. *Disease Models & Mechanisms*, 16(11), dmm050404. <https://doi.org/10.1242/dmm.050404>
- Bodenes, P. (2017). *Study of the application of pulsed electric fields (PEF) on microalgae for the extraction of neutral lipids*. Université Paris-Saclay.
- Colas, C., Ung, P. M.-U., & Schlessinger, A. (2016). SLC Transporters: Structure, Function, and Drug Discovery. *MedChemComm*, 7(6), 1069–1081. <https://doi.org/10.1039/C6MD00005C>
- Ding, S., & Liang, T. J. (2020). Is SARS-CoV-2 Also an Enteric Pathogen With Potential Fecal–Oral Transmission? A COVID-19 Virological and Clinical Review. *Gastroenterology*, 159(1), 53–61. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.04.052>
- Jacobo-Albavera, L., Domínguez-Pérez, M., Medina-Leyte, D. J., González-Garrido, A., & Villarreal-Molina, T. (2021). The Role of the ATP-Binding Cassette A1 (ABCA1) in Human Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1593. <https://doi.org/10.3390/ijms22041593>
- Kühlbrandt, W. (2004). Biology, structure and mechanism of P-type ATPases. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 5(4), 282–295. <https://doi.org/10.1038/nrm1354>
- Lodish, H. F. (2000). *Molecular Cell Biology* (4th ed.). New York: WH. Freeman.

- Mumtaz, T. (2022). Membranes and Transport Mechanisms. *Pakistan Journal of Health Sciences*, 02-02. <https://doi.org/10.54393/pjhs.v3i03.77>
- Nie, Z., Yan, Q., Shen, Y., & Yang, X. (2021). Expression, purification and microscopic characterization of human ATP-binding cassette sub-family B member 7 protein. *Protein Expression and Purification*, 183, 105860. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2021.105860>
- Schultz, S. G. (2013). Membrane Transport, General Concepts. In *Encyclopedia of Biological Chemistry* (pp. 49-51). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378630-2.00125-0>
- Singh, R., Ashish, A., Shah, A., & Shekhar Pandey, S. (2020). Interaction between oxidative stress and diabetes: A mini-review. *Journal of Diabetes, Metabolic Disorders & Control*, 7(2), 58-61. <https://doi.org/10.15406/jdmdc.2020.07.00201>
- Tassakka, A. Cmar., Iskandar, I. W., Juniyazaki, A. Ba., Zaenab, S., Alam, J. F., Rasyid, H., Kasmiati, K., Sinurat, E., Dwiany, F. M., Martien, R., & Moore, A. M. (2023). Green algae *Caulerpa racemosa* compounds as antiviral candidates for SARS-CoV-2: In silico study. *Narra J*, 3(2), e179. <https://doi.org/10.52225/narra.v3i2.179>
- Wang, H. H., Portincasa, P., Liu, M., & Wang, D. Q.-H. (2022). Genetic Analysis of ABCB4 Mutations and Variants Related to the Pathogenesis and Pathophysiology of Low Phospholipid-Associated Cholelithiasis. *Genes*, 13(6), 1047. <https://doi.org/10.3390/genes13061047>

Watuguly, T., Bare, Y., Ratih Tirt, D., & Kustarini, I. (2022). In silico Study Phytosterol *Cymbopogon citratus* and *Curcuma longa* as Inhibitor Agent 3C-Like Protease SARS-CoV-2. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 25(9), 867–874.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2022.867.874>

BIODATA PENULIS

Dewi Rulia Br Sitepu,S.Pd.,M.Si

Dosen Program Studi Pendidikan Matematika

Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan Budidaya
(STKIP) Budidaya Binjai

Penulis adalah seorang akademisi yang lahir di Binjai pada 29 Oktober 1989. Penulis merupakan dosen tetap di STKIP Budidaya Binjai sejak tahun 2015. Selain berprofesi sebagai pendidik, penulis aktif dalam berbagai kegiatan riset dan penulisan ilmiah. Dengan latar belakang pendidikan di bidang Biologi, penulis menyelesaikan studi S1 di Universitas Negeri Medan (UNIMED) dan pendidikan pascasarjana (S2) di Universitas Sumatera Utara (USU). Sebagai seorang peneliti, penulis memiliki minat utama pada bidang biologi molekuler, pendidikan biologi, dan teknologi pembelajaran. Penulis telah menghasilkan berbagai publikasi ilmiah, termasuk penelitian tentang pembelajaran berbasis teknologi dan analisis biofilm patogen. Penulis juga memiliki pengalaman mengajar di berbagai institusi Pendidikan. Penulis aktif dalam organisasi profesional seperti Ikatan Peneliti Indonesia (IPI) dan Dewan Pengurus Ikatan Sarjana Rakyat Indonesia (ISRI). Komitmen penulis dalam bidang pendidikan terlihat dari berbagai pelatihan yang diikuti, seperti pelatihan Microsoft Office, webinar pembelajaran era new normal, serta pelatihan menulis buku ilmiah. Penulis juga menjabat sebagai Kepala Lembaga Publikasi di STKIP Budidaya Binjai. Dengan pengalaman

akademis dan profesional yang kaya, Penulis terus berkontribusi dalam pengembangan pendidikan dan penelitian di Indonesia.

BIODATA PENULIS



A. Fitriani Suryadi, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Institut Turatea Indonesia

Penulis lahir di Jenepono tanggal 30 Oktober 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Institut Turatea Indonesia. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan IPA pada tahun 2017 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Makassar selesai pada tahun 2019. Saat ini menjabat sebagai ketua program studi dan aktif menerbitkan jurnal penelitian dan PKM.

BIODATA PENULIS



Ns. Dheni Koerniawan, M.Kep.

Dosen Program Studi Ilmu Keperawatan Fakultas Ilmu
Kesehatan Universitas Katolik Musi Charitas

koerniawan.dheni@gmail.com

Penulis lahir di Jakarta, April 1984 yang mendapatkan Sarjana Keperawatan (2002-2006) dan Profesi (2006-2007) Ners di Fakultas Ilmu Keperawatan Universitas Indonesia. Kemudian melanjutkan studi Magister Keperawatan kekhususan Medikal-Bedah (2014-2016) di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Sint Carolus. Pengalaman bekerja sebagai perawat pelaksana di RS PGI Cikini bersamaan juga mengajar di Akademi Keperawatan RE. Efarina Purwakarta (2007-2015) dan di Unika Musi Charitas Palembang (2016-sekarang). Penulis mengembangkan kemampuan menulis melalui publikasi artikel jurnal sejak 2018 dan buku sejak 2015. Selain melalui penulisan ilmiah, penulis menuangkan ide, pikiran, dan kompetensi melalui instruktur dan narasumber berbagai pelatihan, seminar, dan workshop. Fokus peminatan penulis pada bidang ilmu biomedik dasar; keperawatan dasar, medikal-bedah, gawat darurat-kritis, komplementer, dan *end-of-life*; serta statistika dan penelitian keperawatan.

BIODATA PENULIS



Dr. Dewi Ratih Tirto Sari, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Farmasi, Universitas Ibrahimy,
Situbondo

Penulis lahir tahun 1994, menyelesaikan S1 bidang genetika di prodi Biologi Universitas Brawijaya pada tahun 2016 dan menempuh studi S2-S3 pada 2017 – 2021 dengan bidang nutrigenomik di prodi S3 Biologi Universitas Brawijaya. Saat ini menjadi dosen tetap program studi S1 Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Ibrahimy dan ketua kelompok riset Biologi Farmasi – Universitas Ibrahimy. Penulis aktif dalam bidang kepenulisan dengan karya artikel dalam jurnal nasional dan internasional 88 artikel dan 14 buku ber-ISBN. Selain itu, penulis juga aktif sebagai editor jurnal JSMARTECH dan reviewer di jurnal nasional dan internasional. Organisasi yang diikuti penulis diantaranya Pusat studi Smonagenes – Universitas Brawijaya, Indonesia Nutrigenomik Nutrigenetic Society (INNS), Korean Endocrinology Society (KES), Perkumpulan Perhimpunan Dosen Indonesia (PPDI).