

BUKU AJAR BIOLOGI SEL DAN MOLEKULER



MERISKA

(METAKOGNISI, BERPIKIR KRITIS,
NILAI ISLAM & KARAKTER)

RIZKIA SUCIATI



BUKU AJAR BIOLOGI SEL & MOLEKULER
MERISKA
(METAKOGNISI, BERPIKIR KRITIS, NILAI ISLAM, DAN KARAKTER)

RIZKIA SUCIATI

MERISKA



Penerbit: CV. Multimedia Edukasi

BUKU AJAR BIOLOGI SEL & MOLEKULER MERISKA

(METAKOGNISI, BERPIKIR KRITIS, NILAI ISLAM, DAN KARAKTER)

Penulis:

Rizkia Suciati

Editor:

Prof. Dra. Herawati Susilo, M.Sc., Ph.D. (Universitas Negeri Malang)

Dr. Umie Lestari, M.Si. (Universitas Negeri Malang)

Prof. Dr. Abdul Gofur, M.Si. (Universitas Negeri Malang)

Penelaah:

Dr. Izza Rohman, M.A. (UHAMKA)

Dr. Budhi Akbar, M.Si. (UHAMKA)

Suci Lestari, M.Pd. (UHAMKA)

Desain Cover:

Tim Ahlimedia

MERISKA

Penerbit:

CV. Multimedia Edukasi

Jl. Ki Ageng Gribig, Gang Kaserin MU No. 36

Kota Malang 65138

Telp: +628523277747

www.multidukasi.co.id

ISBN: 978-623-6605-31-8

Cetakan Pertama, September 2020

Hak cipta oleh Penulis dan Dilindungi Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta, Pasal 72. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang tiada henti melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan buku ajar Biologi sel dan molekuler "MERISKA" ini dapat diselesaikan dengan baik.

MERISKA merupakan buku ajar yang disusun berdasarkan kebutuhan konsep/materi dalam perkuliahan Biologi sel dan molekuler. Buku ajar MERISKA adalah akronim dari Metakognisi, Berpikir Kritis, Nilai Islam dan Karakter. Buku ajar MERISKA hadir sebagai alternatif sumber belajar bagi mahasiswa. Buku ajar MERISKA dilengkapi dengan unsur-unsur keterampilan metakognitif agar mahasiswa mampu merencanakan, mengontrol, dan mengevaluasi belajarnya.

Buku ajar MERISKA juga memuat soal-soal ataupun tugas yang dapat melatih keterampilan berpikir kritis mereka. Tidak hanya itu, di dalam buku ini mahasiswa pun dibekali dengan nilai-nilai Islam yang tersaji dalam bentuk konfirmasi-komparatif melalui ayat Al Qur'an atau Hadits. Nilai karakter (*Akhlaq*) hadir dalam bentuk hubungan antara konsep/materi Biologi sel dan molekuler dengan kutipan ayat Al Qur'an atau Hadits, sehingga dapat menumbuhkan karakter religius dalam pribadi mereka.

Dengan terbitnya buku ajar terintegrasi MERISKA ini, penulis berharap semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya agar kita senantiasa menjadi hamba yang pandai bersyukur atas segala yang telah diciptakan-Nya. Penulis juga berharap keberadaan buku ajar ini dapat membantu mengatasi kesulitan belajar mahasiswa terutama saat mempelajari konsep-konsep dalam Biologi sel dan molekuler. Di samping itu, adanya muatan tugas dan latihan soal, serta refleksi membantu mereka dalam meraih sukses belajarnya.

Tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penulisan buku MERISKA ini, khususnya kepada Dr. Desvian Bandarsyah, M.Pd. selaku Dekan FKIP Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA), dan Dra. Maryanti Setyaningsih, M.Si. selaku Kaprodi Pendidikan Biologi UHAMKA atas bantuan moril dan materiil. Rasa terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. A. D. Corebima, M.Pd. dan Prof. Dr. agr. Moh. Amin, S.Pd., M.Si. atas bimbingan, saran dan masukannya terhadap buku MERISKA ini.

Akhir kata, tiadalah yang Maha Sempurna selain Allah SWT pemilik ilmu dan pengetahuan yang tanpa batas. Manusia hanyalah pemilik segala keterbatasan. Demikian pula dengan buku ajar ini yang tentunya memiliki banyak kekurangan, namun dengan membacanya tidak lain hanyalah berharap menambah ilmu dan keimanan kita kepada Allah SWT. Semoga buku ajar Biologi sel dan molekuler terintegrasi MERISKA ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh civitas akademika.

Malang, September 2020

Penulis

MERISKA

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar isi	v
Pendahuluan	vii

BAB 1 ORGANISASI KEHIDUPAN MAKHLUK HIDUP: SEJARAH PERKEMBANGAN TEORI SEL

A. Pengantar	2
B. Sejarah Perkembangan Teori Sel.....	2
C. Organisasi Makhluk Hidup	6
D. Latihan Soal	13

BAB 2 STRUKTUR SEL (SEL PROKARIOTIK & SEL EUKARIOTIK)

A. Pengantar	20
B. Struktur Sel Prokariot	21
C. Struktur Sel Eukariot	29
D. Latihan Soal	38

BAB 3 STRUKTUR DAN FUNGSI MEMBRAN SEL & ORGANEL

A. Pengantar	45
B. Membran Sel	46
C. Inti Sel.....	58
D. Ribosom & Sintesis Protein	67
E. Mitokondria & Respirasi Seluler	72
F. RE, Badan Golgi, & Lisosom	87
G. Kloroplas & Konversi Energi	99
H. Sitoskeleton & Pergerakan Sel.....	111
I. Latihan Soal	126

BAB 4 KOMUNIKASI SEL

A. Pengantar	132
B. Pentingnya Komunikasi Antar Sel	133
C. Bentuk Dasar Sistem Komunikasi Sel.....	134

D. Tahap Komunikasi dalam Sel.....	142
E. Latihan Soal	146

BAB 5 SIKLUS SEL151

A. Pengantar	152
B. Siklus Sel.....	153
C. Reproduksi Sel	160
D. Latihan Soal	176

BAB 6 EKSPRESI GEN.....181

A. Pengantar	182
B. Pengertian Ekspresi Gen.....	183
C. Regulasi Ekspresi Gen pada Prokariot.....	183
D. Regulasi Ekspresi Gen pada Eukariot.....	190
E. Latihan Soal	199

BAB 7 PERANAN BIOLOGI SEL MOLEKULER

DALAM KEHIDUPAN203

A. Pengantar	204
B. Peranan Biologi Sel Molekuler pada Bidang Pertanian.....	207
C. Peranan Biologi Sel Molekuler pada Bidang Industri.....	208
D. Peranan Biologi Sel Molekuler pada Bidang Lingkungan ..	209
E. Latihan Soal	212

LAMPIRAN

1. RPS Biologi Sel & Molekuler.....	217
2. Kunci Jawaban Tugas & Latihan	245
3. Rubrik Penilaian Tugas & Latihan	273
4. Lembar Penilaian Keterlaksanaan Aspek MERISKA	277

Tentang Penulis	281
-----------------------	-----

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Kajian biologi sel dan biologi molekuler adalah kajian biologi yang penting dalam ilmu kehidupan modern, karena terus mengalami perkembangan. Konsep yang ada di dalamnya juga berkaitan dengan konsep tingkatan biologi selanjutnya sehingga akan berdampak pada peningkatan kemampuan belajar siswa dalam memahami Biologi sel dan molekuler. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa belajar biologi sel ataupun biologi molekuler memang sangat sulit karena konsepnya yang abstrak, sehingga mahasiswa belum mampu menggambarkan ide-ide konseptual dari topik-topik kajian biologi sel dan molekuler. Oleh karena itu, perlu adanya sumber belajar yang dapat memfasilitasi mahasiswa sekaligus melatih keterampilan berpikirnya.

Buku ajar MERISKA merupakan buku ajar yang berisi konsep/materi dalam perkuliahan Biologi sel dan molekuler yang diintegrasikan dengan keterampilan metakognitif, berpikir kritis, nilai Islam, dan karakter. Tersusun dari 7 BAB yang membahas secara ringkas dan sederhana tentang perkembangan konsep dan teori sel sebagai unit terkecil makhluk hidup; struktur sel prokariot dan eukariot; struktur dan fungsi dari membran sel, inti sel, mencakup pemahaman tentang gen, genom, dan kromosom; struktur dan fungsi ribosom, serta perannya dalam sintesis protein; struktur dan fungsi mitokondria, serta perannya dalam respirasi seluler; struktur dan fungsi dari badan golgi, lisosom, kloroplas, dan sitoskeleton; pemahaman tentang komunikasi sel; siklus sel; ekspresi gen pada sel prokariot dan eukariot; serta pemahaman tentang peranan Biologi sel dan molekuler dalam bidang pertanian, industri, serta lingkungan.

Bentuk integrasi yang disajikan dalam buku MERISKA memuat dari masing-masing komponen yang diintegrasikan. Komponen metakognisi disajikan dengan memuat kolom-kolom indikator metakognisi yang meliputi **Merencanakan**, **Mengontrol**, dan **Mengevaluasi** proses belajar mahasiswa. Tujuannya adalah untuk membiasakan mahasiswa mempunyai rencana dan target dalam meraih sukses belajarnya. Komponen berpikir kritis disajikan dalam

bentuk latihan soal dan tugas yang memuat indikator keterampilan berpikir kritis modifikasi Facione antara lain **Interpretasi, Analisis, Evaluasi, Inferensi, Penjelasan, dan Self-regulation**. Komponen nilai Islam diintegrasikan melalui teknik integrasi seperti **Similarisasi, Paralelisasi, Komparasi, Informatif, dan Konfirmatif**. Sementara untuk nilai karakter mengacu pada variabel/dimensi yang termuat dalam buku Risalah Islamiyah bidang Akhlak yang diterbitkan oleh Majelis Tarjih Muhammadiyah, antara lain Akhlak terhadap Allah SWT (meliputi **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**), Akhlak terhadap Diri Pribadi (**Mencari ilmu pengetahuan, Kerja keras, Sopan dan Santun, Bertanggungjawab, Jujur, Menjauhkan diri dari sifat sombong, Disiplin, Menjaga diri**), Akhlak terhadap Keluarga (**Berbuat baik terhadap orang tua, Bergaul dengan baik**), Akhlak terhadap Kehidupan Bermasyarakat (**Bersahabat/komunikatif, Dapat bekerja sama, Peduli sosial/sesama**), dan Akhlak terhadap Lingkungan (**Peduli terhadap lingkungan sekitar dan alam**).

B. TUJUAN

Buku ajar Biologi sel dan molekuler integrasi MERISKA didesain sebagai upaya untuk melatih keterampilan metakognitif dan berpikir kritis, serta menumbuhkan karakter religius pada mahasiswa.

C. PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU

Pada prinsipnya buku ajar ini berfungsi seperti buku ajar pada umumnya. Hanya saja buku ini dilengkapi dengan fitur-fitur yang menandakan bentuk integrasi dari masing-masing komponen seperti metakognisi, berpikir kritis, nilai Islam dan karakter. Petunjuk penggunaan buku ini berguna untuk memandu pembaca untuk mengetahui isi/komponen yang ada di dalam buku. Berikut penjelasan dari isi buku ajar Biologi sel dan molekuler terintegrasi MERISKA ini.

**BAB
I**

**ORGANISASI KEHIDUPAN MAHLUK HIDUP:
SEJARAH PERKEMBANGAN TEORI SEL**

Bagian ini merupakan **JUDUL** topik/materi yang akan dipelajari

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai organisasi kehidupan makhluk hidup dan sejarah perkembangan teori sel.
CPMK	Mahasiswa mampu mendeskripsikan organisasi kehidupan makhluk hidup berdasarkan sejarah perkembangan Teori Sel
Sub-CPMK	Mahasiswa mampu: <ul style="list-style-type: none">▪ memahami tentang deskripsi, tujuan, dan urgensi mata kuliah▪ menjelaskan sejarah perkembangan teori sel▪ memahami tentang Organisasi Kehidupan Makhluk Hidup▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai Islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

Bagian ini merupakan Deskripsi dan Capaian Mata kuliah yang digunakan sebagai **RENCANA** belajar

MERAIH SUKSES BELAJAR

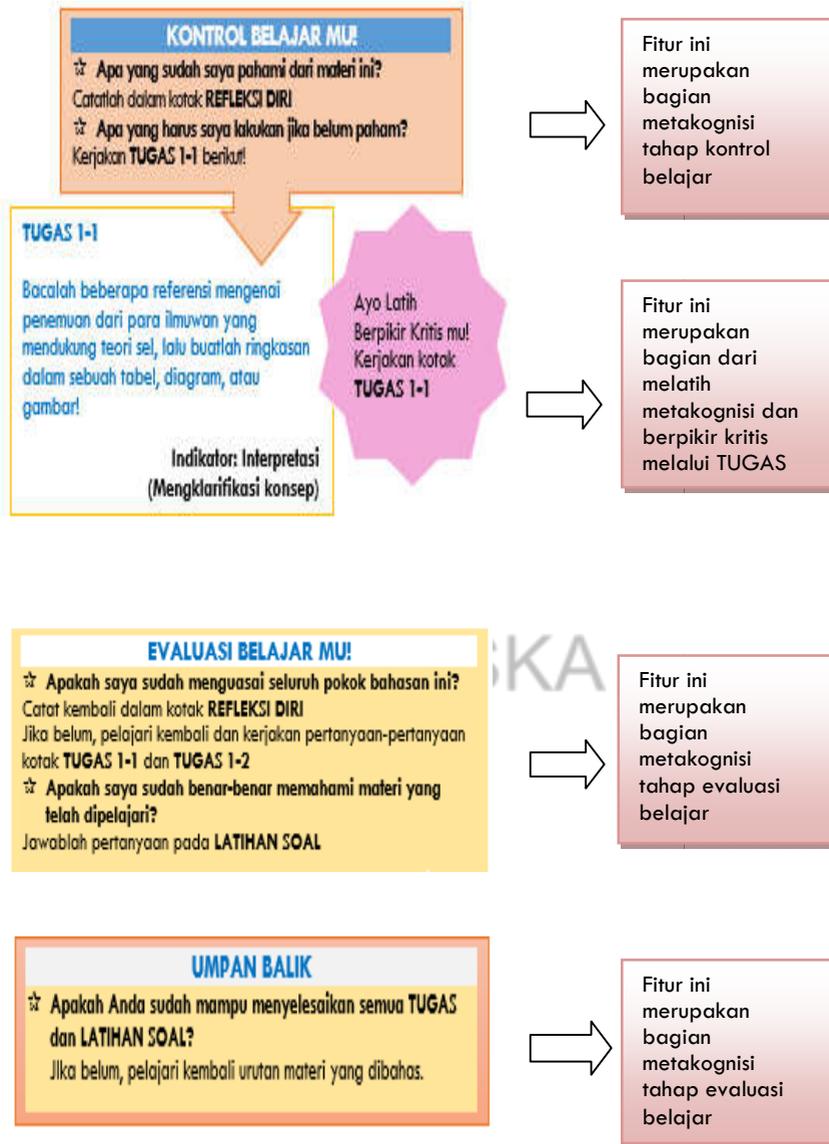
RENCANAKAN Belajar mu! <ul style="list-style-type: none">☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki?☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar?	<ul style="list-style-type: none">☆ Bacalah pada kolom Deskripsi☆ Bacalah pada kolom Sub-CPMK
KONTROL Belajar mu! <ul style="list-style-type: none">☆ Materi apa yang sudah dipahami?☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami?	<ul style="list-style-type: none">☆ Tuliskan pada kotak REFLEKSI DIRI☆ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak TUGAS
EVALUASI Belajar mu! <ul style="list-style-type: none">☆ Kerjakan Latihan Soal!☆ Kerjakan Tugas!☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini?	<ul style="list-style-type: none">☆ Tuliskan pada kotak LATIHAN SOAL☆ Kerjakan secara individu☆ Perhatikan kotak UMPAN BALIK

Bagian ini merupakan indikator penjabaran indikator Metakognisi yang akan digunakan selama proses belajar

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!
☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**
Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!
☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**
Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

Fitur ini merupakan bagian metakognisi tahap merencanakan belajar



D. LATIHAN SOAL

1. Berikan pendapat Saudara mengenai "Semua sel hidup berevolusi dari sel ancestor yang sama"!

(Indikator: Penjelasan, Memberikan/Menjelaskan pendapat)

Ayo Latih Berpikir Kritis mu!
Kerjakan LATIHAN SOAL berikut!



Bagian ini merupakan sub bab yang berisi soal-soal latihan berpikir kritis

Al Quran sebagai sumber inspirasi menunjukkan bukti bahwa struktur suatu makhluk hidup akan mengikuti fungsinya, diperjelas dalam Firman Allah SWT QS. Ali Imron ayat 191:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ
وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ
هَذَا بَطَلًا سُبْحَانَكَ قَبِينَا عَذَابٍ ﴿١٩١﴾

"(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka."



Bagian ini merupakan integrasi nilai Islam berupa kutipan ayat Al Qur'an dalam teks, yang berkaitan dengan topik/materi

Sel sebagai unit struktural dari makhluk hidup tentu melihat fungsi dari sel itu sendiri. Suatu struktur tidak perlu ada dalam makhluk hidup bila memang tidak memiliki fungsi. Dengan demikian Allah SWT menciptakan segala sesuatu-Nya tanpa sia-sia, karena tidak ada struktur yang tidak memiliki fungsi yang jelas.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Imron ayat 191 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjaga diri**

Dapatkah kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !



Fitur ini merupakan bagian dari nilai Karakter yang tersirat dalam ayat Al Qur'an atau Hadits yang berkaitan dengan topik/materi

***“Bacalah dengan nama Tuhanmu yang menciptakan.
Dia telah menciptakan manusia dari ‘alaq.
Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah.
Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan alam.
Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya.”***

(QS. Al ‘Alaq:1-5)

MERISKA



**BAB
1**

ORGANISASI KEHIDUPAN MAHKLUK HIDUP: SEJARAH PERKEMBANGAN TEORI SEL

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai organisasi kehidupan makhluk hidup dan sejarah perkembangan teori sel.
CPMK	Mahasiswa mampu mendeskripsikan organisasi kehidupan makhluk hidup berdasarkan sejarah perkembangan Teori Sel
Sub-CPMK	Mahasiswa mampu: <ul style="list-style-type: none">▪ memahami tentang deskripsi, tujuan, dan urgensi mata kuliah▪ menjelaskan sejarah perkembangan teori sel▪ memahami tentang Organisasi Kehidupan Makhluk Hidup▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai Islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

MERAIH SUKSES BELAJAR

RENCANAKAN Belajar mu!

- ☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki? ➤ Bacalah pada kolom **Deskripsi**
- ☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar? ➤ Bacalah pada kolom **Sub-CPMK**

KONTROL Belajar mu!

- ☆ Materi apa yang sudah dipahami? ➤ Tuliskan pada kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami? ➤ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak **TUGAS**

EVALUASI Belajar mu!

- ☆ Kerjakan Latihan Soal! ➤ Tuliskan pada kotak **LATIHAN SOAL**
- ☆ Kerjakan Tugas! ➤ Kerjakan secara individu
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini? ➤ Perhatikan kotak **UMPAN BALIK**

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!

☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**

Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!

☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**

Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

Pernahkah kalian berpikir bahwa segala sesuatu di muka bumi ini diciptakan oleh Allah SWT dengan penuh ketelitian dan kesesuaian? Mengapa alam semesta diciptakan secara terorganisasi, bertingkat? Mari kita ketahui jawabannya dari pokok bahasan berikut.

A. PENGANTAR

Sel merupakan unit organisasi terkecil yang menjadi dasar kehidupan dalam arti biologis. Semua fungsi kehidupan diatur dan berlangsung di dalam sel, oleh karena itu sel dapat berfungsi secara autonom asalkan seluruh kebutuhan hidupnya terpenuhi.

Sel pertama kali ditemukan oleh Robert Hooke tahun 1665 saat dia sedang mengamati sayatan gabus dari batang *Quercus suber* dengan menggunakan mikroskop. Setelah itu banyak ahli melakukan penelitian tentang sel, sehingga para ahli berhasil memberikan gambaran menyeluruh tentang sel mulai dari struktur sampai biomolekulernya.

B. SEJARAH PERKEMBANGAN TEORI SEL

Istilah sel pertama kali ditemukan oleh Robert Hooke. Pada tahun 1665, ia mengamati sayatan dari batang *Quercus suber* (tanaman gabus) menggunakan mikroskop. Ia menemukan adanya ruang-ruang kosong yang dibatasi dinding tebal dalam pengamatannya.

Robert Hooke menyebut ruang ruang kosong tersebut dengan istilah *cellulae* artinya sel. Sel yang ditemukan Robert Hooke merupakan sel-sel gabus yang telah mati. Perhatikan **Gambar 1-1**. Sejak penemuan itu, beberapa ilmuwan berlomba untuk mengetahui lebih banyak tentang sel.

Pada tahun 1835, Durjadin menyatakan bahwa di dalam *cella* terdapat suatu zat yang kental dan mengandung material yang diberi nama *sarcode* yang kemudian oleh Purkinye (1840) isi sel disebut protoplasma.

O Hertwig (1829) berpendapat tentang teori protoplasma “protoplasma adalah substansi kehidupan yang terdapat dalam ruang yang dibatasi oleh selaput luar atau membran plasma”.

Pertengahan abad 19, tercetuslah konsep yang menyatakan bahwa semua sel berasal dari sel yang telah ada. Virchow menyatakan “*omnis cellula e cellulae*”. Pada awal abad 20, banyak pakar menemukan berbagai jenis struktur atau bentukan di dalam sel misalnya, Golgi menemukan diktiosom, Bouin menemukan ergatoplasma dan De Duve membuktikan adanya lisosom.

Perkembangan teori tentang sel tentu diawali ketika para ilmuwan pertama kali melihat sel di sebuah mikroskop sederhana. Dengan kemajuan teknologi, struktur dan kegiatan sel tidak sesederhana seperti yang diduga sebelumnya. Dari beberapa penelitian tersebut, muncul sebuah doktrin sel yang tergambar dalam **Gambar 1-2**.



Gambar 1-1. Peralatan Robert Hooke dalam Mengamati Sayatan Tanaman Gabus
(Karp, 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

1. Seluruh makhluk hidup tersusun atas sel dan produk yang dihasilkan oleh sel.
2. Sel adalah unit struktur dan fungsi.
3. Tahun 1858, Virchow menambahkan pernyataan ke 3: Seluruh sel berasal dari sel sel yang telah ada sebelumnya.

disempurnakan menjadi

- Sel berasal dari sel sebelumnya dan berkembang dengan cara membelah diri.
- Sel adalah suatu unit struktural dan fungsional terkecil pada makhluk hidup.
- Sel adalah suatu unit aktivitas biologi yang dibatasi oleh membran semipermeabel dan dapat melakukan reproduksi sendiri pada medium di luar makhluk hidup.

Gambar 1-2. Skema Perkembangan Teori Sel

Sel merupakan satuan struktural, fungsional, dan hereditas terkecil dari organisme. Semua aktivitas kehidupan dilakukan di dalam sel, mulai dari sintesis protein, mobilitas dan hereditas. Inilah menunjukkan bahwa sel merupakan satuan fungsional dari makhluk hidup. Sel sebagai struktural terkecil dari makhluk hidup memiliki arti bahwa seluruh makhluk hidup tersusun dari sel yang memiliki kelengkapan struktur yang dimilikinya seperti organela-organela dan matriks yang terdapat dalam protoplasma. Sel sebagai hereditas memiliki arti bahwa sel mampu melakukan penggandaan diri melalui pembelahan, tunas dan lainnya karena di dalam sel terdapat materi genetik yang mampu meneruskan sifat pada keturunannya.

Sel sebagai unit struktural dari makhluk hidup tentu berkaitan dengan fungsi sel itu sendiri. Mengapa demikian? Karena bila tidak memiliki fungsi yang berarti, maka bentuk/struktur tidak perlu ada di dalam suatu organisme. Dengan demikian Allah SWT menciptakan segala sesuatu tanpa sia-sia, karena tidak ada struktur yang tidak memiliki fungsi yang jelas. Hal tersebut diperjelas dalam Firman Allah SWT QS. Ali Imron ayat 191:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ
 فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا
 سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

“(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka.”

Ayat tersebut mensiratkan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu dengan penuh ketelitian dan kesesuaian. Struktur suatu makhluk hidup akan mengikuti fungsinya dalam kehidupan. Sebagai contoh, perbedaan struktur sel tumbuhan dengan sel hewan dilihat dari fungsi dinding sel. Dinding sel pada sel tumbuhan berfungsi sebagai pelindung dan penunjang sehingga keberadaan dinding sel menjadi sangat penting untuk mempertahankan bentuk sel. Pada sel hewan memiliki fosfolipid bilayer dan protein sebagai komponen pembentuk struktur selnya, sehingga keberadaan dinding sel tidak terlalu dibutuhkan. Fungsi dari dinding sel itulah yang menjadikan struktur sel tumbuhan berbeda dengan sel hewan.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Imron ayat 191 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjaga diri**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
 Tuliskan !**

KONTROL BELAJAR MU!

☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**

Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**

Kerjakan **TUGAS 1-1** berikut!

TUGAS 1-1

Bacalah beberapa referensi mengenai penemuan dari para ilmuwan yang mendukung teori sel, lalu jelaskan mengapa dikatakan **“Sel sebagai unit struktural, fungsional, hereditas dan pertumbuhan”!**

**Indikator: Interpretasi
(Mengklarifikasi konsep)**

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 1-1

C. ORGANISASI KEHIDUPAN

Dalam pembahasan sebelumnya, sel adalah kesatuan (unit) struktural, fungsional, dan hereditas yang terkecil dari kehidupan. Sel tidak hanya diartikan sebagai unit struktural, fungsional, dan hereditas, tetapi sel juga memiliki ciri yang umum antara lain:

- Komplek dan terorganisir. Sel dengan bagian bagian yang dimilikinya, seperti organela dan matrik dalam protoplasma, menjadikan sel ini sebagai suatu unit terkecil dari suatu organisme yang memiliki kerumitan yang kompleks namun terorganisir.
- Memiliki materi genetik. Materi genetik sebagai agen penentu sifat suatu organisme tersimpan aman dalam sel. Materi genetik pada organism eukariotik terdapat dalam nukleus sedangkan materi genetik pada organisme prokariotik terdapat pada daerah tertentu dari sitoplasma.

- Memperbanyak diri. Salah satu ciri khas dari sel adalah kemampuannya untuk memperbanyak diri melalui pembelahan diri. Sifat ini sangat penting untuk kelangsungan kehidupan organisme karena setiap sel memiliki peran yang penting yang tidak bisa digantikan oleh sel lain.
- Memiliki berbagai macam reaksi kimia. Sitoplasma sel mengandung berbagai macam unsure kimia yang akan membentuk berbagai macam persenyawaan organik dan anorganik melalui ikatan ikatan yang beragam seperti ikatan hidrogen, ikatan kovalen, ikatan ionik dan lain sebagainya.

Pada dasarnya, suatu organisme dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu organisme seluler dan organisme non-seluler. Contoh dari organisme seluler yaitu bakteri, jamur, tumbuhan, hewan, dan manusia. Sementara virus atau bakteriofag merupakan contoh dari organisme non-seluler.

Berdasarkan satuan dasar individu, organisme dibagi menjadi dua kelompok, yaitu organisme uniseluler dan multiseluler. Organisme *unicellular*, diartikan sebagai sel tunggal yang berarti bahwa semua aktivitas selulernya berlangsung pada satu sel, misalnya bakteri. Sementara organisme *multicellular* diartikan sebagai banyak sel, sehingga aktivitas seluler yang terjadi berlangsung pada banyak sel dan antara satu sel dengan sel lainnya terorganisasi secara spesifik, salah satu contohnya adalah tumbuhan tingkat tinggi (*Plantae*), dan *Animalia*.

Organisasi dan struktur rinci jasad hidup menunjukkan adanya perbedaan mendasar dalam hal morfologi ataupun reaksi molekuler yang terjadi di dalam uniseluler ataupun multiseluler. Berdasarkan struktur organisasi dan struktur rinci sel, organisme dibedakan menjadi organisme prokariot dan eukariot. Organisme prokariot, yaitu organisme yang belum memiliki pembagian ruang yang jelas di antara komponen-komponen selnya, sehingga memiliki materi inti yang tersebar dalam sitoplasma. Sementara itu, organisme eukariot, organisme yang memiliki materi inti yang terorganisasi sehingga inti sel tampak

kelas (ada membran nukelus), karena terpisah dengan komponen-komponen sel lain. Lebih lanjut mengenai organisme prokariot dan eukariot akan dibahas di Bab 2 Struktur Sel (Sel Prokariotik & Eukariotik).

Kehidupan mudah sekali dikenali atau dicirikan, namun kehidupan sulit untuk didefinisikan. Dari berbagai referensi, makhluk hidup diartikan karena memiliki beberapa ciri, antara lain: (1) **Sangat terorganisasi dibandingkan dengan material (benda) mati lainnya**, (2) **Memiliki sifat homeostatis, yang artinya kemampuan mempertahankan kondisi lingkungan (internalnya) untuk tetap stabil**, (3) **Mampu bereproduksi**, (4) **tumbuh dan berkembang yang dimulai dari bentuk yang paling sederhana**, (5) **Mampu mengambil energi dan materi dari lingkungan, dan mengubahnya untuk keperluan kehidupannya**, (6) **Peka terhadap rangsangan**. Terakhir adalah (7) **Mampu beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya**.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 1-2** berikut!

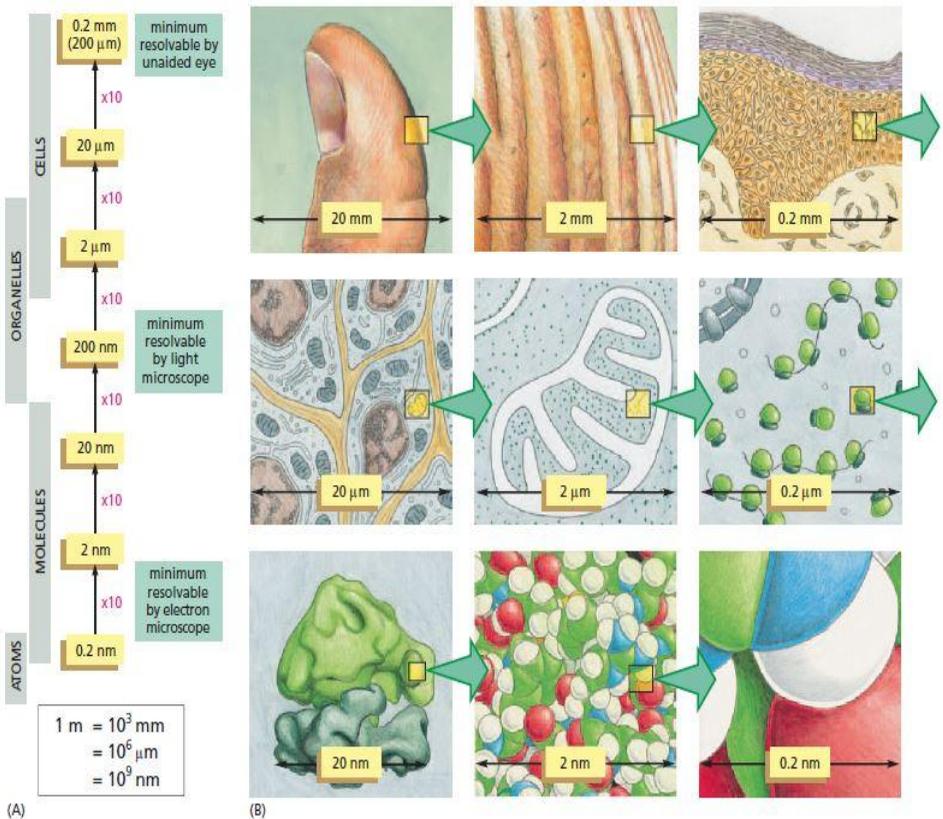
TUGAS 1-2

Bacalah beberapa referensi mengenai ciri suatu makhluk hidup, lalu buatlah ringkasan mengenai penjelasan dan contoh dari ciri makhluk hidup tersebut!

**Indikator: Interpretasi
(Mengklarifikasi konsep)**

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 1-2

Organisasi kehidupan mencakup seberapa besar sebuah sel dan komponennya. Perhatikan **Gambar 1-3** yang memperlihatkan bagaimana ukuran sel dan bagian komponennya mulai dari tingkatan atom hingga tingkat organ, seperti yang diimajinasikan dalam penyusun sebuah ibu jari. Bagian (A) adalah ukuran sel dan unit yang diukurnya. Bagian (B) adalah skala antara sel-sel hidup dengan atom, perkembangan dari ibu jari, kulit, sel kulit, lalu ke bagian mitokondria, ke ribosom, dan akhirnya ke sekelompok atom-atom yang membentuk bagian dari salah satu dari banyak molekul protein dalam tubuh kita.



Gambar 1-3. Ilustrasi Organisasi Tingkat Seluler
(Albert, et al., 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa kehidupan saat ini berawal dari kehidupan sebelumnya, dan para ahli telah membuktikan bahwa sel sebagai unit terkecil dari kehidupan secara struktur tersusun dari air sebagai unsur utamanya. Jauh sebelum adanya penemuan-penemuan tersebut, Allah SWT telah berfirman dalam kutipan QS. Al Anbiya ayat 30 tentang awal kehidupan ini bermula yang berasal dari air.

... وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾

“... dan Kami jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air; maka mengapa mereka tidak beriman?”

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Anbiya ayat 30 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Al Qur'an telah menjelaskan bahwa sesungguhnya Allah SWT telah menciptakan kehidupan ini, dan Dia-lah yang Maha Mengetahui bagaimana kehidupan ini tercipta dari unsur apa. Organisasi kehidupan level terkecil bermula dari sel, dan sel memiliki unsur utamanya yaitu air. Sebagian besar penyusun komponen dalam sel (sitoplasma) adalah air.

Secara fungsional sel menjalankan fungsinya ditentukan oleh zat-zat yang terlarut dalam air, baik dalam cairan penyusun ekstraseluler (CES) ataupun CIS (cairan intraseluler). Sel-sel yang terspesialisasi akan berkembang menjadi jaringan, sekumpulan jaringan yang memiliki bentuk dan fungsi yang sama akan membentuk suatu organ, dan pada akhirnya akan tercipta suatu organisme. Hal tersebut diterangkan kembali dalam QS. Nuh ayat 13-14 bahwa Allah SWT menciptakan organisme dalam beberapa tingkatan kejadian.

مَا لَكُمْ لَا تَرْجُونَ لِلَّهِ وَقَارًا ﴿١٣﴾ وَقَدْ خَلَقَكُمْ أَطْوَارًا ﴿١٤﴾

“Mengapa kamu tidak takut akan kebesaran Allah?¹³ Dan sungguh, Dia telah menciptakan kamu dalam beberapa tingkatan (kejadian).¹⁴”

Dengan demikian kita mengetahui bahwa organisasi makhluk hidup dalam kehidupan memang diciptakan Allah SWT dalam beberapa tingkatan. Bermula dari atom yang bergabung membentuk molekul, lalu molekul-molekul air yang saling berikatan sehingga menjadi unsur utama dari sel, setelah itu sel yang sejenis akan membentuk jaringan, sekumpulan jaringan yang memiliki struktur dan fungsi yang sama akan membentuk organ, dan pada akhirnya akan membentuk suatu organisme.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Nuh 13-14 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Dari apa yang telah dibahas, kajian biologi sel dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang struktur, fungsi, serta aktivitas sel sebagai unit terkecil kehidupan. Sementara, biologi molekuler dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari fungsi dan organisasi organisme ditinjau dari struktur dan regulasi molekuler unsur atau komponen penyusunnya. Biologi sel dan molekuler merupakan suatu kajian yang membahas seputar sel, struktur makromolekul kehidupan, mekanisme genetika pada suatu organisme baik yang seluler maupun organisme non-seluler. Allah SWT berfirman dalam QS. Fushilat ayat 53 berikut:

سَنُرِيهِمْ آيَاتِنَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ
 الْحَقُّ أَوَلَمْ يَكْفِ بِرَبِّكَ أَنَّهُ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ ﴿٥٣﴾

“Kami akan memperlihatkan kepada mereka tanda-tanda (kebesaran) Kami di segenap penjuru dan pada diri mereka sendiri, sehingga jelaslah bagi mereka bahwa Al-Qur'an itu adalah benar. Tidak cukupkah (bagi kamu) bahwa Tuhanmu menjadi saksi atas segala sesuatu?”

NILAI KARAKTER

Dari QS. Fushilat ayat 53 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjauhkan diri dari sifat sombong**

**Dapatkah kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
 Tuliskan !**

MERISKA

Ayat tersebut mengisyaratkan bahwa Al Qur'an adalah sumber ilmu pengetahuan. Segala penemuan-penemuan yang terjadi di alam semesta merupakan tanda-tanda kebesaran Allah SWT. Dalam ayat lainnya yaitu QS. An Nahl ayat 43 Allah SWT menjelaskan pentingnya berusaha untuk mencari ilmu pengetahuan. Mencari ilmu pengetahuan merupakan bagian dari akhlak terhadap diri pribadi. Dengan berusaha mencari ilmu pengetahuan dan melakukan riset-riset akan memunculkan kesadaran kita akan kebesaran Allah SWT atas alam semesta, dan diri kita tentunya akan semakin beriman kepada-Nya.

وَمَا أَرْسَلْنَا مِنْ قَبْلِكَ إِلَّا رِجَالًا نُوْحِي إِلَيْهِمْ فَسَأَلُوا أَهْلَ
 الذِّكْرِ إِنْ كُنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ ﴿٤٣﴾

“Dan Kami tidak mengutus sebelum engkau (Muhammad), melainkan orang laki-laki yang Kami beri wahyu kepada mereka; maka bertanyalah kepada orang yang mempunyai pengetahuan jika kamu tidak mengetahui.”

NILAI KARAKTER

Dari QS. An Nahl ayat 43 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan, Kerja keras**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
 Tuliskan !**

EVALUASI BELAJAR MU!

- ☆ **Apakah saya sudah menguasai seluruh pokok bahasan ini?**

Catat kembali dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

Jika belum, pelajari kembali dan kerjakan pertanyaan-pertanyaan kotak **TUGAS 1-1** dan **TUGAS 1-2**

- ☆ **Apakah saya sudah benar-benar memahami materi yang telah dipelajari?**

Jawablah pertanyaan pada **LATIHAN SOAL**

D. LATIHAN SOAL

1. Berikan pendapat Saudara mengenai “Semua sel hidup berevolusi dari sel ancestor yang sama” !
(Indikator: Penjelasan, Memberikan/Menjelaskan pendapat)

Ayo Latih
 Berpikir Kritis mu!
 Kerjakan
LATIHAN SOAL
 berikut!

2. Pada saat Robert Hooke mengamati sayatan gabus dan menemukan ruang kecil kosong yaitu Cella (sel), dan diketahui bahwa ruang tersebut adalah sel mati. Mengapa disebut sel mati? Apa yang tidak dimiliki oleh sel mati yang membedakannya dengan sel masih hidup? Jelaskan!
(Indikator: Interpretasi, Mengklarifikasi konsep)
3. Perhatikan kutipan QS. Al Furqan ayat 2 berikut:

... وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

“... dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat.”

Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman Anda mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep organisasi kehidupan makhluk hidup!

**(Indikator: Interpretasi, Menafsirkan/Menjelaskan/
Mengklarifikasi informasi)**

UMPAN BALIK

☆ **Apakah Anda sudah mampu menyelesaikan semua TUGAS dan LATIHAN SOAL?**

Jika belum, pelajari kembali urutan materi yang dibahas.

REFERENSI

- Al Fatih. (Februari, 2013). *Al Qur'an dan Terjemahannya, Mushaf Khadijah*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology 4th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>
- Jamal, A.B. & D.S. Jamal. (2008). *Ensiklopedi Petunjuk Sains dalam Al Qur'an dan Sunnah*. Jakarta: PT. Kuwais Internasional
- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology (Concepts and Experiments). 7th Edition*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al Qur'an-LPMQ. (2019). *Qur'an Kemenag in Word Add-Ins*. Jakarta: Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Minarno, E.D. (2017). *Integrasi Sains-Islam dan Implementasinya dalam Pembelajaran Biologi*. Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi, dan Industri (SNTIKI), Fakultas Sains dan Teknologi, Pekanbaru, 18-19 Mei 2017.
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P., Jackson, R.B., & Campbell, N.A. (2011). *Campbell Biology, 9th edition*. San Fransisco: Pearson
- Shihab, Q. (2003). *Tafsir Al Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Susilowati, R. & Suheriyanto, D. (2006). *Setetes Air, Sejuta Kehidupan*. Malang: UIN Press.
- Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). TafsirWeb. Available from: <https://tafsirweb.com/>

Petunjuk:

Gunakan kotak LATIHAN SOAL untuk menjawab pertanyaan bagian LATIHAN SOAL, atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

LATIHAN SOAL

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

MERISKA

BAB 2

STRUKTUR SEL (SEL PROKARIOTIK & SEL EUKARIOTIK)

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai struktur sel yang meliputi sel prokariotik dan eukariotik.
CPMK	Mahasiswa mampu mensintesis perbedaan struktur sel prokariotik dan eukariotik
Sub-CPMK	Mahasiswa mampu: <ul style="list-style-type: none"> ▪ menganalisis struktur sel prokariotik dan eukariotik ▪ mendeskripsikan perbedaan struktur sel hewan, tumbuhan, dan bakteri ▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai Islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

MERAIH SUKSES BELAJAR

RENCANAKAN Belajar mu!	
☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki?	➤ Bacalah pada kolom Deskripsi
☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar?	➤ Bacalah pada kolom Sub-CPMK
KONTROL Belajar mu!	
☆ Materi apa yang sudah dipahami?	➤ Tuliskan pada kotak REFLEKSI DIRI
☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami?	➤ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak TUGAS
EVALUASI Belajar mu!	
☆ Kerjakan Latihan Soal!	➤ Tuliskan pada kotak LATIHAN SOAL
☆ Kerjakan Tugas!	➤ Kerjakan secara individu
☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini?	➤ Perhatikan kotak UMPAN BALIK

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!

☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**

Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!

☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**

Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

Jika pada Bab 1 telah dipelajari tentang teori sel yang menjelaskan bahwa sel merupakan unit struktural, fungsional, dan hereditas, unit terkecil dari kehidupan. Maka pada Bab 2 akan dibahas mengenai struktur sel prokariotik dan eukariotik. Mengapa kedua sel tersebut berbeda strukturnya? Mengapa Allah SWT membedakan struktur keduanya? Mari ketahui jawabannya dari pokok bahasan berikut.

A. PENGANTAR

Dalam kehidupan ini sel terbagi dalam 2 kelompok, yaitu sel prokariotik dan sel eukariotik. Istilah prokariotik berasal dari kata *pro* dan *karyon*. *Pro* berarti sebelum, dan *karyon* artinya inti. Sel prokariotik berarti bahwa sel memiliki materi inti yang tersebar di dalam sitoplasmanya, bukan diartikan tidak memiliki inti. Sementara sel eukariotik dibangun dari kata *eu* yang berarti benar dan *karyon* adalah inti, maka sel eukariotik adalah sel-sel yang telah memiliki inti atau sel yang materi intinya terorganisasi dalam suatu selaput sehingga inti selnya tampak jelas.

Keberadaan dua kelompok sel tersebut merupakan evolusi yang paling mendasar untuk menentukan divisi dalam Dunia Biologi. Secara struktural, sel prokariotik lebih sederhana dibandingkan dengan sel eukariotik. Organisme prokariotik contohnya adalah bakteri. Sel eukariotik secara struktural lebih kompleks, yang termasuk organisme eukariotik antara lain protista, fungi, *plantae*, dan *animalia*.

B. STRUKTUR SEL PROKARIOTIK

Perkembangan prokariot terjadi dalam atmosfer purba yang terbatas. Bukti kehidupan prokariotik telah diperoleh dari batuan sekitar 2,7 miliar tahun. Tidak hanya batu-batu ini mengandung apa yang tampak sebagai fosil mikroba, mereka mengandung molekul organik kompleks yang merupakan ciri khas dari jenis organisme prokariotik tertentu, termasuk *Cyanobacteria*. *Cyanobacteria* hampir pasti muncul oleh 2,4 miliar tahun yang lalu, karena saat itulah atmosfer menjadi diinfuskan dengan molekul oksigen (O_2), yang merupakan produk sampingan dari aktivitas fotosintesis dari prokariota ini.

Secara umum, ukuran sel prokariotik berkisar antara 0,5-3 mm. Suatu prokariot terdiri atas struktur-struktur utama yaitu dinding sel, membran plasma, ribosom, dan bahan genetik. Bahan (materi) genetik prokariot yaitu DNA terkonsentrasi pada pada suatu daerah yang disebut nukleoid, tetapi tidak ada membran yang memisahkan nukleoid dengan sel yang lainnya. Sitoplasmanya mengandung ribosom, tidak memiliki intron, sehingga intron akan ditranskripsikan tetapi kemudian akan mengalami pemotongan sehingga tidak akan mengalami translasi.

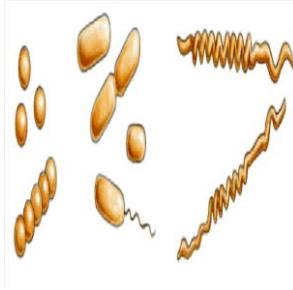
Prokariota sering memiliki lapisan pelindung yang kuat, atau dinding sel yang mengelilingi membran plasma, membungkus satu kompartemen tunggal yang mengandung sitoplasma dan DNA. Dalam mikroskop elektron, interior sel biasanya muncul sebagai tekstur matriks yang bervariasi, tanpa struktur internal yang jelas terorganisir (**Gambar 2-1**).



Gambar 2-1. Hasil Mikrograf Elektron dari Bakteri *Escherichia coli*; DNA Sel ditunjukkan dengan Bagian Terang (Albert, *et al.* 2014. *Essential Cell Biology* 4th edition)

Sebagian besar prokariota hidup sebagai organisme bersel tunggal, meskipun beberapa bergabung bersama untuk membentuk rantai, kelompok, atau struktur multiseluler terorganisir lainnya. Dalam bentuk dan struktur, prokariota

mungkin tampak sederhana dan terbatas, tetapi dalam hal kimia, mereka adalah kelas sel yang paling beragam dan inventif. Prokariota biasanya berbentuk bulat, seperti batang, atau berbentuk spiral (**Gambar 2-2**).

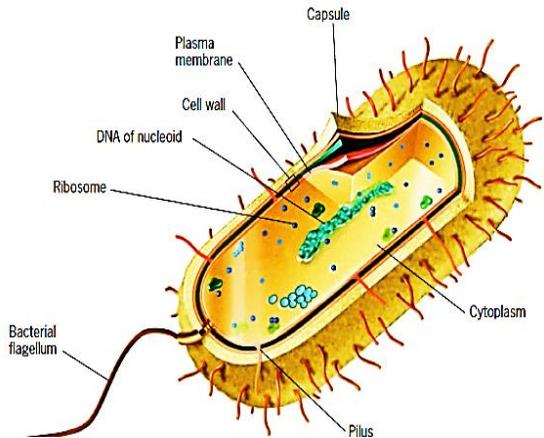


Gambar 2-2. Bentuk dan Ukuran Bakteri; Bentuk (a) Bulat, (b) Batang, dan (c) Spiral.

(Albert, et al., 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

Anggota kelas ini tersebar dalam sejumlah besar habitat, mulai dari genangan lumpur vulkanik yang panas hingga interior sel-sel hidup lainnya, dan jumlahnya jauh lebih banyak daripada semua organisme eukariotik di Bumi. Beberapa organisme prokariotik bersifat aerobik, dan menggunakan oksigen untuk mengoksidasi molekul makanan, dan beberapa di antaranya sangat anaerob, sehingga dapat terbunuh oleh paparan oksigen sekecil apa pun.

Sel prokariotik dan sel eukariotik secara mendasar dibedakan oleh ukuran dan jenis struktur internal, atau organel yang ada di dalamnya. **Gambar 2-3** memperlihatkan ilustrasi tentang struktur internal dari bakteri secara umum sebagai contoh dari organisme prokariotik yang memperlihatkan bahwa sebagian besar sel bakteri memiliki lapisan pembungkus sel, berupa membran plasma, dinding sel yang mengandung protein dan polisakarida. Sejumlah bakteri dapat membentuk kapsul dan lendir, juga flagela dan pili.



Gambar 2-3. Ilustrasi Struktur Internal Bakteri
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

1. Bagian Luar dari Sel Bakteri

Kapsula yaitu bagian yang paling luar berupa lendir yang berfungsi untuk melindungi sel. Bahan kimia pembangun kapsula adalah polisakarida. Kapsula merupakan bagian dari sel, sedangkan lapisan lendir merupakan hasil sekresi, lapisan lendir tersusun dari gula dengan beberapa tipe yaitu glukosa dan galaktosa. Kapsula terkadang mengandung senyawa nitrogen, misalnya glikoprotein, kompleks polisakarida-protein, atau suatu kerangka polisakarida yang terisi dengan polipeptida-polipeptida. Kapsula bakteri merupakan pelindung terhadap lingkungan yang tidak menguntungkan, sebagai cadangan makanan, dan penghubung antar sel.

Dinding sel bakteri terdiri atas karbohidrat, protein, fosfor, dan beberapa garam anorganik juga mengandung asam amino, asam diamino pimalat dan asam asetil fumarat. Dinding sel merupakan struktur yang kaku yang memberikan bentuk pada sel, mengatur pertukaran zat, menahan tekanan osmosis yang tinggi yang diakibatkan oleh kadar ion organik yang tinggi dalam sel, dan reproduksi. Ketebalan dinding sel diperkirakan berkisar dari 10-25 nm. Dinding sel bakteri tersusun atas peptidoglikan (polisakarida yang berikatan dengan protein) yang dapat dipergunakan sebagai dasar penggolongan bakteri Gram, yaitu bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Peptidoglikan ini menyebabkan kakunya dinding sel.

Membran plasma merupakan bagian penutup yang paling dalam. Membran plasma pada bakteri mengandung enzim oksida atau enzim respirasi. Fungsinya sama dengan fungsi mitokondria pada sel eukariotik. Membran plasma pada bakteri dapat membentuk lipatan-lipatan yang berlapis-lapis yang pada beberapa daerah membentuk lipatan ke dalam (invaginasi) disebut mesosom khususnya pada bakteri Gram positif. Fungsi mesosom yaitu untuk respirasi dan sekresi, menerima DNA pada saat konjugasi.

Flagel merupakan struktur seperti rambut yang keluar sehingga menembus dinding sel, bermula dari struktur granular tepat di bawah membran sel di dalam sitoplasma. Flagel terdiri atas tiga bagian yaitu struktur basal, struktur kait, dan sehelai filamen panjang di luar dinding sel. Panjang flagel biasanya beberapa kali panjang selnya, akan tetapi diameternya jauh lebih kecil daripada selnya. Tidak semua bakteri memiliki flagel, banyak spesies basil dan spirillum memilikinya, akan tetapi flagel jarang dijumpai pada bakteri kokus.

Pili (Pillus) adalah struktur yang mirip dengan fimbria tetapi lebih panjang dan jumlahnya di permukaan sel bakteri sedikit. Pili terlibat dalam proses 'konjugasi bakterial' di mana mereka disebut 'pili konjugasi' atau 'pili seks'. Pili tidak mempunyai fungsi untuk pergerakan, karena dapat dijumpai pada bakteri motil dan non motil. Pili F (atau pilus seks) berfungsi sebagai pintu bagi masuknya materi genetik selama berlangsungnya perkawinan antar bakteri. Fungsi lainnya adalah sebagai alat untuk melekat bagi virus-virus bakteri dan sebagai mekanisme pelekatan pada sel-sel hewan dan permukaan-permukaan lain untuk mendapatkan sumber nutrisi.

2. Bagian Dalam dari Sel Bakteri (Bagian Sitoplasma)

Sitoplasma merupakan bagian dalam sel bakteri. Sitoplasma berbentuk koloid yang agak padat yang mengandung butiran protein, glikogen, lemak dan kandungan lainnya seperti asam poli hidrosibutirat, granulosa. Sitoplasma berisi protoplasma yang mengelilinginya dan memiliki ciri tidak bergerak, tidak dapat membentuk dinding sel baru, serta tidak rentan terhadap infeksi Bakteriofage. Protoplasma sel bakteri tidak mengandung organel seperti retikulum endoplasma, badan Golgi, mitokondria, lisosom dan sentriol. Akan tetapi memiliki ribosom, dan ribosom tersebut tersebar di seluruh bagian sel.

Ribosom merupakan tempat sintesis protein. Ribosom prokariotik tersusun atas sub unit kecil dan sub unit besar. Ribosom bakteri berukuran 70S, dan dapat dipisahkan menjadi subunit 30S dan 50S. Subunit 30S mengandung RNA 16S, sedangkan subunit 50S mengandung RNA 23S dan 5S. Ribosom merupakan struktur globular yang tersusun sekitar sepertiga protein dan dua pertiga RNA. Kumpulan poliribosom-membran mengandung semua komponen sistem pensintesis-protein; poliribosom merupakan rantai ribosom 70S (monomer) menempel kepada mRNA. Jumlah ribosom bervariasi sesuai dengan kondisi pertumbuhan: sel tumbuh-cepat dalam medium yang sesuai, mengandung lebih banyak ribosom dibandingkan dengan sel tumbuh-lambat dalam medium yang kurang memadai.

Materi inti suatu sel bakteri terdiri dari DNA dan RNA. DNA bakteri lokasinya berada pada daerah inti atau nukleoid. Antara materi inti dengan sitoplasma tidak terdapat pembatas atau tidak memiliki membran inti. Sel prokariotik mengandung sejumlah kecil DNA dengan total panjang antara 0,25 mm sampai 3 mm yang mampu mengode 2000-3000 protein. Pada beberapa bakteri di dalam sitoplasmanya ada yang mengandung kromatophora yaitu pada bakteri yang mengandung klorofil.

DNA bakteri dapat ditentukan sebagai nukleoid atau badan kromatin dengan mikroskop cahaya dan pewarnaan Feulgen. Teknik pewarnaan langsung terhadap materi inti, badan kromatin sulit dilihat karena RNA berkonsentrasi tinggi, yang dapat dihilangkan dengan pemberian ribonuklease sebelumnya. Badan kromatin dapat dilihat pada semua tahap siklus pertumbuhan. Selama perbanyakan sel, DNA bakteri tetap sebagai jaring kromatin yang tersebar dan tidak pernah berkumpul untuk membentuk suatu kromosom yang tampak jelas selama pembelahan sel, sifat sebaliknya dari kromosom eukariot. Pada saat sel bakteri dihancurkan secara hati-hati, kromosom bakteri dapat dilihat dengan radioautograf sebagai suatu molekul sirkuler. Meskipun DNA bakteri hanya 2-3% berat sel, tapi menempati 10% atau lebih volume sel.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 2-1** berikut!

TUGAS 2-1

Peptidoglikan menjadi dasar penggolongan bakteri Gram. Deskripsikan perbedaan struktur bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif, tunjukkan perbedaan yang mendasar antara keduanya!

**Indikator: Interpretasi
(Mendeskripsikan/Mengklarifikasi
konsep)**

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 2-1

Pertanyaan mengapa Allah SWT membedakan struktur antara sel prokariotik dan eukariotik? Tentunya terjawab dari Firman Allah SWT dalam QS. Al Qomar ayat 49 berikut:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

“Sungguh, Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.”

Segala ciptaan Allah SWT selalu proporsional dan dalam kapasitas yang tepat sesuai dengan fungsinya. Dari segi bahasa, ayat tersebut menjelaskan kata “qadar” yang berarti kadar tertentu yang tidak bertambah atau berkurang, atau dengan kata lain “kuasa”. Dengan kata lain, ayat tersebut menjelaskan bahwa salah satu ketentuan Allah SWT adalah menyangkut takdir dan pengaturan-Nya terhadap makhluk ciptaan-Nya. Allah SWT sangat teliti dalam pengaturan tersebut, itulah mengapa sel diciptakan mikroskopis, dan setiap sel berbeda dari segi ukuran dan komponen penyusunnya, khususnya antara sel prokariot dengan sel eukariot.

Pada ayat lainnya kembali diterangkan dalam QS. An Nahl ayat 8 berikut:

... وَيَخْلُقُ مَا لَا تَعْلَمُونَ ﴿٨﴾

"... Allah menciptakan apa yang tidak kamu ketahui."

Kutipan ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT telah menciptakan sebaik-baiknya bentuk ciptaan-Nya agar berfungsi dalam kehidupan, dan terkadang manusia tidak memahami maksud tersebut. Di saat orang awam memahami bakteri adalah organisme prokariotik yang merugikan, namun Allah SWT menciptakan pula bakteri yang menguntungkan. Sebagai contoh adalah bakteri *Lactobacillus casei shirota strain*. *L. casei shirota strain* sebagai bakteri "baik" pada usus manusia karena keberadaannya berfungsi membantu proses pencernaan.

Dalam ayat lainnya juga diterangkan bahwa tidak ada satu makhluk pun yang diciptakan Allah SWT tanpa tujuan yang benar dan semua diberi potensi yang sesuai, dengan kadar yang cukup untuk menjalankan fungsinya. Segala yang diciptakan Allah SWT adalah tanda-tanda kekuasaan-Nya. Tercantum pada QS. Al Ankabut ayat 43 dan 44 berikut:

وَتِلْكَ الْأَمْثَالُ نَضْرِبُهَا لِلنَّاسِ وَمَا يَعْقِلُهَا إِلَّا الْعُلَمَاءُ ﴿٤٣﴾ خَلَقَ
اللَّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ بِالْحَقِّ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّلْمُؤْمِنِينَ ﴿٤٤﴾

"Dan perumpamaan-perumpamaan ini Kami buat untuk manusia; dan tidak ada yang akan memahaminya kecuali mereka yang berilmu.⁴³ Allah menciptakan langit dan bumi dengan haq. Sungguh, pada yang demikian itu pasti terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang beriman.⁴⁴"

NILAI KARAKTER

Dari kutipan ayat-ayat Al Qur'an tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan, Menjauhkan diri dari sifat sombong**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Telah kita pelajari bahwa bakteri memang organisme prokariotik yang berukuran mikroskopis, dan keberadaan mikroorganisme telah tercatat dalam QS Yunus ayat 61 berikut:

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتَلَوْنَاهُ مِنْهُ مِنْ قُرْآنٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ
عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ وَمَا يَعْزُبُ عَنْ
رَبِّكَ مِنْ مِثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ
ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ ﴿٦١﴾

"Dan tidakkah engkau (Muhammad) berada dalam suatu urusan, dan tidak membaca suatu ayat Al-Qur'an serta tidak pula kamu melakukan suatu pekerjaan, melainkan Kami menjadi saksi atasmu ketika kamu melakukannya. Tidak lengah sedikit pun dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah, baik di bumi ataupun di langit. Tidak ada sesuatu yang lebih kecil dan yang lebih besar daripada itu, melainkan semua tercatat dalam Kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)."

Kalimat terjemahan "Tidak lengah sedikit pun dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah (atom) di bumi ataupun di langit. Tidak ada yang lebih kecil dan tidak (pula) yang lebih besar dari itu, melainkan (semua tercatat) dalam kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)" diartikan bahwa Allah

SWT memang tidak luput menciptakan organisme dengan ukuran sebesar *zarrah* (mikroskopis) yang tentunya memiliki peranan dalam kehidupan. Manusia tidak dapat melihat organisme mikroskopis secara langsung (kasat mata), sehingga muncul berbagai penemuan alat (mikroskop) untuk membantu melihat dan mengamati organisme mikroskopis tersebut. Maka dari itu, sebagai ciptaan-Nya yang paling sempurna, manusia perlu berusaha mengungkap alam semesta melalui penelitian atau kajian keilmuan.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Yunus ayat 61 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

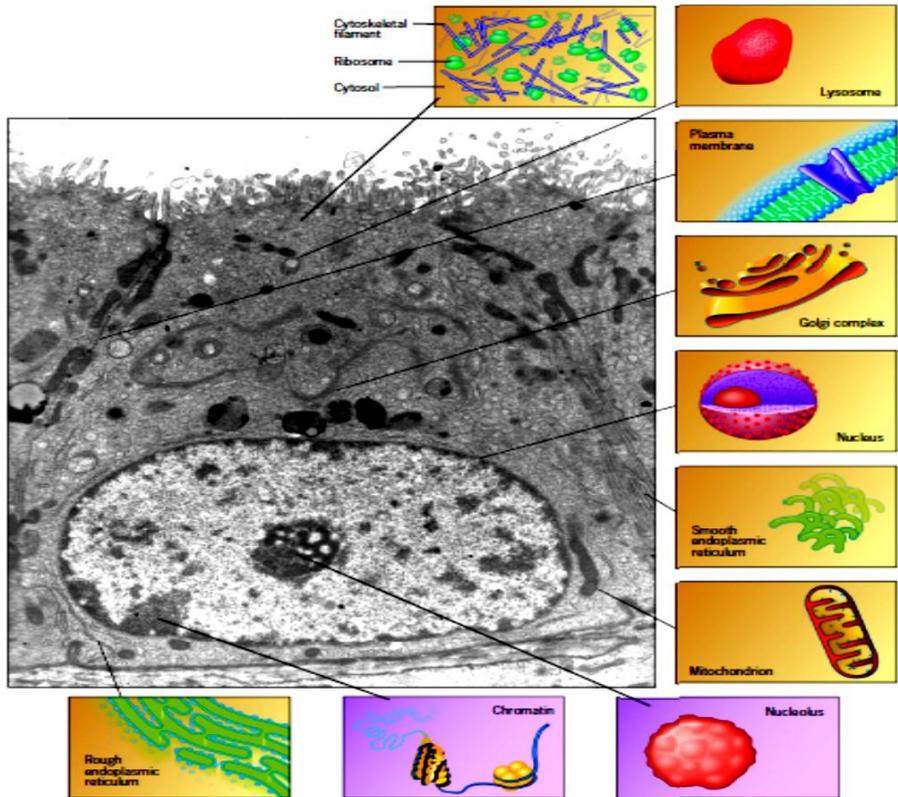
- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan**

**Dapatkah kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

C. STRUKTUR SEL EUKARIOTIK

Sel eukariot mempunyai struktur organisasi yang jauh lebih kompleks dibandingkan sel prokariotik. Pada eukariot bahan genetik (DNA) berada dalam suatu membran nukleus sehingga sel eukariot memiliki struktur nukleus yang jelas.

Salah satu contoh sel eukariot yang paling banyak digunakan dalam studi biologi molekuler adalah khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Sel ini digunakan sebagai model eukariotik karena merupakan jasad renik bersel satu yang mudah ditumbuhkan, serta memiliki kemiripan struktural dan organisasi sel yang dekat dengan sel eukariot tingkat tinggi. Walaupun ukuran, struktur dan proses fisiologisnya berbeda, namun sel eukariot pada umumnya mengandung bagian-bagian yang sama yaitu membran plasma, sitoplasma, dan organel-organel seperti retikulum endoplasma, badan Golgi, lisosom, mitokondria, dan nukleus (lihat **Gambar 2-4**).



Gambar 2-4. Ilustrasi Struktur Sel Eukariotik
 (Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Membran plasma, sel hewan maupun sel tumbuhan mengandung membran plasma yang bersifat semipermeabel dan tipis. Membran plasma memiliki ketebalan berkisar 7.5-10 nm tersebut tersusun atas lipid, protein, kolesterol, dan oligosakarida. Struktur membran sel tersusun dari dua lapis lipid yang di permukaannya terdapat rantai gula dan protein. Membran plasma memiliki dua fungsi utama, yaitu untuk menjaga ketetapan isi sel yang berupa cairan sitosol dan mengatur lalu lintas pertukaran zat antara lingkungan ekstraseluler dan lingkungan intraseluler. Hal ini dimungkinkan karena membran sel bersifat semipermeabel.

Fenomena alam yang menggambarkan kondisi lingkungan ekstraseluler dan intraseluler dengan perbedaan konsentrasi telah tersirat dalam QS Al Furqon ayat 53 berikut:

﴿ وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ
أَجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا ﴾

“Dan Dialah yang membiarkan dua laut mengalir (berdampingan); yang ini tawar dan segar dan yang lain sangat asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang tidak tembus.”

Dari terjemahan ayat tersebut kita mengetahui “dua laut yang mengalir (berdampingan)” diinterpretasikan sebagai dua daerah dalam sel yang berisi cairan dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu ekstraseluler dan intraseluler. Selanjutnya dipertegas kembali melalui kalimat “yang ini tawar dan segar dan yang lain sangat asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang tidak tembus” diartikan sebagai cairan dengan konsentrasi rendah (CIS) dan yang asin lagi pahit adalah cairan konsentrasi tinggi (CES), dan keduanya dipisahkan oleh sebuah membran sel sebagai pembatas. Dengan demikian, fenomena sains tersebut adalah tanda-tanda kuasa-Nya dan Allah SWT Maha Mengatur segalanya.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Furqon ayat 53 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjaga diri, Mencari ilmu pengetahuan**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan!**

Sitoplasma merupakan lingkungan di dalam sel selain nukleus. Sitoplasma terdiri atas cairan berbentuk pekat yang mengisi sekitar 55% volume sel dan penting dalam metabolisme perantara, sintesis protein ribosom, dan penyimpanan lemak dan glikogen. Ada lima jenis organel utama yang menempati sitoplasma: retikulum endoplasma, aparatus Golgi, lisosom, peroksisom, dan mitokondria, ribosom, sentrosom, inti atau nukleus.

Retikulum endoplasma (RE) merupakan organel yang terdiri atas RE halus dan RE kasar, di mana RE kasar ditaburi oleh ribosom. RE kasar berfungsi untuk mensintesis dan melepaskan protein-protein baru. Sebagian protein ini ditujukan ke lingkungan ekstrasel sebagai sekretorik yaitu hormon-hormon dan enzim-enzim. Sebagian lagi diarahkan ke lingkungan intrasel untuk membentuk membran sel baru, yang mana salah satu komponennya adalah protein. Ribosom terdapat bebas di sitoplasma, melekat pada retikulum endoplasma, berbentuk sangat kecil (diameter 20-25 nm), berfungsi untuk mensintesis lanjut protein tersebut, di mana satu ribosom mensintesis hanya satu macam protein untuk digunakan di dalam sitosol. RE halus berfungsi untuk menerima protein yang diproduksi dari RE kasar untuk selanjutnya dikirim melalui vesikel transportasi ke aparatus Golgi.

Aparatus Golgi/Badan Golgi, struktur badan Golgi berbentuk tumpukan kantong-kantong pipih yang sangat kompleks dan pada bagian dalam kantong-kantong tersebut terdapat ruang-ruang kecil. Membran badan Golgi terbentuk dari lipoprotein. Badan Golgi merupakan organel yang berfungsi untuk menghasilkan sekret berupa butiran getah, mengemas dan mendistribusikan protein yang disintesis oleh retikulum endoplasma. Aparatus Golgi menerima protein tersebut melalui vesikel transportasi yang berasal dari retikulum endoplasma.

Lisosom merupakan organel yang terdapat pada sel hewan, bentuknya seperti bola dan ukuran diameternya ± 500 nm. Lisosom mengandung enzim-enzim hidrolitik yang kuat dan

berfungsi untuk melakukan pencernaan intrasel, sekaligus menghancurkan benda asing atau sisa-sisa sel yang dibawa ke dalam sel melalui mekanisme endositosis. Enzim-enzim ini dibungkus oleh suatu membran, sehingga tidak akan keluar dan merusak isi sel. Pada lisosom (enzim-enzim) terbentuk dari sintesis protein di retikulum endoplasma dan dibawa melalui vesikel terselubung dari aparatus Golgi.

Peroksisom merupakan organel bulat bermembran dengan garis tengah 0.5-1.2 μm yang mengandung enzim-enzim oksidatif yang berfungsi untuk mendetoksifikasi zat sisa yang masuk ke dalam sel dengan cara melepaskan atom hidrogen yang dipindahkan ke oksigen molekular sehingga menjadi peroksida, yang bersifat merusak sel. Peroksida kemudian diubah menjadi air dan oksigen dengan bantuan enzim katalase.

Mitokondria, yang berbentuk bulat lonjong, ukurannya 500 sampai 200 nm. Mitokondria banyak terdapat pada sel yang sedang aktif, berfungsi mengubah energi kimiawi metabolit yang terdapat dalam sitoplasma menjadi energi yang mudah dimanfaatkan oleh sel yaitu ATP. Mitokondria terdiri dari membran luar dan membran dalam. Membran dalam membentuk lipatan-lipatan ke dalam berbentuk Krista (*cristae*). Ruang antar krista disebut matriks. Krista mengandung protein yang berfungsi pada proses transpor elektron pada pencernaan makanan. Sedangkan matriks terdiri dari campuran pekat ratusan enzim yang berbeda yang penting untuk mempersiapkan molekul nutrisi untuk pengambilan akhir energi yang dapat digunakan oleh protein di krista.

Sentrosom terletak pada sitoplasma dekat membran inti. Pada saat pembelahan mengandung dua sentriol. Sebuah sentrosom terbentuk dari 9 set tabung yang masing-masing terdiri dari 3 buah mikrotubul yang berfungsi menggerakkan kromosom pada saat pembelahan sel.

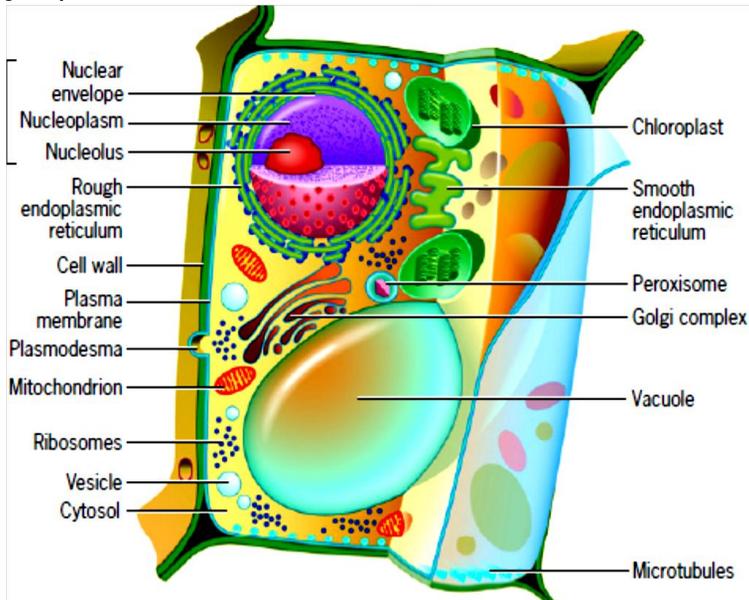
Inti sel atau Nukleus terletak pada sitoplasma biasanya di tengah. Umumnya sel makhluk hidup mengandung satu inti, tetapi ada juga yang berinti lebih dari satu misalnya pada sel

otot lurik. Inti sel terbagi dalam beberapa bagian, yaitu membran inti, nukleoplasma dan kromosom, serta nukleolus.

Sitoskeleton merupakan jaringan protein kompleks, berada di sitoplasma berfungsi mengorganisasikan komponen intrasel menjadi susunan yang sesuai dan untuk mengontrol gerakannya. Ada tiga unsur penyusun sitoskeleton, yaitu mikrotubulus, mikrofilamen, dan intermediet filamen.

Sedikit berbeda dengan sel hewan, pada sel tumbuhan memiliki dinding sel yang tebal, plasmodesma, kloroplas, vakuola besar, plastida, badan mikro, dan diktiosom sedangkan sel hewan tidak. Bagian-bagian lainnya yang terdapat pada sel tumbuhan sama dengan sel hewan terkecuali dinding sel, plastida, vakuola (lihat **Gambar 2-5**).

Dinding sel pada sel tumbuhan terbentuk dari bahan polisakarida yaitu selulosa. Fungsi dinding sel yaitu melindungi sitoplasma dan membran sitoplasma. Pada beberapa sel tumbuhan sel yang satu dengan sel yang lainnya dihubungkan dengan plasmodesmata.



Gambar 2-5. Ilustrasi Struktur Sel Tumbuhan
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Plastida pada umumnya sel mengandung plastid, ukuran diameternya $4\mu - 6\mu$. Plastida ada yang berwarna ada juga yang tidak berwarna. Plastid yang tidak berwarna disebut leukoplas sedangkan plastid yang berwarna disebut kromoplas. Leukoplas yang berfungsi untuk membuat amilum disebut amiloplas dan yang membentuk lemak disebut liloplas. Sedangkan kromoplas yang mengandung klorofil disebut kloroplas.

Vakuola, terdapat baik pada sel tumbuhan maupun sel hewan, tetapi pada sel tumbuhan tampak lebih besar dan jelas terutama pada sel yang sudah tua. Vakuola pada sel tumbuhan dikelilingi membran tunggal disebut tonoplas. Vakuola sel tumbuhan umumnya berisi air, phenol, anthocyanin, alkaloid dan protein. Vakuola ini berperan untuk menjaga turgor, dan menyimpan cadangan makanan.

KONTROL BELAJAR MU!

☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**

Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**

Kerjakan **TUGAS 2-2** berikut!

TUGAS 2-2

Contoh dari sel eukariotik adalah sel hewan dan sel tumbuhan. Buatlah perbandingan secara mendasar antara sel hewan dengan sel tumbuhan bila dilihat dari struktural, fungsional, dan metabolisme!

Indikator: Analisis
(Membandingkan/Mengkaji konsep)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 2-2

Seperti yang telah dibahas, sel terbagi dalam dua kelompok yaitu sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik memiliki struktur yang sederhana bila dibandingkan dengan sel eukariotik yang kompleks karena memiliki organel yang tidak ditemukan pada sel prokariotik. Dengan mempelajari perbedaan struktur sel prokariotik dan sel eukariotik, kita dapat menyadari bahwa betapa besar kuasa Tuhan YME karena telah memperhitungkan apa yang diciptakan-Nya.

Sebagai orang yang beriman, kita perlu meyakini bahwa dalam perumpamaan penciptaan yang dilakukan oleh Allah SWT memiliki manfaat bagi kehidupan manusia. Seperti yang telah dijelaskan dalam kutipan QS An Nahl ayat 8 berikut:

... وَيَخْلُقُ مَا لَا تَعْلَمُونَ ﴿٨﴾

"... Allah menciptakan apa yang tidak kamu ketahui."

Kutipan ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT telah menciptakan keberadaan bentuk-bentuk kehidupan di mana manusia sebelumnya tidak mengetahui. Manusia perlu berusaha (kerja keras) untuk mengungkap keberadaan sel sebagai awal kehidupan. Dan tidak dapat dipungkiri bahwa Allah SWT Maha Kuasa untuk menciptakan apapun dengan obyek apa saja, baik yang besar maupun yang lebih kecil. Semua hal tersebut ditujukan agar kita (manusia) memiliki akhlak untuk berpikir, memikirkan tentang ciptaan-Nya, sehingga kita menjadi manusia yang beriman dan bertaqwa kepada Allah SWT. Seperti kutipan QS. Al Baqarah ayat 219:

... كَذَلِكَ يُبَيِّنُ اللَّهُ لَكُمْ آيَاتِهِ لَعَلَّكُمْ تَتَفَكَّرُونَ ﴿٢١٩﴾

"Demikianlah Allah menerangkan ayat-ayat-Nya kepadamu agar kamu memikirkan."

NILAI KARAKTER

Dari kutipan ayat-ayat Al Qur'an tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan, Kerja keras**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Pokok bahasan mengenai perbedaan struktur sel prokariotik dan eukariotik memberikan kita pemahaman bahwa struktur dari suatu makhluk hidup akan mengikuti bagaimana fungsinya dalam kehidupan. Ketika diketahui sel prokariotik secara struktur materi intinya tersebar dalam sitoplasma, maka organismenya pun memiliki fungsi yang sederhana pula. Demikian sebaliknya, sel eukariotik materi intinya telah terorganisasi dengan baik sehingga organel-organel sel dapat saling bekerja sama membentuk sistem endomembran, maka fungsi dari organisme eukariotik dalam kehidupan pun tidak sesederhana organisme prokariotik. Oleh karena itu, sebagai manusia kita diberi akal dan pikiran untuk dipergunakan sebaik-baiknya, memikirkan tentang ciptaan-Nya, sebagaimana Allah SWT telah menciptakan sel sesuai dengan ukurannya untuk diketahui dan dipelajari agar bermanfaat bagi kehidupan.

EVALUASI BELAJAR MU!

- ☆ **Apakah saya sudah menguasai seluruh pokok bahasan ini?**

Catat kembali dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

Jika belum, pelajari kembali dan kerjakan pertanyaan-pertanyaan kotak **TUGAS 2-1** dan **TUGAS 2-2**

- ☆ **Apakah saya sudah benar-benar memahami materi yang telah dipelajari?**

Jawablah pertanyaan pada **LATIHAN SOAL**

D. LATIHAN SOAL

1. Berdasarkan struktur dari sel prokariotik dan eukariotik, buatlah 4 perbedaan dari kedua sel tersebut!
(Indikator: Interpretasi, Mengode/Mendeskrripsikan)
2. Mengapa sel selalu berukuran mikroskopis?
(Indikator: Penjelasan, Menjelaskan pendapat/argumen)
3. Perhatikan kutipan QS. Al Qomar ayat 49 berikut:



إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

“*Sungguh, Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.*”

Terjemahan QS Al Qomar ayat 49 jelas menerangkan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu menurut ukuran. Jelaskan pendapat Saudara tentang keterkaitan ayat tersebut dengan topik struktur sel prokariotik dan eukariotik!

(Indikator: Interpretasi, Menafsirkan/Menjelaskan/Mengklarifikasi informasi)

UMPAN BALIK

- ☆ **Apakah Anda sudah mampu menyelesaikan semua TUGAS dan LATIHAN SOAL?**
Jika belum, pelajari kembali urutan materi yang dibahas.

REFERENSI

- Al Fatih. (Februari, 2013). *Al Qur'an dan Terjemahannya, Mushaf Khadijah*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology 4th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>
- Jamal, A.B. & D.S. Jamal. (2008). *Ensiklopedi Petunjuk Sains dalam Al Qur'an dan Sunnah*. Jakarta: PT. Kuwais Internasional
- Jasmi, K. A., Ahmad A., & Jamarluddin, I. A. (2013). *Al Quran dan Biologi in Penciptaan Manusia dari Perspektif Al Quran*. Skudai, Johor Bahru: Universiti Teknologi Malaysia Press.
- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology (Concepts and Experiments). 7th Edition*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al Qur'an-LPMQ. (2019). *Qur'an Kemenag in Word Add-Ins*. Jakarta: Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Minarno, E.D. (2017). *Integrasi Sains-Islam dan Implementasinya dalam Pembelajaran Biologi*. Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi, dan Industri (SNTIKI), Fakultas Sains dan Teknologi, Pekanbaru, 18-19 Mei 2017.
- Shihab, Q. (2003). *Tafsir Al Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sumadi & Aditya. (2007). *Biologi Sel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). *TafsirWeb*. Available from: <https://tafsirweb.com/>
- Yuwono, T. (2005). *Biologi Molekular*. Jakarta: Erlangga.

Petunjuk:

Gunakan kotak LATIHAN SOAL untuk menjawab pertanyaan bagian LATIHAN SOAL, atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

LATIHAN SOAL

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Petunjuk:

Tuliskan hasil pemahaman Anda pada kotak REFLEKSI DIRI atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

REFLEKSI DIRI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

MERISKA

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai struktur dan fungsi membran sel dan organel sel, yang meliputi inti sel, ribosom, mitokondria, retikulum endoplasma, badan Golgi, lisosom, kloroplas, dan sitoskeleton.
CPMK	Mahasiswa mampu menganalisis struktur dan fungsi membran sel dan organel sel, serta metabolisme selulernya
Sub-CPMK	<p>Mahasiswa mampu:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mendeskripsikan struktur dan fungsi membran sel ▪ menganalisis mekanisme Transpor zat melalui Membran sel ▪ mendeskripsikan struktur dan fungsi dari Inti sel (Nukleus) ▪ memahami tentang Genom, Kromosom, dan Gen ▪ menganalisis keterkaitan antara nukleus dengan kromosom, DNA, Gen ▪ menjelaskan struktur dan fungsi Ribosom ▪ menganalisis mekanisme Sintesis Protein ▪ menjelaskan struktur dan fungsi Mitokondria ▪ menganalisis mekanisme Siklus Krebs, Respirasi Seluler, dan Transpor Elektron ▪ menjelaskan struktur dan fungsi organel RE, Badan Golgi, Lisosom ▪ menganalisis mekanisme Hasil Metabolisme RE, Badan Golgi, Lisosom ▪ menjelaskan struktur dan fungsi organel Kloroplas ▪ menganalisis mekanisme Konversi Energi ▪ menjelaskan struktur dan fungsi Sitoskeleton ▪ menganalisis mekanisme Pergerakan Sel ▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai Islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

MERAIH SUKSES BELAJAR

RENCANAKAN Belajar mu!

- ☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki? ➤ Bacalah pada kolom **Deskripsi**
- ☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar? ➤ Bacalah pada kolom **Sub-CPMK**

KONTROL Belajar mu!

- ☆ Materi apa yang sudah dipahami? ➤ Tuliskan pada kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami? ➤ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak **TUGAS**

EVALUASI Belajar mu!

- ☆ Kerjakan Latihan Soal! ➤ Tuliskan pada kotak **LATIHAN SOAL**
- ☆ Kerjakan Tugas! ➤ Kerjakan secara individu
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini? ➤ Perhatikan kotak **UMPAN BALIK**

MERISKA

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!

☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**

Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!

☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**

Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

Seperti yang telah dipelajari pada bab sebelumnya, pada bab ini akan membahas bagaimana struktur dan fungsi membran sel dan organel sel yang meliputi inti sel, ribosom, mitokondria, retikulum endoplasma, badan Golgi, lisosom, kloroplas, serta sitoskeleton.

A. PENGANTAR

Setiap sel hidup yang ada di Bumi memiliki membran untuk memisahkan dan melindungi komponen kimianya dari lingkungan luar. Tanpa membran, tidak akan ada sel, dan dengan demikian tidak ada kehidupan. Membran sel sangat penting untuk kehidupan sel.

Pada semua sel, membran sel mengandung protein yang bertindak sebagai sensor sinyal eksternal, sehingga memungkinkan sel berubah menjadi respons terhadap isyarat lingkungan; sensor protein ini, atau reseptor, mentransfer informasi ion atau molekul yang melintasi membran. Gradien ion yang melintasi membran dibentuk oleh aktivitas protein membran khusus yang dapat digunakan untuk mensintesis ATP, menggerakkan gerakan transmembran dari zat terlarut, atau dipergunakan dalam sel-sel saraf dan otot, atau untuk menghasilkan dan mengirimkan sinyal listrik.

Lebih lanjut mengenai struktur membran sel (membran plasma) dan organel sel, serta aktivitas seluler yang terjadi di dalamnya akan dibahas berikut.

B. MEMBRAN SEL

Membran sel ditemukan di hampir semua sel hidup. Berfungsi membungkus sel dan memisahkan isi sel dari lingkungan luar. Sejarah membran plasma diawali dari pengetahuan pertama mengenai sifat kimia dari lapisan luar sel ditemukan oleh Ernst Overton dari University of Zurich pada tahun 1890. Overton mengetahui bahwa larutan non-polar lebih mudah terlarut dalam pelarut non-polar daripada di dalam pelarut polar, dan sebaliknya. Overton berpendapat bahwa zat memasuki sel dari media yang larut dalam lapisan luar sel tersebut.

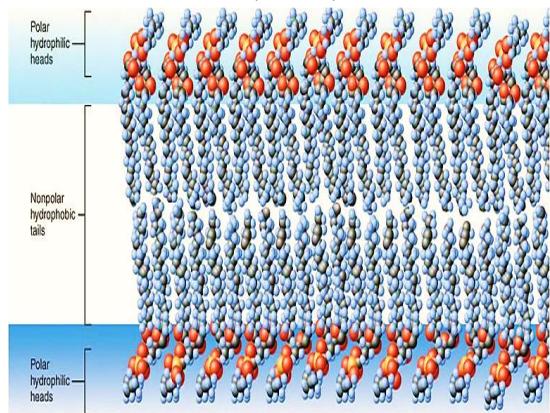
1. Struktur Membran Sel

Struktur membran sel terutama disusun dari molekul-molekul lipid dan protein. Kedua jenis molekul tersebut dapat mengalami glikosilasi atau penambahan gugus gula menjadi glikolipida dan glikoprotein. Jenis dan panjang rantai serta pola glikosil sangat menentukan sifat dan fungsi membran sel.

Seiring berkembangnya zaman, para ilmuwan mengilustrasikan beberapa model dari struktur membran plasma antara lain sebagai berikut:

▪ Model lipid bilayer oleh Gorter & Grendel (1925)

Struktur membran ini tersusun dari gugus polar bersifat hidrofilik dan gugus nonpolar yang bersifat hidrofobik. Gugus polar mengarah ke bagian luar dari bilayer, sedangkan gugus hidrofobik (rantai asam lemak) berada di bagian tengah dari lipid bilayer (**Gambar 3-1**).

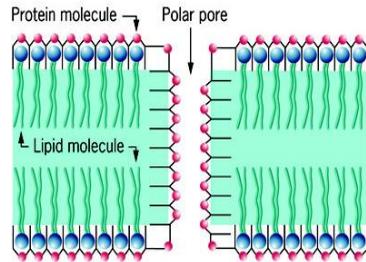


Gambar 3-1. Ilustrasi Model Membran Plasma Menurut Gorter & Grendel (1925)

(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

- Model lipid bilayer oleh Davson & Danielli (1935)

Pada model ini, struktur lipid bilayernya disisipi oleh protein globular yang berjejer. Protein globular tersebut membentuk seperti saluran sebagai jalan zat terlarut dan ion keluar-masuk sel (**Gambar 3-2**).

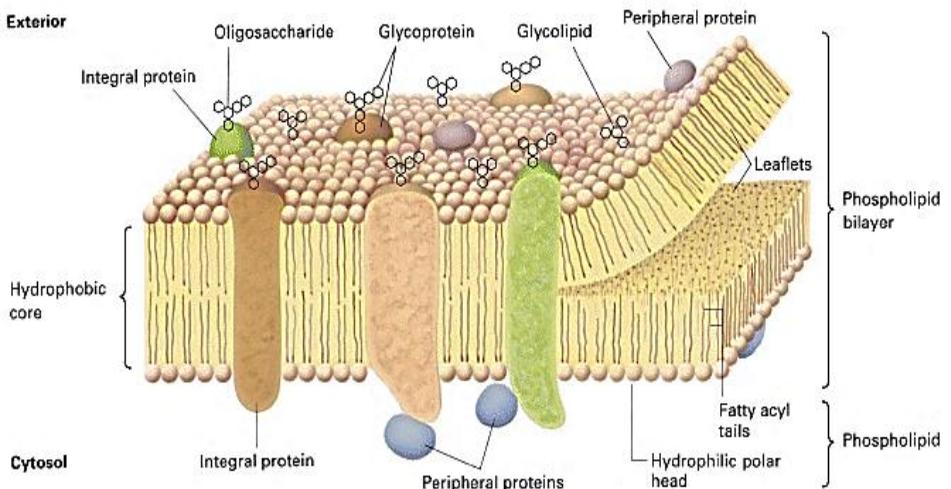


Gambar 3-2. Ilustrasi Model Membran Plasma Menurut Davson & Danielli (1935)

(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

- Model lipid bilayer oleh Singer & Nicholson (1972)

Model lipid bilayer ini dikenal *fluid mosaic* atau model mosaik cair. Sementara protein terdistribusi secara mosaik. Model mosaik cair menghadirkan membran sel sebagai struktur dinamis di mana komponen-komponennya saling bergerak dan terlibat dalam berbagai jenis interaksi sementara atau semipermanen. Protein dapat melintasi membran fosfolipid, atau berada di bagian tepi sel. Seperti tampak pada **Gambar 3-3** berikut:



Gambar 3-3. Ilustrasi Model Membran Plasma Fluid Mosaic Singer & Nicholson (1972)

(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

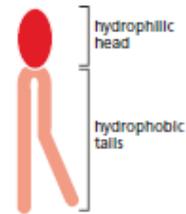
Membran sel atau membran plasma setiap organel dan sel memiliki beragam komposisi penyusunnya.

▪ **Lipid Membran**

Membran dibangun oleh fosfolipid. Membran mengandung berbagai macam lipid yang bersifat amfipatik karena memiliki bagian yang bersifat hidrofilik dan hidrofobik (**Gambar 3-4**).

Terdapat 3 jenis lipid membran yang utama, yaitu fosfogliserida, sfingolipida, dan kolesterol.

Fosfogliserida, sebagian besar lipid membran mengandung gugus fosfat yang membentuk fosfolipid dan fosfolipid membran umumnya dibangun dari gliserol sehingga disebut fosfogliserida. Fosfogliserida biasanya mengandung satu rantai asil lemak tak jenuh dan satu rantai asil lemak jenuh. Membran fosfogliserida memiliki gugus tambahan yang terikat dengan fosfat. Secara umum yaitu kolin (membentuk *phosphatidyl-choline*, PC), ethanolamine (*phosphatidyl-ethanolamine*, PE), serine (*phosphatidyl-serine*, PS), atau inositol (membentuk *phosphatidyl-inositol*, PI). Sfingolipida, merupakan turunan dari *sphingosine* yaitu amino alkohol yang mengandung rantai hidrokarbon panjang. Sphingolipids terdiri dari *sphingosine* berikatan dengan asam lemak pada gugus aminonya. Kolesterol, membangun lebih dari 50% molekul lipid pada membran plasma sel hewan. Kolesterol tidak terdapat pada membran plasma sebagian besar tumbuhan dan seluruh sel bakteri. Gugus hidroksil dari kolesterol yang bersifat hidrofilik menentukan orientasi molekul ini pada membran sel. Gugus hidroksil berada pada bagian permukaan membran. dan sisa dari molekul tertanam dalam bilayer lipid. Lingkaran Hidrofobik molekul kolesterol datar dan kaku, serta mengganggu pergerakan ekor asam lemak dari fosfolipid.



Gambar 3-4 Ilustrasi bentuk lipid membran (Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology*, 4th edition)

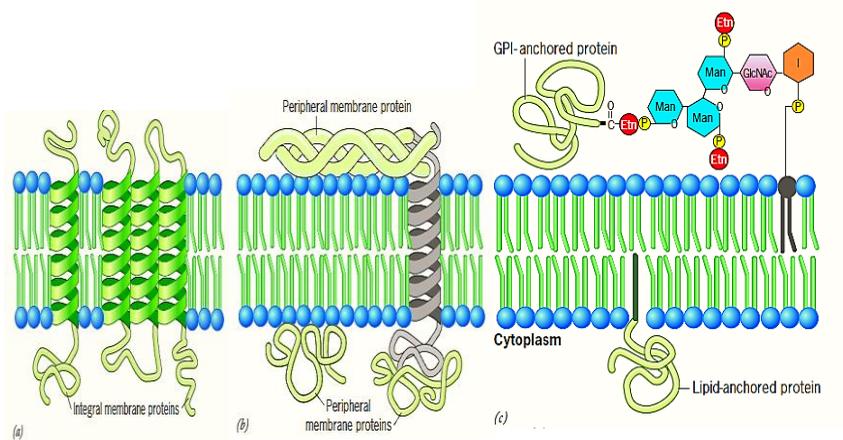
Lipid bilayer terdiri dari dua lembaran yang memiliki komposisi lipid berbeda. Membran plasma merupakan membran asimetris karena molekul lipid lembaran luar berbeda dengan molekul lipid pada lembaran dalam. Demikian juga dengan molekul polipeptida yang tersembul dari kedua lembaran lipid bilayer tersebut juga berbeda. Masing-masing kelas pada lipid menunjukkan sifat yang berbeda satu sama lain. Sebagai contoh yaitu Glikolipid pada membran plasma berada di bagian lembaran luar yang berfungsi sebagai reseptor ligan ekstraseluler.

▪ **Karbohidrat Membran**

Membran plasma pada sel eukariotik mengandung karbohidrat pada permukaan luarnya. Senyawa karbohidrat dapat berupa oligosakarida maupun polisakarida yang terikat secara kovalen dengan protein membran membentuk glikoprotein atau berikatan kovalen dengan lipid membran membentuk glikolipid. Penyebaran karbohidrat pada membran plasma bersifat asimetris. Seluruh karbohidrat menghadap ke bagian luar sel (ekstrasitosolik). Karbohidrat pada membran dalam sel juga menghadap menjauhi sitosol tidak pernah ada di permukaan sitosolik.

▪ **Protein Membran**

Protein membran dapat diklasifikasi menjadi tiga kelas berdasarkan letaknya pada lipid bilayer (**Gambar 3-5**), yaitu Protein Integral, protein yang menyusup ke dalam lipid bilayer. Protein ini dapat menembus membran sehingga memiliki bidang pada sisi ekstra seluler dan sitoplasmik dari membran. Protein integral merupakan protein transmembran. Protein Perifer, protein ini terletak dibagian luar lipid bilayer, baik di bagian sitoplasmik maupun di bagian luar sel serta masih berhubungan dengan membran melalui ikatan non kovalen. Dan terakhir yaitu protein membran yang berikatan dengan lipid, terdapat di sebelah luar lipid bilayer tetapi berikatan secara kovalen dengan molekul lemak yang terdapat pada lipid bilayer.



Gambar 3-5. Ilustrasi Tiga Kelompok Protein Membran Pada Lipid Bilayer
 (A) Protein Integral; (B) Protein Perifer; (C) Protein Membran yang Berikatan dengan Lipid
 (Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

2. Fungsi Membran Plasma

Dari segi fisiologis, keberadaan membran plasma dapat diketahui dengan adanya permeabilitas selektif terhadap senyawa-senyawa tertentu. Berikut beberapa fungsi dari membran plasma.

Kompartemenlisasi

Membran sel berfungsi sebagai pembatas antara isi sel dengan lingkungan luar sel. Lapisan yang bersinambungan melingkupi sel, inti, organel. Membran plasma membungkus seluruh isi sel, sedangkan membran nukleus dan membran sitoplasma membungkus berbagai ruang intraseluler. Berbagai membran membatasi kompartemen sel yang memiliki isi yang berbeda. Pembatasan membran memungkinkan kegiatan khusus dapat berlangsung tanpa gangguan dari luar dan juga memungkinkan kegiatan selular dapat diatur secara mandiri satu sama lain.

Berkaitan dengan struktur membran sel yang tersusun dari molekul fosfolipid bilayer sebagai pemisah antara lingkungan luar sel dan dalam sel, Allah SWT telah memberikan gambaran fenomena alam yang serupa dengan peristiwa tersebut pada QS. Al Furqan ayat 53 berikut:

﴿ وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ
أَجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا ﴾

“Dan Dialah yang membiarkan dua laut mengalir (berdampingan); yang ini tawar dan segar dan yang lain sangat asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang tidak tembus.”

Terjemahan ayat tersebut mensiratkan bahwa Allah SWT membiarkan dua lautan dengan konsentrasi yang berbeda mengalir berdampingan, dan di antara keduanya terdapat batas yang menghalangi. Fenomena alam tersebut memberikan gambaran terkait struktur dan fungsi dari membran sel, bahwa di antara dua daerah yang memiliki konsentrasi berlawanan yaitu CIS sebagai daerah dengan konsentrasi rendah dan CES merupakan lingkungan luar sel yang memiliki konsentrasi tinggi, terdapat sebuah pembatas sehingga kedua cairan tersebut tidak saling bercampur. Apa yang terjadi di alam adalah kuasa-Nya dan Allah SWT telah mengatur hal tersebut dengan sebaik-baiknya.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Furqan ayat 53 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjaga diri, Mencari ilmu pengetahuan**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Sebagai tempat berlangsungnya aktifitas biokimia

Beberapa proses di dalam sel tergantung pada suatu reaksi yang dikatalis oleh enzim yang terdapat dalam membran, produk suatu reaksi akan bertindak sebagai reaktan untuk reaksi selanjutnya. Jika enzim yang berbeda pada membran berada dalam susunan yang berurutan, produk suatu reaksi dapat dilepaskan ke dekat enzim untuk reaksi berikutnya.

Penghalang yang bersifat selektif permeabel

Membran plasma berfungsi sebagai “barrier” atau penghalang yang bersifat selektif permeabel. Hal tersebut berfungsi untuk:

- mencegah pertukaran molekul secara bebas dari satu sisi ke sisi lainnya.
- memungkinkan substansi tertentu masuk ke sitoplasma dari lingkungan luar mencegah masuknya senyawa tertentu masuk ke sitoplasma.
- sebagai penghalang umum.

Sebelumnya telah dijelaskan dalam QS. Al Furqan ayat 53 bahwa Allah SWT menjadikan dua laut yang berbeda mengalir berdampingan dan di antara keduanya terdapat pembatas agar tidak bercampur. Pada ayat lainnya yaitu QS. Al Hujurat ayat 6 Allah SWT berfirman:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِن جَاءَكُمْ فَاسِقٌ بِنَبَأٍ فَتَبَيَّنُوا أَن تُصِيبُوا
قَوْمًا بِجَهَالَةٍ فَتُصْبِحُوا عَلَىٰ مَا فَعَلْتُمْ نَادِمِينَ ﴿٦﴾

“Wahai orang-orang yang beriman! Jika seseorang yang fasik datang kepadamu membawa suatu berita, maka telitilah kebenarannya, agar kamu tidak mencelakakan suatu kaum karena kebodohan (kecerobohan), yang akhirnya kamu menyesali perbuatanmu itu.”

Terjemahan ayat tersebut menjelaskan “Jika seseorang yang fasik datang kepadamu membawa suatu berita, maka telitilah kebenarannya”, hal itu memberikan arti bahwa sebagai manusia kita perlu menjaga diri dari hal-hal yang tidak baik dan selalu bersikap selektif terhadap berita, kabar, atau informasi yang kita peroleh. Persis seperti membran sel yang berperan dalam suatu sel, di mana sel diciptakan oleh Allah SWT memiliki membran guna menyeleksi zat-zat apa saja yang dapat masuk ke daerah CIS. Membran sel berfungsi sebagai “barrier” atau penghalang yang bersifat selektif permeabel, artinya tidak semua molekul dapat masuk ke dalam intraseluler.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Hujurat ayat 6 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjaga diri, Jujur**

**Dapatkah kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Pengangkutan zat terlarut

Membran plasma mengandung mesin untuk pengangkutan substansi fisik dari satu sisi ke sisi membran yang lain, dari daerah yang zat terlarutnya berkonsentrasi rendah ke daerah yang zat terlarutnya pada konsentrasi yang lebih tinggi. Mesin transportasi membran memungkinkan sel untuk mengumpulkan bahan, seperti gula dan asam amino, yang diperlukan untuk bahan bakar metabolisme dan membangun makromolekulnya. Membran plasma mampu mengangkut ion tertentu, sehingga membentuk gradien ionik melintasi membran. Kemampuan pengangkutan ini sangat penting untuk sel saraf dan sel otot.

Memberikan respon terhadap rangsangan dari luar

Membran plasma berperan penting dalam memberikan respon sel terhadap rangsangan luar, proses ini dikenal sebagai transduksi sinyal. Membran memiliki reseptor yang bergabung

dengan molekul tertentu (atau ligan) yang memiliki struktur komplementer. Tipe sel yang berbeda memiliki molekul reseptor yang berbeda sehingga mampu mengenali dan menanggapi ligan yang berbeda dari lingkungan.

Interaksi reseptor membran plasma dengan eksternal ligan dapat menyebabkan membran menghasilkan sinyal yang merangsang atau menghambat kegiatan internal. Sebagai contoh, sinyal yang dihasilkan pada membran plasma dapat memberitahu sel untuk memproduksi lebih banyak glikogen, untuk mempersiapkan pembelahan sel, untuk bergerak menuju konsentrasi yang lebih tinggi tertentu senyawa, untuk melepaskan kalsium dari gudang penyimpanan internal, atau mungkin untuk melakukan penghancuran.

Interaksi interseluler

Membran plasma juga sebagai perantara interaksi antar sel dalam organisme multiselular. Membran plasma memungkinkan sel untuk mengenali sinyal satu sama lain, untuk menempel ketika sesuai, dan untuk pertukaran materi dan informasi.

Transduksi energi

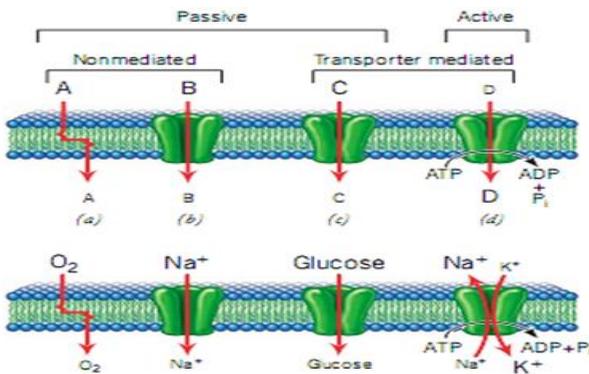
Membran plasma terlibat dalam proses perubahan energi ke bentuk energi lain (transduksi energi). Misalnya dalam peristiwa selama fotosintesis yaitu ketika energi sinar matahari diserap oleh pigmen penyerap pada membran untuk diubah menjadi energi kimia, dan disimpan dalam bentuk karbohidrat. Pada eukariota, mekanisme perubahan energi ini terjadi di dalam membran pada kloroplas dan mitokondria.

3. Transpor zat melalui Membran

Isi sel dikelilingi oleh membran plasma sehingga semua komunikasi antara sel dan ekstraseluler harus melalui struktur ini. Seperti yang telah dijelaskan, membran plasma memiliki dua fungsi utamanya yaitu untuk mempertahankan materi dalam sel sehingga tidak mudah keluar ke lingkungan, dan sebagai media

pertukaran materi dari dan keluar sel. Terdapat dua definisi dasar transportasi substansi melalui membran yaitu secara pasif dengan difusi, dan secara aktif dengan proses transfer energi.

Setidaknya ada empat mekanisme dasar perpindahan molekul larutan melewati membran, antara lain: (a) Difusi sederhana melalui bilayer selalu terjadi dari konsentrasi yang tinggi menuju konsentrasi yang rendah; (b) Difusi sederhana melalui *channel aqueous* membentuk protein integral membran; (c) Difusi fasilitasi, molekul larutan berikatan dengan protein pembawa; (d) Transpor aktif, *transporter* protein dengan *binding site* yang spesifik. **Gambar 3-6** merupakan ilustrasi mekanisme dasar perpindahan molekul larutan melalui membran.



Gambar 3-6. Ilustrasi Empat Mekanisme Dasar Perpindahan Molekul melalui Membran (a) Difusi Sederhana melalui Bilayer; (b) Difusi Sederhana melalui Protein Channel; (c) Difusi Fasilitasi Molekul berikatan dengan Protein Carrier; (d) Transpor Aktif (Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Transpor materi secara umum dapat dipahami menjadi dua kelompok, yaitu transpor molekul berukuran kecil dan ion-ion, serta transpor molekul berukuran besar meliputi pinositosis dan fagositosis.

Transpor molekul berukuran kecil dan ion-ion

Secara umum transpor materi berukuran kecil dan ion-ion dibedakan menjadi difusi sederhana, difusi terfasilitasi (dipermudah dengan bantuan protein membran), dan transpor aktif. **Difusi Sederhana** diartikan sebagai pergerakan molekul melintasi membran plasma. Molekul yang melintas tersebut

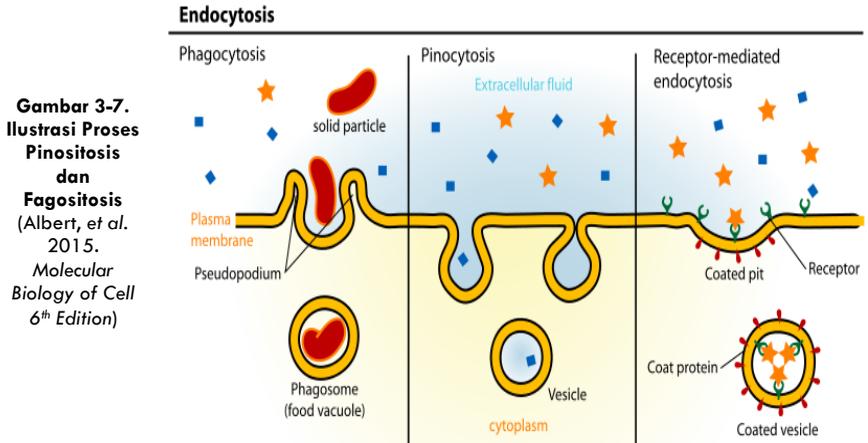
bersifat hidrofobik, sementara molekul hidrofilik hanya yang berukuran kecil saja. **Difusi Fasilitasi** merupakan pergerakan molekul yang difasilitasi oleh protein membran. Ada dua jenis protein membran transpor, yaitu protein *carrier*/pembawa dan protein *channel*/kanal/saluran. Protein *carrier* sering disebut protein pembawa, atau *transporter*. *Transporter* tersebut ada yang mengikat molekul-molekul spesifik untuk dilakukan ke sisi lain membran, seperti gula, asam amino, dan nukleotid. Ada pula *transporter* khusus yang mengikat anion, dan kation seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Cl^- . Sementara itu, protein *channel* bekerjanya dengan membentuk pori terbuka dalam membran, membiarkan molekul-molekul kecil dan bermuatan melewati membran.

Transpor Aktif memiliki beberapa karakteristik, antara lain: melawan gradien konsentrasi atau potensial elektrik, memerlukan energi metabolik, dan spesifik untuk substansi tertentu. Transpor aktif dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung. Transpor aktif langsung yaitu pompa tipe P dan tipe V, sementara transpor aktif tidak langsung adalah simport dan antiport. Pompa tipe P antara lain pompa H^+ ATP-ase, pompa Ca^{2+} ATP-ase, dan pompa Na^+/K^+ ATP-ase. Sedangkan tipe pompa V memiliki kesamaan struktur dengan $\text{F}_0\text{F}_1\text{-ATP-ase}$ yang menggunakan H^+ gradien sebagai sumber energi untuk sintesis ATP pada bakteri, ganggang biru, mitokondria, dan kloroplas.

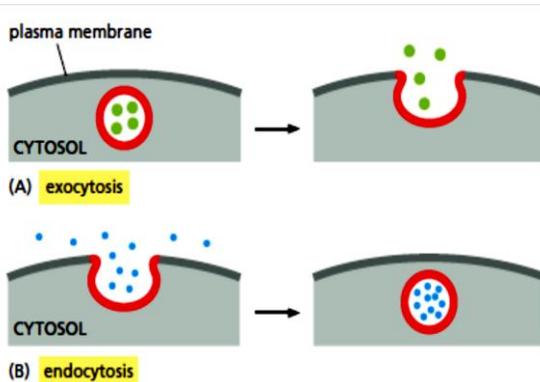
Transpor molekul berukuran besar dan transpor partikel

Dalam transpor ini meliputi pinositosis dan fagositosis. Perhatikan **Gambar 3-7**. Perbedaan yang mendasar dari kedua mekanisme transpor tersebut adalah sifat dan ukuran bahan yang ditranspor. Jika berupa larutan/cairan, maka akan terbentuk gelembung-gelembung kecil disebut pinositosis (meminum), dan jika bahan yang ditranspor berupa makromolekul (meliputi organel berukuran kecil) maka akan terbentuk gelembung-gelembung besar disebut fagositosis atau memakan. Pengangkutan makromolekul berukuran besar dan partikel yang tidak mungkin melibatkan protein membran,

maka dilakukan melalui mekanisme endositosis dan eksositosis. Endositosis merupakan peristiwa pengangkutan ke arah dalam, atau pemasukan makromolekul dan partikel-partikel besar ke dalam sel. Eksositosis adalah mekanisme pelepasan dari sel-sel ke luar sel (daerah ekstraseluler). Lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 3-8**.



Gambar 3-7.
Ilustrasi Proses
Pinositosis
dan
Fagositosis
 (Albert, *et al.*
 2015.
Molecular
Biology of Cell
 6th Edition)



Gambar 3-8. **Ilustrasi Perbedaan Antara**
Proses Eksositosis dan Endositosis
 (Albert, *et al.* 2015. *Molecular Biology of*
Cell 6th Edition)

KONTROL BELAJAR MU!

☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**

Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**

Kerjakan **TUGAS 3-1** berikut!

TUGAS 3-1

Buatlah ilustrasi mekanisme transpor molekul berukuran kecil dan berukuran besar, disertai dengan penjelasannya!

**Indikator: Penjelasan
(Menjelaskan/Memperinci informasi)**

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 3-1

C. INTI SEL

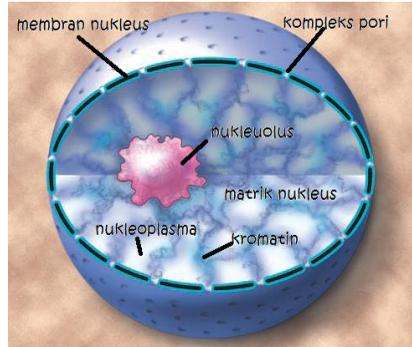
Nukleus merupakan komponen seluler yang terlibat dalam pengendalian sel (kontrol genetik). Pada sel eukariot, nukleus mengandung sebagian besar materi genetik (gen). Nukleus umumnya merupakan organel yang paling menonjol dalam sel eukariotik, dikatakan sebagai organel karena nukleus pada sel eukariotik telah memiliki sistem membran inti (selaput nukleus) yang berperan sebagai pemisah antara inti dengan sitoplasma. Selaput nukleus merupakan membran ganda yang tersusun atas lapisan-lapisan lipid dan protein terkait, dipisahkan oleh ruang-ruang kecil disebut pori nuklear. Pori nuklear berperan mengatur komunikasi dan transportasi antara inti dengan sitoplasma. Berikut penjelasan mengenai Struktur dan Fungsi nukleus dalam kehidupan seluler.

1. Struktur Inti Sel (Nukleus)

Nukleus pada sel eukariotik mempunyai peran yang penting dalam penyimpanan dan pemanfaatan informasi genetik. Nukleus memiliki morfologi yang istimewa dengan massa bahan tertutup oleh selubung nukleus yang kompleks dan membentuk batas antara nukleus dan sitoplasma. Pemisahan

bahan genetik sel dari sitoplasma merupakan hal yang paling penting untuk membedakan prokariota dengan eukariota, yaitu adanya selubung nukleus sebagai penanda dalam evolusi biologi.

Gambar 3-9 merupakan ilustrasi dari struktur inti sel pada organisme eukariotik. Secara garis besar, struktur inti sel meliputi kromosom, satu atau dua nukleolus, nukleoplasma, dan matriks nukleus yang mengandung protein jaringan saraf.

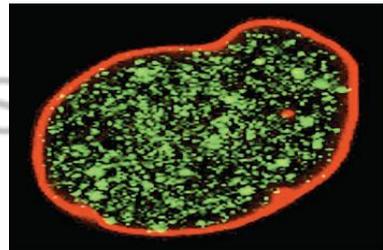


Gambar 3-9 Ilustrasi Struktur Inti Sel
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

- **Selubung Nukleus**
Struktur Selubung Nukleus

Selubung nukleus (**Gambar 3-10**) terdiri dari dua membran seluler yang sejajar satu sama lain yang berfungsi sebagai penghalang ion, larutan, dan makromolekul yang secara bebas keluar masuk antara nukleus dan sitoplasma.

Dua membran tersebut berhimpitan dan dipisahkan oleh ruangan sempit yang disebut perinuklear, berukuran sekitar 10-50 nm. Lembaran yang terdapat di sebelah dalam disebut membran dalam atau membran nukleoplasmik, sedangkan lembaran luar disebut membran luar atau membran sitosolik. Dua membran menyatu dan membentuk pori nuklear yang mengandung ribuan kompleks protein. Adanya pori nuklear ini



Gambar 3-10 Lamina nukleus
Inti sel manusia yang menggunakan antibodi berlabel flourescently untuk mengungkap lamina nukleus (merah), yang terletak pada permukaan bagian dalam selubung nukleus.
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

memudahkan pengangkutan bahan atau senyawa makro dari atau ke sitoplasma.

Membran luar dipenuhi dengan ribosom dan berhubungan langsung dengan membran retikulum endoplasma kasar. Ruang antar membran terhubung dengan lumen RE. Permukaan dalam membran dalam selubung nukleus terikat oleh protein membran integral suatu filamen tipis, yang disebut lamina nuklear. Lamina nuklear menyediakan dukungan mekanik untuk selubung nukleus, yang berfungsi untuk melekat pada serat kromatin di pinggir nukleus serta berperan dalam replikasi DNA dan transkripsi. Filamen dari lamina nukleus berdiameter sekitar 10 nm dan terdiri dari polipeptida, yang disebut lamins. Lamins adalah anggota polipeptida yang merakit 10 nm filamen intermedia. Integritas filamen intermedia yang membentuk lamina nuklear diatur dengan fosforilasi dan defosforilasi.

Struktur Kompleks Pori Nuklear

Pori nuklear merupakan lubang-lubang yang terdapat pada selubung nuklear. Setiap porus berada di dalam suatu susunan berbentuk pinggan yang disebut kompleks pori nuklear. Porus dikelilingi oleh suatu *annulus* yaitu bentukan yang bukan bagian dari membran. Di sebelah dalam *annulus* terdapat granula yang disebut granula sentral.

Bila selubung nukleus merupakan penghalang antara inti dan sitoplasma, maka pori nuklear adalah pintu masuk penghalang tersebut. Berbeda dengan membran plasma, selubung nukleus merupakan pusat kegiatan untuk pergerakan RNA dan protein di kedua arah antara nukleus dan sitoplasma. Pada replikasi dan transkripsi bahan genetik di dalam nukleus diperlukan protein yang disintesis pada sitoplasma dalam jumlah besar untuk diangkut melintasi selubung nukleus. Sebaliknya, mRNA, tRNA dan subunit ribosom yang diproduksi di dalam nukleus harus diangkut melalui selubung nukleus ke arah yang berlainan.

Pori nukleus mengandung struktur rumit disebut kompleks pori nukleus (*Nuclear Pore Complex*) yang muncul untuk mengisi pori seperti penyumbat, yang memproyeksikan sitoplasma dan nukleoplasma. *Nuclear Pore Complex* (NPC) adalah supramolekul kompleks berukuran 15 sampai 30 kali massa dari sebuah ribosom yang menunjukkan simetri segi delapan karena pengulangan delapan kali lipat dari sejumlah struktur. Meskipun ukuran besar dan kompleks, NPC hanya berisi sekitar 30 protein yang berbeda. Setiap pori-pori nukleus ada setidaknya dalam delapan salinan disesuaikan dengan struktur segi delapan.

- **Kromosom dan Kromatin**

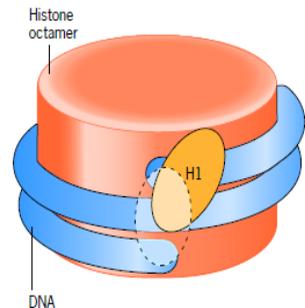
Kromosom muncul di awal mitosis dan menghilang ketika pembelahan sel berakhir.

Pengemasan Genom

Sel manusia rata-rata mengandung sekitar 6,4 miliar DNA yang terbagi menjadi 46 kromosom. Setiap kromosom yang tidak direplikasi mengandung molekul DNA panjang tunggal; semakin besar kromosom semakin panjang DNA yang terkandung.

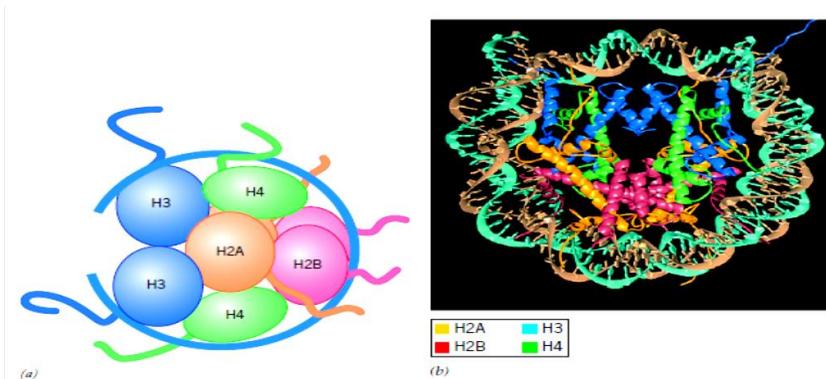
Kromosom terdiri dari DNA dan protein yang terkait disebut kromatin. Pengemasan DNA eukariotik tergantung pada histon (**Gambar 3-11**). Histon adalah sekelompok kecil protein yang memiliki kandungan asam amino dasar sangat tinggi, yaitu asam amino arginin dan lisin. Histon dibagi menjadi lima kelas yang dibedakan berdasarkan rasio arginin dan lisin. Urutan asam amino histon, khususnya H3 dan H4 telah mengalami perubahan selama jangka evolusi.

Mengapa histon sangat penting? Salah satu alasannya adalah histon berinteraksi dengan molekul DNA, yang identik pada semua organisme. Selain itu, hampir semua asam amino dalam molekul histon terlibat dalam interaksi dengan molekul



Gambar 3-11 Ilustrasi Nukleosom Terorganisir Kromatin
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

lain, baik DNA atau histon. Akibatnya, asam amino sangat sedikit dalam histon dapat diganti dengan lainnya tanpa memengaruhi fungsi protein. DNA dan histon terorganisir dalam subunit yang tersusun, disebut nukleosom. Inti histon dari nukleosom masing-masing terdiri dari dua salinan setiap histon H2A, H2B, H3, dan H4 dirakit ke octamer. Sisanya jenis histon H1 terdapat di luar partikel inti nukleosom. Histon H1 disebut *Linker* histon karena sebagai pengikat bagian dari DNA yang menghubungkan satu partikel inti nukleosom ke partikel inti berikutnya (**Gambar 3-12**).



Gambar 3-12 Struktur Nukleosom

(a) Representasi skematik dari partikel inti nukleosom dengan octamer histone-nya terdiri dari empat heterodimer histone (dua dimer H3 / H4 dan dua dimer H2A / H2B). (b) struktur kristalografi sinar-X dari partikel inti nukleosom dilihat ke bawah sumbu pusat superhelix DNA, menunjukkan posisi masing-masing dari delapan molekul histon dari octamer inti. Histon disusun menjadi empat kompleks dimer. Setiap dimer histone mengikat 27 hingga 28 pasangan basa DNA, dengan kontak yang terjadi ketika alur kecil DNA menghadap inti histon.

(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Heterokromatin dan Eukromatin

Kromatin yang tetap dipadatkan selama interfase disebut heterokromatin, untuk membedakan dengan eukromatin. Heterokromatin dibagi menjadi 2 kelas yaitu konstitutif heterokromatin dan fakultatif heterokromatin.

Heterokromatin tetap dalam keadaan padat di semua sel selama daur hidup sel, dan merupakan DNA yang secara permanen tidak aktif. Pada sel mamalia, sebagian besar heterokromatin konstitutif ditemukan di wilayah yang sisi-sisinya

kromosom telomer dan sentromer. DNA heterokromatin konstitutif terutama terdiri dari urutan berulang dan mengandung sedikit gen. Heterokromatin diperkirakan berisi komponen yang pengaruhnya dapat menyebar keluar. Heterokromatin juga berfungsi untuk menghambat rekombinasi genetik antara pengulangan urutan homolog. Jenis rekombinasi dapat menyebabkan duplikasi DNA dan penghilangan.

Berbeda dengan konstitutif, heterokromatin fakultatif adalah kromatin yang secara khusus tidak aktif selama fase tertentu kehidupan organisme atau dalam beberapa jenis sel. Heterokromatin fakultatif tidak selamanya dalam keadaan mampat. Pada saat tertentu kromatin ini terurai dan pada saat diurai, kromatin ini dapat disalin.

Kode Histon

Beberapa tahun terakhir telah muncul hipotesis yang dikenal sebagai kode histon, yang mengendalikan aktivitas daerah kromatin tergantung pada modifikasi atau kombinasi tertentu, di ekor histon. Pola modifikasi menghiasi histon inti berisi informasi yang dikodekan untuk mengatur sifat-sifat nukleosom.

Telomer

Masing-masing kromosom mengandung molekul DNA *double-stranded* tunggal yang panjang. Ujung masing-masing molekul DNA terdiri dari bidang rangkaian yang bersatu dengan protein, membentuk balutan pada setiap ujung kromosom yang disebut telomer. Telomer manusia berisi rangkaian TTAGGG AATCC yang diulang sebanyak 500-5000 kali.

Telomer ini memiliki fungsi yang sama pada organisme berbeda. Sejumlah protein *DNA-binding* ditemukan bahwa mereka terikat secara khusus kepada urutan telomer dan sangat berguna terhadap fungsi telomer. Seperti ditemukan baru-baru ini, urutan DNA pada telomer juga tersedia sebagai tempat untuk sintesis RNAs. Telomer adalah bagian yang sangat penting dalam kromosom karena dibutuhkan untuk menyempurnakan

replikasi dari kromosom. Selain itu, telomer berperan dalam membuat tudung untuk melindungi kromosom dari nuklease dan pengaruh lain yang membuatnya tidak stabil, mencegah ujung kromosom berfusi dengan yang lainnya.

Sentromer

Daerah yang mengalami penyempitan merupakan tanda bahwa daerah tersebut adalah sentromer pada kromosom. Pada manusia sentromer mengandung urutan DNA 171-*base pair* (disebut X-satelit DNA) yang membentang sekitar 500 kilobase. Bagian DNA ini bergabung dengan protein yang membedakannya dengan bagian kromosom lain. Misalnya, kromatin yang bersentromer mengandung jenis histon H3 yang unik, disebut CENP-A, yang menggantikan H3 konvensional pada fraksi tertentu dalam nukleosom bersentromer. Kinetokor berperan sebagai daerah pelengkap dari mikromolekul yang memisahkan kromosom selama pembelahan sel. Kromosom yang tidak mengandung CENP-A, gagal memasang kinetokor dan hilang selama pembelahan sel.

• **Nukleolus**

Nukleolus tidak memiliki struktur membran sel. Nukleolus terdiri dari tiga daerah, yaitu suatu pusat yang terdiri dari fibrilar yang mengandung DNA yang belum disalin, komponen fibrilar terdiri atas fibril-fibril dengan diameter 5-6 nm dan mengandung RNA yang telah ditranskripsi, serta komponen Granular (zona granula) mengandung butiran padat dengan diameter 15-20 nm dan protein ribonukleat.

Ukuran nukleolus sangat bervariasi dan berubah-ubah, seiring dengan perubahan fisiologis di dalam sel. Penampakan nukleolus juga berubah-ubah selama daur hidup sel. Pada saat interfase, nukleolus tampak jelas namun kenampakan ini ada tingkatannya. Pada saat menjelang mitosis, nukleolus mengecil dan pecah menjadi serpihan-serpihan kecil, sehingga pada tahap metafase akhirnya nukleolus menghilang. Hilangnya nukleolus pada tahap metafase ini seiring dengan terbentuknya

kromosom dan berhentinya sintesis RNA. Pada tahap telofase, nukleolus mulai tampak kembali sebagai butir-butir halus yang lama-kelamaan akan melebur membentuk satu atau lebih nukleoli.

2. Fungsi Inti Sel (Nukleus)

Peran nukleus tidak hanya sebagai pengendali aktivitas sel saja. Berikut ini beberapa fungsi nukleus yang perlu diketahui:

- Sebagai penyimpan informasi genetik
Hal ini disebabkan oleh membran inti yang terdapat pada nukleus ini bisa mempertahankan DNA yang ada di dalamnya.
- Mengontrol pertumbuhan sel
Sel berperan mengontrol pertumbuhan sel suatu organisme, baik itu sel yang membelah, atau pun hanya perlu membesar. Bahkan sel yang tidak membelah pun berada di bawah kontrol nukleus.
- Sebagai tempat replikasi dan juga transkripsi
Nukleus merupakan tempat saat DNA melakukan replikasi. Setelah DNA melakukan replikasi, selanjutnya akan terjadi proses mitosis yang terjadi.
- Mengendalikan metabolisme
Pengendalian metabolisme oleh nukleus ini dikarenakan adanya proses sintesis protein, dan terjadi karena adanya transkripsi dan translasi pada nukleus.

3. Nukleus, Kromosom, DNA, dan Gen

Keberadaan nukleus sebagai pengatur aktivitas seluler tentunya berkaitan dengan kromosom, DNA, dan Gen. **Bagaimana ketiga hal tersebut (Kromosom-DNA-Gen) dapat saling berkaitan?**

Kromosom pada dasarnya adalah pembawa gen yang terdapat di dalam inti sel, merupakan suatu struktur makromolekul yang berisi DNA dan protein Histon. Kata "kromosom" berasal dari bahasa Yunani, yaitu *chroma* yang artinya warna dan *soma* yang berarti badan. Struktur umum

kromosom terdiri dari dua bagian, yaitu sentromer yang merupakan pusat kromosom berbentuk bulat, dan lengan kromosom yang mengandung kromonema.

Pada prinsipnya, DNA merupakan asam deoksiribosa nukleat, tersusun dari gugus fosfat, gugus deoksiribosa dan basa nitrogen. Di dalam sel, biasanya DNA terletak di dalam inti sel. Sementara itu, **gen secara substansi merupakan sepegal/segmen DNA berupa urutan nukleotida yang membawa informasi mengenai urutan asam amino untuk sintesis protein tertentu atau jenis RNA tertentu.** Tidak semua gen digunakan untuk menghasilkan protein. Sebagai contoh, gen untuk transfer RNA (tRNA) digunakan untuk membuat molekul tRNA, dan sementara tRNAs diperlukan untuk sintesis protein, dan tidak diterjemahkan untuk menghasilkan protein.

Gen berperan sebagai penentu sifat organisme. Sebagai suatu materi tersendiri yang terdapat di dalam kromosom, gen mengandung informasi genetik, mengatur perkembangan dan proses metabolisme dari individu, serta dapat menduplikasi dirinya saat pembelahan sel. Kebanyakan gen memiliki panjang 1.000-4.000 nukleotida (nt). Sebagian besar gen tersebut mengendalikan protein yang dihasilkan oleh sel, dan gen memengaruhi bagaimana sel, jaringan, dan organ dapat terlihat, baik dengan bantuan mikroskop atau dapat pula terlihat nyata oleh indera penglihatan (mata). Penampilan yang diwariskan ini disebut sifat.

Beberapa sifat dikendalikan oleh gen tunggal, tetapi banyak yang lainnya ditentukan oleh beberapa gen, yang menghasilkan banyak protein dan berinteraksi dengan cara yang kompleks. Gen memengaruhi tidak hanya metabolisme sel, tetapi kemampuan kognitif dan perilaku.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 3-2** berikut!

TUGAS 3-2

Buatlah sebuah ilustrasi (berupa gambar/diagram) yang disertai dengan penjelasannya mengenai hubungan antara Nukleus, Kromosom, DNA, dan Gen!

Indikator: Analisis
(Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 3-2

D. RIBOSOM & SINTESIS PROTEIN

Ribosom merupakan salah satu organel sel yang secara spesifik berfungsi dalam peristiwa sintesis protein. Ribosom ditemukan baik pada sel prokariota maupun eukariota. Pada sel prokariota ribosom terdapat bebas di sitosol, sedangkan pada sel eukariota selain terdapat bebas di sitosol juga terdapat di matriks mitokondria, stroma kloroplas atau menempel pada permukaan retikulum endoplasma kasar. Proses sintesis protein terjadi pada semua tipe ribosom. Berikut akan dibahas mengenai struktur ribosom, fungsi, dan peristiwa sintesis protein.

1. Struktur Ribosom

Secara fisik, sub unit ribosom dapat diidentifikasi dengan mengukur nilai pengendapannya melalui sentrifugasi kecepatan tinggi. Setiap partikel atau molekul mempunyai koefisien sedimentasi yang dinyatakan dalam unit Svedberg (S). Ribosom *E. coli* diketahui memiliki ukuran 70S dan ini dijadikan standar untuk pengukuran monosom dan sub unit ribosom. Ribosom *E. coli* terdiri dari 50S (sub unit besar) dan 30S (sub unit kecil),

sementara untuk organisme eukariot memiliki ukuran 80S yang terdiri dari 60S (sub unit besar) dan 40S (sub unit kecil). Ribosom mitokondria memiliki ukuran bervariasi yaitu dari ukuran 55S pada hewan dan 80S pada beberapa protozoa dan fungi, sementara ribosom kloroplas berukuran 70S.

Karakterisasi kimia ribosom terdiri dari 50-80 protein yang berbeda, serta 3-4 molekul RNA. Tiap sub unit memiliki serangkaian makromolekul yang berbeda dan unik. Sub unit kecil ribosom terdiri dari satu molekul RNA dan sub unit besar terdiri dari minimal dua molekul RNA. rRNA juga diidentifikasi berdasarkan nilai S-nya. rRNA adalah rantai polinukleotida tunggal di mana pada daerah tertentu mengalami lipatan yang menyebabkan formasi untai ganda. Hal ini disebabkan karena adanya ikatan hidrogen antara pasangan basa yang saling berkomplementer.

2. Fungsi Ribosom

Ribosom memiliki fungsi utama yaitu memproduksi dan mensintesis protein yang ada di dalam sel. Pada ribosom akan terjadi proses penerjemahan kode-kode genetik (kodon) yang dibawa oleh mRNA. Selama proses penerjemahan ribosom menempel dan bergeser sepanjang molekul mRNA dari ujung 5'-3'. Dalam penerjemahan tersebut akan terlibat tRNA yang membawa antikodon, dan tRNA tersebut akan menggandeng asam amino.

3. Sintesis Protein

Proses sintesis protein secara garis besar dibagi dalam dua tahap, yaitu **transkripsi** dan **translasi**.

Transkripsi

Transkripsi merupakan sintesis RNA dari salah satu rantai DNA, yaitu rantai cetakan yang disebut *sense*, sedangkan pasangan rantai DNA nya disebut rantai *anti-sense*, terjadi didalam sel. Transkripsi terdiri dari 3 tahap yaitu: **Tahap Inisiasi (pemrakarsaan)**, transkripsi diawali oleh promoter, yaitu daerah DNA tempat RNA polimerase melekat. Promoter mencakup titik

awal transkripsi dan biasanya membentang beberapa pasang nukleotida di depan titik awal tersebut. **Tahap Elongasi (pemanjangan)**, ketika RNA bergerak disepanjang DNA, pilinan rantai ganda DNA tersebut terbuka secara berurutan kira-kira 10-20 basa DNA. Enzim RNA polimerase menambahkan nukleotida ke ujung 3' dari molekul RNA yang dibentuk disepanjang rantai ganda DNA. Setelah sintesis RNA berlangsung, rantai ganda RNA akan terbentuk kembali dan RNA baru akan terlepas dari cetakannya. **Tahap Terminasi (pengakhiran)**, transkripsi berlangsung hingga RNA polimerase mentranskripsi urutan DNA yang dinamakan terminator. Terminator merupakan urutan DNA yang berfungsi untuk mengakhiri proses transkripsi. Pada prokariotik, transkripsi berhenti pada saat RNA polimerase mencapai titik terminasi. Pada eukariotik, RNA polimerase terus melewati titik terminasi, 10-35 nukleotida, RNA yang telah terbentuk terlepas dari enzim tersebut.

Translasi

Translasi berlangsung di dalam sitoplasma dan ribosom. **Translasi merupakan proses penerjemahan suatu kode genetik (kodon) menjadi protein yang sesuai.** Kode genetik tersebut berupa kodon disepanjang molekul mRNA, sebagai penerjemahnya adalah tRNA. tRNA membawa asam amino dari sitoplasma ke ribosom. Molekul tRNA membawa asam amino spesifik pada salah satu ujungnya yang sesuai dengan triplet nukleotida pada ujung tRNA lainnya yang disebut anti kodon.

Tahap translasi ada 3 yaitu: **Tahap Pemrakarsa (Inisiasi)**, inisiasi meliputi tahap interaksi antara ribosom subunit besar dengan ribosom subunit kecil, mRNA, inisiator aminoasil tRNA, GTP dan beberapa faktor inisiasi (IF), inisiator aminoasil tRNA hanya dapat berikatan dengan kodon AUG yang disebut initiating codon, karena AUG adalah kode untuk asam amino Metionin. Metionin ini akan digandeng oleh inisiator aminoasil tRNA, sehingga tRNA ini sering disebut dengan Met-tRNA. Tahap inisiasi diawali dengan pemisahan ribosom subunit besar dan

ribosom sub unit kecil. Langkah kedua adalah Met-tRNA berinteraksi dengan GTP, selanjutnya langkah ketiga adalah kombinasi Met-tRNA dan GTP akan bergabung dengan ribosom subunit kecil, akibatnya langkah keempat adalah ribosom subunit kecil akan siap untuk bersatu dengan mRNA dalam suatu reaksi kompleks yang melibatkan hidrolisis ATP, penyatuan diawali dengan penempelan tudung 5' mRNA pada ribosom subunit kecil untuk kemudian ribosom ini akan bergerak terus sepanjang mRNA sampai bertemu dengan kodon pemrakarsa AUG. Selanjutnya langkah kelima adalah penyatuan ribosom subunit kecil dan ribosom subunit besar yang disertai dengan hidrolisi GTP menjadi GDP, gabungan antara ribosom dengan mRNA dan Met-tRNA menandakan selesainya tahap pemrakarsa untuk kemudian masuk ketahap pemanjangan atau elongasi.

Tahap Pemanjangan (Elongasi), langkah pertama dari proses elongasi adalah reaksi pengikatan aminoasil tRNA (AA2) dengan GTP. Langkah kedua kompleks ini kemudian terikat pada ribosom A. Langkah ketiga GTP dihidrolisis, Met-tRNA terdapat pada sisi P dan aminoasil-tRNA (AA2) pada sisi A siap membentuk rantai peptida pertama. Langkah keempat metionin yang digandeng oleh tRNA inisiatot pada sisi P mulai terikat dengan asam amino yang dibawa oleh tRNA inisiator pada sisi A dengan ikatan peptida membentuk dipeptida, sehingga sisi P ribosom menjadi kosong, reaksi ini dikatalisis oleh peptidil transferase yang dihasilkan oleh ribosom subunit besar, langkah kelima peptidil tRNA berpindah kesisi P akibat pergeseran ribosom ke arah 3' dan terbuka kodon berikutnya pada sisi A dan siap dimasuki oleh tRNA berikutnya. Setelah kedua tempat di ribosom terisi oleh tRNA yang menggandeng asam amino masing-masing, asam amino ini akan berada sangat berdekatan, akibatnya akan terjadi ikatan peptida di antara keduanya. Terjadi ikatan antar kedua asam amino ini dikatalisis oleh enzim peptidil transferase. Peptidil transferase bekerja sama dengan enzim deasilase-tRNA akan memutuskan ikatan antara tRNA dengan asam amino yang digandengnya.

Tahap Penghentian (terminasi), penerjemahan akan berhenti apabila kodon penghenti (UAA, UAG atau UGA) masuk ke sisi A. Hal ini terjadi karena tidak ada satu pun tRNA yang memiliki antikodon yang dapat berpasangan dengan kodon-kodon penghenti. Sebagai ganti molekul tRNA, masuklah faktor pembebas atau RF (*Release Factor*) ke sisi A. Faktor ini bersama-sama dengan molekul GTP, melepaskan rantai polipeptida yang telah usai dibentuk dari tRNA yang terakhir ribosom kembali terpisah menjadi unit besar dan unit kecil serta kembali ke sitosol untuk kemudian akan berfungsi lagi jika ada penerjemahan baru.

4. Enzim yang berperan dalam Sintesis Protein

Dalam peristiwa sintesis protein diketahui beberapa enzim terlibat di dalamnya, antara lain:

- Enzim aminoasil sintetase berfungsi menggabungkan asam amino spesifik dengan tRNA yang akan menghasilkan tRNA-aminoasil.
- Peptidil transferase mengikat asam amino yang dihasilkan tiap triplet kodon menjadi rantai polipeptida.
- RNA polimerase adalah enzim yang membantu mempercepat proses pembentukan RNA.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 3-3** berikut!

TUGAS 3-3

Buatlah sebuah ilustrasi (berupa gambar/diagram) yang disertai dengan penjelasannya mengenai proses Sintesis Protein!

Indikator: Analisis
(Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 3-3

E. MITOKONDRIA & RESPIRASI SELULER

Mitochondria berasal dari kata *mitos* yang berarti benang dan *chondrion* yang berarti butir. Organel ini pertama kali diamati oleh Altmann tahun 1894, dikenal dengan *bioblast*. Pada tahun 1934, Bensley dan Hoerr melakukan isolasi terhadap mitochondria dan sejak saat itu penelitian tentang mitochondria semakin meningkat.

Mitochondria merupakan organel yang tersebar dalam sitosol organisme eukariot, memiliki membran ganda yang berperan sebagai pembangkit energi sel. Penelitian tentang struktur mitochondria dapat lebih mudah dilakukan setelah ditemukannya mikroskop elektron, dan akhirnya dapat diketahui adanya molekul-molekul DNA dalam mitochondria yang mempunyai peran penting dalam sintesis protein mitochondria sendiri. Jumlah mitochondria dalam sel bervariasi tergantung jenis organisme maupun jaringan. Ada sel yang hanya memiliki mitochondria tunggal, dan ada pula yang berisi ribuan mitochondria. Protein mitochondria bervariasi tergantung pada jaringan dan spesies. **Meskipun sebagian besar DNA sel terkandung dalam inti sel, mitochondria memiliki genom sendiri.**

Mitochondria menempati bagian substansial dari volume sitoplasmik sel eukariotik dan penting dalam evolusi hewan. Mitochondria terdapat di mana ATP diperlukan. Misalnya pada miofibril sel otot jantung membantu proses kontraksi otot, dan pada leher sel sperma untuk pergerakan flagel. Jumlah dan bentuk mitochondria bisa berbeda-beda untuk setiap sel. Mitochondria berbentuk elips dengan diameter 0,5 μm dan panjang 0,5-1,0 μm . Tanpa mitochondria, sel hewan hanya bergantung pada glikolisis anaerobik untuk sintesis ATP (hasilnya hanya 2 ATP). Saat glukosa diubah menjadi piruvat melalui glikolisis hanya satu fraksi kecil dari total energi bebas potensial dari glukosa di bebaskan. Namun adanya mitochondria proses glikolisis disempurnakan, piruvat diimpor ke dalam mitochondria dan dioksidasi oleh oksigen molekuler (O_2) untuk membentuk CO_2 dan H_2O . Energi yang dibebaskan dimanfaatkan begitu efisien

sehingga dapat dihasilkan ± 30 ATP dari setiap molekul glukosa yang dioksidasi.

1. Struktur Mitokondria

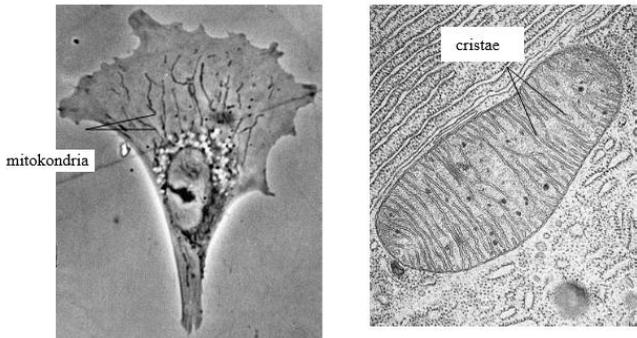
Mitokondria dapat dilihat melalui mikroskop fase kontras (**Gambar 3-13.a**) dan mitokondria telah dikenal selama lebih dari ratusan tahun. Berdasarkan jenis sel, mitokondria memiliki struktur yang berbeda. Pada salah satu ujung spektrum, mitokondria dapat muncul sebagai mitokondria tunggal, organelnya berbentuk kacang (**Gambar 3-13.b**). Pada Ujung lain dari spektrum, mitokondria bercabang, sebagai koneksi dalam jaringan tubular.

Gambar 3-13 Mitokondria

(a) Fibroblast hidup dilihat dengan mikroskop fase kontras. Mitokondria tampak memanjang, dan tubuh gelap.

(b) Transmisi mikrograf elektron dari bagian tipis mitokondria mengungkap struktur internal dari organel, khususnya krista membran dalam.

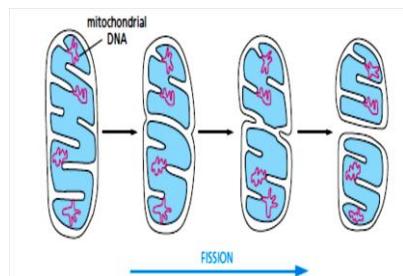
(Karp, 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)



(a)

(b)

Mitokondria dapat berfusi satu sama lain, atau terbelah dua (**Gambar 3-14**). Pemahaman fisi dan fusi mitokondria telah berkembang dalam beberapa waktu terakhir dengan perkembangan uji in vitro untuk studi mitokondria dan identifikasi protein yang di butuhkan dalam fisi dan fusi. Keseimbangan antara fusi dan fisi kemungkinan



Gambar 3-14 Ilustrasi Mitokondria dapat Memebelah Seperti Bakteri

(Alberts, et al. 2014. *Essensial Cell Biology 4th Edition*)

adalah penentu utama jumlah mitokondria, ukuran panjang mitokondria dan tingkat hubungan. Ketika fusi menjadi lebih sering dari fisi, mitokondria cenderung menjadi lebih panjang dan saling berhubungan, sedangkan dominasi fisi mengarah pada jumlah mitokondria (lebih banyak membentuk mitokondria).

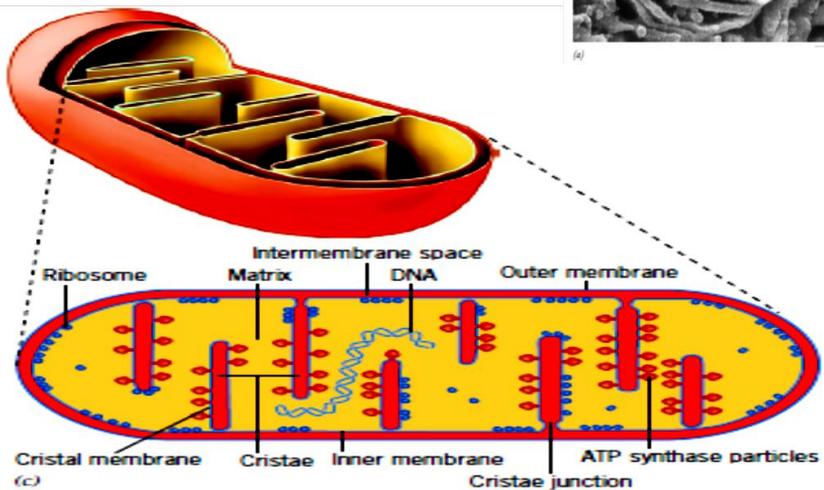
Mitokondria terdiri dari 2 membran yaitu membran luar dan membran dalam yang terbagi menjadi dua kompartemen yaitu ruang antar membran dan matriks. **Membran Luar**, sepenuhnya membungkus dan melindungi bagian luar mitokondria. Membran luar terdiri dari protein dan lipid dengan perbandingan yang sama serta mengandung protein porin (protein bersaluran) yang menyebabkan membran ini bersifat permeabel terhadap molekul-molekul kecil yang berukuran 6000 Dalton. Dalam hal ini, membran luar mitokondria menyerupai membran luar bakteri gram-negatif. Selain itu, membran luar juga mengandung enzim yang terlibat dalam biosintesis lipid dan enzim yang berperan dalam proses transpor lipid ke matriks untuk menjalani β -oksidasi menghasilkan asetil-KoA. **Membran Dalam**, terdiri dari 20% lipid dan 80% protein. Membran ini merupakan tempat utama pembentukan ATP. Pada mitokondria membran dalam terbagi menjadi dua daerah yaitu daerah batas membran dalam (*inner membrane*), terletak persis di luar membran dalam mitokondria, sebagai pembungkus bagian luar membran dalam, batas membran dalam ini kaya protein yang bertanggungjawab untuk impor protein mitokondria.

Daerah lainnya berupa lipatan-lipatan yang menonjol ke dalam matriks disebut krista. Struktur krista ini memperluas permukaan membran dalam, sehingga meningkatkan kemampuannya dalam memproduksi ATP. Membran dalam mengandung protein yang terlibat dalam reaksi fosforilasi oksidatif, ATP sintase yang berfungsi membentuk ATP pada matriks mitokondria, serta protein transpor yang mengatur keluar masuknya metabolit dari matriks melewati membran dalam. Bentuk krista dan jumlahnya berbeda di setiap sel tergantung jenis dan fungsi atau peran sel tersebut.

Dalam mikrograf elektron tampak peran mitokondria sebagai transduser terkait dengan adanya krista, sebagai “mesin atau alat” yang diperlukan untuk respirasi aerobik dan pembentukan ATP. Bentuk krista akan ditampilkan tampak jelas pada hasil scanning mikrograf elektron (**Gambar 3-15.a**). Batas membran dalam dan krista membran dalam menyatu sama lainnya menembus matriks membentuk krista, seperti yang ditunjukkan dalam skema ilustrasi (**Gambar 3-15.b**).

Gambar 3-15 Struktur mitokondria.

(a) Scanning makrograf elektron dari persamaan mitokondria, menunjukkan matriks internal yang tertutup oleh lipatan (krista) membran dalam. (b) Skema diagram tiga dimensi menunjukkan struktur internal (atas) dan bagian tipis (bawah) mitokondria dari jaringan jantung sapi. (Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)



Struktur mitokondria yang memiliki membran dalam berlipat tentunya menyesuaikan dengan fungsi dari mitokondria sebagai pembangkit energi seluler. Krista yang berlipat berguna untuk mengolah dan menyimpan energi. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya dalam QS. Al Qomar ayat 49:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

“Sungguh, Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.”

Terjemahan QS. Al Qomar ayat 49 adalah bukti bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu sesuai dengan ukuran, dan ukuran atau bentuk tersebut mengikuti fungsinya dalam kehidupan. Dalam hal ini, krista yang berlipat-lipat memiliki kerapatan lipatan yang berbeda tergantung pada jumlah kebutuhan energi dari setiap jenis sel. Misalnya, kerapatan krista pada mitokondria sel otot jantung akan berbeda pada mitokondria sel otot hati atau sel penyusun tulang. Oleh karena itu, Allah SWT perancang sempurna dengan menciptakan segalanya penuh ketelitian.

Struktur berikutnya adalah ruang antar membran dan cairan matriks. **Ruang antar membran** yang terletak di antara membran luar dan membran dalam merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi yang penting bagi sel, seperti siklus Krebs, reaksi oksidasi asam amino, dan reaksi β -oksidasi asam lemak. Ruang antar membran berisi cairan yang menggunakan ATP dari matriks untuk memfosforilasi nukleotida lainnya. **Matriks**, mengandung campuran ratusan enzim, termasuk enzim yang dibutuhkan dalam oksidasi piruvat, asam lemak serta untuk siklus krebs. Matriks mitokondria juga mengandung ribosom (ukuran jauh lebih kecil dari yang ditemukan di sitosol) dan beberapa molekul DNA.

Berbeda dengan organel lainnya, mitokondria memiliki DNA sendiri yang dikenal sebagai *mitochondrial DNA* (mtDNA). Peran mtDNA adalah memproduksi RNA dan protein sendiri. Terdapat pula ATP, ADP, fosfat inorganik serta ion-ion seperti magnesium, kalsium dan kalium. DNA ini non-kromosom karena encode sejumlah kecil polipeptida mitokondria yang terintegrasi ke dalam membran dalam mitokondria dan dikodekan oleh gen yang berada dalam inti sel. Pada manusia, DNA mitokondria berasal dari ibu dan diwariskan ke anak, itulah yang membedakan DNA nukleus (DNA gabungan).

Mengapa DNA mitokondria begitu istimewa sehingga bersifat *maternally inherited*? Keistimewaan dari mitokondria tersebut mengajarkan kita untuk berbuat baik kepada orang tua, bersikap sopan dan santun terutama ibu. Allah SWT berfirman dalam QS. Luqman ayat 14 berikut:

وَوَصَّيْنَا الْإِنْسَانَ بِوَالِدَيْهِ حَمَلَتْهُ أُمُّهُ وَهْنًا عَلَىٰ وَهْنٍ وَفِصَالَهُ فِي
عَامَيْنِ أَنِ اشْكُرْ لِي وَلِوَالِدَيْكَ إِلَيَّ الْمَصِيرُ ﴿١٤﴾

“Dan Kami perintahkan kepada manusia (agar berbuat baik) kepada kedua orang tuanya. Ibunya telah mengandungnya dalam keadaan lemah yang bertambah-tambah, dan menyapihnya dalam usia dua tahun. Bersyukurlah kepada-Ku dan kepada kedua orang tuamu. Hanya kepada Aku kembalimu.”

Tidak hanya dalam QS. Luqman ayat 14, beberapa hadits pun menjelaskan betapa pentingnya berbakti pada kedua orang tua, terutama ibu. Salah satunya dalam hadits Bukhari yang menerangkan bahwa Rasulullah SAW menjawab pertanyaan seseorang tentang kepada siapa orang yang berhak pertama kali dihormati, dan Rasulullah SAW menjawab ibu, ibu, ibu, lalu ayah.

Dari terjemahan QS. Luqman ayat 14 dan hadits Bukhari tersebut perlu disadari bahwa keberadaan mitokondria mengingatkan kita untuk selalu berbakti pada kedua orang tua, terutama ibu. Orang tua khususnya ibu senantiasa memberikan kasihnya sehingga hal tersebut menjadi “energi” bagi kita agar dapat melangsungkan segala proses dalam kehidupan ini, layaknya mitokondria sebagai organel sel dikenal dengan “*The Power House of Cell*” karena sebagai tempat terjadinya proses respirasi sel makhluk hidup, dan penghasil energi berupa ATP pada katabolisme.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Luqman ayat 14 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Keluarga: **Berbuat baik terhadap orang tua**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Sopan dan santun**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

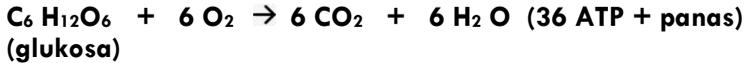
2. Fungsi Mitokondria

Sel memerlukan energi untuk beraktivitas. Dua tipe organel di dalam sel yang mentransfer dan menyimpan energi yaitu mitokondria dan plastida. Pada mitokondria terjadi reaksi kimia yang berasal dari energi yang terkandung pada molekul makanan dan kemudian menghasilkan energi tinggi yaitu ATP. Molekul ATP ini akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi sel.

Mitokondria sering disebut sebagai pembangkit tenaga sel, pusat respirasi seluler yang menghasilkan banyak ATP (energi). Peran utama mitokondria adalah sebagai pabrik energi sel yang mengubah energi potensial dalam bentuk makanan menjadi molekul berenergi tinggi yang disebut ATP. ATP merupakan ikatan tiga molekul fosfat dengan senyawa adenosin. Ikatan kimianya labil, mudah melepaskan gugus fosfatnya meskipun digolongkan sebagai molekul berenergi tinggi.

Dalam kehidupan seluler, energi disimpan pada suatu molekul yang disebut ATP. Sel bekerja secara konstan untuk memelihara persediaan molekul penyimpan energi ATP ini. Sebagai contoh, sel hewan dan sel tumbuhan memiliki 10 juta molekul ATP yang terlarut dalam sitoplasma. Energi disimpan dalam molekul yang relatif sederhana dan kemudian dilepaskan ketika molekul ini membelah menjadi Adenosine Diphosphate (ADP) dan Fosfat inorganik (Pi). Energi yang terkandung dalam sel sangat tinggi, sehingga ATP secara kontinyu berubah-ubah, kadang-kadang terbentuk, kadang-kadang terpecah, jadi ATP

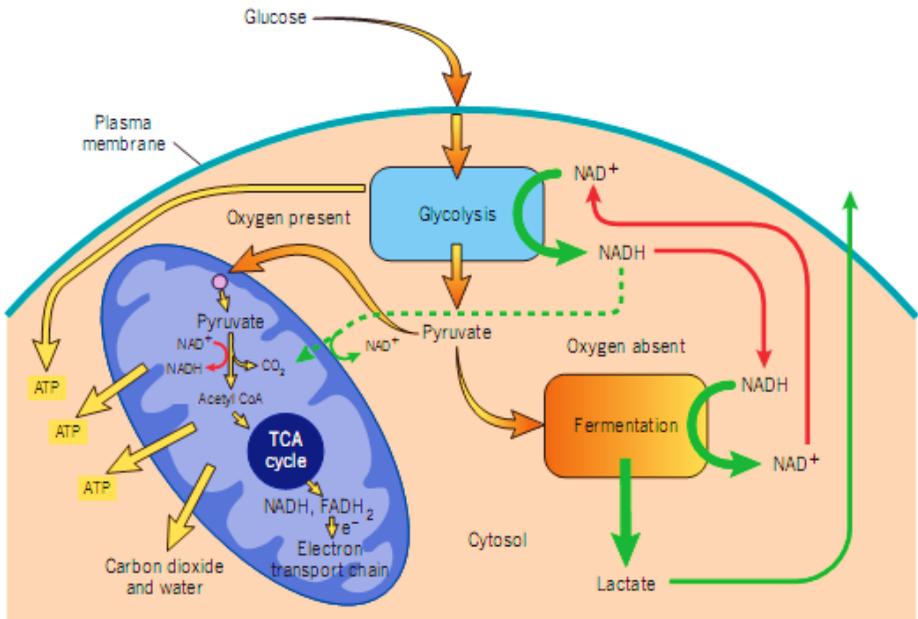
betul-betul dinamis. Dalam respirasi sel molekul piruvat merupakan bagian dari glikolisis yang kemudian menyambung ke dalam jalur metabolik, siklus krebs. Produk lain akan berlanjut ke rantai transfer elektron. Selama metabolik aerobik, oksigen menerima elektron dan itu mereduksi H₂O.



Selama reaksi ini, 36 molekul ATP terbentuk untuk setiap molekul glukosa. Seperti glikolisis, respirasi seluler termasuk salah satu reaksi yang memiliki katalis dengan enzim yang spesifik dan diatur dalam jalur metabolik siklus Krebs, dikenal juga siklus asam sitrat atau siklus *tricarboxylic acid* (TCA). Rangkaian ini terdiri dari 10 reaksi, selama proses tersebut piruvat dioksidasi oleh CO₂. NAD⁺ dan FAD keduanya bertindak sebagai hidrogen dan aseptor elektron, serta mereduksi NADH dan FADH₂. Selama tahapan ini, 3 molekul CO₂ dihasilkan untuk setiap molekul piruvat, tapi hanya beberapa energi disimpan di ATP, sisanya disimpan dalam NADH dan FADH₂. Panen energi terjadi pada tahapan terakhir dari respirasi yaitu pada rantai transfer energi.

3. Metabolisme Energi dalam Mitokondria

Metabolisme energi terdiri dari **glikolisis, fermentasi, siklus Krebs (siklus TAC) dan rantai transfer elektron**. Glikolisis adalah sequel pertama dari reaksi metabolisme energi, digunakan oleh semua sel untuk memecah 6 karbon yang terdapat dalam molekul glukosa menjadi 2 molekul yang masing-masing terdiri dari 3 karbon yang mengandung piruvat. Glikolisis merupakan jalur metabolik yang menyediakan model untuk langkah-langkah penggabungan dan pemecahan kebanyakan molekul organik dan juga mendasari aktivitas seluler. Berikut **Gambar 3-16** merupakan ilustrasi metabolisme energi seluler yang terjadi di dalam mitokondria.



Gambar 3-16 Ilustrasi Metabolisme Energi Seluler oleh Mitokondria

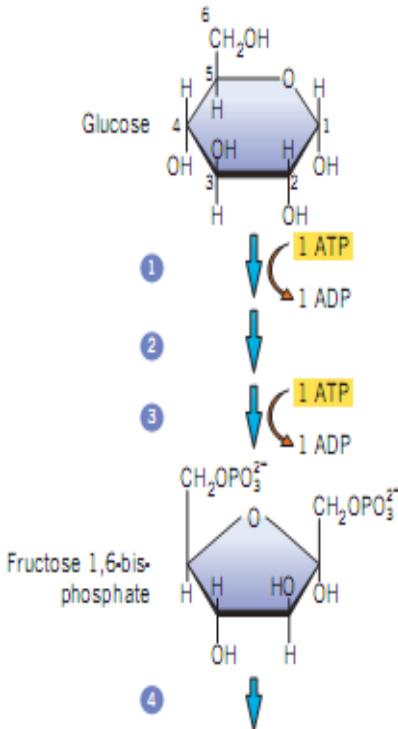
Reaksi glikolisis mengasilkan piruvat dan NADH di sitosol. Jika oksigen tidak ada piruvat akan direduksi oleh NADH menjadi laktat. NAD⁺ terbentuk pada reaksi yang kemudian digunakan kembali pada kelanjutan glikolisis. Jika ada oksigen, piruvat bergerak ke dalam matriks mitokondria, kemudian terjadi dekarboksilat dan koenzim A (CoA) terkait, sebuah reaksi yang menghasilkan NADH. NADH dihasilkan selama glikolisis menyumbangkan elektron berenergi tinggi. Kandungan tersebut akan menyebrangi membran dalam mitokodria. Asetil Co-A masuk ke siklus Krebs (TCA), menghasilkan NADH dan FADH₂. Elektron yang beragam dari molekul NADH dan FADH₂ melintasi rantai transfer elektron. Energi dilepaskan selama transfer elektron dan kemudian digunakan untuk membentuk ATP. Jika semua energi dari transfer elektron digunakan dalam pembentukan ATP, kira-kira 36 ATP dapat dihasilkan dari satu molekul glukosa.

(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Glikolisis: Tahap Pertama Metabolisme

Glikolisis adalah reaksi permulaan. Glikolisis merupakan dasar untuk metabolisme-metabolisme energi pada semua makhluk hidup. Selama proses glikolisis 6 karbon yang tersusun pada molekul gula akan terpecah menjadi 2 molekul piruvat. Dalam satu rangkaian glikolisis terjadi 9 langkah reaksi. Untuk setiap molekul glukosa yang masuk jalur glikolisis, 4 molekul ATP terbentuk. Namun 2 molekul ATP digunakan pada langkah 1 dan 3.

Maka jumlah energi yang berasal dari glikolisis adalah 2 molekul ATP. Dalam setiap penambahan 1 molekul glukosa pada glikolisis menghasilkan 2 molekul NADH dan 2 molekul piruvat. Molekul piruvat dapat aktif pada dua reaksi sequal fermentasi dan respirasi seluler. Berikut **Gambar 3-17** ilustrasi dari tahapan Glikolisis.



Gambar 3-17 Tahapan Glikolisis

Langkah 1

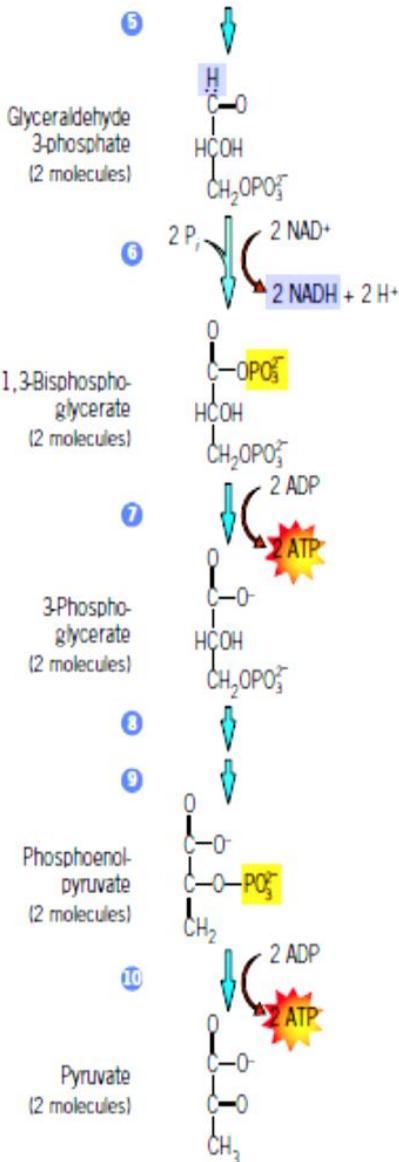
Awal glikolisis memerlukan energi tinggi dari glukosa, namun pada langkah 1 ini hanya satu molekul ATP yang terpotong menjadi ADP. Potongan gugus posfat ditransfer ke karbon no 6 dari molekul glukosa. Dan kemudian mengaktifkan glukosa 6-posfat. Pada tahap ini terdapat enzim hexokinase yang menjadi katalis pada reaksi ini.

Langkah 2 dan 3

Pada langkah 2 molekul glukosa 6-posfa segera berpindah menjadi fruktosa 6 posfat. Selama langkah 3 molekul ATP memotong dan gugus posfat berpindah ke karbon ni 1. Sekarang kita memiliki molekul fruktosa 1,6 diposfat.

Langkah 4

fruktosa 1,6 diposfat terpisah menjadi 2 molekul 3 karbon yang sama selama langkah 4. PGAL (gliseridehid 3 posfat) terbentuk.



Tahapan Glikolisis (lanjutan)

Langkah 5 dan 6

merupakan langkah kunci dari glikolisis. Kedua molekul PGAL teroksidasi dan terfosforilasi. Elektron dalam bentuk atom hydrogen. NAD^+ direduksi menjadi NADH . selama reaksi PGAL bereaksi dengan posfat. Energi ditangkap oleh gugus posfat yang bergabung dengan PGAL untuk menghasilkan molekul berenergi tinggi yaitu 1,3 bispofgliserat (DPGA).

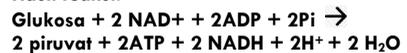
Langkah 6

Dalam langkah 6 masing-masing 3-bisposfgliserat (3-PGA) dan 2 molekul ATP terbentuk. Dari satu gugus posfat dari masing-masing DPGA dan ADP. Hal ini mungkin terjadi karena DPGA memiliki kandungan energy lebih tinggi dari ATP.

Langkah 7 - 9

Pada langkah 7-8 selama reaksi perubahan 3-posfgliserat menjadi posfoenolpiruvat (PEP). PEP memiliki gugus posfat yang berenergi tinggi.energi ini digunakan untuk merubah ADP menjadi ATP.

Hasil reaksi:



(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Reaksi fermentasi

Proses fermentasi adalah tentang menggunakan glikolisis dengan menghasilkan ATP, tapi dalam kondisi anaerobik. 2 tipe dari sel yang melakukan fermentasi yaitu sel anaerobik dan sel fakultatif aerobik. Sel anaerobik termasuk beberapa tipe bakteri dapat bertahan hidup dalam keadaan tidak ada oksigen sama sekali. Sedangkan sel fakultatif aerobik termasuk beberapa bakteri dan yeast, sama halnya dengan otot binatang dan sel lainnya dapat memfermentasi sari-sari makanan ketika tidak ada oksigen, namun tetap lebih efisien proses yang melibatkan oksigen.

Sebelum fermentasi terjadi, glikolisis harus menghasilkan 2 ATP dan piruvat. Lalu piruvat dimodifikasi menjadi laktat, etanol atau beberapa zat organik lainnya, tergantung organisme yang melakukan fermentasi. Fermentasi merupakan serangkaian reaksi penghasil NAD^+ , ko-faktor penting untuk glikolisis. NAD^+ dalam sel tersedia dalam jumlah yang terbatas, tapi diperlukan sekali pada langkah 5 glikolisis. Selama fermentasi, piruvat menerima elektron dari NADH sehingga menjadi NAD^+ , lalu piruvat berubah menjadi laktat. Jalur glikolisis-fermentasi menghasilkan 2 molekul ATP untuk masing-masing molekul glukosa. Energi potensial yang terbentuk disimpan pada hasil fermentasi.

Siklus Krebs

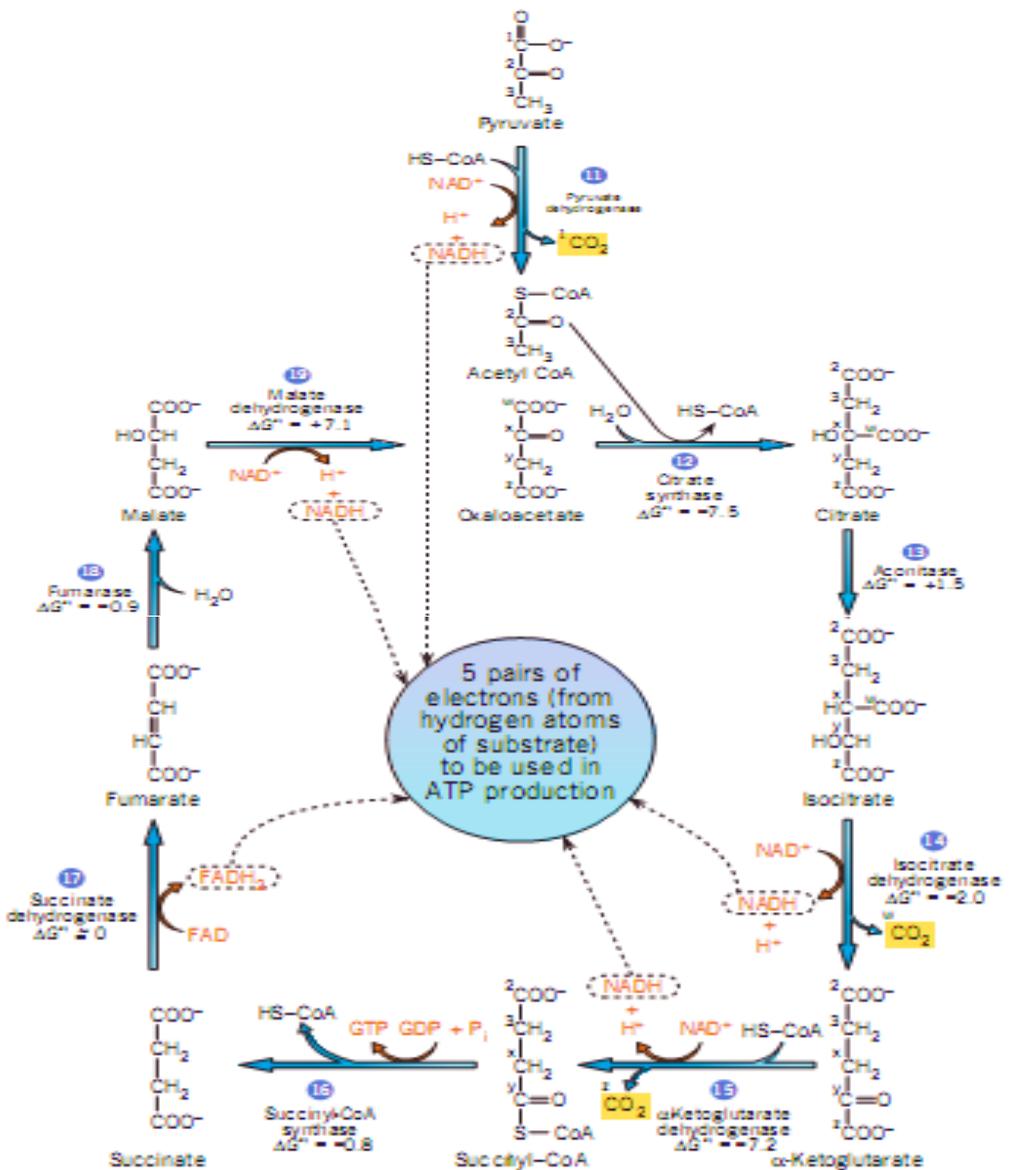
Siklus Krebs diberi nama sesuai penemunya yaitu seorang ahli biokimia Inggris Sir Hans Krebs. Molekul piruvat hasil dari proses glikolisis bergerak menembus membran dalam dengan cara difusi fasilitasi. Piruvat dioksidasi oleh CO_2 setelah berada dalam matriks mitokondria, lalu berubah menjadi asetat. Dalam proses ini NAD^+ direduksi menjadi NADH dan molekul asetat terikat sementara pada molekul koenzim yang disebut Coenzim-A (Co-A). Asetil coenzim A mengandung energi tinggi. Energi yang terbentuk disimpan untuk digunakan pada reaksi selanjutnya yaitu langkah pertama pertama siklus Krebs.

Molekul Asetil Coenzim-A bereaksi dengan 4 karbon yang disebut *oxaloacetat* yang terdapat dalam mitokondria. Sitrat

yang mengandung enam karbon dibentuk. Pada proses ini satu molekul CO_2 dan Asetil CoA dilepaskan untuk kemudian digunakan kembali dalam oksidasi piruvat. Energi disimpan dalam asetil CoA yang mengendalikan reaksi awal siklus ini. Reaksi pada siklus krebs menghasilkan 2 molekul CO_2 dan memindahkan 4 elektron. CO_2 berdifusi keluar dari mitokondria sebagai zat *inorganic* yang merupakan hasil akhir dari respirasi. Elektron dipindahkan melalui dehidrogenase NAD^+ sebagai aseptor. Enzim *succinic dehidrogenase* mentrasfer elektron ke FAD. Enzim ini tidak larut dalam matriks mitokondria tapi pada bagian integral membran dalam mitokondria. Molekul α -ketoglutarat setelah dioksidasi menjadi Succinate, satu molekul ATP dibentuk. Reaksi berlanjut. Succinate berubah menjadi fumarate, malate, dan oxaloasetate melengkapai siklus.

Inti dari siklus Krebs adalah semua 6 karbon asli berasal dari molekul glukosa yang telah dioksidasi dan energi yang disimpan dalam glukosa telah ditransfer ke 4 molekul ATP. 2 ATP dibentuk selama glikolisis, dan 2 dibentuk ketika siklus Krebs. Total energi yang dibebaskan adalah 62 kkal untuk setiap satu molekul glukosa. Energi juga disimpan dalam NADH dan FADH_2 . Oksidasi piruvat menjadi asetil Co-A menghasilkan 2 molekul NADH, dari reaksi-reaksi siklus Krebs dihasilkan 6 molekul NADH dan 2 molekul FADH_2 satu molekul glukosa. Pada glikolisis dihasilkan 2 molekul NADH.

Pada tahap ketiga yang merupakan tahapan terakhir dari tahapan respirasi adalah rantai transfer elektron. Pada proses ini energi dihasilkan dalam jumlah yang besar dan disimpan dan dikunci maka terbentuklah ATP. Berikut **Gambar 3-18** merupakan Siklus *tricarboxylic acid* (TCA) atau dikenal juga dengan siklus Krebs.



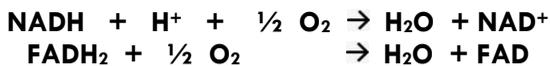
Gambar 3-18 Siklus TCA atau Siklus Krebs
(Karp, 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Siklus Krebs bukan hanya menjadi tahapan penting bagi oksidasi glukosa, tapi juga menyediakan 'rumah bersih' untuk metabolisme seluler. Sari-sari makanan lainnya selain glukosa seperti protein dan lemak juga masuk dalam jalur oksidasi siklus Krebs. Sari-sari makanan ini berkatabolisme untuk melepaskan energi yang kemudian energi ini segera keluar dari mitokondria lalu masuk ke dalam sitoplasma. Dalam sitoplasma terdapat bahan-bahan untuk memulai sintesa beragam komponen biologi, dan siklus Krebs merupakan pusat metabolisme pada semua tipe sel.

Rantai Transfer Elektron

Transfer elektron merupakan tahapan terakhir dari respirasi aerob yang nantinya akan menghasilkan ATP dan H₂O sebagai hasil akhirnya. Dalam transfer elektron, oksigen berperan sebagai penerima elektron terakhir yang nantinya akan membentuk H₂O yang akan dikeluarkan dari sel. Diawali dari oksidasi NADH dan FADH₂ dan diakhiri dengan reduksi dari O₂ menjadi H₂O dan diantaranya adalah memanen ATP dalam serangkaian langkah-langkah yang membebaskan sejumlah kecil energi dengan melepaskannya secara bertahap.

Untuk pertama kalinya selama respirasi seluler, oksigen turut serta dalam proses, bertindak sebagai akseptor untuk NADH dan FADH₂.



NAD⁺ dan FAD dihasilkan kembali dan kemudian siap kembali bergabung dalam reaksi glikolisis dan siklus Krebs. Proton dibebaskan ketika NADH dioksidasi, yang kemudian proton-proton ini bergabung dengan proton lainnya yang dikeluarkan pada reaksi-reaksi terdahulu. NADH dan FADH₂ dioksidasi, elektron hilang.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 3-4** berikut!

TUGAS 3-4

Mitokondria dikenal sebagai *The Power House of cell*. Berkaitan dengan julukan tersebut, bagaimanakah cara kerja mitokondria pada organisme eukariotik?

Indikator: Penjelasan
(Menjelaskan/Menyajikan informasi secara benar berdasarkan hasil analisis)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 3-4

F. RETIKULUM ENDOPLASMA, BADAN GOLGI & LISOSOM

Berbagai organel dalam sistem endomembran saling terkait baik secara struktural maupun fungsional. Retikulum endoplasma (RE), badan Golgi (BG) dan lisosom adalah tiga organel yang terlibat dalam sistem endomembran selain selaput nukleus, vakuola dan membran plasma. Sistem endomembran melaksanakan berbagai tugas dalam sel. Tugas-tugas ini termasuk sintesis protein dan transpor protein tersebut ke dalam membran dan organel atau keluar dari sel, metabolisme dan pergerakan lipid, serta detoksifikasi racun. Berikut penjelasan tentang RE, BG, dan Lisosom.

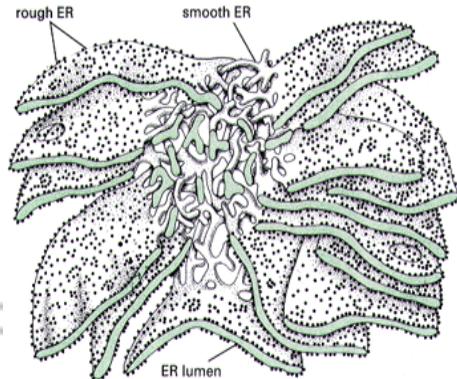
RETIKULUM ENDOPLASMA

Retikulum Endoplasma (RE) merupakan jejaring membran yang ekstensif sehingga menyusun lebih dari separuh total membran dalam banyak sel eukariot. RE terdiri dari jejaring tubulus dan kantong bermembran yang disebut sisterna (dari kata latin *cisterna*, penampung cairan). Membran RE memisahkan kompartemen internal RE, disebut *lumen* atau (rongga) RE atau ruang *sisterna*, dari sitosol.

1. Struktur Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma (**Gambar 3-19**) adalah suatu kumpulan kantung seperti membran berbentuk pipa, gelembung dan kantung pipih yang meluas dalam sitoplasma sel eukariot. Retikulum endoplasma dibagi dua kategori yaitu RE kasar dan halus. Kedua macam retikulum endoplasma ini menyusun suatu sistem membran yang melingkupi suatu ruang. Bagian dalam membran disebut dengan luminal atau ruang sisterna (*cisternal space*) dan daerah di luar membran yang disebut ruang sitosolik (*cytosolic space*).

Perbedaan morfologi antara RE kasar dan halus terletak pada ada tidaknya ribosom yang terikat pada membran yang berhadapan dengan ruang sitosolik. RE kasar merupakan organel berbatas membran yang terusun dari suatu kantong pipih yang disebut dengan *sisterna*, sedangkan komponen membran dari RE halus berbentuk tubular. Perbedaan jumlah antara kedua jenis RE tersebut ditentukan oleh jenis sel. Sebagai contoh, sel yang mensekresi protein dalam jumlah besar (seperti sel Pankreas, kelenjar ludah, dan lainnya) mempunyai retikulum endoplasma dalam jumlah yang cukup banyak.



Gambar 3-19 Ilustrasi Struktur Tiga Dimensi dari RE pada Sel Hati
(Albert, et al. 2015. *Molecular Biology of Cell 6th Edition*)

2. Fungsi Retikulum Endoplasma

Ada dua wilayah pada retikulum endoplasma yang berbeda dalam hal struktur dan fungsi, yaitu RE halus dan RE kasar. RE halus diberi nama demikian karena di permukaan luarnya tidak terdapat ribosom. Ribosom terdapat di permukaan RE kasar yang menyebabkan RE ini tampak kasar di bawah mikroskop elektron.

Seperti yang telah disebutkan, ribosom juga melekat pada membran luar selaput nukleus yang menghadap ke sitoplasma, yang tersambung dengan RE kasar. RE kasar merupakan titik awal dari jalur biosintesis protein, glikosilasi (penambahan gula pada protein), dan transpor perjalanan fosfolipid melalui ruangan membran sel.

Berbeda dengan RE kasar, RE halus berkembang dalam sejumlah jenis sel seperti sel otot rangka, tubulus ginjal dan kelenjar steroid. Dengan demikian, RE halus memiliki fungsi:

- Sintesis hormon steroid pada kelenjar gonad dan korteks ginjal.
- Detoksifikasi pada hati yang memiliki komponen organik bervariasi seperti barbiturat dan etanol.
- Pelepasan glukosa dari glukosa 6 fosfat pada hati. Sejumlah besar glikogen di dalam hati disimpan sebagai granula yang terikat dengan membran luar retikulum endoplasma halus.
- Membawa ion kalsium ke dalam sitoplasma sel, mengatur pengeluaran Ca^{2+} dari RE halus di tulang dan sel otot jantung yang dapat memicu kontraksi (dikenal sebagai retikulum sarkoplasma dalam sel otot).

3. Retikulum Endoplasma sebagai Pusat Biosintesis Sel

Butir-butir ribosom pada membran RE kasar akan mensintesis rantai polipeptida, yang elongasinya (pemanjangan) tidak berada pada sitosol melainkan menembus membran RE, sebagian dari polipeptida ini tetap berada di dalam membran menjadi protein trans membran, sedangkan yang lain dilepas dari sisterna RE. Protein trans membran yang dihasilkan diperuntukan bagi membran sel organela lainnya, sedangkan protein-protein yang dituangkan ke dalam lumen RE diperuntukan bagi organela lainnya atau disekresikan.

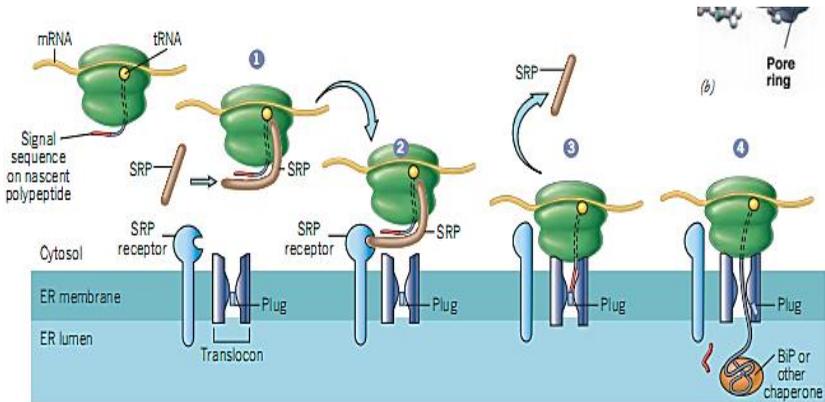
Sintesis protein transmembran dan luminal dilakukan oleh polisoma yang menempel pada membran RE serta melibatkan dua jenis reseptor. Reseptor pertama untuk mengenali ribosom sub unit besar yang mengikat ribosom sub unit kecil pada membrane RE sehingga memungkinkan pemindahan rantai

polipeptida dari sitosol ke lumen RE, sedangkan reseptor kedua mengikat ujung 3' mRNA yang akan diterjemahkan. Pemindahan rantai polipeptida ke dalam lumen RE ditentukan oleh mRNA yang diterjemahkan, pada mRNA terdapat kodon untuk polipeptida isyarat. Penerjemahan itu terjadi di sitosol yang mempunyai molekul pengenal sebagai isyarat (SRP, *Signal Recognition Participle*). SRP ini akan mengikat polipeptida isyarat akan segera mengikatkan diri pada reseptornya yang terdapat di membran RE.

Proses sintesis protein yang terjadi di RE kasar (lihat **Gambar 3-20**) akan dijelaskan pada uraian berikut:

- mRNA menginisiasi sintesis protein dengan mengikat sub unit ribosom.
- Segmen pertama dari polipeptida yang baru diterjemahkan dari ribosom adalah sinyal N terminal.
- Akibat bertubrukan dengan sinyal RE yang sifatnya hidrofobik akan menetrasi.
- Sintesis protein berjalan terus, pertumbuhan rantai polipeptida meluas menembus membran mengikut sinyalnya. Jika protein akan disekresikan, seluruh rantai polipeptida mengikuti sinyalnya akan menembus membran RE dan masuk ke dalam ruang RE. Jika protein terbenam dalam membran satu atau lebih, sinyal stop transfer akan menahan gerakan protein menembus membran.
- Membran RE, sinyal didegradasi oleh enzim peptidase yang terbenam di dalam membran.
- Setelah disintesis lengkap, sub unit ribosom terlepas dari mRNA dan lepas dari RE, mRNA dibebaskan atau terikat pada membran RE dengan ribosom yang lain untuk pesan yang sama.

Molekul protein yang selesai disintesis akan terjadi perpindahan molekul tersebut dari sitosol ke mitokondria, kloroplas dan perioksisom melibatkan hidrolisis ATP yang terdapat di sitosol. ATP digunakan untuk menguraikan lipatan-lipatan molekul yang akan digunakan, menyisipkan serta mendorong molekul ke dalam organela.



Gambar 3-20 Model Skema Sintesis Protein (N-Terminal) di Membran Protein Integral
 (Albert, et al. 2015. *Molecular Biology of Cell 6th Edition*)

4. Peranan Retikulum Endoplasma dalam Proses Detoksifikasi

Detoksifikasi terjadi saat proses hidrosilasi. Membran RE halus (pada sel hati dan ginjal) mentransformasi molekul-molekul toksik menjadi molekul tidak toksik sebelum dieliminasi oleh organisme. Senyawa toksin di dalam membran RE halus dibuat tidak aktif oleh serangkaian proses oksidasi menggunakan oksigen dan NADPH dengan bantuan katalisator NADPH-P₄₅₀ reduktase dan sitokrom P₄₅₀. Hasil reaksi merupakan senyawa yang mudah larut dalam air sehingga mudah dibuang.

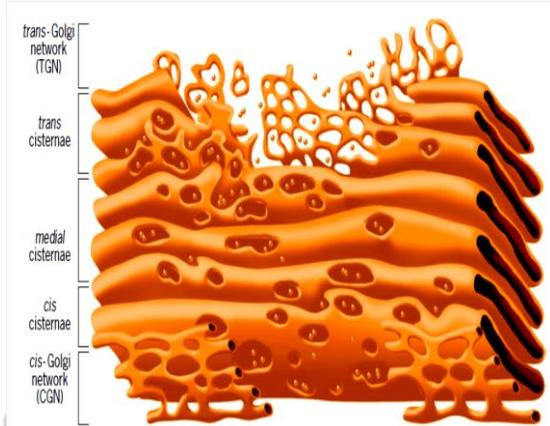
BADAN GOLGI

Camillo Golgi pada tahun 1898 menemukan organela yang belum pernah diungkapkan, yaitu pada sel jaringan otak yang sebelumnya telah difiksasi dengan larutan bikromat dan diwarnai dengan garam Ag (perak). Dalam sel saraf yang diselidiki tadi memperlihatkan bentuk anyaman berwarna gelap, disebut *Aparatus reticularis*. Namun untuk menghormati penemunya, diberi nama menjadi *Aparatus Golgi* atau dikenal dengan badan Golgi. Berikut penjelasan mengenai Struktur dan Fungsi badan Golgi dalam sistem endomembran.

1. Struktur Badan Golgi

Badan Golgi berasal dari vesikula yang dikirim dari Retikulum Endoplasma. Vesikula ini disebut vesikula transisi. Vesikula transisi yang dikirim dari Retikulum Endoplasma (RE) bermigrasi dan lalu melebur dengan membran sisterna yang ada sedemikian rupa untuk membentuk badan Golgi dan mewujudkan pertumbuhan organel.

Secara struktur (lihat **Gambar 3-21**), badan Golgi adalah organela yang terdiri dari setumpuk kantong pipih tersusun dari membran yang serupa dengan membran sel. Kantong pipih ini disebut dengan sisterna (*cisternae*). Sisterna pada Aparatus Golgi memiliki ukuran 0,5-1 μm . Biasanya, setumpuk



Gambar 3-21 Model Struktur Golgi kompleks
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Aparatus Golgi berisi kurang dari delapan sisterna. Di sekitar sisterna terdapat vesikel-vesikel yang tersebar dengan berbagai ukuran, beberapa di antaranya bertunas atau berfusi pada bagian tepi dari sisterna.

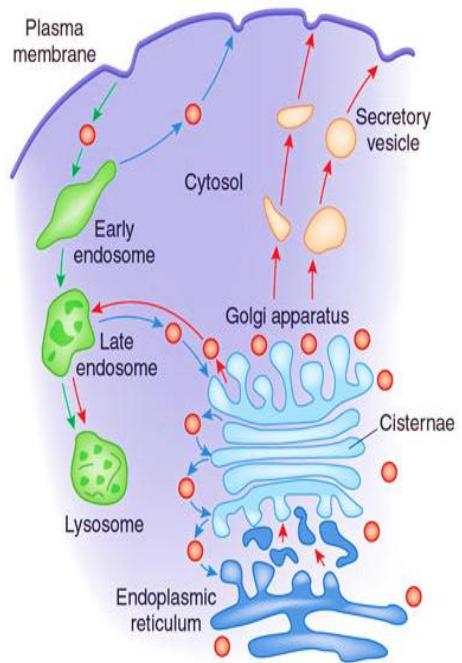
Berbeda dengan RE, pada Golgi tidak dijumpai ribosom. Apabila diamati dengan mikroskop elektron, badan Golgi tampak tersusun atas gelembung-gelembung berding membran dengan berbagai bentuk dan ukuran. Bentuk gelembung biasanya dapat dibedakan menjadi 3 macam bentuk, yaitu:

- **Sakula/sisterna**, merupakan gelembung yang berbentuk gepeng seperti cakram yang tersusun bertumpuk-tumpuk yang masing-masing dipisahkan oleh celah yang sempit.
- **Vesikel sekretoris**, gelembung ini merupakan bagian dari sakula yang terdapat pada bagian tepi.

- **Mikrovesikel atau vesikel transfer**, merupakan gelembung-gelembung kecil dengan diameter sebesar 40 nm yang bergerak. Mikrovesikel biasanya berasal dari RE kasar yang dilepaskan dan bergerak ke arah gelembung sakula sehingga akhirnya bersatu dengannya. Walaupun berasal dari RE kasar, namun mikrovesikula telah kehilangan butir-butir ribosomnya.

Aparatus Golgi biasanya berasosiasi dengan retikulum endoplasma, dan vesikel-vesikel protein (Perhatikan **Gambar 3-22**). Vesikel ini disebut dengan vesikel transisi atau peralihan. Beberapa dari vesikel yang muncul dari retikulum endoplasma tersebut bergabung dengan sisterna golgi yang paling dekat, sehingga terjadi pengangkutan protein dengan vesikel transisi dari retikulum endoplasma kasar ke aparatus Golgi.

Sisi dari aparatus Golgi yang menghadap RE disebut dengan nama *cis* atau daerah pembentukan. Sedangkan daerah yang berlawanan disebut *trans* atau daerah pemasakan. Di sini vesikel muncul dan berfusi dengan vesikel yang lebih besar. Vesikel yang berisi senyawa-senyawa *immature* (belum matang) yang berasal dari RE kasar akan bergerak dari *Cis* melalui sisterna-sisterna menuju ke daerah *trans* untuk kemudian meninggalkan sisterna. Senyawa-senyawa yang dikandungnya



Gambar 3-22 Lalu Lintas Protein Dari Badan Golgi ke Seluruh Sel

Badan Golgi sering ditemukan di dekat RE. protein kargo bergerak dari RE ke Golgi, dimodifikasi di dalam Golgi, dan kemudian dikirim ke berbagai tujuan di dalam sel, termasuk lisosom dan permukaan sel. (Xu, D. & Esko, J.D.A. 2009. *Nature Chemical Biology*)

dibawa keluar dari sisterna dalam keadaan *mature* (matang) atau siap disekresikan. Senyawa tersebut akan disimpan di dalam vesikel. Sepanjang perjalanan ini senyawa-senyawa *immature* akan dimatangkan atau jika perlu disortir oleh enzim-enzim yang terdapat di aparatus Golgi.

2. Fungsi Badan Golgi

Fungsi utamanya adalah untuk penyimpanan, modifikasi, dan pengepakan zat-zat yang dihasilkan untuk disekresikan ke luar sel, sebab organel-organel tersebut banyak terdapat pada sel-sel sekretoris seperti yang ada di pankreas.

- Pembentukan polisakarida.
Badan Golgi mengandung glikosil transferase yang memulai, memperpanjang atau memperpendek polisakarida atau satu rantai oligosakarida.
- Modifikasi hasil sekretori
Cis Golgi mengandung enzim protein glikosilat dan lipid serta glikosaminoglikan sulfat (GAGs). Enzim itu penting dalam pembentukan glikoprotein sekretori, proteoglikan, glikolipid, dan GAGs sulfat. Enzim tersebut juga terlibat dalam penentuan enzim lisosom yang baru dengan mannose-6-phosphate untuk segregasi selanjutnya oleh TGN (*Trans Golgi Network*).
- Menyortir hasil sekretori
Hasil sintesis oleh RE kasar dan modifikasi di dalam *Cis Golgi* disortir ke dalam TGN. Sebagai contoh, enzim lisosom ditandai dengan mannose-6-fosfat dan sekretori protein dikhususkan untuk eksositosis menjadi vesikula yang berbeda.
- Mengemas hasil sekretori
Mengemas TGN hasil segregasi ke dalam vesikel. Vesikel sekretori atau granula sekretori, dikirimkan ke membran plasma untuk eksositosis.
- Perbaiki membran sel
Badan golgi juga dapat memperbaiki membran sel yang rusak dengan menggunakan vesikel-vesikel Golgi tersebut. Mekanismenya adalah vesikel pengangkut dirangsang untuk

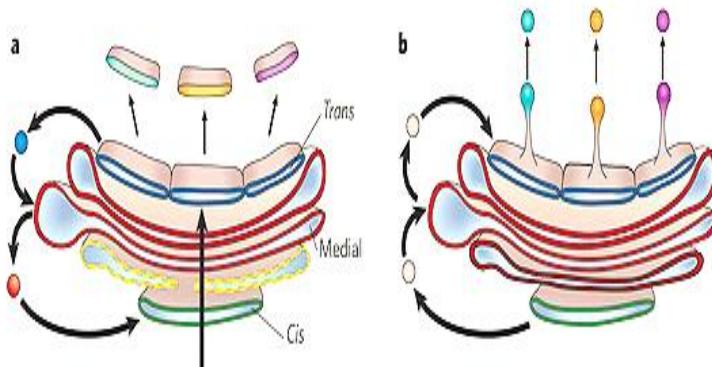
melebur dengan membran sel setelah meninggalkan badan Golgi. Selanjutnya protein transmembran dan lipid membran vesikel tersebut akan menjadi protein dan lipid baru bagi membran sel, dan protein yang diangkut vesikula akan disekresikan ke ruang antar sel.

- **Pembentukan akrosom**

Akrosom merupakan tudung pada spermatozoa. Tudung ini berasal dari fusi (penggabungan) vesikel Golgi. Akrosom berfungsi melisiskan membran sel dari ovum pada saat fertilisasi, karena mengandung enzim hidrolitik Hialuronidase.

Pergerakan material, terutama protein melalui badan Golgi diketahui memiliki dua model, yaitu model pematangan cisterna dan model transpor vesikel (**Gambar 3-23**).

- **Model pematangan cisterna.** Saat *Cis* dari cisterna baru terbentuk, ia melintasi tumpukan Golgi dan menyatu dengan daerah *medial*, selanjutnya *trans* enzim melewati vesikel dan bergerak menuju *cis* berikutnya. Dikenal dengan *retrograde traffic*.
- **Model transpor vesikel,** yaitu setiap cisterna tetap berada di satu tempat dengan enzim yang tidak berubah, dan protein bergerak maju melalui tumpukan vesikel dan bergerak ke *cisternae* berikutnya. Dikenal dengan *anterograde traffic*.



Gambar 3-23 Model Pergerakan Protein melalui Golgi

(a) Model pematangan cisterna/*retrograde traffic*;

(b). Model transpor vesikula/*anterograde traffic*

(Malhotra, V. & Mayor, S. 2006. *Nature*)

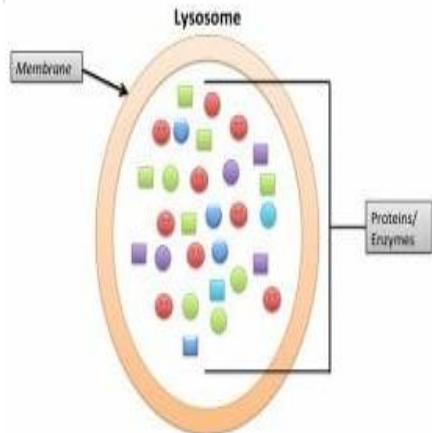
LISOSOM

Lisosom berasal dari kata *lyso*-pencernaan dan *soma*-tubuh. Lisosom merupakan kantong yang berbentuk agak bulat dikelilingi membran tunggal yang digunakan sel untuk mencerna makromolekul. Lisosom berisi enzim yang dapat memecahkan (mencerna) polisakarida, lipid, fosfolipid, asam nukleat, dan protein. Enzim itu dinamakan lisozim. Lisosom berperan dalam pencernaan intrasel, misalnya pada protozoa atau sel darah putih, juga dalam autofagus. Lisosom adalah organel “pencernaan” pada sel hewan.

Lisosom pertama kali ditemukan oleh Christian de Duve di awal tahun 1950 setelah mempelajari distribusi beberapa jenis enzim yang terlibat di dalam metabolisme karbohidrat. Lisosom terdiri dari 50 enzim hidrolitik yang berbeda yang berproduksi di dalam RE kasar dan ditargetkan pada lisosom. Enzim lisosom dapat menghidrolasi berbagai tipe makro molekul. Enzim-enzim lisosom memiliki peran penting: semua bekerja optimal pada keadaan pH asam dan karenanya disebut hidrolase asam.

1. Struktur Lisosom

Secara umum, lisosom berbentuk bulat yang terbungkus oleh satu lapisan membran (**Gambar 3-24**). Sifat fisik utama membran ini yaitu mempunyai kemampuan berfusi dengan struktur membran sel yang lain maupun membran semua jenis organel. Lisosom banyak terdapat pada sel-sel yang memiliki kegiatan fagositik seperti sel darah putih. Lisosom umumnya berdiameter 1,5 μ m, walaupun kadang-kadang ditemukan lisosom berdiameter 0,05 μ m.



Gambar 3-24 Ilustrasi Struktur Lisosom
(<https://biologydictionary.net/lysosome>)

Lisosom terdapat hampir pada semua sel eukariotik, terutama sel-sel yang bersifat fagositik seperti leukosit. Lisosom berisi berbagai enzim hidrolitik yang digunakan oleh sel hewan untuk mencerna makromolekul. Enzim lisosom bekerja paling baik dalam kondisi asam. Jika lisosom pecah atau bocor, enzim yang dilepaskan tidak sangat aktif sebab sitosol memiliki pH netral. Akan tetapi, kebocoran yang berlebihan dari banyak lisosom dapat menghancurkan sel melalui autodigesti. Enzim hidrolitik tersebut antara lain protease, lipase, nuklease, dan fosfatase.

2. Fungsi Lisosom

Secara fisiologis, lisosom umumnya berhubungan dengan pencernaan intraseluler. Misalnya pencernaan makanan yang berlangsung pada protozoa di mana bahan-bahan yang berasal dari luar dicerna secara intraseluler atau heterofagi. Lisosom melaksanakan pencernaan intraseluler dalam berbagai situasi. Amoeba dan banyak protista lain makan dengan cara menelan organisme yang lebih kecil atau partikel makanan lain, proses yang disebut fagositosis. Vakuola makanan yang terbentuk dengan cara ini kemudian berfusi dengan suatu lisosom, yang mengandung enzim-enzim pencerna makanan. Produk-produk pencernaan, termasuk gula sederhana, asam amino dan monomer-monomer lain, masuk ke dalam sitosol dan menjadi nutrisi bagi sel. Beberapa sel manusia juga melaksanakan fagositosis. Contohnya makrofag, sejenis sel darah putih yang membantu mempertahankan tubuh dengan cara menelan dan menghancurkan bakteri serta penyerbu lain.

Lisosom juga menggunakan enzim hidrolitiknya untuk mendaur-ulang materi organik milik sel sendiri, proses yang dikenal sebagai autogafi. Selama autogafi, organel yang rusak atau sejumlah kecil sitosol diselubungi oleh membran ganda, yang asal-usulnya belum diketahui, dan suatu lisosom berfusi dengan membran luar vesikel ini. Enzim-enzim lisosom menguraikan materi yang diselubungi, dan monomer-monomer organik dikembalikan ke sitosol untuk digunakan kembali dengan bantuan lisosom, sel terus menerus memperbarui dirinya sendiri.

Enzim hidrolitik dan membran lisosom dibuat oleh RE kasar dan kemudian ditransfer ke aparatur Golgi untuk diproses lebih lanjut. Setidaknya beberapa lisosom mungkin timbul melalui pertunasan dari sisi trans aparatur Golgi. Protein-protein dipermukaan dalam membran lisosom dan enzim-enzim pencernaan sendiri diduga tidak mengalami kehancuran karena memiliki bentuk berdimensi tiga yang melindungi ikatan-ikatan yang rawan dari serangan enzim.

Selain melakukan pencernaan intrasel, lisosom juga memainkan peranan yang sangat penting selama berlangsungnya fertilisasi pada berbagai jenis hewan termasuk manusia, terutama selama berlangsungnya reaksi akrosom. Enzim-enzim yang dilepaskan dari vesikula akrosom melakukan pencernaan terhadap selaput-selaput pelindung telur sehingga memungkinkan sel pronuklei jantan masuk menembus membran telur untuk berfusi dengan pronuklei betina. Secara keseluruhan, fungsi dari lisosom adalah sebagai berikut:

- Melakukan pencernaan intrasel.
- Autofagi yaitu menghancurkan struktur yang tidak dikehendaki, misalnya organel lain yang sudah tidak berfungsi.
- Eksositosis yaitu pembebasan enzim keluar sel, misalnya pada pergantian tulang rawan pada perkembangan tulang keras.
- Autolisis yaitu penghancuran diri sel dengan membebaskan isi lisosom ke dalam sel, misalnya terjadi pada saat berudu menginjak dewasa dengan menyerap kembali ekornya.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 3-5** berikut!

TUGAS 3-5

RE, badan Golgi, dan lisosom saling berkaitan terkait perannya dalam sistem endomembran. Namun demikian, badan Golgi juga diketahui berperan dalam pembentukan dinding sel. Jelaskan peristiwa tersebut!

Indikator: Analisis
(Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 3-5

G. KLOOROPLAS & KONVERSI ENERGI

Kloroplas merupakan salah satu jenis plastida yang mengandung klorofil dan terdapat pada hampir seluruh tumbuhan. Plastida adalah organel sel yang menghasilkan warna pada sel tumbuhan. Kloroplas merupakan plastida berwarna hijau, mengandung pigmen hijau (klorofil) yang dalam fotosintesis menyerap tenaga matahari untuk mengubah karbon dioksida menjadi glukosa sebagai sumber energi kimia dan makanan bagi tumbuhan. Plastida ini berfungsi menghasilkan klorofil dan sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis. Berikut penjelasan mengenai struktur dan fungsi kloroplas.

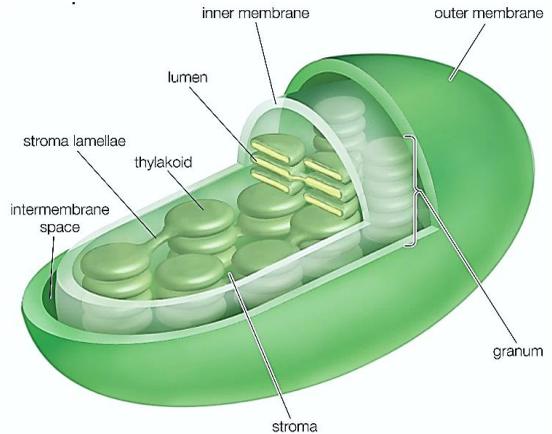
1. Struktur Kloroplas

Pada tumbuhan tingkat tinggi umumnya berbentuk cakram, tersusun dalam lapisan tunggal dalam sitoplasma tetapi bentuk dan posisinya berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya. Bentuk kloroplas yang beraneka ragam ditemukan pada alga. Kloroplas berbentuk pita spiral ditemukan pada *Spyrogyra*,

sedangkan yang berbentuk jala ditemukan pada *Cladophora*, sedangkan kloroplas berbentuk pita ditemukan pada *Zygnema*.

Kloroplas dikelilingi oleh membran luar dan membran dalam. Seperti membran luar pada mitokondria, membran luar kloroplas juga bersifat permeabel terhadap molekul dengan ukuran 10.000 dalton. Sebaliknya membran dalam relatif lebih impermeabel. Membran dalam menutupi daerah yang berisi cairan yang disebut stroma. Stroma juga sebagai tempat berlangsungnya reaksi gelap. Pelipatan membran dalam membentuk struktur seperti tumpukan piringan yang saling berhubungan yang disebut tilakoid yang tersusun membentuk grana. Membran tilakoid yang mengelilingi ruang interior tilakoid yang berisi cairan mengandung klorofil dan pigmen fotosintesis lain serta rantai transpor elektron. Reaksi terang dari fotosintesis terjadi di tilakoid. Membran luar kloroplas menutupi ruang intermembran antara membran dalam dan membran luar kloroplas (Lihat **Gambar 3-25**).

Struktur dari kloroplas meliputi: membran luar, membran dalam, stroma, dan tilakoid. **Membran luar** kloroplas menutupi ruang intermembran antara membran dalam dan membran luar kloroplas. Membran ini permeabel terhadap persenyawaan yang berat molekulnya rendah seperti nukleotida, fosfat anorganik, derivat yang mengandung fosfat, asam karboksilat dan sukrosa. Jadi ruang antar membran merupakan jalan masuk bebas untuk segala macam molekul makanan dari sitosol. Dilihat dari permeabilitasnya fungsi dari membran luar kloroplas dan



© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

Gambar 3-25 Struktur Kloroplas

(<https://www.britannica.com/science/chloroplast>)

mitokondria mempunyai persamaan. **Membran dalam**, menutupi daerah yang berisi cairan yang disebut stroma yang mengandung enzim untuk reaksi terang pada proses fotosintesis. Pelipatan membran dalam membentuk struktur seperti tumpukan piringan yang saling berhubungan yang disebut tilakoid yang tersusun membentuk grana. Membran tilakoid yang mengelilingi ruang interior tilakoid berisi cairan mengandung klorofil dan pigmen fotosintesis lain serta rantai transpor elektron. Membran dalam mempunyai fungsi sebagai barrier antara sitosol dan stroma kloroplas yang bersifat impermeable terhadap sukrosa, sorbitol, dan berbagai anion (misalnya di dan trikarboksilat, fosfat, dan persenyawaan seperti nukleotida dan gula fosfat). Meskipun impermeabel terhadap berbagai persenyawaan, membran dalam permeabel terhadap CO_2 dan asam monokarboksilat tertentu (misalnya asam asetat, asam gliserat, asam glikolat) dan kurang permeabel terhadap asam amino.

Stroma (cairan kloroplas), merupakan tempat enzim-enzim yang penting untuk asimilasi CO_2 menjadi karbohidrat. Stroma mengandung DNA dan ribosom, serta yang sering ditemukan yaitu partikel amilum. Selain itu, terdapat pula partikel plastoglobulin yang letaknya bebas pada stroma. Stroma juga merupakan tempat penimbunan lemak terutama plastoquinon dan tokoforilquinon. **Tilakoid** merupakan struktur membran yang terdapat pada stroma. Bagian dalam tilakoid disebut lokulus. Tilakoid yang menghubungkan antar grana disebut *fret*. Di dalam membran tilakoid terdapat enzim-enzim untuk kelengkapan reaksi terang fotosintesis, dan disinilah terdapat klorofil. Jadi fungsi tilakoid adalah sebagai tempat berlangsungnya reaksi terang fotosintesis.

2. Fungsi Kloroplas sebagai Konversi Energi Fotosintesis

Pada dasarnya proses fotosintesis bukanlah satu proses tunggal, akan tetapi dua proses yang masing-masing terdiri dari banyak langkah. Kedua tahap dikenal sebagai reaksi terang dan reaksi gelap atau siklus Calvin.

Reaksi Terang mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk ATP dan NADPH

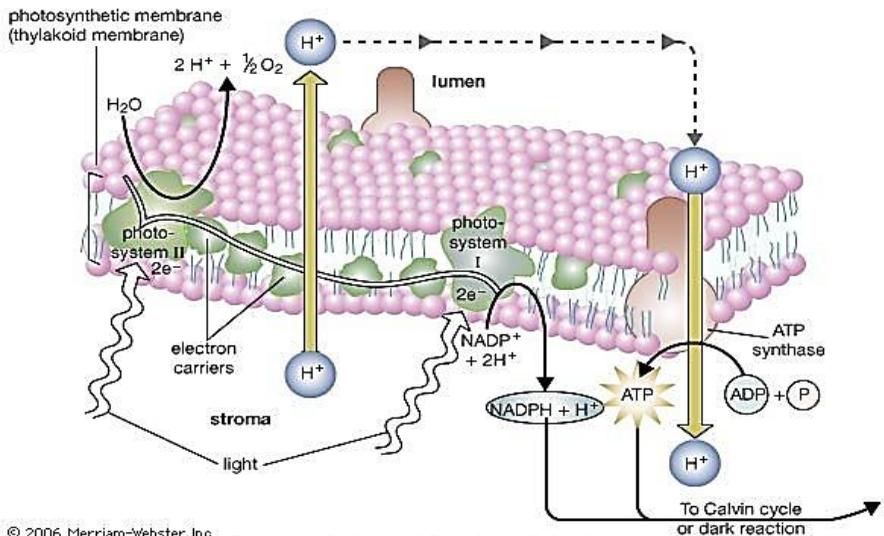
Reaksi terang merupakan tahap-tahap fotosintesis yang terjadi pada tilakoid dalam kloroplas mentransformasi energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk ATP dan NADPH. Reaksi terang merupakan tahapan awal dari sistem fotosintesis. Pada reaksi ini bahan utamanya adalah molekul air (H_2O), seperti yang diketahui, reaksi terang sangat bergantung pada cahaya yaitu ketersediaan energi dari foton/sinar matahari.

Proses diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen fotosintetik klorofil sebagai akseptor cahaya. Pigmen klorofil menyerap lebih banyak cahaya terlihat pada warna ungu (400-450 nm) dan merah (650-700 nm) dibandingkan hijau (500-600 nm). Untuk cahaya hijau (550 nm) akan dipantulkan oleh daun dan ditangkap oleh mata kita sehingga menimbulkan sensasi bahwa daun berwarna hijau. Fotosintesis akan menghasilkan lebih banyak energi pada gelombang cahaya dengan panjang tertentu.

Fotosistem tersusun atas suatu kompleks protein yang disebut kompleks pusat-reaksi yang dikelilingi oleh beberapa kompleks permanen-cahaya. Setiap kompleks permanen-cahaya terdiri dari berbagai molekul pigmen (klorofil a, klorofil b, dan karotenoid) yang terikat ke protein. Kompleks pusat reaksi mengandung suatu molekul yang mampu menerima elektron dan menjadi tereduksi; molekul ini disebut penerima elektron primer. Pasangan molekul klorofil adalah kompleks pusat-reaksi bersifat khusus karena lingkungannya molekularnya-lokasinya dan molekul-molekul lain yang berasosiasi dengan pasangan tersebut memungkinkan pasangan itu menggunakan energi dari cahaya, tidak hanya untuk mendorong satu elektronnya ke tingkat energi yang lebih tinggi namun juga meneruskan elektron ke molekul yang berbeda penerima elektron primer.

Membran tilakoid ditempati oleh dua tipe fotosistem yang bekerja sama dalam reaksi terang fotosintesis. Fotosistem II (PS II) dan Fotosistem I (PS I). Pusat-reaksi klorofil a pada PS II dikenal sebagai P680 karena pigmen ini paling bagus

menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang 680 nm (di bagian merah dari spektrum). Klorofil a pada kompleks pusat-reaksi PS I disebut P700, karena paling efektif menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang 700 nm (di bagian merah paling kanan dari spektrum). Kedua pigmen ini, P680 dan P700, merupakan molekul klorofil a yang nyaris identik. Akan tetapi, asosiasi pigmen-pigmen tersebut dengan protein yang berbeda dalam membran tilakoid memengaruhi distribusi elektron pada kedua pigmen yang menyebabkan sedikit perbedaan dalam hal sifat penyerapan cahaya. Berikut **Gambar 3-26** ilustrasi fotosistem I dan II.



© 2006 Merriam-Webster, Inc.

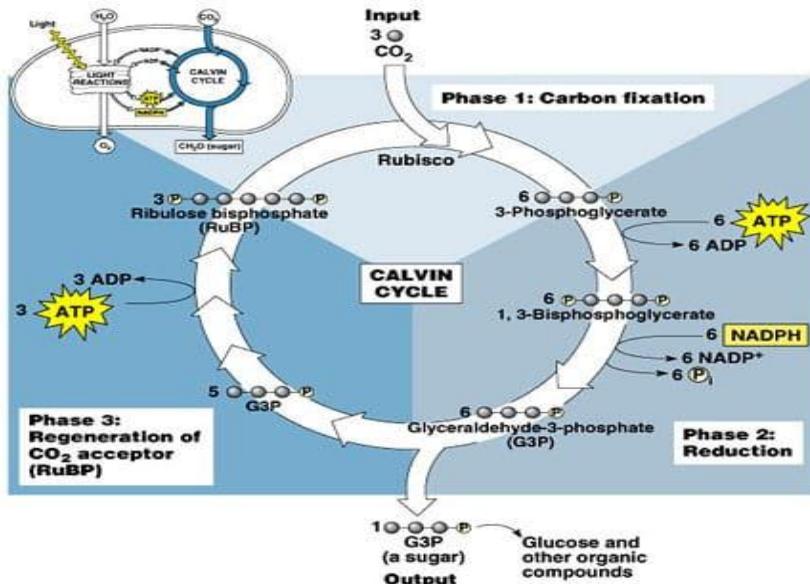
Gambar 3-26 Ilustrasi Fotosistem II dan I

(<https://www.britannica.com/science/photosystem-II>)

Siklus Calvin Menggunakan ATP dan NADPH untuk mengubah CO_2 menjadi gula

Siklus Calvin bersifat anabolik, yaitu menyusun karbohidrat dari molekul-molekul yang lebih kecil dan mengkonsumsi energi. Karbon memasuki siklus Calvin dalam bentuk CO_2 dan meninggalkan siklus dalam bentuk gula, siklus menggunakan ATP sebagai sumber energi dan mengkonsumsi NADPH sebagai

tenaga pereduksi bagi penambahan elektron berenergi tinggi untuk membentuk gula. Karbohidrat yang dihasilkan langsung dari siklus Calvin sebenarnya bukanlah glukosa melainkan gula berkarbon-tiga yaitu gliserilhidra-3-fosfat (G3P). Untuk sintesis satu molekul G3P, siklus Calvin harus berlangsung 3 kali, dan memfiksasi tiga molekul CO₂. Berikut **Gambar 3-27** ilustrasi dari fase siklus Calvin.



Gambar 3-27 Ilustrasi Siklus Calvin
<https://schoolworkhelper.net/the-calvin-cycle/>

Fase 1: Fiksasi karbon

Siklus Calvin menggabungkan setiap molekul CO₂, satu persatu dengan cara meletakkannya ke gula karbon lima yang bernama ribulosa bifosfat (RuBP). Enzim yang mengkatalisis langkah pertama ini adalah RuBP karboksilase atau *rubisco* (protein yang sangat berlimpah dalam kloroplas). Produk hasil metode ini adalah intermediet berkarbon-enam yang sedemikian tidak stabil sehingga segera pecah menjadi dua membentuk dua molekul 3-fosfogliserat (untuk setiap CO₂ yang difiksasi).

Fase 2: Reduksi

Setiap molekul 3-fosfoglisarat menerima satu gugus fosfat tambahan dari ATP menjadi 1,3 bifosfoglisarat. Kemudian sepasang elektron yang disumbangkan dari NADPH mereduksi 1,3 bifosfoglisarat, yang juga kehilangan satu gugus fosfat, menjadi G3P. secara spesifik, elektron dari NADPH mereduksi gugus karboksil pada 1,3 bifosfoglisarat menjadi gugus aldehida G3P, yang menyimpan lebih banyak energy potensial. G3P merupakan gula-gula berkarbon tiga ini yang sama yang terbentuk dalam glikolisis melalui pemecahan glukosa. Perhatikan pada Gambar 3-28 tersebut, untuk setiap tiga molekul CO_2 yang memasuki siklus terbentuk enam molekul G3P, namun hanya satu dari molekul dari gula berkarbon tiga ini yang dapat dihitung sebagai perolehan netto karbohidrat.

Siklus dimulai dengan karbohidrat 15 karbon, dalam molekul tiga molekul gula RuBP berkarbon lima. Sekarang ada karbohidrat senilai 18 karbon dalam bentuk 6 molekul G3P. satu molekul keluar dari siklus dan digunakan oleh sel tumbuhan, namun lima molekul yang lain harus disiklus ulang untuk menghasilkan tiga molekul RuBP.

Fase 3: Regenerasi penerima CO_2 (RuBP)

Dalam serangkaian reaksi kompleks, rangka karbon lima molekul G3P disusun-ulang oleh langkah-langkah terakhir siklus calvin menjadi 3 molekul RuBP. Untuk melakukan ini, siklus harus menggunakan tiga molekul ATP lagi. RuBP kini siap menerima CO_2 kembali, dan siklus pun berlanjut.

Mengapa reaksi terang dan reaksi gelap pada fotosintesis saling berkaitan satu dengan lainnya?

Sebagaimana telah dijelaskan, bahwa fotosintesis merupakan sistem pengolahan energi cahaya matahari yang dapat berlangsung pada pagi dan malam hari di mana klorofil membutuhkan cahaya matahari untuk membuat glukosa. Reaksi terang merupakan reaksi fotosintesis yang sangat bergantung pada keberadaan cahaya matahari sehingga dapat terjadi

pada pagi ataupun siang hari. Sedangkan reaksi gelap tidak bergantung dengan cahaya matahari, namun reaksi ini tidak akan terjadi tanpa adanya reaksi terang. Hubungan antara reaksi terang dan gelap tersirat dalam QS Al Hadid ayat 6 berikut:

يُؤَلِّجُ اللَّيْلَ فِي النَّهَارِ وَيُؤَلِّجُ النَّهَارَ فِي اللَّيْلِ وَهُوَ عَلِيمٌ بِذَاتِ
الصُّدُورِ ﴿٦﴾

“Dia memasukkan malam ke dalam siang dan memasukkan siang ke dalam malam. Dan Dia Maha Mengetahui segala isi hati.”

Ayat tersebut bermakna bahwa Allah SWT menentukan apa yang dikehendaki-Nya, sebagaimana kalimat *“Dia memasukkan malam ke dalam siang dan memasukkan siang ke dalam malam”*. Hal itu dianalogikan bahwa siang adalah reaksi terang, dan malam adalah reaksi gelap, di mana keduanya saling berkaitan sehingga fotosintesis dapat menghasilkan glukosa sebagai energi ATP. Ayat tersebut juga bermakna bahwa Allah SWT menghendaki siang lebih panjang dari malam, malam lebih panjang dari siang, atau keduanya sama panjangnya sehingga peristiwa tersebut memengaruhi fisiologi tumbuhan. Dengan demikian, Allah SWT mendorong kita secara mendalam dan teliti segala yang bermanfaat secara sungguh-sungguh, lalu bersyukur atas nikmat-Nya.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Hadid ayat 6 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Dalam fotosintesis, kebutuhan karbon dioksida (CO_2) pada reaksi gelap akan dipenuhi dari udara yang masuk melalui stomata tanaman. Pada kebanyakan tanaman, fotosintesis berfluktuasi sepanjang hari sebagai stomata membuka dan menutup. Stomata terbuka di pagi hari, menutup pada tengah hari, membuka kembali di sore hari, dan ditutup untuk baik di malam hari. Oleh karena itu, tumbuhan memiliki mekanisme alternatif fiksasi karbon melalui proses fotorespirasi sebagai bentuk kompromi antara fotosintesis dan pencegahan kehilangan air secara berlebihan dari tumbuhan.

Tumbuhan C3

Tumbuhan C3 adalah produk organik pertama dari fiksasi karbon merupakan senyawa karbon-tiga, 3-fosfoglisarat yang terjadi melalui rubisco, enzim siklus Calvin yang menambahkan CO_2 ke ribulosa bisfosfat. Contohnya padi, gandum dan kedelai. Ketika stomata tumbuhan-tumbuhan itu tertutup sebagian pada hari yang kering dan panas, tumbuhan C3 menghasilkan lebih sedikit gula karena penurunan kadar CO_2 dalam daun menghambat siklus Calvin. Selain itu rubisco dapat mengikat O_2 sebagai ganti CO_2 . Ketika CO_2 semakin jarang terdapat dalam rongga-rongga udara daun, rubisco dapat menambahkan O_2 ke siklus Calvin, bukan CO_2 . Produk terurai, dan senyawa berkarbon-dua meninggalkan kloroplas.

Fotorespirasi terjadi saat ada cahaya dan mengonsumsi O_2 sambil menghasilkan CO_2 . Akan tetapi tidak seperti respirasi selular normal, fotorespirasi tidak menghasilkan ATP. Tidak seperti fotosintesis, fotorespirasi tidak menghasilkan gula. Faktanya, fotorespirasi bahkan menurunkan keluaran fotosintesis karena mengambil materi organik dari siklus calvin dan melepaskan CO_2 yang seharusnya difiksasi. Fotorespirasi bertindak menetralkan produk-produk reaksi terang yang merusak, dan menumpuk ketika konsentrasi CO_2 yang rendah membatasi kelanjutan siklus Calvin.

Tumbuhan C4

Tumbuhan C4 memulai siklus Calvin dengan mode alternatif fiksasi karbon yang membentuk senyawa berkarbon-empat sebagai produk pertamanya. Beberapa tumbuhan C4 yang penting bagi pertanian adalah tebu dan jagung, famili rumput-rumputan. Pada tumbuhan C4 ada dua tipe sel fotosintetik yang berbeda, yaitu sel seludang berkas pembuluh dan sel mesofil.

Tumbuhan CAM

Tumbuhan ini disebut tumbuhan CAM karena mode fiksasi karbonnya disebut *Crassulacean Acid Metabolism* berdasarkan famili tumbuhan *Crassulaceae*, tumbuhan sukulen tempat proses ini pertama kali di temukan. Spesies CAM melaksanakan tergantung cahaya dan fiksasi CO₂, tanaman C3 dan C4 membuka stomata daun mereka dan memperbaiki CO₂ selama siang hari, sedangkan CAM stomatanya tertutup selama siang hari. Tumbuhan-tumbuhan ini membuka stomatanya pada malam hari dan menutupnya pada siang hari membantu tumbuhan gurun mempertahankan air, namun juga mencegah CO₂ memasuki daun. Pada malam hari, ketika stomatanya terbuka, tumbuhan ini mengambil CO₂ dan menggabungkannya ke dalam berbagai asam organik.

Sel mesofil tumbuhan CAM menyimpan asam organik yang dibuatnya pada malam hari dalam vakuolanya sampai pagi hari, ketika stomata menutup. Pada siang hari, penutupan stomata, dan malat pindah ke sitoplasma, CO₂ diperbaiki dengan rubisco ketika reaksi terang dapat menyuplai ATP dan NADPH untuk siklus Calvin, CO₂ dilepaskan dari asam organik yang dibuat pada malam sebelumnya untuk digabungkan ke dalam gula di kloroplas, karbohidrat kemudian disintesis menggunakan energi dari ATP dan NADPH yang dihasilkan oleh reaksi tergantung cahaya.

Perbedaannya adalah bahwa dalam tumbuhan C4, langkah-langkah awal fiksasi karbon terpisah secara struktural dari siklus Calvin, sedangkan dalam tumbuhan CAM, kedua langkah ini terjadi pada saat yang berbeda namun di dalam sel

yang sama. Namun perlu diingat bahwa tumbuhan CAM, C4 maupun C3 pada akhirnya menggunakan siklus Calvin untuk membuat gula dari karbon dioksida.

Berkaitan dengan peran kloroplas sebagai tempat berlangsung peristiwa fotosintesis, tentunya tidak bisa dipisahkan dari klorofil. Seperti yang telah dipelajari, tumbuhan memiliki klorofil untuk menghasilkan makanannya sendiri melalui proses konversi energi. Energi dari matahari tersebut diolah dan disimpan dalam senyawa-senyawa organik sebagai sumber makanan bagi makhluk hidup lain. Allah SWT berfirman dalam QS. Yasin ayat 79-80 berikut:

قُلْ يُحْيِيهَا الَّذِي أَنْشَأَهَا أَوَّلَ مَرَّةٍ وَهُوَ بِكُلِّ خَلْقٍ عَلِيمٌ ﴿٧٩﴾
الَّذِي جَعَلَ لَكُمْ مِنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِنْهُ

MERISKA

تُوقَدُونَ ﴿٨٠﴾

“Katakanlah (Muhammad), “Yang akan menghidupkannya ialah (Allah) yang menciptakannya pertama kali. Dan Dia Maha Mengetahui tentang segala makhluk,⁷⁹ yaitu (Allah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau, maka seketika itu kamu nyalakan (api) dari kayu itu.⁸⁰”

Ayat tersebut menunjukkan bahwa Allah SWT memiliki pengetahuan yang Maha Luas terhadap makhluknya. Di dalam ayat tersebut mengandung kata “Allah yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau”. Menurut kajian ilmiah, kata api diinterpretasikan sebagai energi. Pada tumbuhan memang terjadi proses pemanfaatan energi matahari untuk mengubah material yang diambil tumbuhan menjadi energi kimiawi (ATP), yang disebut dengan fotosintesis.

Proses fotosintesis berlangsung pada kloroplas dan melibatkan pigmen klorofil. Dari fotosintesis itulah tumbuhan mampu menciptakan makanannya sendiri untuk keperluan

pertumbuhannya sehingga dihasilkan ranting-ranting dan dahan yang dapat dijadikan sebagai kayu bakar. Secara singkat, fungsi dari klorofil ini adalah sebagai sumber pokok bagi elektron yang banyak mengandung energi yang dihasilkan melalui ionisasi klorofil. Elektron ini dibutuhkan dalam proses pembuatan berbagai bahan makanan di dalam sel. Pada ayat lainnya juga dijelaskan hal yang serupa, yaitu dalam QS. Al An'am ayat 99 berikut:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنَ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انظُرُوا إِلَىٰ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

“Dan Dialah yang menurunkan air dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan, maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau, Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang kurma, mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah, dan menjadi masak. Sungguh, pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.”

Terjemahan dari QS. Al An'am ayat 99 menggambarkan proses penciptaan buah yang tumbuh dan berkembang melalui beberapa fase, hingga sampai pada fase kematangan. Semua itu terbentuk atas bantuan cahaya matahari melalui proses fotosintesis, di mana klorofil memiliki kemampuan menyerapnya dan mengolahnya menjadi cadangan makanan bagi tumbuhan tersebut. Ayat tersebut membuktikan ke-esaan dan ketelitian Allah SWT dalam menciptakan ciptaan-Nya agar berguna bagi kehidupan.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Yasin ayat 79-80 dan Al An'am ayat 99 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bersyukur, Memikirkan ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 3-6** berikut!

TUGAS 3-6

Kemiripan struktur membran yang berlapis pada mitokondria dan kloroplas tentunya berkaitan. Jelaskan hubungan keterkaitan tersebut pada setiap reaksi kimia dalam sel antara mitokondria dan kloroplas!

Indikator: Analisis
(Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)

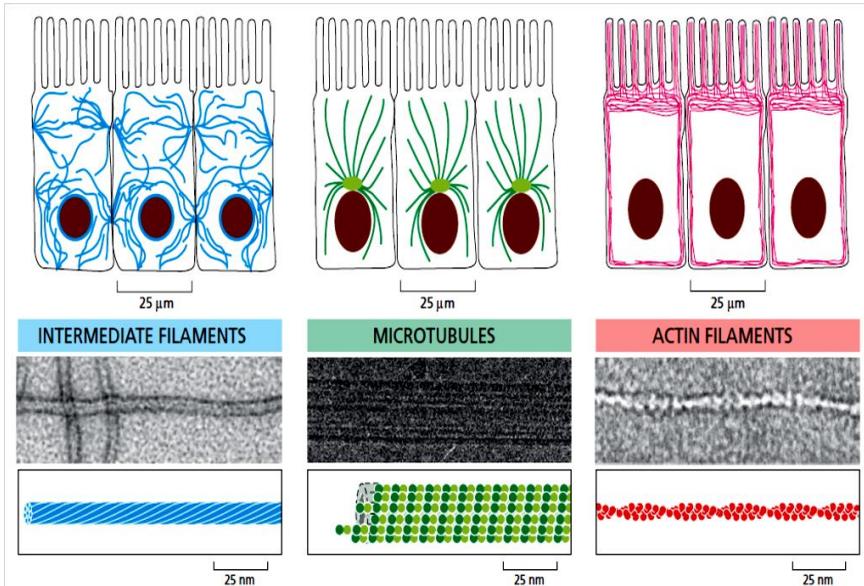
Ayo Latih Berpikir
Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 3-6

H. SITOSKELETON & PERGERAKAN SEL

Sitoskeleton berperan dalam pengorganisasian struktur dan aktivitas sel, yaitu proses pergerakan dan pengangkutan sel. Sitoskeleton membentuk suatu jaringan terpadu, menghubungkan secara dinamis hampir semua struktur sel serta memiliki permukaan yang sangat luas yang memungkinkan berbagai protein dan komponen sitoplasma dapat terikat pada permukaannya. Berikut penjelasan mengenai struktur penyusun sitoskeleton dan proses-proses kimia yang terjadi di dalamnya.

1. Struktur Sitoskeleton

Sitoskeleton tersusun atas tiga filamen yang terstruktur dengan baik, yaitu mikrotubulus, mikrofilamen (filamen aktin) dan filamen intermediet. Ketiga macam protein filamen penyusun sitoskeleton tersebut menempati posisi yang berbeda di dalam sel, akan tetapi masih memiliki hubungan antara satu dengan yang lainnya. Perhatikan **Gambar 3-28** yang menggambarkan ketiga bentuk protein filamen penyusun sitoskeleton.



Gambar 3-28 Bentuk Protein Filamen Penyusun Sitoskeleton
(Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

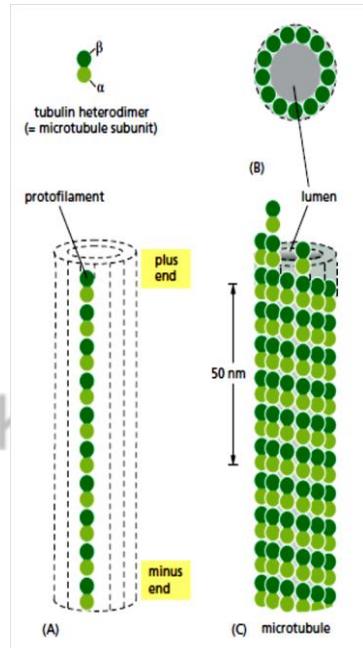
Di dalam sitoskeleton terdapat berbagai macam protein yang berasosiasi dengan filamen-filamennya. *Microtubule Associated Protein* (MAPs) merupakan protein jembatan penghubung antara mikrotubulus dengan sekitarnya, baik antar filamen mikrotubulus maupun dengan filamen yang lainnya. Berbagai protein lain seperti sindapin, F-aktin binding protein dan kortaktin, ini merupakan protein pengikat antara filamen aktin (mikrofilamen) dengan membran *trafficking*. Intermediet

filamen juga memiliki berbagai macam protein yang berasosiasi dengannya, protein-protein tersebut antara lain, plektin, fimbrin, filamin, kinesin dan transglutaminase. Melihat posisi dari masing-masing protein yang berasosiasi dengan berbagai filamen, tampaknya bahwa fungsi dari protein tersebut bukan hanya sebagai penghubung melainkan juga membantu stabilitas dari jaringan sitoskeleton.

MIKROTUBULUS

Mikrotubulus memiliki bentuk silinder dan berongga agak kaku dengan diameter luarnya 25 nm dan ketebalan dinding sekitar 4 nm. Panjangnya bervariasi tergantung dari tipe sel dan spesies, namun tidak memiliki cabang. Dinding dari mikrotubulus tersusun dari 13 protofilamen yang identik. Mikrotubula yang berbentuk panjang dan lurus serta mempunyai satu ujung yang melekat pada *Microtubula Organizing Center* (MTOC) disebut sentrosom.

Mikrotubulus ditemukan dalam sitoplasma semua sel eukariotik. Mikrotubulus tersusun atas protein yang dikenal sebagai tubulin. Setiap molekul rantai-rantai protein tubulin yang membentuk spiral merupakan heterodimer yang terdiri dari dua sub unit globular yang terikat erat. Subunit-subunit tersebut merupakan protein sejenis yang diberi nama α -tubulin dan β -tubulin (**Gambar 3-29**). Mikrotubula berperan dalam peristiwa pergerakan atau motilitas, mikrotubula menentukan posisi organel bermembran dan transpor intraseluler.

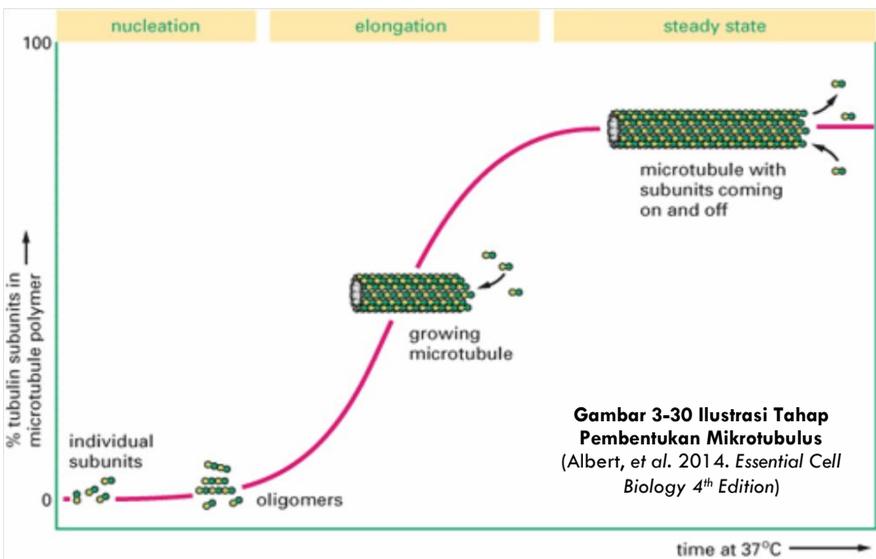


Gambar 3-29 Struktur Mikrotubulus

(A) susunan satu protofilamen terdiri dari sub unit tubulin heterodimer (dimer tubulin α , β); (B-C) diagram mikrotubulus yang menunjukkan bagaimana dimer tubulin bersatu (Albert, *et al.* 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

Pembentukan mikrotubula diawali dengan tahap pertama yang disebut **nucleation (pemusatan)**. Proses ini membutuhkan alfa tubulin dan beta tubulin bergabung membentuk heterodimer (dimer tubulin). Setiap dimer membawa dua molekul GTP. Kemudian, sebanyak 13 dimer membentuk satu putaran heliks yang berdiameter 24 nm, dan disebut oligomer tubulin. Saat pembentukan oligomer, GTP dihidrolisis menjadi GDP. Selanjutnya adalah tahap kedua yang disebut **elongation (pemanjangan)**. Pada tahap ini, oligomer menempel ke oligomer yang lain sehingga membentuk banyak oligomer yang tampak tersusun memanjang menjadi sumbu silindris atau berbentuk seperti tabung memanjang dan disebut protofilamen.

Mikrotubula mempunyai dua ujung polar, ujung positif atau ujung plus (pembentukan cepat) dan ujung negatif atau ujung minus (pembentukan lambat). Ujung plus memerlukan lebih banyak dimer tubulin untuk dipolimerisasi membentuk protofilamen. Hal ini disebabkan oleh susunan protofilamen yang sejajar satu terhadap yang lain dan sesuai dengan polaritas masing-masing. Perhatikan **Gambar 3-30** yang mengilustrasikan tahap pembentukan mikrotubulus.



Gambar 3-30 Ilustrasi Tahap Pembentukan Mikrotubulus
(Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

Fungsi Mikrotubula

Mikrotubulus memiliki beberapa fungsi, antara lain: sarana transpor material di dalam sel, mempertahankan bentuk sel, motilitas sel, pergerakan kromosom pada pembelahan sel, dan pergerakan organel.

Transpor material di dalam sel

Di dalam sel terjadi perpindahan material dari suatu tempat ke tempat lain. Perpindahan bahan dari satu kompartemen membran tergantung pada kehadiran mikrotubulus. Jika komponen dari sitoskeleton ini terganggu, maka gerakan juga akan terhenti. Salah satu peristiwa ini adalah proses gerakan intraseluler akson sel saraf yang dibantu susunan mikrotubulus dan komponen sitoskeleton lainnya yang terorganisir.

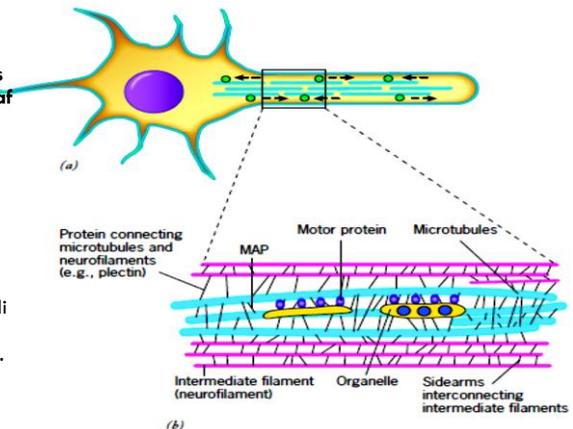
Akson neuron motor dari suatu individu bisa meregang dari sum-sum tulang belakang hingga ke ujung jari dan kaki. Pusat dari neuron ini adalah *cell body* (badan sel) bagian yang bulat berada di dalam sum-sum tulang belakang. Ketika asam amino dimasukkan ke dalam badan sel, mereka bergabung menjadi protein yang pindah ke akson dan perjalanannya secara bertahap menyusuri akson. Berbagai macam bahan, termasuk molekul *neurotransmitter* yang berada dalam vesikula membran di RE dan kompleks Golgi dari tubuh sel dan kemudian diangkut di sepanjang akson. Lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 3-31**.

Gambar 3-31 Peran Mikrotubulus dalam Pergerakan Akson sel saraf

a) Skema gambar sel saraf menunjukkan pergerakan vesikel disepanjang akson bersama mikrotubulus. Vesikel bergerak di kedua arah dalam akson;

b) Skema gambar dari organisasi mikrotubulus dan filamen intermediet dalam akson. Vesikel yang berisi bahan yang melekat di mikrotubulus diangkut oleh protein silang termasuk kinesin dan dynein.

(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)



Protein Motor yang Melintasi Mikrotubula

Protein motor pada sebuah sel mengkonversi energi kimia yang tersimpan dalam ATP menjadi energi mekanik. Secara umum, protein motor dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar yaitu kinesin, dynein dan myosin. Kinesin dan dynein bergerak di sepanjang mikrotubul, sedangkan myosin bergerak di mikrofilamen. Tidak ada protein motor yang digunakan di filamen intermediet. Hal ini tidak mengherankan karena filamen intermediet tidak terpolarisasi, sehingga dengan demikian tidak akan memberikan isyarat untuk protein motor.

Protein motor bergerak pada situsnya berturut-turut bersama polimer sitoskeleton, siklus mekanik dan kimia yang terjadi secara berulang. Hal tersebut menyebabkan protein motor akan kehilangan momentum dan gaya gesek karena lingkungannya yang kental. Akibatnya protein motor akan berhenti bergerak karena sumber energinya tidak ada lagi.

Protein Motor Kinesin

Kinesin adalah tetramer yang disusun oleh dua rantai berat dan dua rantai ringan identik. Sebuah molekul kinesin memiliki beberapa bagian termasuk sepasang bola kepala yang mengikat mikrotubulus dan bertindak sebagai ATP hidrolisis yang menghasilkan kekuatan bagi mesin. Setiap kepala (bagian penggerak) terhubung ke leher, batang dan ekor yang berbentuk kipas yang mengikat muatan yang akan diangkut.

Protein Motor Dynein

Dynein merupakan protein yang bertanggungjawab dalam proses pergerakan flagella dan silia. Setiap rantai berat dynein terdiri dari kepala bulat dengan proyeksi memanjang tangkai. Kepala dynein bertindak sebagai mesin yang menghasilkan kekuatan. Setiap bagian ujung dari tangkainya mengikat ke mikrotubul. Struktur motor dynein terdiri dari daerah yang berbentuk roda pada bagian yang menempel ke mikrotubul.

INTERMEDIET FILAMEN (IF)

Filamen intermediet merupakan salah satu elemen utama penyusun sitoskeleton yang berbentuk padat, kuat, filamen bercabang, serat fleksibel yang memberikan kekuatan mekanik pada sel-sel yang mengalami stress fisik seperti neuron, sel-sel otot dan sel epitel yang melapisi rangka tubuh. Filamen ini memiliki diameter 10-12 nm.

Filamen intermediet menghubungkan mikrotubul dengan mikrofilamen. Filamen ini tidak ditemukan pada semua tipe sel. Umumnya terdiri dari 31 asam amino, memiliki bagian yang heliks dan menyerupai jarum. Bagian pusat dikelilingi oleh amino dan karboksil terminal. Berdasarkan struktur biokimianya, filamen intermediet ini dibedakan menjadi 2, yaitu: 1). Homopolimer yang termasuk protein seperti vimentin, desmin dan *Gliaial Fibrillary Acidic protein* (GFA); dan 2) Heteropolimer yang dibedakan atas sitokeratin (epitel) dan neurofilamen (sel saraf). Jenis protein yang membentuk filamen intermediet memberi karakteristik sel dan jaringan yang dibentuk.

Filamen intermediet merupakan penyokong sel yang lebih permanen dari pada mikrofilamen dan mikrotubulus, karena mudah diuraikan dan dirakit kembali di berbagai bagian sel. Selain itu, filamen intermediet juga menguatkan bentuk sel dan menetapkan posisi organel-organel tertentu, misalnya nukleus. Nukleus biasanya terletak dalam sangkar yang terbuat dari filamen intermediet. Nukleus tidak bergeser karena ditahan oleh cabang-cabang filamen yang membentang ke dalam sitoplasma. Filamen intermediet lainnya menyusun lamina nukleus yang melapisi interior selaput nukleus. Ketika bentuk keseluruhan sel berkorelasi dengan fungsinya, filamen intermediet menyokong bentuk tersebut.

Salah satu contohnya adalah penjururan panjang (akson) sel saraf yang meneruskan impuls yang diperkuat oleh suatu kelas filamen intermediet. Dengan demikian terlihat bahwa berbagai jenis filamen intermediet dapat berfungsi sebagai rangka dasar bagi seluruh sitoskeleton.

MIKROFILAMEN (FILAMEN AKTIN/F-AKTIN)

Mikrofilamen merupakan salah satu elemen sitoskeleton yang juga terlibat dalam proses pergerakan intraseluler seperti gerakan vesikel, fagositosis dan sitokenesis. Pada sel tanaman, mikrofilamen juga berperan dalam proses pengangkutan jarak jauh vesikel sitoplasma dan organel.

Mikrofilamen juga disebut dengan filamen aktin atau F-aktin. Masing-masing subunit aktin dari mikrofilamen memiliki polaritas dan bergerak menuju arah yang sama, akibatnya kedua ujung mikrofilamen memiliki struktur yang berbeda dan bersifat dinamis, tergantung jenis selnya dan di mana dia bergerak. Aktin merupakan protein terbanyak yang terdapat dalam sel eukariot. Apabila dalam bentuk monomer disebut aktin G atau G-aktin, sementara bentuk filamen beruntai rangkap disebut aktin F atau F-aktin.

Protein Motor Myosin

Miosin merupakan kelompok protein motor yang beroperasi pada filamen aktin. Semua myosin memiliki karakteristik kepala untuk pergerakan. Pada bagian kepala terdapat sebuah sisi untuk berikatan dengan filamen aktin, serta mengikat dan menghidrolisis ATP (untuk menggerakkan myosin). Beberapa kelas ditemukan dalam semua sel eukariot, tetapi ada juga yang ditemukan pada sel tertentu, misalnya myosin tipe X hanya ditemukan pada vertebrata sedangkan myosin tipe VIII dan XI hanya ditemukan pada tanaman.

2. Fungsi Sitoskeleton

Sitoskeleton (rangka sel) merupakan serabut protein kompleks yang lentur dan kuat yang merambahi sitosol dan menunjang serta mengorganisasikan komponen intrasel menjadi susunan yang sesuai. Sitoskeleton yang merupakan rangka internal sel ini memiliki beberapa fungsi, antara lain: a) menjaga bentuk sel dengan desain arsitekturalnya; b) sebagai tempat berlabuh/menempelnya organela sel dalam sitosol; c) bertanggungjawab dalam motilitas di dalam sel (seperti

kontraksi otot dan siklosis, pergerakan internal dari sitoplasma), pergerakan sel dan pergerakan eksternal (seperti pergerakan amuboid dari sel darah putih); d) memberikan kekuatan mekanik pada sel; dan e) terlibat dalam pembelahan sel.

Mekanisme Pergerakan Sel

Gerakan adalah fitur dasar kehidupan, ini adalah salah satu karakteristik yang paling mencolok dari organisme hidup dan sering adalah tanda yang paling jelas bahwa organisme memang hidup. Sitoskeleton juga terlibat dalam beberapa jenis motilitas (gerak) sel. Istilah motilitas sel mencakup perubahan tempat sel maupun pergerakan bagian sel yang lebih terbatas. Motilitas sel umumnya membutuhkan interaksi sitoskeleton dengan protein yang disebut molekul motor. Berikut penjelasan mengenai pergerakan sel yang melibatkan protein filamen sitoskeleton.

Gerak Amoeboid

Gerakan sel seperti perpindahan, melibatkan keterpaduan dari komponen-komponen sitoskelet, terutama aktin. Gerak amoeboid adalah gerak di mana suatu sel merangkak di sepanjang permukaan dengan cara memanjang dan mengalir ke dalam perpanjangan seluler yang disebut *pseudopodia*. *Pseudopodia* memanjang dan berkontraksi melalui penyusunan yang reversibel dari subunit aktin menjadi mikrofilamen, dan dari mikrofilamen menjadi jalinan yang mengubah sitoplasma dari bentuk sol (larutan koloid yang berbentuk cair) ke bentuk gel.

Pada sel tumbuhan, interaksi aktin-miosin dan transformasi sol-gel yang disebabkan oleh aktin terlibat dalam pengaliran sitoplasma, aliran melingkar (sirkular) sitoplasma di dalam sel. Gerakan ini sangat umum terjadi pada sel tumbuhan besar, mempercepat distribusi materi di dalam sel.

Gerak Silia dan Flagela

Dalam eukariota, susunan khusus mikrotubula bertanggungjawab untuk menggetarkan flagela dan silia. Banyak organisme eukariotik uniseluler bergerak di air dengan bantuan silia dan flagela, seperti sperma hewan, *algae*, serta sejumlah tumbuhan yang berflagel. Silia dan flagela berfungsi menggetarkan cairan di atas permukaan jaringannya.

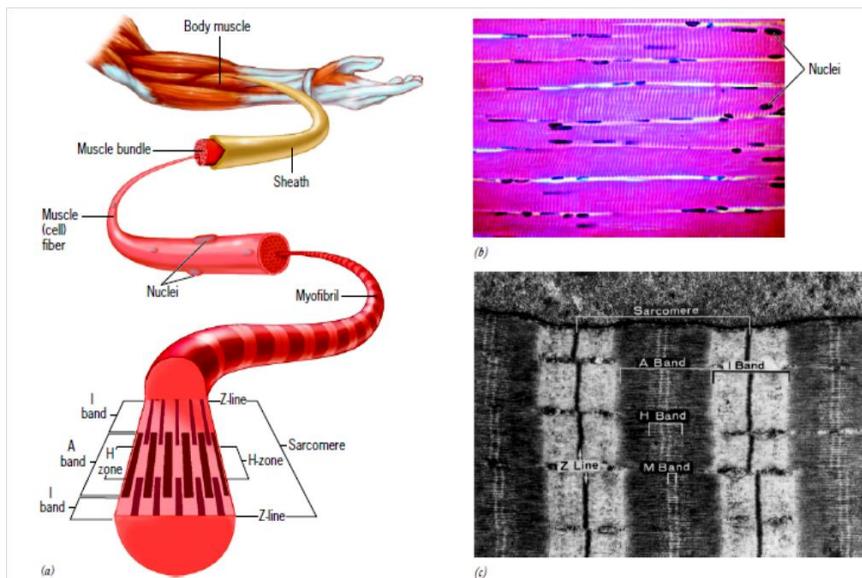
Protein motor Dynein berperan penting dalam pergerakan silia dan flagela. Gerakan flagela maupun silia berlandaskan pada kegiatan mikrotubula. Ditinjau dari segi ultrastruktur, gerakan silia maupun flagela merupakan gerak geser antar *doublet* dengan dynein. Terdapat tiga komponen penyebab terjadinya geseran yaitu mikrotubula, dynein, dan ATP. Dari ketiga komponen tersebut juga diketahui bahwa pergerakan flagela tidak akan melengkung tetapi *doublet-doublet* akan saling terlepas.

Gerakan Sel Otot

Dari segi mikroskopis terdapat dua jenis sel otot yaitu sel otot polos dan sel otot lurik. Sel otot lurik berukuran panjang 1-40 mm, lebar 10-50 μm . Setiap sel mengandung lebih kurang 100 nuklei dan sejumlah berkas filamen yang disebut myofibril. Setiap miofibril tersusun dari deretan sarkomer. Setiap sarkomer memperlihatkan pola pita karakteristik, yang membuat serat otot terlihat bergaris atau lurik. Setiap sarkomer mengandung dua jenis filamen yaitu filamen tebal yang disebut myosin dan filamen tipis yang disebut kompleks aktin. Filamen miosin terdiri dari ekor dan kepala miosin (protein globular), yang berinteraksi dengan kompleks aktin. Kompleks aktin terdiri dari filamen aktin, tropomiosin, dan troponin.

Perhatikan **Gambar 3-32**, sarkomer memanjang dari satu baris Z ke Z baris berikutnya dan berisi beberapa pita gelap dan zona terang. Sebuah sarkomer memiliki sepasang warna terang *I band* yang terletak di tepi luar, warna yang lebih gelap *A band* yang terletak di antara *I band*, dan warna terang *zona H* terletak dipusat *A band*. Sebuah garis warna gelap *M*

terletak di tengah dari zona H. I band hanya berisi filamen tipis, hanya H zona yang tebal, dan bagian dari A band pada kedua sisi dari zona H mewakili wilayah tumpang tindih dan mengandung kedua jenis filamen.

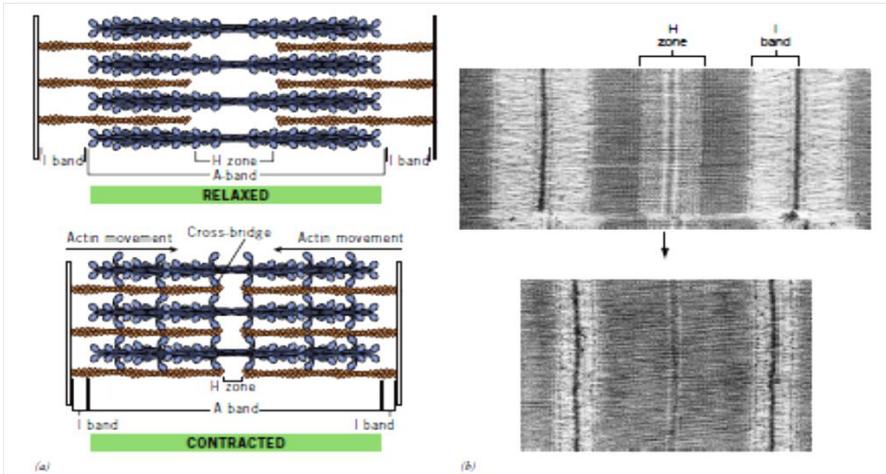


Gambar 3-32 Struktur Otot Lurik (Otot Rangka)

a) Tingkat organisasi dari otot rangka; b) Mikrograf cahaya dari serat otot multinukleus; c) Mikrograf elektron dari sarkomer dengan band berhuruf (Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Kontraksi otot lurik (rangka)

Semua otot lurik beroperasi dengan mempersempit, tidak ada cara yang lain mereka dapat melakukan pekerjaan. Petunjuk paling penting untuk mekanisme yang mendasari kontraksi otot berasal dari pengamatan pola pita dari sarkomer pada berbagai tahap dalam proses kontraktile. Sebagai serat otot yang diperpendek, band A dalam setiap sarkomer dasarnya tetap konstan panjang, sementara band H dan I band menurun lebar dan kemudian lenyap sama sekali. Perhatikan **Gambar 3-33**.



Gambar 3-33 Pemendekan Sarkomer Selama Kontraksi Otot

a) Skema diagram yang menunjukkan perbedaan dalam struktur sarkomer dalam keadaan otot relaksasi dan kontraksi. Selama kontraksi, myosin cross-bridges (jembatan silang) melakukan kontak dengan sekitarnya filamen tipis, dan filamen tipis dipaksa untuk meluncur ke pusat sarkomer tersebut. Pekerjaan Cross-bridges tak serempak, sehingga hanya sebagian kecil yang aktif pada satu saat tertentu; b) Mikrograf Elektron penampang membujur sarkomer melalui relaksasi (atas) dan dikontraksi. Mikrograf menunjukkan hilangnya zona H sebagai hasil luncur dari filamen tipis menuju pusat sarkomer tersebut.

(Karp, 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Berikut merupakan proses kontraksi pada otot lurik:

- Rangsangan oleh saraf-saraf sensorik kepada saraf motorik di sepanjang serabut saraf.
- Rangsangan tersebut menyebabkan terbukanya saluran asetil kolin di serabut saraf.
- Terbukanya asetil kolin menghasilkan potensila aksi serabut saraf menjalar ke seluruh membran otot.
- Potensial aksi menyebabkan depolarisasi, sehingga sarkome (tersusun dari sarkolema, sarkoplasmik, dan myofibril) melepaskan ion-ion kalsium ke myofibril.
- Ion tersebut mengaktifkan menguatkan kepala aktin dan myosin.
- Terjadi pergeseran filamen, filamen aktin bergeser di antara filamen myosin.

Kontraksi dan Relaksasi otot jantung

Struktur otot jantung mirip dengan otot rangka dan proses kontraksinya mirip dengan otot rangka yang membedakan potensialnya. Potensial aksi otot jantung dilakukan oleh otot jantung itu sendiri yaitu dengan adanya potensial listrik yang terbentuk di serat-serat ototnya. Penghasil potensial yaitu, nodus-nodus *pacemaker*. 4 macam pacemaker di jantung yaitu: *nodus sinoatrial (SA)*, *nodus atrioventrikuler (AV)*, *bundle his*, serabut *parkinje*. Pacemaker menghasilkan potensial listrik yang berurutan. Awalnya pada Nodus SA, dilanjut, kan Nodus AV, Bundle his, dan akhirnya di Serabut parkinje. Potensial inilah yang menyebabkan kontraksi otot jantung berdenyut sepanjang hidup kita.

Setelah potensial aksi saraf tidak ada lagi ion kalsium yang dilepaskan maka otot akan kembali beristirahat atau kembali ke bentuk semula, yang disebut relaksasi otot. Ion kalsium akan dipompa kembali ke dalam sarkomer, sehingga kembali ke dalam sarkomer, sehingga kerja troponin dan tropomiosin kembali aktif. Kembalinya kedua protein menghambat reaksi aktin myosin yang sudah terjadi kembali ke keadaan pasif. Otot akan kembali mengendur dan akan berkontak kembali jika ada rangsangan.

Berbagai keistimewaan dapat kita temukan dari sel yang berukuran mikroskopis. Banyak nilai Islam dan nilai karakter kehidupan yang dapat diambil dari organel sel. Makna sederhana yang dapat dicontoh adalah setiap organel sel bertanggungjawab atas setiap fungsi yang dilakukannya, atau saling bekerja sama seperti halnya RE dan badan Golgi dalam proses pemaketan protein, atau mitokondria dan kloroplas di mana keduanya berperan penting dalam metabolisme seluler. Maha Besar Allah SWT yang menciptakan alam semesta dan isinya dengan sangat detil dan sempurna. Segala ciptaan-Nya dibuat tanpa ada satu pun yang sia-sia, dan semua aktivitas seluler berjalan atas kehendak Allah SWT. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam QS. Al Imran ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ
 لِأُولَى الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ
 جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ
 هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal,¹⁹⁰ (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka.”¹⁹¹”

Dari ayat tersebut sangat jelas bahwa Allah menciptakan langit dan bumi serta mengatur segalanya, demikian pula organel sel dengan fungsi dan aktivitas metabolisme berbeda pun berada dalam keteraturan. Manusia sebagai makhluk ciptaan Allah yang memiliki keunggulan dibanding makhluk lain, yaitu diberi akal untuk berpikir apabila memperhatikan sesuatu, manusia selalu memperoleh manfaat dan faedah, selalu menggambarkan kebesaran Allah, mengingat dan mengenang kebijaksanaan, keutamaan dan banyaknya nikmat Allah kepadanya.

Manusia berakal selalu mengingat Allah di setiap waktu dan keadaan, baik pada waktu ia berdiri, duduk atau berbaring. Tidak ada satu waktu dan keadaan dibiarkan berlalu begitu saja, kecuali diisi dan digunakannya untuk memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi. Memikirkan keajaiban-keajaiban yang terdapat di dalamnya, yang menggambarkan kesempurnaan alam dan kekuasaan Allah. Dengan berulang-ulang direnungkan hal-hal tersebut secara mendalam, Rasulullah

saw pun bersabda “Pikirkan dan renungkanlah segala sesuatu yang mengenai makhluk Allah, dan jangan sekali-kali kamu memikirkan dan merenungkan tentang zat dan hakikat penciptanya, karena bagaimanapun juga kamu tidak akan sampai dan tidak akan dapat mencapai hakikat Zat-Nya”.

Sehingga pada akhirnya, setiap orang yang berakal akan mengambil kesimpulan dan berkata, “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan ini semua, yaitu langit dan bumi serta segala isinya dengan sia-sia, tidak mempunyai hikmah yang mendalam dan tujuan tertentu yang akan membahagiakan kami di dunia dan di akhirat”. Oleh karena itu, sudah sepantasnya kita sebagai manusia harus senantiasa beriman, bersyukur, dan selalu berpikir (bernalarnya) atas kebesaran ciptaan-Nya.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Imran ayat 190-191 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bersyukur, Memikirkan ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

EVALUASI BELAJAR MU!

- ☆ **Apakah saya sudah menguasai seluruh pokok bahasan ini?**
Catat kembali dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
Jika belum, pelajari kembali dan kerjakan pertanyaan-pertanyaan kotak **TUGAS 3-1, TUGAS 3-2, TUGAS 3-3, TUGAS 3-4, TUGAS 3-5** dan **TUGAS 3-6**
- ☆ **Apakah saya sudah benar-benar memahami materi yang telah dipelajari?**
Jawablah pertanyaan pada **LATIHAN SOAL**

I. LATIHAN SOAL

1. Mengapa peristiwa respirasi anaerob menghasilkan energi lebih kecil?
(indikator: Analisis)
Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang/teori)
2. Letak badan Golgi yang berdekatan dengan RE memang dirancang untuk dapat saling bekerja sama dalam proses sekresi protein. Jelaskan bagaimana membuktikan proses pematangan protein melalui badan Golgi?
(indikator: Penjelasan,
Menyatakan hasil/kesimpulan/Merinci informasi)
3. Peristiwa fotosintesis tentunya tidak lepas dari peran kloroplas. Di dalam kloroplas terdapat klorofil, dikenal sebagai *green substance* yang membantu fotosintesis. Dalam QS Al An'am ayat 99 secara tersirat menjelaskan keistimewaan kloroplas, dapatkan kamu menjelaskan hal tersebut!
(indikator: Interpretasi,
Menafsirkan/Menjelaskan/Mengklarifikasi informasi)
4. Bentuk komunikasi sel otot rangka dan sel otot jantung akan berbeda saat diberi rangsang asetilkolin, gambarkan perbedaannya dan jelaskan!
(indikator: Inferensi,
Membuat/Menggambarkan kesimpulan)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan
LATIHAN SOAL
berikut!

UMPAN BALIK

☆ **Apakah Anda sudah mampu menyelesaikan semua TUGAS dan LATIHAN SOAL?**

Jika belum, pelajari kembali urutan materi yang dibahas.

REFERENSI

- Al Fatih. (Februari, 2013). *Al Qur'an dan Terjemahannya, Mushaf Khadijah*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology 4th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular biology of the cell 6th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Walter, P. (2002). *Molecular Biology of the Cell 4th Edition*. New York: Garland Science. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21054/>
- Arifnma. (2017). *Kontemplasi dibalik Mitokondria*. Available from: <https://arifnma.blogspot.com/2017/04/sebuah-kontemplasi-dibalik-mitokondria.html> (25 Oktober 2019).
- Encyclopedia Britannica. (2010). *Chloroplast*. Available from: <https://www.britannica.com/science/chloroplast> (01 November 2019).
- Encyclopedia Britannica. (2010). *Photosynthesis*. Available from: <https://www.britannica.com/science/photosystem-II> (01 November 2019).
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>
- Jamal, A.B. & D.S. Jamal. (2008). *Ensiklopedi Petunjuk Sains dalam Al Qur'an dan Sunnah*. Jakarta: PT. Kuwais Internasional
- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology (Concepts and Experiments)*. 7th Edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al Qur'an-LPMQ. (2019). *Qur'an Kemenag in Word Add-Ins*. Jakarta: Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Malhotra, V. & Mayor, S. (2006). Cell biology: The Golgi grows up. *Nature*, 441, 939–940.

- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P., Jackson, R.B., & Campbell, N.A. (2011). *Campbell Biology, 9th edition*. San Fransisco: Pearson
- School Work Helper. (2019). *The Calvin Cycle*. Available from: <https://schoolworkhelper.net/the-calvin-cycle/> (01 November 2019).
- Shihab, Q. (2003). *Tafsir Al Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sumadi & Aditya. (2007). *Biologi Sel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Susilowati, R. & Suheriyanto, D. (2006). *Setetes Air, Sejuta Kehidupan*. Malang: UIN Press.
- Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). *TafsirWeb*. Available from: <https://tafsirweb.com/>
- Thieman, W. J. & Palladino, M. A. (2013). *Introduction to Biotechnology, International 3rd Edition*. Boston: Pearson.
- Xu, D. & Esko, J. D. A. (2009). Golgi-on-a-chip for glycan synthesis. *Nature Chemical Biology*, 5, 612–613.

MERISKA

Petunjuk:

Gunakan kotak LATIHAN SOAL untuk menjawab pertanyaan bagian LATIHAN SOAL, atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

LATIHAN SOAL

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Petunjuk:

Tuliskan hasil pemahaman Anda pada kotak REFLEKSI DIRI atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

<p>REFLEKSI DIRI</p> <p>.....</p>
--

BAB 4

KOMUNIKASI SEL

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai definisi dan berbagai bentuk komunikasi sel
CPMK	Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Komunikasi sel
Sub-CPMK	Mahasiswa mampu: <ul style="list-style-type: none">▪ menganalisis tentang mekanisme Komunikasi sel intra dan interseluler▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai Islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

MERAIH SUKSES BELAJAR

RENCANAKAN Belajar mu!

- ☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki? ➤ Bacalah pada kolom **Deskripsi**
- ☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar? ➤ Bacalah pada kolom **Sub-CPMK**

KONTROL Belajar mu!

- ☆ Materi apa yang sudah dipahami? ➤ Tuliskan pada kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami? ➤ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak **TUGAS**

EVALUASI Belajar mu!

- ☆ Kerjakan Latihan Soal! ➤ Tuliskan pada kotak **LATIHAN SOAL**
- ☆ Kerjakan Tugas! ➤ Kerjakan secara individu
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini? ➤ Perhatikan kotak **UMPAN BALIK**

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!

☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**

Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!

☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**

Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

S

etiap sel mampu berkomunikasi antara satu dengan lainnya. Sel A memberikan informasi dalam bentuk sinyal menuju sel B, lalu sel B akan menerima sinyal tersebut, dan mengambil tindakan sebagai respon atas sinyal yang diterima. Itulah gambaran mengenai persinyalan sel. Pada bab ini akan dibahas bagaimana sel dapat berkomunikasi satu dengan lainnya.

A. PENGANTAR

Semua organisme tersusun dari satu atau dua jenis sel yang secara struktural berbeda, yaitu sel prokariotik dan sel eukariotik. Masing-masing sel tersebut akan membentuk organisme uni seluler dan multi seluler. Pada tumbuhan dan hewan dikenal istilah komunikasi antar sel menggunakan sinyal ekstraseluler. Hal tersebut adalah cara organisme untuk mengontrol metabolisme sel, pertumbuhan, diferensiasi jaringan, sintesis, dan sekresi protein, serta mengatur komposisi cairan ekstraseluler. Molekul sinyal tersebut disintesis dan disekresikan oleh adanya sel sinyal dan hanya menghasilkan respon spesifik pada sel target yang memiliki reseptor untuk molekul yang spesifik pula. Molekul sinyal dapat berupa molekul hidrofilik atau hidrofobik, dan keduanya memiliki mekanisme yang berbeda dalam aktivasi proses-proses dalam sel.

Dengan kata lain, **komunikasi sel merupakan proses penyampaian informasi sel dari sel pengirim sinyal menuju sel target untuk mengatur, mengkoordinasi aktivitas selulernya, dan mempertahankan kehidupannya.** Berikut

penjelasan mengenai pentingnya komunikasi antar sel dan bentuk-bentuk dan mekanisme komunikasi antar sel.

B. PENTINGNYA KOMUNIKASI ANTAR SEL

Pada dasarnya, komunikasi melibatkan dua pihak dengan masing-masing kepentingan yaitu pihak pemberi pesan (pengirim sinyal) dan pihak penerima pesan/sinyal. Pihak yang menerima pesan akan memberikan respon dengan mengubah perilakunya. Komunikasi antar sel diperlukan untuk mengatur pengembangan dan pengorganisasian menjadi jaringan, mengawasi pertumbuhan dan pembelahan, serta mengkoordinasikan aktivitasnya. Aktivas sel dapat berlangsung apabila mendapatkan sinyal dari sel yang mengirimkan pesan. Untuk dapat menerima pesan tersebut, sel sasaran (sel target) harus memiliki reseptor yang akan meneruskan pada sel untuk melakukan respon.

Al Qur'an menyebut komunikasi sebagai salah satu fitrah manusia. Pentingnya komunikasi untuk menghindari kesalahpahaman yang berdampak terhambatnya saling pengertian, kerja sama, dan toleransi. QS Ar Rahman ayat 1-4 menyebut komunikasi sebagai fitrah manusia.

الرَّحْمٰنُ ۙ عَلَّمَ الْقُرْآنَ ۙ خَلَقَ الْاِنْسَانَ ۙ عَلَّمَهُ الْبَيَانَ ۙ

"(Allah) Yang Maha Pengasih,¹ Yang telah mengajarkan Al-Qur'an.² Dia menciptakan manusia,³ mengajarnya pandai berbicara.⁴"

Berdasarkan tafsir Kemenag (2002), kata "al bayan" – pandai berbicara diartikan sebagai kemampuan berkomunikasi yaitu mampu mengungkapkan ide dalam benaknya. Allah SWT menciptakan manusia sebagai makhluk ciptaan-Nya yang paling sempurna karena akal dan pikiran. Pengetahuan yang dimiliki oleh manusia tentunya dipergunakan untuk memahami dan saling memuliakan. Oleh karena itu, komunikasi merupakan hal yang penting dilakukan. Dengan komunikasi, manusia dapat

mengekspresikan dirinya, membentuk jaringan interaksi sosial, dan mengembangkan kepribadiannya. Hal sama juga dilakukan oleh sel. Sebagai unit terkecil yang fungsional bagi kehidupan, milyaran sel penyusun setiap organisme harus berkomunikasi untuk mengkoordinasikan aktivitasnya, menyampaikan informasi dari satu sel ke sel lainnya baik itu secara intraseluler ataupun interseluler, sehingga memungkinkan organisme itu dapat berkembang dengan baik.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Ar Rahman ayat 1-4 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Kehidupan Bermasyarakat: **Bersahabat (Bersifat Komunikatif), Dapat bekerja sama**

**Dapatkah kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

C. BENTUK DASAR SISTEM KOMUNIKASI SEL

Sel selalu berkomunikasi satu sama lain melalui molekul pembawa pesan ekstraseluler. Pembawa pesan ekstraseluler dapat melakukan perjalanan jarak pendek dan merangsang sel yang berada dekat sumber pesan, atau mereka dapat melakukan perjalanan ke seluruh tubuh, mampu merangsang sel-sel yang berada jauh dari sumber. Secara umum, terdapat tiga bentuk persinyalan antar sel, yaitu autokrin, parakrin, dan endokrin.

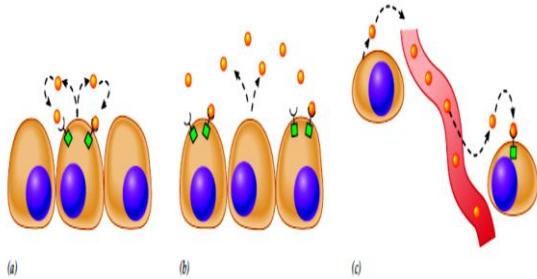
1. Bentuk Persinyalan

Pada jenis persinyalan autokrin, sel yang memproduksi pembawa sinyal akan mengekspresikan reseptor pada permukaannya yang dapat merespon pembawa sinyal tersebut. Dengan kata lain, sel penghasil mediator berperan juga sebagai sel sasaran (**Gambar 4-1.a**). Akibatnya sel-sel tersebut melepaskan pesan yang akan merangsang sel itu sendiri.

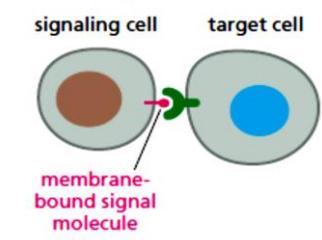
Berbeda dengan autokrin, bentuk persinyalan parakrin (**Gambar 4-1.b**) berupa perjalanan molekul pembawa sinyal hanya dalam jarak dekat melalui ruang ekstraseluler ke sel yang berdekatan dengannya yang menghasilkan sinyal.

Molekul pembawa sinyal dari parakrin biasanya memiliki kemampuan yang terbatas untuk melakukan perjalanan ke seluruh tubuh, karena molekul ini pada dasarnya tidak stabil atau molekul ini mudah rusak karena enzim atau berikatan dengan matriks ekstraseluler. Terakhir yaitu persinyalan endokrin, yaitu molekul pembawa sinyal ini akan mencapai sel-sel target mereka melalui aliran darah (**Gambar 4-1.c**). pembawa sinyal dari kelenjar endokrin dikenal dengan hormon, dan pembawa sinyal ini umumnya bekerja menuju sel target yang jauh dalam tubuh. Lebih jelasnya berikut ilustrasi jalur persinyalan antar sel.

Gambar 4-1. Ilustrasi Jenis Persinyalan Antar Sel
 (a) Autokrin; (b) Parakrin; (c) Endokrin
 (Karp, 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)



Selain dari jenis persinyalan di atas, ada pula bentuk komunikasi antar sel dengan cara kontak langsung, komunikasi lokal, dan jarak jauh, serta membentuk *gap junction*. Persinyalan dengan cara kontak langsung (**Gambar 4-2**) terjadi saat sel pembawa sinyal mengantarkan molekul yang sudah memiliki ikatan langsung dengan sel targetnya. Komunikasi lokal adalah komunikasi sel yang terjadi melalui zat kimia yang dilepaskan ke dalam cairan (ruang) ekstraseluler yang berdekatan atau sel-sel yang



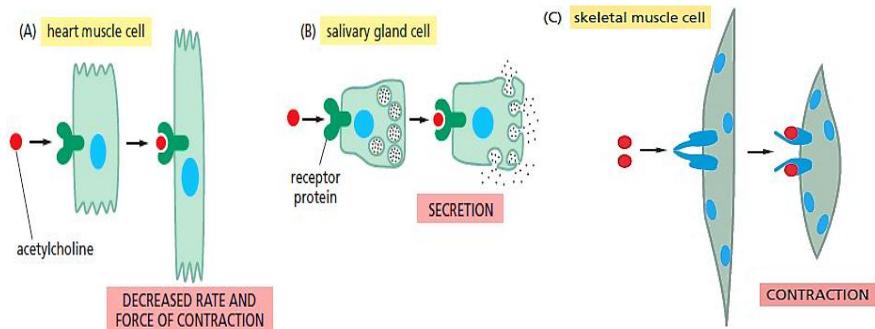
Gambar 4-2 Ilustrasi Komunikasi Antar Sel dalam Bentuk Kontak Langsung
 (Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology, 4th edition*)

jauh. Komunikasi jarak jauh merupakan bentuk komunikasi yang berlangsung melalui sinyal listrik yang dihantarkan sel saraf ataupun sinyal kimia (hormon dan neurohormon). Sementara *gap junction* diartikan sebagai pertautan penghubung yang berperan sebagai perekat antar sel, dan penghubung langsung antar sel.

Dalam proses komunikasi antar sel, terdapat berbagai macam molekul yang dapat berfungsi sebagai pembawa informasi (pembawa sinyal) ekstraseluler, antara lain:

- Asam amino dan turunannya. Molekul-molekul ini bertindak sebagai neurotransmitter dan hormon.
- Gas, meliputi NO dan CO.
- Steroid, berasal dari kolesterol. Steroid mengatur diferensiasi seksual, metabolisme karbohidrat, dan ekskresi ion natrium dan ion kalium.
- Berbagai macam polipeptida dan protein, beberapa di antaranya hadir sebagai protein transmembran dan berasosiasi dengan lingkungan matriks ekstraseluler terlibat dalam proses pengaturan pembelahan sel, diferensiasi, respon imunitas, kematian sel, dan kelangsungan hidup sel.

Setiap molekul pembawa sinyal akan menghasilkan respon yang berbeda, sekalipun molekul sinyal tersebut sama. Sebagai contoh, sel jantung, sel kelenjar saliva, dan sel otot rangka akan menghasilkan respon yang berbeda dengan molekul asetilkolin sebagai pembawa sinyal. Perhatikan **Gambar 4-3** berikut.



Gambar 4-3 Ilustrasi Respon Komunikasi Antar Sel terhadap Asetilkolin
(Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology*, 4th edition)

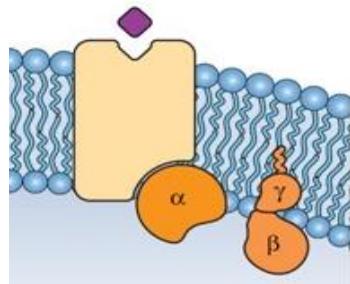
2. Reseptor dalam Membran Plasma

Secara umum reseptor sinyal ada 2 yaitu reseptor membran (yang bertempat pada membran sel) dan reseptor intraseluler (terdapat di sitoplasma atau nukleus). Sementara itu, ada beberapa reseptor yang telah berevolusi dalam membantu mekanisme transduksi sinyal, antara lain sebagai berikut:

G Protein-Coupled Receptors (GPCRs)

GPCRs merupakan kelompok besar reseptor yang struktur molekulnya terdiri dari 7 heliks α , β dan γ transmembran (**Lihat Gambar 4-4**). GPCRs adalah reseptor membran plasma yang bekerja dengan bantuan protein G. Reseptor ini menerjemahkan sinyal ekstraseluler berikatan dengan molekul yang diaktivasi dari GDP/GTP yang berikatan dengan protein.

Dalam keadaan tidak aktif protein G mengikat GDP (*Guanosin difosfat*) melalui subunit α dipermukaan dalam dinding sel. Saat molekul sinyal berikatan dengan sisi ekstraseluler maka protein G akan bergeser melepaskan GDP dan diganti oleh molekul GTP. GTP kemudian mengaktifasi sub unit α untuk melepaskan diri dan berikatan dengan efektor lain yaitu *adenilil siklase*. Saat itulah memicu langkahnya pada respon seluler. Perubahan pada enzim dan protein G juga bersifat sementara karena protein G juga berfungsi sebagai enzim GTP-ase maka sub unit α akan menghidrolisis GTP menjadi GDP. Dan karena tidak aktif lagi, maka protein G meninggalkan enzim dan kembali ke kondisi awal.



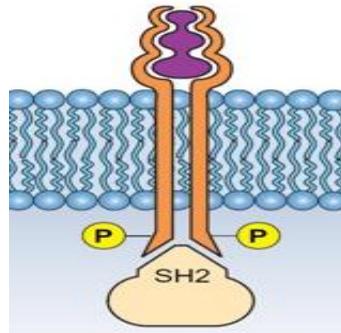
Gambar 4-4 Ilustrasi Bentuk Reseptor GPCR

(<https://www.sinobiological.com/neurotransmitter-receptors-in-cell-signaling-transduction.html>)

Reseptor Tirosin Kinase Protein (RTKs)

Reseptor tirosin kinase protein merupakan kelas kedua dari reseptor membran yang telah berevolusi untuk menerjemahkan keberadaan molekul-molekul pembawa pesan ekstraseluler untuk diubah di dalam sel. Kinase adalah enzim yang mengkatalis transfer gugus fosfat dari ATP ke asam amino tirosin.

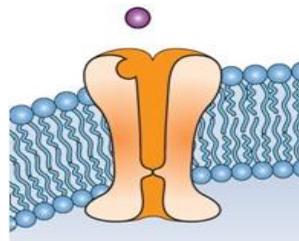
Pengikatan ekstraseluler spesifik ligan ke RTKs biasanya menghasilkan dimerisasi reseptor diikuti oleh aktivasi reseptor protein kinase yang ada dalam sitoplasmanya. Setelah aktivasi, memfosforilasi protein spesifik residu tirosin protein substrat sitoplasma, dengan demikian mengubah aktivitasnya, lokalisasinya dan mereka mampu untuk berinteraksi dengan protein lain dalam sel (**Lihat Gambar 4-5**).



Gambar 4-5 Ilustrasi Bentuk Reseptor Tirosin Kinase Protein
 (<https://www.sinobiological.com/neurotransmitter-receptors-in-cell-signaling-transduction.html>)

Reseptor Saluran Ion atau *Ligan-gate ion chanel* (LGC)

Ligan-gate ion chanel merupakan kelas ketiga reseptor permukaan sel yang mengikat ligan ekstraseluler (**Lihat Gambar 4-6**). Protein ini mampu untuk melakukan aliran ion di membran plasma yang diatur langsung oleh pengikatan ligan. Sebuah aliran ion melintasi membran dapat menghasilkan perubahan sementara dalam potensial membran yang akan memengaruhi aktivitas protein membran lainnya. Selain itu, masuknya ion tertentu seperti Ca^{2+} dapat mengubah aktivitas enzim sitoplasma tertentu. *Ligan-gate ion chanel* berfungsi sebagai reseptor neurotransmitter yang dilepaskan sinapsis antara dua sel saraf yang berikatan dengan ion *chanel*, sehingga menyebabkan saluran membuka dan memicu timbulnya sinyal listrik yang merambat ke sel penerima. LGC dapat diartikan sebagai rangkaian dasar pada peristiwa pembentukan impuls saraf.



Gambar 4-6 Ilustrasi Bentuk Reseptor *Ligan-Gate Ion Chanel*
 (<https://www.sinobiological.com/neurotransmitter-receptors-in-cell-signaling-transduction.html>)

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 4-1** berikut!

TUGAS 4-1

Buatlah ilustrasi dari bentuk komunikasi antar sel: komunikasi lokal dan komunikasi jarak jauh, disertai dengan penjelasannya!

Indikator: Penjelasan
(Menjelaskan/Memperinci informasi)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 4-1

3. *Second Messenger*

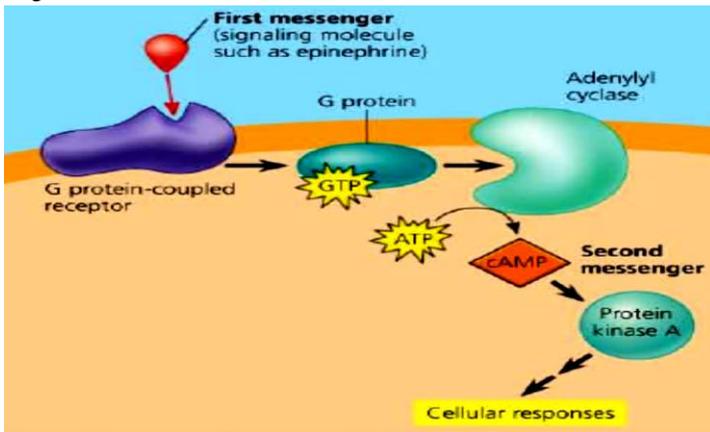
Second messenger merupakan jalur pensinyalan yang melibatkan molekul atau ion kecil non-protein yang terlarut dalam air, sedangkan molekul sinyal ekstraseluler yang mengikat reseptor membran merupakan jalur *first messenger* (hormon-ligan). *Second messenger* lebih kecil dan terlarut dalam air, sehingga dapat segera menyebar ke seluruh sel dengan berdifusi. *Second messenger* berperan serta dalam jalur yang diinisiasi reseptor terkait protein-G maupun reseptor tirosin-kinase. Dua contoh *second messenger* yang paling banyak digunakan yaitu cAMP dan ion Ca^{2+} .

cAMP (AMP siklik)

AMP siklik merupakan pembawa pesan kedua yang mampu menyebarkan sinyal ke situs yang lain dalam sel. Sintesis dari AMP siklik mengikuti pengikatan pembawa pesan pertama, suatu hormon atau ligan pada reseptor di permukaan sel bagian luar. *Second messenger* ini membawa sinyal yang diinisiasi epinefrin dari membran plasma sel hati atau otot ke bagian dalam sel, di mana sinyal itu menyebabkan pemecahan glikogen.

Pengikatan epinefrin pada membran plasma sel hati akan meningkatkan senyawa adenosine monofosfatsiklik, yang disingkat AMP siklik atau cAMP.

cAMP ini diaktifkan oleh adenilat siklase yang mengkatalisa perombakan ATP. cAMP atau aliran ion tadi dapat membuat perubahan pada perilaku sel, dan mereka disebut *second messenger* atau mediator intraseluler yang mana akan merangsang metabolisme sel lewat aktivitas protein kinase. Berikut **Gambar 4-8** merupakan ilustrasi mengenai *second messenger* cAMP.



Gambar 4-8 cAMP atau AMP siklik sebagai *Second Messenger* dalam Jalur Persinyalan Protein G

Pembawa pesan pertama mengaktifasi reseptor terkopel protein G, yang mengaktifasi suatu protein G spesifik. Protein ini lalu mengaktifasi adenilat siklase, yang mengkatalisa perubahan ATP menjadi cAMP. cAMP kemudian bekerja sebagai pembawa pesan kedua dan mengaktifasi protein lain, biasanya protein kinase A, sehingga menghasilkan respon seluler.

(Reece, et al. 2011. *Campbell Biology*, 9th edition)

Ion Ca^{2+} (Kalsium)

Banyak molekul sinyal pada hewan, termasuk neurotransmitter, faktor pertumbuhan dan sejumlah hormon menginduksi respon pada sel targetnya melalui jalur transduksi sinyal yang meningkatkan konsentrasi ion kalsium sitosolik. Peningkatan konsentrasi ion kalsium sitosolik menyebabkan banyak respon pada sel hewan. Sel menggunakan ion kalsium

sebagai *second messenger* dalam jalur protein-G dan jalur reseptor tirosin kinase. Dalam merespon sinyal yang direlai oleh jalur transduksi sinyal, kadar kalsium sitosolik mungkin meningkat, biasanya oleh suatu mekanisme yang melepaskan ion kalsium dari RE biasanya jauh lebih tinggi daripada konsentrasi dalam sitosol. Karena kadar kalsium sitosol terendah, perubahan kecil pada jumlah absolute ion akan menggambarkan persentase perubahan yang relatif tinggi pada konsentrasi kalsium.

Ion Ca^{2+} dapat berfungsi sebagai pembawa pesan kedua karena konsentrasinya dalam sitosol secara normal jauh lebih rendah dari pada konsentrasi di luar sel. Ion ini ditranspor secara aktif keluar sel dan diimpor secara aktif dari sitosol ke dalam RE oleh berbagai pompa protein. Akibatnya konsentrasi ion kalsium dalam RE biasanya jauh lebih tinggi dari pada konsentrasi dalam sitosol. Sebagai respon terhadap sinyal yang direlai oleh jalur transduksi sinyal, kadar kalsium dalam sitosol mungkin naik, biasanya melalui mekanisme yang melepaskan Ca^{2+} dari RE. Jalur-jalur yang mengarah ke pelepasan kalsium masih melibatkan pembawa pesan kedua yang lain (IP3- Inositol 1,4,5-trifosfat dan DAG-Diasilgliserol). Kedua pembawa pesan ini dihasilkan melalui pembelahan fosfolipid jenis tertentu pada membran plasma.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 4-2** berikut!

TUGAS 4-2

Buatlah ilustrasi dari mekanisme ion Ca^{2+} (kalsium) sebagai second messenger, lalu beri penjelasannya secara singkat!

Indikator: Penjelasan
(Menjelaskan/Memperinci informasi)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 4-2

D. TAHAP KOMUNIKASI DALAM SEL

Proses perjalanan sinyal sampai terjadinya respon, ada tiga tahap yaitu penerimaan, transduksi, dan respon saat sinyal telah diterima atau diproses. Berikut penjelasan mengenai ke tiga tahap komunikasi dalam sel.

Penerimaan (*reception*)

Penerimaan adalah ketika sel target mendeteksi molekul sinyal yang berasal dari luar sel. Sinyal kimiawi terdeteksi ketika molekul sinyal berikatan dengan protein reseptor yang terletak dipermukaan sel atau dalam sel.

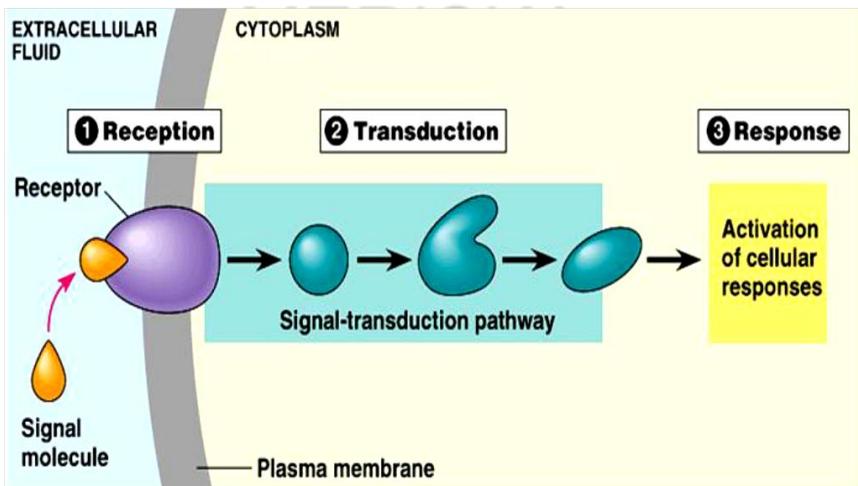
Transduksi (*transduction*)

Pengikatan molekul sinyal mengubah protein reseptor dengan suatu cara, sehingga menginisiasi proses transduksi. Tahap transduksi mengubah sinyal menjadi bentuk yang dapat menyebabkan respon selular spesifik. Dalam system Sutherland, pengikatan epinefrin ke protein reseptor pada membrane plasma sel hati menyebabkan aktivasi glikogen fosforilase.

Transduksi terkadang terjadi dalam satu langkah saja, namun lebih sering membutuhkan suatu urutan perubahan dalam serangkaian molekul yang berbeda-jalur transduksi sinyal. Molekul-molekul dalam jalur ini sering kali disebut molekul relai.

Respons (response)

Pada tahap ketiga pensinyalan sel, sinyal yang ditransduksikan akhirnya memicu respons selular spesifik. Respon ini mungkin merupakan aktivitas selular apapun yang bisa dibayangkan, misalnya katalisis oleh suatu enzim (misalnya, glikogen fosforilase), penyusunan ulang sitoskeleton atau aktivasi gen-gen spesifik dalam nucleus. Proses pensinyalan sel membantu memastikan bahwa aktivitas-aktivitas krusial seperti ini, berlangsung dalam sel yang benar, pada waktu yang tepat dan dalam koordinasi yang sesuai dengan sel-sel lain pada organism tersebut. Berikut **Gambar 4-7** yang mengilustrasikan tahap komunikasi dalam sel.



Gambar 4-7 Ilustrasi Tahap Komunikasi dalam sel
(<https://www.labroots.com/tag/cell-signaling-transduction>)

Adanya komunikasi dalam kehidupan sehari-hari memudahkan manusia dalam menyampaikan ide-ide atau gagasannya, begitu pula yang terjadi pada tingkat seluler. Milyaran sel penyusun setiap makhluk hidup melakukan komunikasi antara satu sel dengan sel lainnya. Komunikasi yang dilakukan adalah kegiatan pengiriman dan penerimaan pesan (sinyal) yang dilakukan antara sel, dan juga sebagai respon terhadap kondisi lingkungannya. Setiap rangsangan atau sinyal yang datang pada suatu sel akan diterima reseptor yang ada pada sel tersebut kemudian diteruskan ke sel targetnya dalam bentuk informasi yang spesifik. Proses itulah disebut transduksi sinyal, di mana prosesnya memiliki 3 tahapan yaitu reseptor, transduksi, dan respon. Selama proses tersebut, sel melibatkan banyak protein, baik yang berperan reseptor maupun protein yang bertugas sebagai penerus dan *mesenger*.

Dalam Islam, komunikasi adalah menyampaikan pesan yang benar untuk kebaikan (umat) dan kebenaran. Apabila pesan yang disampaikan tidak benar atau tidak sesuai, maka akan terjadi kesalahan. QS Al Ahzab ayat 70 berikut menjelaskan bahwa perkataan yang benar adalah bentuk ketaqwaan pada Allah SWT.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اتَّقُوا اللَّهَ وَقُولُوا قَوْلًا سَدِيدًا ﴿٧٠﴾

“Wahai orang-orang yang beriman! Bertakwalah kamu kepada Allah dan ucapkanlah perkataan yang benar”

Ayat tersebut memberikan penafsiran bahwa seorang muslim memiliki kewajiban untuk berkata benar sebagai bentuk ketaqwaan kepada Allah SWT, dan bentuk aplikasi sifat kejujuran dalam kehidupan. Allah SWT lantas meminta pula berucap kebenaran dan tept sasaran. Penyampaian informasi yang benar merupakan upaya manusia menjadi pribadi yang lebih bertaqwa. Komunikasi akan membentuk seseorang menjadi

peduli sosial dan lingkungan karena seseorang dapat mengekspresikan dirinya dan membentuk sebuah interaksi sosial, serta mengembangkan kepribadiannya (aktualisasi diri).

Konsep serupa juga terjadi saat kita mempelajari tentang komunikasi sel. Sel tentunya akan mengirimkan sinyal yang sesuai dengan yang dibutuhkan oleh sel target, dan bila sinyal yang dikirimkan oleh reseptor menuju sel target tidak sesuai maka akan terjadi kerusakan. Aktivitas sel mengingatkan kita untuk berperilaku jujur dalam menyampaikan sebuah informasi dan bertanggungjawab atas informasi yang disebarluaskan. Dengan bersikap demikian, tentunya tidak akan terjadi kesalahan dalam berkomunikasi.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Ahzab ayat 70 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Bertanggungjawab, Jujur (berkata benar)**

**Dapatkah kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

EVALUASI BELAJAR MU!

- ☆ **Apakah saya sudah menguasai seluruh pokok bahasan ini?**

Catat kembali dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

Jika belum, pelajari kembali dan kerjakan pertanyaan-pertanyaan kotak **TUGAS 4-1** dan **TUGAS 4-2**

- ☆ **Apakah saya sudah benar-benar memahami materi yang telah dipelajari?**

Jawablah pertanyaan pada **LATIHAN SOAL**

E. LATIHAN SOAL

1. Mengapa GPCRs memiliki 7 domain transmembran?

(Indikator: Analisis, Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang/teori)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan
LATIHAN SOAL
berikut!

2. Apakah peran utama dari protein G dalam sel?

(Indikator: Penjelasan, Menyatakan hasil/kesimpulan/Merinci informasi)

3. Apa yang dimaksud dengan ligan, dan bagaimana perannya dalam transduksi sinyal dalam sel?

(Indikator: Inferensi, Mengumpulkan dan Menjelaskan bukti/hasil, dan memberikan alasan yang sesuai)

UMPAN BALIK

☆ **Apakah Anda sudah mampu menyelesaikan semua TUGAS dan LATIHAN SOAL?**

Jika belum, pelajari kembali urutan materi yang dibahas.

REFERENSI

- Al Fatih. (Februari, 2013). *Al Qur'an dan Terjemahannya, Mushaf Khadijah*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology 4th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular biology of the cell 6th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Dahlan, M.S. (2014). Etika Komunikasi dalam Al Qur'an dan Hadis. *Jurnal Dakwah Tabligh*, 15 (1), 115-123.
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>
- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology (Concepts and Experiments). 7th Edition*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Kusnadi. (2014). Komunikasi dalam Al Qur'an (Studi Analisis Komunikasi Interpersonal pada Kisah Ibrahim). *Intizar*, 20 (2), 267-284.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al Qur'an-LPMQ. (2019). *Qur'an Kemenag in Word Add-Ins*. Jakarta: Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P., Jackson, R.B., & Campbell, N.A. (2011). *Campbell Biology, 9th edition*. San Fransisco: Pearson
- Shihab, Q. (2003). *Tafsir Al Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sinobiological. (2019). *Neurotransmitter Receptors in Cell Signaling Transduction*. Available from: <https://www.sinobiological.com/neurotransmitter-receptors-in-cell-signaling-transduction.html> (30 November 2019).
- Sumadi & Aditya. (2007). *Biologi Sel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). *TafsirWeb*. Available from: <https://tafsirweb.com/>.

Petunjuk:

Gunakan kotak LATIHAN SOAL untuk menjawab pertanyaan bagian LATIHAN SOAL, atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

LATIHAN SOAL

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Petunjuk:

Tuliskan hasil pemahaman Anda pada kotak REFLEKSI DIRI atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

<p style="text-align: center;">REFLEKSI DIRI</p> <p>.....</p>
--

MERISKA

BAB 5

SIKLUS SEL

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai definisi dari siklus sel dan mekanisme pengaturan siklus sel
CPMK	Mahasiswa mampu menganalisis Tahapan Pembelahan Sel dan Siklus Sel
Sub-CPMK	Mahasiswa mampu: <ul style="list-style-type: none">▪ menjelaskan tentang siklus sel▪ menganalisis mekanisme pengaturan Siklus sel▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai Islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

MERAIH SUKSES BELAJAR

RENCANAKAN Belajar mu!

- ☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki? ➤ Bacalah pada kolom **Deskripsi**
- ☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar? ➤ Bacalah pada kolom **Sub-CPMK**

KONTROL Belajar mu!

- ☆ Materi apa yang sudah dipahami? ➤ Tuliskan pada kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami? ➤ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak **TUGAS**

EVALUASI Belajar mu!

- ☆ Kerjakan Latihan Soal! ➤ Tuliskan pada kotak **LATIHAN SOAL**
- ☆ Kerjakan Tugas! ➤ Kerjakan secara individu
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini? ➤ Perhatikan kotak **UMPAN BALIK**

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!

☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**

Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!

☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**

Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

Teori sel yang telah kita pelajari pada Bab 1 menerangkan bahwa sel adalah unit struktural, fungsional, dan hereditas, sehingga mengarahkan kita pada sebuah aksioma latin “*Omnis cellula e cellula*” yang berarti setiap sel berasal dari sel sebelumnya.

Namun demikian, mengapa sel perlu melakukan hal tersebut? Lalu bagaimana proses yang harus dilalui oleh suatu sel hingga akhirnya tercipta sel baru? Mari kita ketahui jawabannya dari pokok bahasan berikut.

A. PENGANTAR

Kelangsungan kehidupan didasarkan pada reproduksi sel atau pembelahan sel. “*Omnis cellula e cellula*” yang diartikan bahwa setiap sel berasal dari sel sebelumnya. Setiap sel baru hanya berasal dari sel sebelumnya yang hidup melalui proses pembelahan sel atau reproduksi sel. Pembelahan sel tidak berhenti atas dasar kedewasaan suatu organisme, tetapi pembelahan sel ini merupakan suatu proses yang terus berkelanjutan selama kehidupan berlangsung. Hasil dari pembelahan sel ini dapat digunakan untuk mengganti sel yang sudah tua, rusak atau mati. Dengan kata lain, pembelahan sel ini dapat digunakan untuk pembaharuan, perbaikan, dan penggantian sel.

Pada sel eukariotik, pembelahan sel dibagi menjadi mitosis dan meiosis. Sementara pada sel prokariotik disebut juga dengan amitosis. Pembelahan mitosis menghasilkan dua sel anak yang identik dengan sel induknya (jumlah kromosom), dan terjadi

pada sel-sel somatis (sel tubuh). Lain halnya dengan meiosis yang menghasilkan empat sel anak dan jumlah kromosomnya setengah dari sel induk. Pembelahan meiosis terjadi pada sel-sel kelamin.

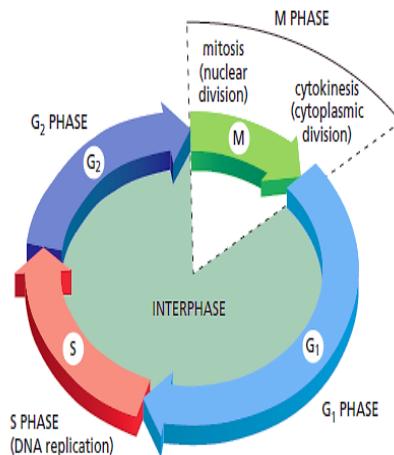
Proses pembelahan sel tidak terjadi begitu saja, tetapi melalui beberapa tahapan yang berurutan. Berikut lebih lanjut penjelasan mengenai siklus sel dan reproduksi sel.

B. SIKLUS SEL

Setiap sel yang membelah pasti akan melewati suatu tahapan berurut dikenal sebagai siklus sel. Siklus sel ini terbagi menjadi dua fase utama, yaitu **fase M** atau *M phase* dan **interfase**. Fase M meliputi proses mitosis sampai sitokinesis.

Mitosis disebut juga pembelahan nukleus, di mana kromosom yang berduplikat terpisah menjadi dua nukleus, sedangkan sitokinesis disebut juga pembelahan sitoplasma di mana sel terbagi menjadi dua sel anak. Interfase, periode antara pembelahan sel, merupakan waktu di mana sel (hasil pembelahan) tumbuh dan melakukan berbagai aktivitas metabolik.

Gambar 5-1 mengilustrasikan siklus sel pada sel eukariotik yang terjadi dalam empat tahap berurutan, yaitu fase G₁, fase S, fase G₂ (fase interfase) dan fase M.



Gambar 5-1 Siklus Sel Pada Eukariotik

Siklus sel terdiri dari 4 tahap, yaitu fase M (Mitotic) dan interfase (meliputi fase G₁, S, G₂)

(Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

1. Fase-Fase Siklus Sel

Seperti yang tampak pada **Gambar 5-1** siklus sel berlangsung secara berurutan, berikut penjelasan dari tiap fase dalam siklus sel.

Fase M (*Mitotic phase*)

Fase M mencakup mitosis dan sitokinesis, merupakan bagian tersingkat dari siklus sel. Pembelahan sel mitotik yang berurutan bergantian dengan interfase yang jauh lebih lama. Sering kali interfase ini meliputi 90% dari siklus sel. Sebagai contoh, pada akar bawang merah, mitosis (profase hingga telofase) berlangsung sekitar satu jam, 23 jam berikutnya merupakan interfase. Dari 23 jam ini, sekitar 10 jam untuk fase G₁, 10 jam berikutnya untuk fase S, dan tiga jam untuk fase G₂.

Fase G₁

Sel yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan tahap pertama. Organel-organel yang ada di dalam sel, seperti mitokondria, retikulum endoplasma, kompleks golgi, dan organel lainnya memperbanyak diri (*duplicate*) guna menunjang kehidupan sel. Sel anak yang terbentuk selama mitosis kemudian akan memasuki fase G₁. **Untuk sel-sel yang cepat membelah (sel-sel embrionik) G₁ berlangsung sangat cepat sedangkan untuk sel-sel lain (fibroblast, spermatogonia prepubertal), fase G₁ berlangsung sangat lama** sehingga diperkirakan berada dalam fase G₀.

Dalam fase G₁ terjadi pembentukan makromolekul yang penting untuk dimulainya duplikasi DNA. Selain itu, sel juga mensintesis RNA, protein regulator yang penting untuk replikasi DNA dan enzim untuk membawa keluar aktivitas sintesis ini serta volume sel yang berkurang karena pembelahan sel ketika mitosis akan kembali normal. Nukleoli juga terbentuk kembali, mulai terjadi duplikasi sentriol. Proses duplikasi centrioles ini baru sempurna pada fase G₂.

Fase S

Fase ini merupakan tahap replikasi DNA. Pada tahap ini sel melakukan sintesis, terutama sintesis materi genetik, yaitu DNA, bahan-bahan genetik yang akan diwariskan kepada keturunannya. DNA direplikasi dan kromosom diduplikasi. DNA perlu mereplikasi diri karena akan menghasilkan sel yang digandakan ($2n$) terlebih dahulu supaya sel anaknya akan memperoleh materi yang sama (n). Proses fase S cukup lama karena harus menyalin ATGC (basa nitrogen) yang panjang sehingga proses replikasi tidak dapat ditentukan waktunya.

Fase G2

Dalam fase G2, RNA dan protein yang penting untuk pembelahan sel akan disintesis, terjadi penyimpanan energi yang diperlukan untuk mitosis, sintesis tubulin untuk kumpulan dalam microtubule yang diperlukan untuk mitosis, replikasi DNA dianalisa dan kesalahan yang terjadi akan diperbaiki. Menjelang mitosis, sel melakukan pertumbuhan kedua dengan memperbanyak organel-organel yang dimilikinya. Hal ini dimaksudkan agar organel-organel itu dapat diwariskan kepada tiap sel keturunannya.

Rentang lamanya siklus sel ini ada yang dalam hitungan menit, jam, bahkan beberapa bulan. Siklus sel pada akar bawang merah yaitu selama 24 jam, lain halnya dengan sel embrio kodok yang lamanya siklus sel hanya dalam hitungan menit, yaitu selama 30 menit. Beberapa sel pada mamalia, seperti sel hati mamalia, menghabiskan waktu berbulan-bulan untuk sekali siklus selnya. Sel berhenti bersiklus pada suatu tahapan. **Fase di mana sel berhenti pada suatu tahap untuk bersiklus (sementara atau permanen) disebut fase G0.** Sel harus menerima *growth promoting signal* untuk bergerak dari fase G0 menuju fase G1 dan terus berlanjut sampai menyelesaikan suatu siklus sel. Perlu diketahui bahwa sel memiliki kemampuan kapan harus membelah dan kapan harus berhenti membelah. Fase G0 adalah fase stasioner. Jika sel masuk ke

fase G0 maka sel akan berhenti membelah/tidak membelah. Sebaliknya, jika sel yang seharusnya masuk ke fase G1 (berhenti membelah) tetapi sel tersebut langsung menuju ke fase G1 maka sel itu merupakan sel tumor atau kanker. Sel yang sudah berdiferensiasi (sudah membelah) maka tidak memiliki kemampuan untuk membelah.

Siklus sel yang berlangsung secara terus menerus tentunya berperan penting untuk menjaga keseimbangan sel. Keseimbangan sel inilah yang tentunya penting untuk proses metabolisme, pembelahan sel (reproduksi sel), dan menjaga integritas membran agar kondisi sel tetap stabil-normal. Apa yang dilakukan oleh sel sebagai ciptaan Allah SWT tidak terlepas dari kuasa Allah SWT mengatur siklus sel tersebut. Hal tersebut tersirat dalam firman Allah SWT dalam QS Al Mulk ayat 3 berikut:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَا تَرَى فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفْوُتٍ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَى مِن فُطُورٍ ﴿٣﴾

“Yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Tidak akan kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih. Maka lihatlah sekali lagi, adakah kamu lihat sesuatu yang cacat?”

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu dengan seimbang, termasuk sel yang merupakan unit terkecil dalam kehidupan yang juga Allah ciptakan dalam kondisi seimbang. Kalimat “tidak akan kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan” ditafsirkan bahwa cobalah untuk kita pikirkan dan renungkan, apakah ada cacat atau cela pada makhluk yang diciptakan Allah SWT? Jelas jawabannya tidak ada. Bahkan sel yang kecil saja memiliki mekanisme pengontrolan yang disebut dengan *checkpint* adalah sebuah titik

pengontrolan agar tiap fase dalam siklus sel berjalan dengan baik dan benar.

Lantas masihkah kita ragu tentang kekuasaan dan kebesarannya? Jika masih ada keraguan, maka manusia diperintahkan untuk memperhatikan, merenungkan, dan mempelajari kembali dengan sebenar-benarnya, apakah mereka masih mendapatkan dalam ciptaan Allah itu sebagian yang tidak sempurna?

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Mulk ayat 3 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjauhkan diri dari sifat sombong**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

2. Pengaturan Siklus Sel

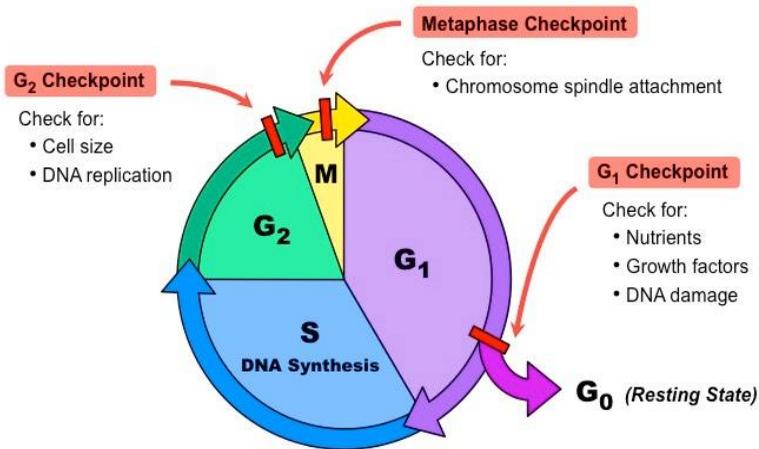
Sel memiliki mekanisme kontrol, yaitu pada *checkpoint*. *Checkpoint* dalam siklus sel merupakan titik pengontrolan di mana sinyal berhenti dan sinyal yang sedang berjalan dapat mengatur siklus. Sinyal ini memastikan proses seluler krusial hingga ke tempat itu telah diselesaikan secara benar, dan dengan demikian akan ditentukan apakah siklus sel itu harus dilanjutkan atau tidak. Tempat ini memeriksa kejadian-kejadian penting, seperti pertumbuhan sel, sintesis DNA, dan ketepatan segregasi kromosom sebelum sel meninggalkan suatu fase dalam siklus sel. **Bila sel memiliki mekanisme kontrol berupa *checkpoint* bagaimana cara kerjanya?**

Setidaknya ada tiga *checkpoint* utama selama siklus sel, yaitu ***checkpoint* pada fase G1 akhir, *checkpoint* pada fase G2 akhir, dan *checkpoint* pada fase M akhir.** *Checkpoint* hanya terdapat pada titik ini karena pada titik-titik ini sel akan memasuki tahapan krusial, yaitu replikasi, mitosis, dan pertumbuhan sel baru.

Checkpoint G1 dianggap sebagai titik yang paling penting. Jika sel menerima sinyal terus pada *checkpoint G1*, sel itu biasanya akan menyelesaikan siklusnya dan membelah. Tetapi jika sel itu tidak menerima sinyal terus pada titik itu, sel akan keluar dari siklus dan beralih ke keadaan tidak membelah yang disebut fase *G0*. Beberapa sel pada tubuh manusia sebenarnya berada pada fase *G0* ini, misalnya sel saraf dan sel otot yang terspesialisasi tidak pernah membelah. Sel lain, seperti sel hati dapat “dipanggil kembali” untuk memasuki siklus sel oleh isyarat lingkungan tertentu, seperti faktor pertumbuhan yang dilepas pada waktu mengalami luka.

Mekanisme keamanan *checkpoint* ini akan menghentikan kemajuan dari siklus sel jika salah satu dari kromosom DNA rusak, atau proses kritis tertentu, seperti DNA replikasi selama fase *S* atau keselarasan kromosom selama fase *M*, belum selesai dengan sempurna. *Checkpoints* memastikan bahwa setiap dari berbagai peristiwa yang membentuk siklus sel terjadi akurat dan dalam urutan yang tepat. Banyak protein dari “mesin” *checkpoint* ini tidak memiliki peran dalam peristiwa siklus sel yang normal dan hanya dipanggil untuk bertindak ketika suatu kelainan muncul.

Checkpoint diaktifkan di seluruh siklus sel oleh sistem sensor yang mengenali kerusakan DNA atau kelainan selular. Jika sensor mendeteksi adanya cacat atau kerusakan, akan memicu respon yang menghentikan sementara kemajuan siklus sel. Penghentian sementara ini dimanfaatkan oleh sel untuk memperbaiki kerusakan atau mengoreksi kecacatan DNA. Hal ini sangat penting karena sel-sel mamalia yang mengalami kerusakan genetik memiliki risiko untuk berubah menjadi sel kanker. **Jika DNA rusak selama proses perbaikan, mekanisme keamanan *checkpoint* dapat mengirimkan sinyal untuk kematian sel atau penghentian proses siklus sel permanen.** Berikut Gambar 5-2 mengilustrasikan keberadaan *checkpoint* pada siklus sel.



Gambar 5-2 Checkpoint Selama Siklus Sel

Tiga checkpoint selama siklus sel berlangsung, yaitu checkpoint G₁, checkpoint G₂, dan checkpoint akhir fase M.

(<https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-1-cell-biology/16-cell-division/cell-checkpoints.html>)

Kemampuan sel untuk memulai siklus sel tergantung dari adanya protein *cyclin* dan *cyclin-dependent kinase* (CDKs). *Cyclin* mengontrol siklus sel dengan mengatur *cyclin dependent kinases* (CDKs). CDKs menjadi aktif ketika berikatan dan membentuk kompleks dengan protein *cyclin*. CDKs yang aktif akan menstimulasi siklus sel terus menerus dengan memfosforilasi (dan karena itu mengaktivasi) protein spesifik dalam sel yang diperlukan untuk transisi ke tahap yang selanjutnya. Misalnya pada awal profase mitosis, pemecahan membran nukleus diinisiasi oleh fosforilasi lamins yang membentuk bagian-bagian dari nukleus. Demikian pula ketika kromosom berkondensasi di awal mitosis akan diinisiasi oleh fosforilasi histon H1, yaitu suatu *nuclear-associated protein*.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 5-1** berikut!

TUGAS 5-1

Buatlah ilustrasi mengenai mekanisme aktivasi dan inaktivasi dari Cyclin!

**Indikator: Penjelasan
(Menyajikan informasi secara benar dan rinci)**

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 5-1

C. REPRODUKSI SEL

Sel sebagai unit struktural dan fungsional terkecil tentu memiliki sifat-sifat kehidupan seperti reproduksi. Reproduksi sel ini pun menjadi dasar bagi kelangsungan kehidupan. Pembelahan suatu sel akan mereproduksi seluruh organisme. Pembelahan sel juga memungkinkan suatu organisme multiseluler, termasuk manusia, dapat tumbuh dan berkembang dari satu sel tunggal (sel telur yang dibuahi). Bahkan setelah organisme itu tumbuh dewasa, pembelahan sel terus berlangsung dan berfungsi dalam pembaharuan dan perbaikan, penggantian sel yang mati akibat pemakaian normal dan sel yang sobek atau mengalami kecelakaan. Reproduksi sel khususnya sel eukariotik, dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pembelahan mitosis dan pembelahan meiosis.

1. Mitosis

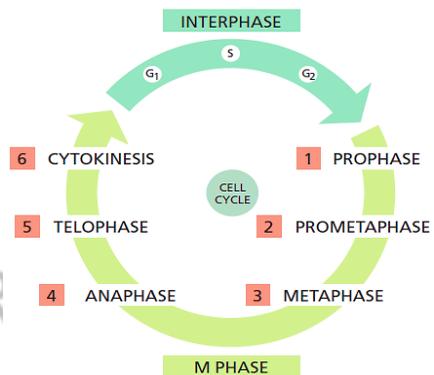
Mitosis adalah proses pembelahan nukleus menjadi dua nukleus, di mana molekul-molekul DNA yang telah direplikasi pada setiap kromosom didistribusikan secara identik ke sel anak. Mitosis biasanya disertai dengan sitokinesis (pembelahan

sitoplasma), yaitu suatu proses di mana sebuah sel membelah membagi dua, partisi sitoplasma menjadi dua paket selular. Kedua sel anak yang dihasilkan dari mitosis dan sitokinesis memiliki materi genetik yang identik satu sama lain.

Mitosis bertujuan mempertahankan jumlah kromosom dan menghasilkan sel-sel baru untuk pertumbuhan dan pemeliharaan dari suatu organisme. Mitosis umumnya dibagi menjadi lima tahap, yaitu profase, prometafase, metafase, anafase, dan telofase, masing-masing dicirikan oleh serangkaian peristiwa tertentu. Lihat pada **Gambar 5-3**.

Gambar 5-3 Pembelahan Sel
Pembelahan sel menjadi dua sel anak terjadi pada fase M terdiri dari pembelahan inti sel dan pembelahan sitoplasma (sitokinesis).

Mitosis terdiri dari 5 tahap. (Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)



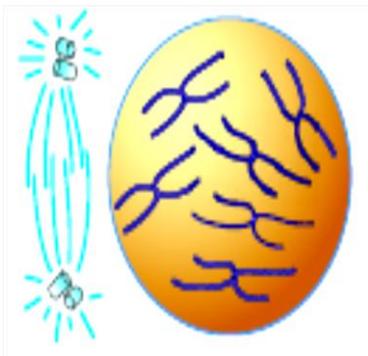
Profase

Profase ini merupakan tahap untuk mempersiapkan kromosom untuk melakukan segregasi, juga mempersiapkan bahan-bahan pergerakan kromosom. Nukleus sel dari tahap interfase berisi benang kromatin yang luar biasa panjang. Kromatin yang diperpanjang pada tahap interfase idealnya cocok untuk proses transkripsi dan replikasi, tapi bukan untuk pemisahan menjadi dua sel anak. Sebelum kromosom memisah, kromosom menjadi jauh lebih pendek dan tebal, terjadi pepadatan kromosom atau kondensasi kromosom. Pepadatan kromosom tidak mengubah sifat benang kromatin. Proses ini terjadi selama awal profase.

Protein histon dan protein non-histon mempertahankan bentuk dasar dari kromosom utuh. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang pepadatan kromosom difokuskan

pada sebuah kompleks multiprotein yang disebut condensin. Protein dari condensin ditemukan dengan menginkubasi inti dalam ekstrak telur katak dan mengidentifikasi protein yang terkait dengan kromosom saat mereka menjalani pepadatan. Penghapusan condensin dari ekstrak mencegah pepadatan kromosom yang normal.

Awal profase, kromosom berkondensasi sehingga dapat terlihat secara mikroskopis. Tiap kromosom terdiri dari 2 suster kromatid yang paralel, yang bergabung pada satu titik, yaitu sentromer. Kondensasi kromosom akan diikuti dengan hilangnya nukleolus. Sentrosom terbagi menjadi 2 bagian, setiap bagian terdiri atas sepasang sentriol dan sebuah *microtubule-organizing center* (MTOC) yang akan bermigrasi menuju ke kutub yang berlawanan.



Gambar 5-4. Ilustrasi Profase Mitosis
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Dari setiap MTOC, akan berkembang menjadi *astral rays* dan *spindle fibers*. Keduanya akan menjadi *mitotic spindle apparatus*. Astral rays merupakan mikrotubul yang berjalan keluar dari kutub *spindle*. Mikrotubul ini akan membantu menyesuaikan dengan MTOC pada kutub sel. Bila mikrotubul terletak di daerah sentromer, maka disebut sebagai *spindle fibers* yang membantu mengarahkan migrasi kromosom ke kutub. Tanpa adanya sentriol, *microtubule-nucleating material*

akan menyebar dalam sitoplasma sehingga *astral rays* dan *spindle fibers* tidak tepat terbentuk dan mitosis tidak terbentuk secara tepat. Pada daerah sentromer dari tiap kromatid akan terbentuk kinetokor. *Spindle fibers* berikatan dengan kinetokor sebagai persiapan migrasi kromatid untuk karyokinesis. Ilustrasi profase dapat dilihat pada **Gambar 5-4**.



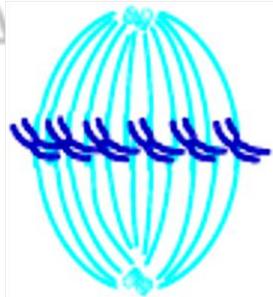
Gambar 5-5. Ilustrasi Prometafase Mitosis
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Tahap prometafase dimulai saat *nuclear lamina* difosforilasi, dan menyebabkan hilangnya membran nukleus. Selama fase ini, kromosom diatur secara acak di seluruh sitoplasma. Mikrotubul yang melekat dengan kinetokor disebut *mitotic spindle microtubule*. Sedangkan mikrotubul yang tidak tergabung dalam *spindle apparatus* disebut *polar microtubule*. Kutub mikrotubul ini berfungsi untuk mempertahankan jarak antara 2 kutub selama proses mitosis. *Microtubule mitotic spindle* turut

membantu dalam migrasi *chromosome* sehingga bergabung menjadi 1 baris dengan *mitotic spindle*. Ilustrasi tahap prometafase pada **Gambar 5-5**.

Metafase

Metafase diawali dengan lenyapnya membran inti, lalu muncul serat-serat halus dari dua kutub berlawanan. Selama *metaphase*, kromosom berkondensasi maksimal dan berada dalam 1 baris pada bidang ekuator *mitotic spindle*. Tiap kromatid tersusun paralel pada bidang ekuator dan *spindle microtubule* melekat dengan kinetokor dan menyebar ke kutub *spindle*. Sister kromatid harus dipertahankan kedekatannya ketika kromosom berkondensasi dan membentuk satu garis pada metafase *mitotic spindle*. Metafase merupakan tahap yang paling cocok untuk studi kromosom karena akibat posisinya yang terbesar menyebabkan jumlah kromosom dapat dihitung dengan tepat,

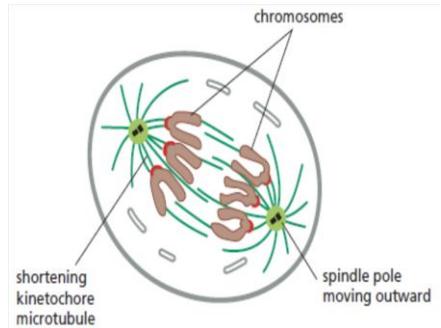


Gambar 5-6. Ilustrasi Metafase Mitosis
Kromosom berada sejajar pada bidang ekuator, berada di tengah di antara masing-masing kutub.
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

dan bentuk kromosom dapat dipelajari dengan seksama. Ilustrasi metafase tampak seperti pada **Gambar 5.6**.

Anafase

Berpisahya sister kromatid yang terletak pada bidang ekuator dari *metaphase plate* dan bermigrasi menuju kutub yang berlawanan akan memulai tahap anafase. Kromatid berpindah diarahkan oleh sisi perlekatan kinetokor, dan mungkin disebabkan adanya pemendekan mikrotubul melalui depolimerisasi pada ujung kinetokor. Di akhir tahap anafase, akan terbentuk celah (*cleavage furrow*) pada plasmalemma, yang akhirnya akan menjadi tempat sel membelah selama sitokinesis. Perhatikan **Gambar 5-7** mengilustrasikan tahap anafase mitosis.

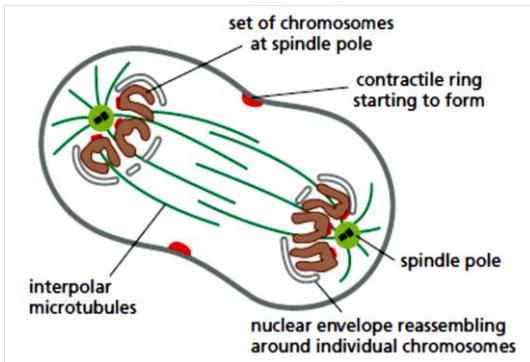


Gambar 5-7 Ilustrasi Anafase Mitosis

Kromatid sister terpisah, ditarik perlahan menuju kutub, dan terjadi pemendekan mikrotubul sehingga akan membentuk celah pembelahan (Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

Telofase

Pada tahap akhir ini, kromosom-kromosom baru sudah terpisah dan berkumpul pada kutub yang berbeda. Kemudian, membran inti akan muncul membungkus dua kelompok kromosom yang sudah terpisah itu dalam dua inti baru. Setelah terbentuk dua inti, kemudian akan terjadi pemisahan sitoplasma, dengan pembentukan dinding yang memisahkan kedua inti menjadi dua sel baru. Dengan terbentuknya dua sel baru maka berakhirilah periode mitosis dan sel kembali ke tahap interfase atau lebih tepatnya masuk ke periode G1. Pada periode ini sel akan membesar sampai mencapai ukuran sel dewasa. Ilustrasi tahap akhir mitosis tersaji pada **Gambar 5-8**.



**Gambar 5-8 Ilustrasi
Telofase Mitosis**

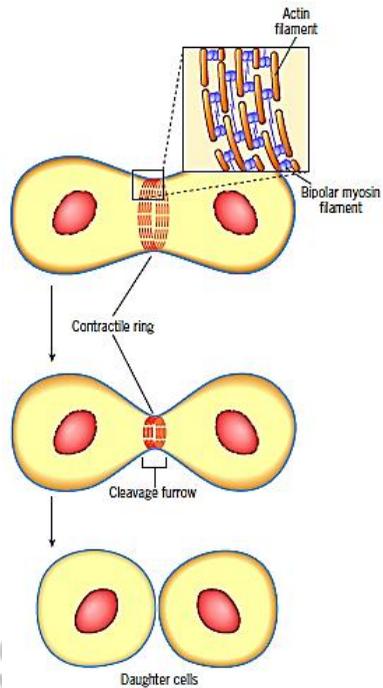
Dua pasang kromosom sudah berada di kutub spindle (gelendong). Pembelahan sitoplasma dimulai dari perakitan cincin kontraktif. (Albert, et al. 2014. *Essential Cell Biology 4th Edition*)

Sitokinesis

Sitokinesis merupakan proses pembelahan sitoplasma sehingga membentuk dua sel anakan yang terpisah setelah pembelahan. Pada sel hewan sitokinesis terjadi melalui proses yang dikenal sebagai pelekukan (*cleavage*). Tanda pertama yang terlihat yaitu melekungnya selaput sel selama anafase. Pelekukan terjadi di daerah dekat lempeng metafase (bidang ekuatorial), yang tegak lurus sumbu panjang gelendong mitotik. Sebagian besar sel membelah secara simetris. Lekukan pembelahan terbentuk di sekeliling bidang ekuator sel induk, sehingga sel anak yang dihasilkan sama besar dan memiliki sifat-sifat yang serupa dengan induknya.

Di sisi lekukan yang menghadap ke sitoplasma (sisi sitoplasmik), terdapat cincin kontraktif dari mikrofilamen aktin yang terasosiasi dengan molekul protein myosin. Berkas filamen aktin yang disebut *cincin kontraktif* terikat pada permukaan sitosolik selaput sel.

Perhatikan **Gambar 5-9**. Cincin kontraktile ini terakit di awal anaphase. Aktin dan myosin juga menyebabkan kontraksi otot dan berbagai macam pergerakan sel. Mikrofilamen aktin berinteraksi dengan molekul myosin, menyebabkan cincin kontraktile berkontraksi. Selama pembelahan sel normal, cincin kontraktile tidak menebal di saat lekukan makin dalam. Hal ini berarti volumenya terus menerus berkurang untuk membentuk *midbody* lalu sel akan membelah menjadi dua sel yang baru. Apabila jarak selaput sel didaerah pembelahan menyempit, akan membentuk badan tengah (*midbody*), yang tetap tinggal sebagai tambahan dua sel anakan, sampai cincin kontraktile akhirnya menghilang.



Gambar 5-9. Pembentukan dan Pengoperasian Cincin Kontraktile selama Sitokinesis

Filamen aktin dirakit dalam cincin pada bidang ekuator. Aktin dan myosin menyebabkan kontraksi pada cincin kontraktile yang menyebabkan sel membelah menjadi dua sel anakan. (Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 5-2** berikut!

TUGAS 5-2

Jika pada sel hewan proses sitokinesis diawali dengan adanya alur pembelahan yang terjadi pada bidang ekuator sehingga terbentuk cincin kontraktile. Bagaimana mekanisme sitokinesis pada sel tumbuhan?

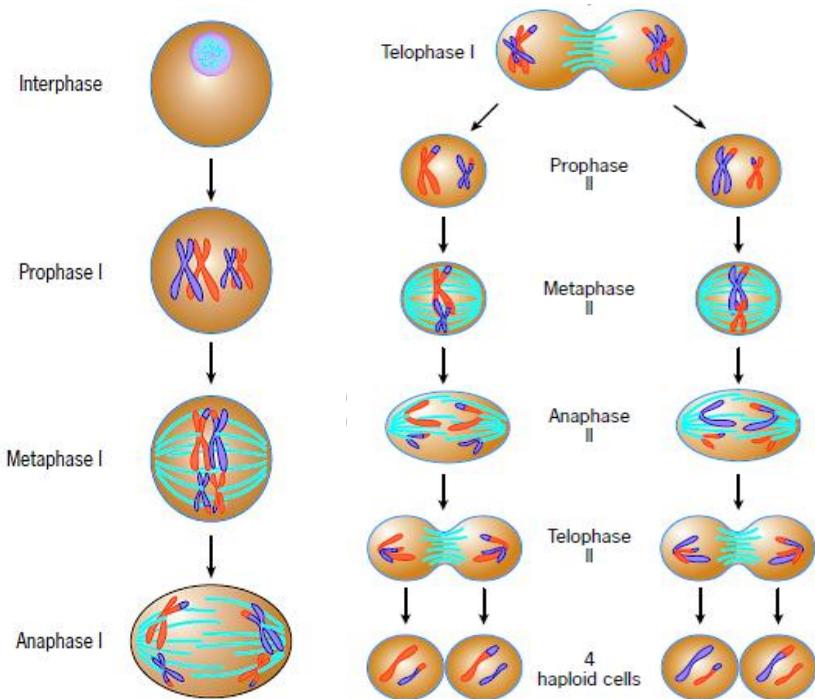
Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 5-2

2. Meiosis

Meiosis merupakan proses pembelahan sel yang terjadi pada sel gamet atau sel kelamin dari organisme yang mengadakan reproduksi secara seksual. Pada dasarnya **meiosis terdiri dari sekali duplikasi kromosom (DNA) yang diikuti 2 kali pembelahan**, sehingga dihasilkan sel-sel haploid yang berasal dari generasi diploid sebelumnya. Sel haploid yang disiapkan untuk persatuan seksual disebut gamet. Untuk kepentingan reproduksi seksual dibutuhkan dua jenis gamet; satu jenis sel berukuran besar tidak banyak bergerak (oosit) dan jenis lain berukuran lebih kecil dan sangat aktif bergerak (spermatozoon).

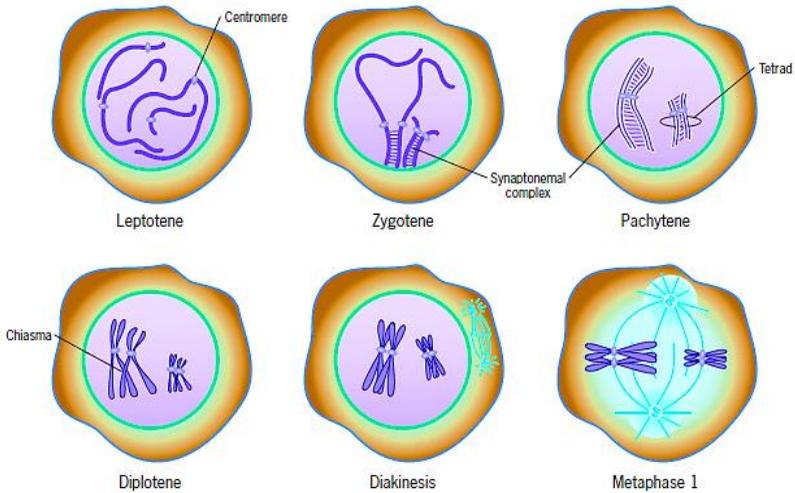
Secara garis besar meiosis dapat dibagi ke dalam dua periode pembelahan sel; pembelahan I dan pembelahan II atau sering disebut meiosis I dan meiosis II. Pada setiap periode pembelahan tersebut terdapat tahap yang lebih kecil yang mirip tahapan yang ada pada mitosis, yaitu Meiosis I meliputi Profase

I, Metafase I, Anafase I, Telofase I. Meiosis II meliputi profase II, metafase II, anafase II, dan tolefase II. Sebelum profase II atau setelah telofase I, kadang-kadang sel berada dalam tahapan interfase tetapi sering juga tanpa adanya fase antara tersebut. Ilustrasi tahapan pembelahan meiosis dapat dilihat pada **Gambar 5-10** berikut.



Gambar 5-10. Tahapan dalam Meiosis
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Awal proses meiosis terjadi setelah interfase. Dalam gametogenesis, sewaktu sel-sel germinal berada pada fase S, jumlah DNA dan kromosom adalah $4n$.



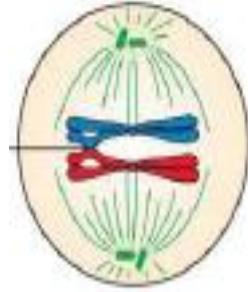
Gambar 5-11. Ilustrasi Tahap-tahap Profase I
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

Profase I

Profase I memerlukan waktu yang panjang dan terbagi menjadi 5 tahap, yaitu: Leptonema, Zygonema, Pachynema, Diplonema, dan Diakinesis (Lihat pada **Gambar 5-11**). Pada Leptonema, kromosom yang terdiri atas 2 kromatid yang bergabung di sentromer mulai berkondensasi, membentuk rantai yang panjang dalam nukleus. Pada Zygonema, pasangan-pasangan kromosom yang homolog saling mendekati dan berada dalam 1 deret dan ber-*sinaps* melalui *synaptonemal complex*, membentuk tetrad. Ketika kromosom melanjutkan diri berkondensasi dan menebal serta memendek, ini merupakan tahap Pachynema. Terbentuk pula *chiasmata* (tempat terjadinya *crossing over*) sebagai pertukaran materi genetik antara kromosom-kromosom yang homolog. Tahap Diplonema, kromosom terus berkondensasi dan mulai memisah, menampilkan *chiasmata*. Pada tahap Diakinesis, kromosom berkondensasi maksimal dan nukelolus menghilang, demikian pula dengan membran nukleus sehingga kromosom berada bebas dalam sitoplasma.

Metafase I

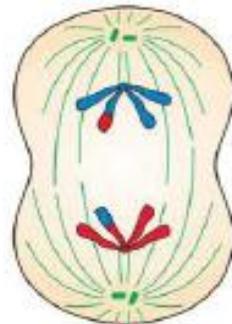
Metafase I dimulai saat masing-masing pasangan kromosom homolog yang terdiri dari dua kromatid berderet pada bidang ekuator. Pasangan homolog, masing-masing terdiri dari satu kromosom maternal dan satu kromosom paternal. Kemungkinan sebesar 50% sel anakan tertentu pada meiosis I memperoleh kromosom maternal dari pasangan homolog tertentu, dan ada kemungkinan sebesar 50% bahwa sel itu akan memperoleh kromosom paternal. Kedua kromatid dari salah satu kromosom homolog melekat ke mikrotubulus kinetokor dari salah satu kutub. Kromatid homolog yang satu lagi melekat pada mikrotubulus kinetokor dari kutub yang bersebrangan. **Lihat Gambar 5-12.**



Gambar 5-12.
Ilustrasi Metafase I
(Lodish, et al., 2016.
Molecular Cell Biology
8th Edition)

Anafase I

Pada tahap anafase I terjadi perpindahan kromosom menuju kutub yang berlawanan. Perhatikan **Gambar 5-13.** Kromosom masih mengandung dua kromatid. Berbeda dengan yang terjadi pada mitosis, pada tahap ini yang berpisah adalah pasangan kromosom homolog, dengan dua kromatid bersaudara masih tetap terikat pada sentromernya. Pada mitosis yang berpisah adalah kromatidnya.



Gambar 5-13.
Ilustrasi Anafase I
(Lodish, et al., 2016.
Molecular Cell Biology
8th Edition)

Jadi, pada fase ini terjadi pemisahan gugus ploidi kromosom sehingga pada kedua kutub akan berkumpul masing-masing satu ploidi kromosom.

Telofase I

Tahap ini ditandai kromosom telah mencapai kutub yang berlawanan, nukleus terbentuk kembali dan terjadi sitokinesis sehingga terbentuk 2 sel anak. Tiap sel berjumlah 23 kromosom namun karena masing-masing kromosom memiliki dua kromatid, maka isi DNA masih bersifat diploid. Setelah itu setiap anak sel yang baru terbentuk akan memasuki meiosis II.

Setelah berakhirnya tahap telofase I dan sitokinesis, maka sel berada dalam tahap interfase yang tidak berlangsung lama. Berbeda dengan interfase sesudah pembelahan mitosis. Pada tahap interfase ini tidak terjadi replikasi kromosom, artinya tidak ada tahap S, sehingga intinya tetap haploid. Walau demikian dalam setiap kromosom tetap mengandung 2 kromatid (disebut kromosom diad karena terdiri dari DNA untai ganda).

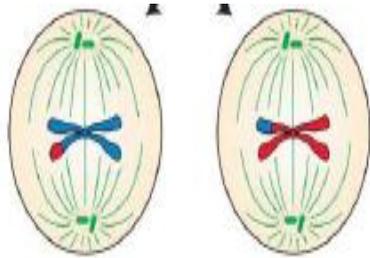
Hasil meiosis I adalah terbentuknya sel dengan inti yang jelas. Pada organisme jantan, sel ini disebut spermatosit sekunder dan pada betina disebut oosit sekunder dan badan polar. Anak sel yang dihasilkan dari pembelahan meiosis I ini mengandung kromosom yang jumlahnya separuh dari jumlah kromosom sebelum pembelahan, namun ukuran selnya tidak sama. Perbedaan ukuran sel ini sebagai akibat tidak samanya pembelahan sitoplasmanya. Anak sel yang berukuran lebih besar dinamakan oosit sekunder, sedangkan yang berukuran lebih kecil dinamakan *polar body* (badan kutub) yang mendampingi oosit II.

Profase II

Tahapan profase II kadang-kadang tidak ditemukan, di mana setelah telofase I dilanjutkan pembelahan kedua yang terlihat dengan munculnya benang gelendong yang menarik kromatid pada sentromernya kedua kutub yang berbeda.

Metafase II

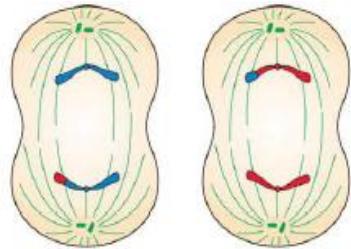
Gambar 5-14 menjelaskan tahap metafase II, di mana kromosom-kromosom homolog mengandung kromatid rekombinan (gen paternal dan gen maternal), sehingga kromatid-kromatid saudara tidak lagi identik. Kemungkinan susunan kromatid saudara non identik yang berbeda selama meiosis II semakin meningkatkan jumlah tipe-tipe genetik sel anak yang dihasilkan dari proses meiosis.



Gambar 5-14. Ilustrasi Metafase II
(Lodish, et al.. 2016. *Molecular Cell Biology 8th Edition*)

Anafase II

Kromatid bisa terpisah karena penguraian protein-protein (kohesin) yang menggabungkan kromatid-kromatid saudara di sentromer. Kromatid bergerak menuju kutub-kutub sel. Lihat **Gambar 5-15**.



Gambar 5-15. Ilustrasi Anafase II
(Lodish, et al.. 2016. *Molecular Cell Biology 8th Edition*)

Telofase II

Membran nukleus terbentuk, kromosom mulai terurai, dan sitokenesis terjadi, daerah peleukan terjadi di bagian tempat lempeng metaphase terbentuk, dibantu dengan kontraksi protein aktin dan miosis dari cincin kontraktile membentuk mid body, yang selanjutnya terbentuklah sel anak yang baru dengan keseimbangan berbagai organel sel di dalamnya, memiliki nukleus dan nukelolus.

Pembelahan meiosis atau sel induk menghasilkan empat sel anakan, masing-masing dengan satu set kromosom haploid (tak tereplikasi). Masing-masing dari keempat sel anakan berbeda secara genetik dari sel-sel anakan lain dan juga dari sel

induknya. Dari sebuah sel diploid yang mengalami pembelahan meiosis, akan terbentuk 4 buah sel dengan masing-masing intinya mengandung kromosom dengan jumlah separuh jumlah kromosom aslinya (haploid). Kelompok empat sel yang dihasilkan dari satu sel melalui meiosis disebut tetrad.

Peristiwa mitosis dan meiosis merupakan dua proses yang berbeda, namun dari keduanya saling melengkapi untuk kesempurnaan suatu organisme. **Pernahkah kita berpikir mengapa dari peristiwa mitosis menghasilkan jumlah kromosom yang utuh, sementara meiosis hanya setengah dari kromosom induk?** Jawaban mengenai hal tersebut Allah SWT berfirman dalam QS Al A'raf ayat 189 berikut:

﴿ هُوَ الَّذِي خَلَقَكُمْ مِنْ نَفْسٍ وَاحِدَةٍ وَجَعَلَ مِنْهَا زَوْجَهَا لِيَسْكُنَ إِلَيْهَا فَلَمَّا تَغَشَّهَا حَمَلَتْ حَمْلًا خَفِيًّا فَمَرَّتْ بِهِ فَلَمَّا أَثْقَلَتْ دَعَوَا اللَّهَ رَبَّهُمَا لَئِنْ آتَيْتَنَا صَالِحًا لَنُكَوِّنَنَّ مِنْ الشُّكْرِينَ ﴿١٨٩﴾

“Dialah yang menciptakan kamu dari jiwa yang satu (Adam) dan daripadanya Dia menciptakan pasangannya, agar dia merasa senang kepadanya. Maka setelah dicampurinya, (istrinya) mengandung kandungan yang ringan, dan teruslah dia merasa ringan (beberapa waktu). Kemudian ketika dia merasa berat, keduanya (suami istri) bermohon kepada Allah, Tuhan Mereka (seraya berkata), “Jika Engkau memberi kami anak yang saleh, tentulah kami akan selalu bersyukur.”

Kalimat terjemahan *“Dialah yang menciptakan kamu dari jiwa yang satu (Adam) dan daripadanya Dia menciptakan pasangannya”* ditafsirkan bahwa setiap yang diciptakan oleh Allah SWT berasal dari satu diri dan dari sanalah diciptakan pula pasangannya. QS Al A'raf ayat 189 tersebut menggambarkan tiga peristiwa yaitu pembelahan mitosis, meiosis, maupun fertilisasi. Seperti yang kita

ketahui, mitosis merupakan pembelahan yang terjadi pada sel-sel somatis sehingga dihasilkan jumlah kromosom yang utuh. Sementara meiosis terjadi pada sel-sel gamet (kelamin) sehingga jumlah kromosomnya adalah setengah dari jumlah kromosom induk. Perbedaan tersebut mengandung konsekuensi genetik yang sangat penting, sehingga pada ayat lainnya yaitu QS Maryam ayat 28 memperjelas bahwa pewarisan karakteristik seseorang secara kuantitatif berasal dari ayah (sel sperma-sel gamet) dan separuhnya lagi berasal dari ibunya (sel telur-sel gamet).

يَا حَتَّ هَرُونَ مَا كَانَ أَبُوكَ امْرَأَ سَوْءٍ وَمَا كَانَتْ أُمُّكَ بَغِيًّا

“Wahai saudara perempuan Harun (Maryam)! Ayahmu bukan seorang yang buruk perangai dan ibumu bukan seorang perempuan pezina.”

Maksud ayat tersebut dalam kalimat terjemahan “Ayahmu bukan seorang yang buruk perangai dan ibumu bukan seorang perempuan pezina” menjelaskan bahwa Maryam tidak akan berbuat salah atau dosa, karena ayah dan ibunya tidak mewariskan itu kepadanya, artinya bahwa sifat dan karakter pada Maryam merupakan warisan dari ayah dan ibunya. Ayat tersebut tentu berkaitan dengan konsep meiosis di mana dari setiap sel induk mewariskan setengah jumlah kromosomnya pada sel anak.

Konsep perbedaan kedua peristiwa pembelahan tersebut memperlihatkan kuasa dari Allah SWT dalam menyusun susunan tubuh makhluk ciptaan-Nya agar menjadi seimbang dan sempurna. Hal itu tercantum dalam QS Al Infithar ayat 7 berikut:

الَّذِي خَلَقَكَ فَسَوَّبَكَ فَعَدَلَكَ

“yang telah menciptakanmu lalu menyempurnakan kejadianmu dan menjadikan (susunan tubuh)mu seimbang”

Ayat tersebut diartikan bahwa Allah SWT, Tuhan semesta alam telah menciptakan segalanya dalam keadaan seimbang dan telah menentukan semua kadarnya dengan sebaik-baiknya. Keseimbangan tersebut akan melahirkan wujud (tubuh) yang sempurna. Bayangkan bila kromosom dari hasil mitosis hanya setengah, maka sel tersebut tidak akan menjalankan fungsinya. Demikian pula, jika kromosom hasil pembelahan meiosis dihasilkan dalam jumlah yang utuh, maka saat fertilisasi akan terjadi 2x lebih banyak dan tentunya sifat yang diwariskan pun tidak menentu. Melalui penciptaan yang sempurna itu, Allah SWT kembali mengingatkan manusia atas segala kemurahan-Nya untuk menjadi pribadi dengan penuh rasa syukur, semakin beriman dan bertaqwa kepada-Nya.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al A'raf ayat 189 dan Al Infithar ayat 7 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan, Menjauhkan diri dari sifat sombong**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

EVALUASI BELAJAR MU!

- ☆ **Apakah saya sudah menguasai seluruh pokok bahasan ini?**

Catat kembali dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

Jika belum, pelajari kembali dan kerjakan pertanyaan-pertanyaan kotak **TUGAS 5-1** dan **TUGAS 5-2**

- ☆ **Apakah saya sudah benar-benar memahami materi yang telah dipelajari?**

Jawablah pertanyaan pada **LATIHAN SOAL**

D. LATIHAN SOAL

1. Dalam sebuah siklus sel, jelaskan apa yang akan terjadi jika sel masuk ke fase G₀!

(Indikator: Analisis, Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)



Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan
LATIHAN SOAL
berikut!

2. Checkpoint terjadi pada beberapa waktu yang berbeda selama siklus sel. Apabila checkpoint tidak berfungsi, kesalahan apa yang akan terjadi pada masing-masing siklus sel tersebut?

(Indikator: Evaluasi, Memberikan alasan/pendapat secara jelas dan rinci)

3. Buatlah tabel perbedaan antara peristiwa mitosis dan meiosis!

(Indikator: Penjelasan, Memperinci informasi secara benar dan rinci berdasarkan hasil interpretasi)

UMPAN BALIK

☆ **Apakah Anda sudah mampu menyelesaikan semua TUGAS dan LATIHAN SOAL?**

Jlka belum, pelajari kembali urutan materi yang dibahas.

REFERENSI

- Al Fatih. (Februari, 2013). *Al Qur'an dan Terjemahannya, Mushaf Khadijah*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology 4th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular biology of the cell 6th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>.
- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology (Concepts and Experiments). 7th Edition*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al Qur'an-LPMQ. (2019). *Qur'an Kemenag in Word Add-Ins*. Jakarta: Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C.A., Kreiger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., Amon, A. & Martin K.C. (2016). *Molecular Cell Biology 8th Edition*. New York: W.H. Freeman Macmillan Learning.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Muchtaromah, B. (2007). Al Qur'an dan Material Genetik dalam Sel Kelamin Pria Penentu Jenis Kelamin Bayi. *Ulul Albab*, 8 (2), 141-162.
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P., Jackson, R.B., & Campbell, N.A. (2011). *Campbell Biology, 9th edition*. San Fransisco: Pearson.
- Shihab, Q. (2003). *Tafsir Al Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sumadi & Aditya. (2007). *Biologi Sel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). *TafsirWeb*. Available from: <https://tafsirweb.com/>.

Petunjuk:

Gunakan kotak LATIHAN SOAL untuk menjawab pertanyaan bagian LATIHAN SOAL, atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

LATIHAN SOAL

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Petunjuk:

Tuliskan hasil pemahaman Anda pada kotak REFLEKSI DIRI atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

REFLEKSI DIRI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

MERISKA



EKSPRESI GEN

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai ekspresi gen pada sel prokariot dan eukariot
CPMK	Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Ekspresi Gen
Sub-CPMK	Mahasiswa mampu: <ul style="list-style-type: none">▪ menjelaskan proses regulasi ekspresi gen pada sel prokariot dan eukariot▪ menganalisis perbedaan proses regulasi ekspresi gen pada sel prokariot dan eukariot▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

MERAIH SUKSES BELAJAR

RENCANAKAN Belajar mu!

- ☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki? ➤ Bacalah pada kolom **Deskripsi**
- ☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar? ➤ Bacalah pada kolom **Sub-CPMK**

KONTROL Belajar mu!

- ☆ Materi apa yang sudah dipahami? ➤ Tuliskan pada kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami? ➤ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak **TUGAS**

EVALUASI Belajar mu!

- ☆ Kerjakan Latihan Soal! ➤ Tuliskan pada kotak **LATIHAN SOAL**
- ☆ Kerjakan Tugas! ➤ Kerjakan secara individu
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini? ➤ Perhatikan kotak **UMPAN BALIK**

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!

☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**

Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!

☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**

Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

Konsep tentang ekspresi gen adalah sebuah rangkaian informasi genetik dari gen menjadi protein, yang berarti proses transformasi informasi genetik melalui transkripsi dan translasi untuk pembentukan suatu protein. Gen diketahui merupakan segmen molekul DNA yang mempunyai informasi yang diperlukan untuk sintesis produk (rantai polipeptida atau molekul RNA), termasuk rangkaian pengkodean dan non-pengkodean. Bila suatu produk metabolisme di dalam sel sudah mencapai kuantitas yang mencukupi, maka reaksi metabolisme harus dihentikan. Proses pengaturan itulah disebut dengan regulasi ekspresi gen. Lantas apakah proses regulasi ekspresi gen pada prokariot dan eukariot berlangsung serupa? Mari kita temukan jawabannya pada bab berikut.

A. PENGANTAR

Setiap organisme (eukariot) memiliki ribuan gen dalam tubuhnya. Gen yang berisi DNA ini tersebar dan akan mengekspresikan sifat atau fenotipe yang berbeda. Tetapi tidak semua gen diekspresikan, sel organisme harus mengubah gen ke keadaan “ON” dan “OFF” secara kontinu sebagai respon terhadap sinyal yang datang dari lingkungan eksternal dan internal mereka. Ekspresi gen harus diatur untuk jangka panjang demi tercapainya diferensiasi seluler, yaitu perubahan bentuk dan fungsi karena sel akan terspesialisasi selama perkembangan suatu organisme.

Sel yang sangat terspesialisasi seperti sel jaringan otot dan saraf hanya mengekspresikan sebagian kecil dari gennya saja. Sebenarnya sel manusia umumnya hanya mengekspresikan 3-5% saja dari gennya pada suatu waktu tertentu. Oleh karena itu, pengontrolan ekspresi gen sangat penting bagi kelangsungan hidup organisme. Pengontrolan atau regulasi gen terjadi baik pada sel prokariotik maupun eukariotik. Pada sel prokariotik mekanismenya lebih sederhana dibandingkan eukariotik. Berikut bahasan lebih jelas mengenai mekanisme regulasi ekspresi gen pada prokariot dan eukariot.

B. PENGERTIAN EKSPRESI GEN

Ekspresi gen merupakan serangkaian proses penerjemahan informasi genetik dalam bentuk urutan basa pada DNA atau RNA menjadi protein atau proses penentuan sifat dari suatu organisme oleh gen. Gen sendiri tersusun dari molekul DNA, merupakan material genetik yang memiliki susunan nukleotida yaitu basa N (nitrogen), gula pentosa, dan gugus fosfat. Ekspresi gen dilakukan melalui dua tahap, yaitu mekanisme transkripsi dan translasi. Proses transkripsi terjadi di dalam inti sel, sedangkan translasi berlangsung di sitoplasma, sehingga RNA harus dikeluarkan dari inti sel ke sitoplasma.

RNA (asam ribonukleat) merupakan polimer panjang tidak bercabang yang terdiri dari nukleotida-nukleotida yang bersambung dengan ikatan 3'→5' fosfodiester. RNA menyusun 5-10% dari berat kering sel. Pada dasarnya, terdapat dua kelompok utama RNA yang menyusun makhluk hidup, yaitu RNA genetik dan RNA non-genetik. RNA genetik memiliki fungsi yang sama dengan DNA, sedangkan RNA non-genetik dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan letak dan fungsinya yaitu mRNA, tRNA, dan rRNA.

C. REGULASI EKSPRESI GEN PADA PROKARIOTIK

Kehidupan mudah sekali dikenali atau dicirikan, namun kehidupan sulit untuk didefinisikan. Dari berbagai referensi, setiap sel memiliki kemampuan untuk memproduksi enzim tertentu

hanya ketika dibutuhkan dan penting adanya pengaturan untuk hal tersebut. Pengendalian ekspresi gen merupakan aspek yang sangat penting bagi prokariot. Tanpa sistem pengendalian yang efisien, sel akan kehilangan banyak energi yang justru merugikan jasad hidup. Regulasi gen adalah sekelompok gen yang secara fungsional saling berhubungan, dalam arti mengatur dan mengontrol ekspresi dari beberapa gen. Regulasi ekspresi gen merupakan suatu hal yang penting untuk efisiensi penggunaan sumber sel yang terbatas.

Pada umumnya gen yang mengode protein pada prokariotik berupa gen dengan kopi tunggal (*single copy*), sedangkan gen yang mengode tRNA dan rRNA berupa gen dengan jumlah kopi banyak (*multiple copy*). Gen-gen yang bertanggungjawab dalam jalur biokimia tertentu pada umumnya diorganisasikan dalam struktur operon. **Suatu operon adalah organisasi beberapa gen struktural yang ekspresinya dikendalikan oleh satu promoter yang sama**, sebagai contoh adalah *operon lac*, yaitu operon yang mengendalikan kemampuan metabolisme laktosa pada bakteri *Escherichia coli*.

Mengapa tidak semua gen dapat mengode urutan asam amino untuk keperluan menyusun polipeptida? Tidak semua gen mengode urutan asam amino yang menyusun suatu polipeptida atau protein, gen dibagi menjadi 3 kelompok yaitu gen yang mengode protein (*protein-coding genes*), gen yang mengode RNA ribosom (rRNA), dan gen yang mengode tRNA. Urutan nukleotida DNA gen yang mengode protein akan ditranskripsi menjadi mRNA, dan selanjutnya urutan nukleotida mRNA ditranslasi menjadi urutan asam amino.

Secara umum, di dalam setiap perkembangan baik prokariot maupun eukariot ada dua sistem pengaktifan ekspresi gen yaitu ekspresi gen yaitu ekspresi gen secara konstitutif dan ekspresi gen secara induktif. Gen-Gen yang diekspresikan secara konstitutif praktis selalu diekspresikan dalam keadaan apapun. Sebaliknya jika ada kelompok gen yang hanya diekspresikan jika ada keadaan yang memungkinkan atau ada

proses induksi sehingga dikenal sebagai ekspresi gen secara induktif.

Pada bakteri, gen yang mengode enzim pada jalur metabolik biasanya berkelompok dalam kromosom dengan fungsi yang kompleks yang disebut operon. Sebuah operon bakteri biasanya terdiri dari gen struktural, wilayah promotor, wilayah operator, dan gen regulasi.

- Kode struktural gen untuk membuat enzimnya sendiri. Gen struktural operon biasanya berdekatan satu dengan lainnya. Sementara RNA polimerase bergerak dari satu struktur gen ke struktur lain di depannya, dan menyalin semua gen menjadi mRNA tunggal. mRNA kemudian diterjemahkan ke masing-masing enzim melalui berbagai jalur metabolisme. Akibatnya, jika satu gen menyala/hidup semua gen lainnya akan menyalakan produksi enzim dalam sebuah operon.
- Promotor adalah tempat di mana RNA polimerase mengikat DNA sebelum terjadinya transkripsi.
- Operator, yang biasanya berada berdekatan dengan atau tumpang tindih dengan promotor berfungsi sebagai tempat pengikatan protein, yang disebut represor.
- Represor ini adalah contoh dari regulasi gen protein-protein yang menunjukkan urutan tertentu pasangan basa dalam DNA dan mengikat dengan urutan keterkaitan yang tinggi. DNA-binding protein, seperti represor bakteri, memainkan peran utama dalam menentukan apakah dapat atau tidak segmen tertentu dari genom ditranskripsi.
- Gen regulator mengodekan protein represor.

Pada sel prokariotik memiliki beberapa susunan mekanisme regulasi yang penting. Sistem regulasi ekspresi gen pada prokariotik dikenal terbagi dalam dua jenis, yaitu sistem operon laktosa (*operon lac*) dan sistem operon triptopan (*operon trp*).

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 6-1** berikut!

TUGAS 6-1

Buatlah ilustrasi (gambar) mengenai organisasi operon pada bakteri, dan berikan penjelasannya!

Indikator: Penjelasan
(Menyajikan informasi secara benar dan rinci)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 6-1

Sistem Regulasi Operon Laktosa (*operon Lac*)

Kunci untuk ekspresi operon terletak pada represor. Pada saat represor mengikat operator, promotor terlindung dari polimerase, sehingga transkripsi struktural gen dapat dicegah. Kemampuan dari represor untuk mengikat operator dan menghambat transkripsi tergantung pada konformasi dari represor, yang diatur *allosterically* oleh senyawa kunci dalam jalur metabolisme, seperti laktosa atau triptofan. Konsentrasi substansi metabolisme adalah kunci yang menentukan apakah operon aktif atau tidak aktif pada waktu tertentu.

Interaksi antara berbagai elemen diilustrasikan oleh *operon lac*-sekelompok gen yang mengatur produksi enzim yang diperlukan untuk menurunkan laktosa dalam sel bakteri. *Operon lac* adalah contoh dari sebuah operon yang dapat diinduksi, yang merupakan zat kunci metabolik (dalam hal ini, laktosa) untuk menginduksi transkripsi gen-gen struktural. Dalam ***operon lac* terdapat tiga macam gen struktural yang mengode protein yang berbeda, yaitu, gen Z (mengode enzim β -galaktosidase), gen Y (mengode permease), dan gen A (mengode transasetilase)**. Masing-masing gen struktural tersebut mempunyai kodon inisiasi dan kodon terminasi, tetapi ekspresinya

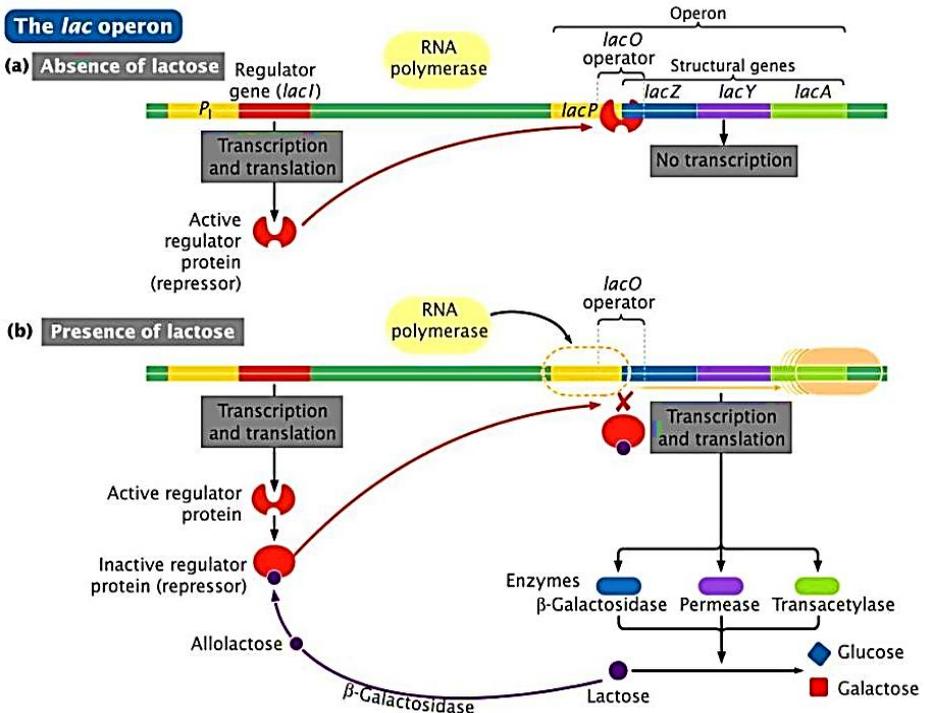
dikendalikan oleh satu promoter yang sama. Pada saat transkripsi, operon *lac* akan menghasilkan satu mRNA yang membawa kode-kode genetik untuk tiga macam polipeptida yang berbeda (mRNA polisistronik), masing-masing polipeptida akan ditranslasi secara independen dari satu untai mRNA yang sama. mRNA *lac* yang polisistronik tersebut akan ditranslasi menghasilkan tiga macam protein yang mempunyai struktur dan fungsi yang berbeda dalam proses metabolisme laktosa.

Pengaturan ekspresi operon laktosa dilakukan oleh suatu protein regulator yang akan berinteraksi dengan promotor, yang akan menentukan berjalan atau inisiasi transkripsi yang dilakukan oleh transkriptase. Protein pengatur dihasilkan oleh gen regulator, yaitu gen yang produk ekspresinya berperan mengatur ekspresi gen lain. Dalam peristiwa operon laktosa terdapat dua gen regulator yaitu gen *lac-I* dan gen *crp*. Gen *lac-I* berhubungan dengan kehadiran laktosa, sedangkan gen *crp* menandai kehadiran glukosa. Gen yang diatur tersebut dinamakan gen struktural, sebagai contoh gen *lacZ*, *lacY*, dan *lacA* pada operon laktosa. Jadi gen regulator berperan mengatur ekspresi gen struktural.

Gen *lac-I* akan menghasilkan suatu polipeptida, yang kemudian setiap empat polipeptida akan membentuk satu molekul protein tetramer yang berperan sebagai regulator. Dalam proses regulasi, protein tetramer ini akan menempel pada suatu wilayah promotor yang disebut operator. Penempelan itu terjadi karena ada kecocokan tertentu antara runtunan basa operator dengan protein regulator. Akibat adanya protein regulator yang menempati wilayah operator maka transkriptase tidak dapat melakukan inisiasi transkripsi, sehingga gen-gen yang terdapat di belakang promotor menjadi tidak terekspresi.

Protein regulator seperti di atas bersifat menghalangi atau menekan terjadinya transkripsi, maka disebut represor. Lawan sifat dari represor disebut aktivator, yaitu yang bersifat mendorong terjadinya ekspresi gen. Kehadiran laktosa pada media tumbuh akan mendorong terjadinya ekspresi operon laktosa atau terjadi sintesis β -galaktosidase. Berarti kehadiran

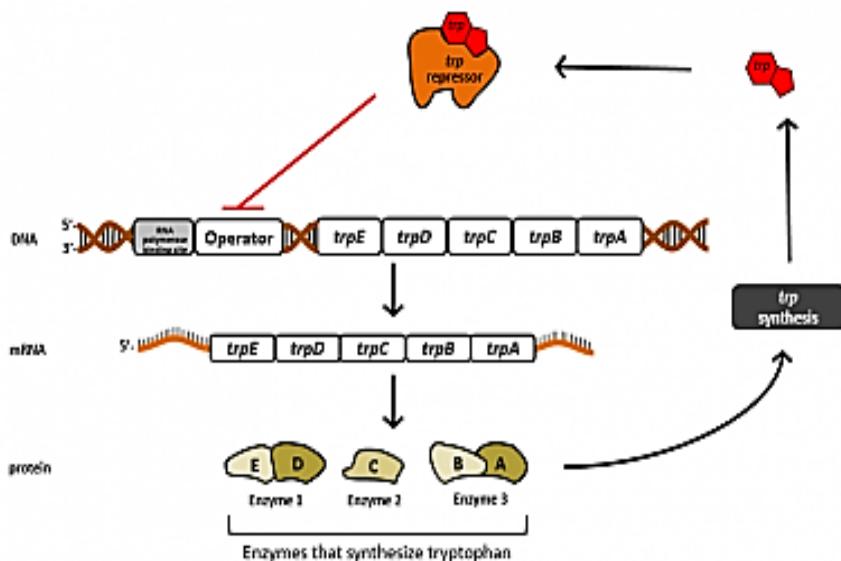
laktosa harus mampu melepaskan protein regulator dari promotor agar terjadi ekspresi gen *lacZ* untuk menghasilkan β -galaktosidase. Dalam sistem regulasi ini, laktosa yang diambil oleh bakteri dapat berinteraksi dengan protein regulator dan asosiasi tersebut akan mengubah konfigurasi molekul protein regulator. Perubahan konfigurasi pada protein represor menyebabkan protein tersebut menjadi tidak mampu berasosiasi dengan operator. Dengan tidak adanya inhibitor pada promotor maka transkriptase menjadi tidak terhalang untuk melakukan inisiasi transkripsi, dan terjadi ekspresi gen-gen pada operon laktosa. Berikut **Gambar 6-1** mengilustrasikan mekanisme operon *lac*.



Gambar 6-1 Mekanisme Operon Lac
<https://microbeonline.com/lac-operon-mechanism/>

Perlu diketahui bahwa laktosa adalah disakarida yang terdiri dari glukosa dan galaktosa. Laktosa ini mengalami oksidasi yang dapat menyediakan energi sel melalui metabolisme. Tahap pertama katabolisme (degradasi) laktosa adalah menghidrolisis ikatan (sebuah ikatan β -galaktosida) yang menggabungkan dua gula, katalisator reaksi ini adalah enzim β -galaktosidase. Ketika sel-sel bakteri tumbuh dalam kondisi sedikit laktosa, maka sel-sel tidak memerlukan β -galaktosidase. Dalam kondisi sedikit laktosa ini, sel rata-rata berisi kurang dari lima salinan β -galaktosidase dan satu salinan dari mRNA. Beberapa menit setelah molekul glukosa ditambahkan ke dalam media kultur, dalam sel akan berkembang jumlah β -galaktosidase menjadi 1000 kali. Hal ini terjadi karena laktosa telah menginduksi sintesis dari enzim β -galaktosidase.

Sistem Regulasi Operon Tryptopan (*operon trp*)



Gambar 6-2 Mekanisme Operon Trp

(Crowther, A. et al. (2018). Course Source. <https://doi.org/10.24918/cs.2018.9>)

Gambar 6-2 mengilustrasikan mekanisme operon triptofan (operon *Trp*). Pada operon *trp* terdapat lima gen struktural yaitu *trp-E*, *trp-D*, *trp-C*, *trp-B*, dan *trp-A*, serta *trp-L* sebagai pengawal regulasi. Gen *trp-E* sampai *trp-A* keseluruhannya mengkode enzim yang berperan dalam satu lintasan metabolisme triptofan. Dan *trp-L* adalah gen yang terdekat dengan promotor.

Transkripsi *Trp* operon menggunakan kode penekan dari beberapa gen yang berjauhan dari *Trp* operon. Seperti *lac repressor*, *trp repressor* dapat keluar melalui dua bentuk yaitu pertama, dapat berikatan dengan operator dan menghalangi transkripsi, bentuk kedua yaitu tidak dapat berikatan dengan operator dan kemudian transkripsi gen terjadi. Jika tryptophan ada akan terikat pada *trp repressor* maka akan menyebabkan perubahan bentuk. Hasil dari penggabungan ini akan mengikat operator dan menekan terjadinya transkripsi (hal ini merupakan contoh kontrol negatif). Ketika tidak ada *tryptophan*, *repressor* tidak dapat mengikat dan kemudian enzim dihasilkan maka asam amino yang dibutuhkan akan disintesis.

D. REGULASI EKSPRESI GEN PADA EUKARIOT

Dasar molekuler untuk regulasi ekspresi gen pada sel eukariot terutama pada manusia menjadi satu dari paling banyak dipelajari dalam biologi molekuler. Tujuan utamanya adalah untuk menemukan bagaimana gen berpartisipasi dalam mengontrol program yang terlihat pada pertumbuhan dan perkembangan sel. Regulasi ekspresi gen pada eukariot dikontrol oleh mekanisme yang kompleks, dan tidak diorganisasi di operon.

Setidaknya ada 3 faktor penting untuk memahami ekspresi gen pada eukariot, yaitu sinyal molekuler, hirarki molekuler, dan mekanismenya. Regulasi ekspresi gen pada eukariot berlangsung pada beberapa tingkat aspek genomik, mulai dari tingkat struktur kromosom (DNA) hingga tingkat pasca translasi.

Regulasi Pada Tingkat Struktur Kromosom (DNA)

Regulasi pada tingkat DNA diawali dari adanya modifikasi kimia dari DNA. Residu sitosin pada DNA dapat mengalami metilasi untuk menghasilkan 5-metilsitosin sehingga memengaruhi ekspresi gen. Status metilasi dari gen selama perkembangan adalah indikator penting dalam proses diferensiasi sel.

Proses diferensiasi sel berjalan bersamaan dengan proses pertumbuhan dan perkembangan individu. Bersamaan dengan proses mitosis, saat membentuk sel baru, terjadi proses pengkhususan sel anak dengan cara membedakan gen-gen yang akan berekspresi pada kedua sel anak tersebut. Terjadi pemilihan gen-gen yang secara permanen berekspresi dan yang secara permanen tidak berekspresi. Jadi, diferensiasi sel merupakan hasil pemilihan gen-gen yang diekspresikan atau tidak diekspresikan pada sel. Munculnya sel yang terspesialisasi merupakan hasil dari pemilihan gen-gen yang harus berekspresi dan gen-gen yang tidak diaktifkan.

Kromosom eukariot tersusun atas dua komponen yaitu DNA dan protein histon. DNA mengandung informasi untuk mengendalikan kehidupan, dan histon berfungsi untuk melindungi DNA dari kerusakan mekanik, misalnya putus saat bergerak pada waktu mitosis dan meiosis. Kromosom yang nampak di bawah mikroskop cahaya pada saat mitosis atau meiosis merupakan hasil penggulungan DNA pada histon. Penggulungan ini berlangsung melalui beberapa tingkat. Kromosom yang berada dalam fase di luar mitosis atau meiosis secara umum berada dalam keadaan tidak tergulung. Sedangkan kromosom yang berada dalam keadaan tergulung gennya tidak berekspresi. Gen-gen yang secara permanen tidak diekspresikan pada suatu jaringan, kemungkinan besar DNA-nya berada dalam keadaan tergulung.

Kromosom dari jaringan yang berbeda, dan dari tahapan perkembangannya yang berbeda menunjukkan bahwa wilayah heterokromatin dapat berubah menjadi eukromatin. Sebaliknya eukromatin juga dapat berubah menjadi heterokromatin. Hal ini

menunjukkan bahwa antar jaringan terdapat perbedaan gen yang aktif berekspresi, dan menunjukkan bahwa diferensiasi sel merupakan tahapan penentuan jenis gen yang secara permanen diekspresikan atau tidak diekspresikan pada setiap jenis sel.

Regulasi Ekspresi Gen pada Tingkat Transkripsi

Seperti dalam sel prokariotik, perbedaan transkripsi gen merupakan mekanisme yang paling penting agar sel-sel eukariotik dapat mensintesis protein yang dipilih pada waktu tertentu. Bukti-bukti menunjukkan bahwa gen yang berbeda diekspresikan oleh sel-sel pada berbagai tahap perkembangan embrio, oleh sel-sel dalam jaringan yang berbeda, dan oleh sel-sel yang mendapat berbagai jenis rangsangan.

Kontrol transkripsi ini diatur oleh sejumlah besar protein, yang disebut faktor transkripsi. Protein ini dapat dibagi menjadi dua kelas fungsional, yaitu faktor transkripsi umum yang mengikat di situs promotor inti dalam hubungan dengan polimerase RNA, yang kedua adalah faktor-faktor transkripsi urutan-spesifik yang mengikat ke situs berbagai regulasi gen tertentu. Kelompok kedua faktor transkripsi dapat bertindak baik sebagai aktivator transkripsi yang merangsang transkripsi dari gen yang berdekatan atau sebagai represor transkripsi yang menghambat transkripsi. Dalam hal ini, kita akan fokus pada bagian aktivator transkripsi, yang tugasnya adalah untuk mengikat ke situs peraturan tertentu dalam DNA untuk kemudian memulai menjelaskan bagaimana sejumlah besar protein kompleks membawa tentang transkripsi yang sebenarnya dari gen itu sendiri.

Faktor transkripsi biasanya mengandung setidaknya dua domain, yaitu domain DNA binding yang mengikat urutan spesifik dari pasangan basa dalam DNA, dan sebuah domain aktivasi yang mengatur transkripsi dengan berinteraksi dengan protein lain. Selain itu, faktor transkripsi banyak mengandung permukaan yang mempromosikan pengikatan protein dengan protein lain struktur yang identik atau serupa untuk membentuk dimer. Formasi dari dimer terbukti menjadi fitur umum dari

berbagai jenis faktor transkripsi dan memegang peran penting dalam mengatur ekspresi gen.

Pada eukariot sering terdapat gen-gen penyandi enzim untuk lintasan metabolisme yang sama terdapat secara tepencar pada berbagai kromosom. Koordinasi ekspresi gen kelihatannya sangat bergantung pada asosiasi antara ruas-ruas pemacu dengan gen-gen yang terpecah tersebut. Sejumlah faktor translasi yang mengenali runtutan basa dari ruas tersebut akan menempel pada ruas-ruas tersebut dan secara serempak menjalankan transkripsi dari gen-gen tersebut.

Regulasi Ekspresi Gen Pada Tingkat Pasca Transkripsi

Struktur mRNA eukariot tidak sama dengan RNA prokariotik. Pada hnRNA sebagai molekul hasil transkripsi terdapat ruang intron dan ekson. Bagian intron akan dipotong dan hanya bagian eksornya yang dipertahankan untuk membentuk mRNA. Pemilihan ruas intron dan ekson dapat merupakan salah satu cara regulasi. Dengan cara memilih ruas hnRNA mana yang akan diambil (sebagai ekson) atau akan dibuang (sebagai intron), maka dari satu ruas gen yang sama dapat disandikan dua jenis mRNA atau polipeptida.

Sebagai contoh pada tikus, enzim amilase yang dihasilkan oleh kelenjar ludah dengan yang dihasilkan pada hati. Pada lalat buah, perbedaan antara lalat jantan dan betina ditentukan oleh gugus protein, yang satu khas pada jantan dan yang lain pada betina. Kedua protein ini disandikan oleh gen yang sama, yang berbeda hanya pada cara pemilihan intron dan eksornya.

Regulasi Ekspresi Gen Pada Tingkat Translasi

Setelah mRNA masuk ke dalam sitoplasma akan terjadi proses translasi menghasilkan protein. Regulasi dapat terjadi pada tahapan ini, yang meliputi berbagai cara termasuk degradasi mRNA, inisiasi translasi, pengaktifan protein, dan degradasi protein. Ada tiga metode utama yang sudah diketahui dari sel-sel eukariotik untuk meregulasi pembuatan proteinnya pada tahap translasi, yaitu dengan cara mengubah

waktu paruh atau stabilitas mRNA, dengan mengontrol inisiasi dan laju translasi, dan modifikasi protein setelah translasi.

Regulasi tingkat Pasca Translasi

Sebelum menjadi protein aktif atau fungsional, polipeptida hasil transkripsi akan mengalami suatu pemrosesan agar dapat membentuk struktur fungsionalnya. Proses ini melibatkan pemotongan rantai polipeptida atau penambahan asam amino baru atau senyawa lain seperti karbohidrat pada rantai polipeptida. Sebagai contoh polipeptida yang akan ditranspor melewati membran akan mengandung ruas signal transpor dibagian hulu rantainya. Ruas signal transpor akan berperan membawa polipeptida melewati pori-pori membran. Ruas signal ini akan dipotong setelah polipeptida melewati membran. Insulin aktif mengandung dua rantai asam amino, namun kedua rantai tersebut berasal dari satu polipeptida hasil transkripsi. Translasi menghasilkan pra-preinsulin yang mengandung ruas signal dan ruas pre-insulin. Insulin akan ditranspor melewati membran. Setelah melalui membran ruas signal dipotong sehingga menyisakan ruas pre-insulin. Selanjutnya pre-insulin dipotong kembali menghasilkan dua rantai insulin fungsional.

Modifikasi pasca translasi dapat menyebabkan protein terpeptolisis, contohnya yaitu ubikuitinasi. Ubikuitin adalah suatu protein kecil yang jika melekat secara kovalen ke protein target akan memberikan sinyal penghancuran bagi protein target tersebut oleh sebuah kompleks protein yang dikenal sebagai proteosom. Banyak gen yang terlibat dalam regulasi siklus sel dihancurkan dengan cepat oleh mekanisme tersebut. Hal itu memungkinkan protein-protein yang baru dihasilkan untuk meneruskan langkah berikutnya. Misalnya pada modifikasi fosforilasi adalah mekanisme yang meregulasi aktivitas protein yang dapat mengarah pada regulasi pembuatan protein. Fosforilasi dilangsungkan oleh enzim yang disebut kinase. Residu fosfat dapat disingkirkan oleh enzim yang disebut defosforilase. Dalam sistem kompleks, seringkali ada serangkaian kinase dan defosforilase yang mengaktifkan serangkaian target protein,

yang pada akhirnya mengarah pada suatu faktor transkripsi. Faktor transkripsi lalu menjadi teraktivasi (akibat fosforilasi dan defosforilasi) sehingga mengakibatkan regulasi transkripsi suatu gen.

Sebuah mekanisme kontrol pascatranslasi lainnya melibatkan pemrosesan protein. Eukariot mensintesis hanya mRNA monosistronik, tapi rantai-rantai polipeptida tunggal yang dihasilkan bisa dipotong-potong menjadi dua atau lebih komponen protein fungsional. Sebuah protein multi komponen semacam itu disebut poliprotein. Berikut adalah **Gambar 6-3** yang mengilustrasikan secara keseluruhan proses regulasi ekspresi gen pada sel eukariot.

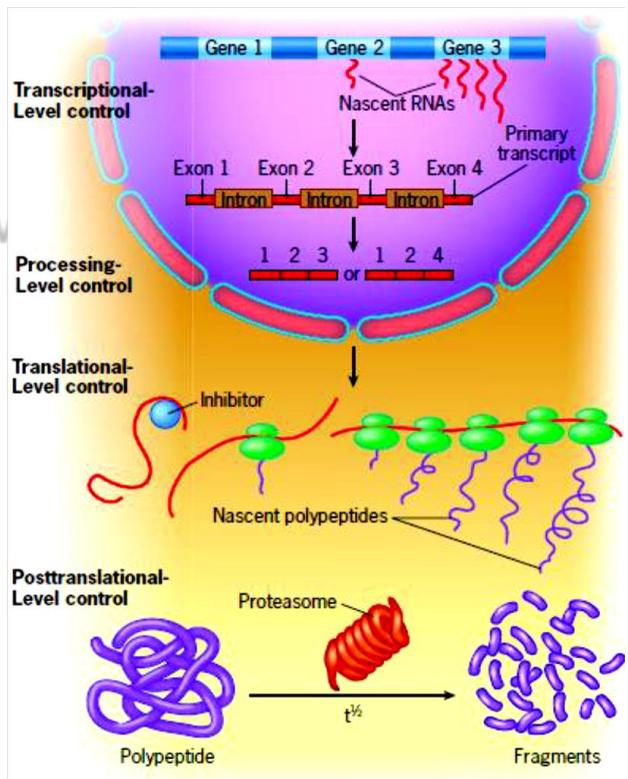
Gambar 6-3. Ilustrasi Regulasi Ekspresi Gen Pada Eukariot

Regulasi tingkat transkripsional beroperasi dengan menentukan gen mana yang ditranskripsi dan seberapa sering.

Regulasi tingkat pemrosesan beroperasi dengan menentukan bagian mana dari transkrip primer yang menjadi bagian dari kumpulan mRNA seluler.

Regulasi tingkat translasi mengatur apakah mRNA tertentu diterjemahkan dan, jika demikian, seberapa sering dan untuk berapa lama.

Regulasi tingkat posttranslasi menentukan umur panjang spesifik protein.
(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)



KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?
Kerjakan **TUGAS 6-2** berikut!

TUGAS 6-2

Berdasarkan dari penjelasan tersebut, buatlah tabel perbedaan yang mendasari proses regulasi ekspresi gen antara prokariot dengan eukariot!

**Indikator: Interpretasi
(Menafsirkan/Menjelaskan/Mengklarifikasi
informasi)**

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 6-2

Mekanisme regulasi ekspresi gen yang terjadi pada prokariot ataupun eukariot tentu membuat kita semakin memahami bahwa untuk keberlangsungan hidup dibutuhkan regulasi agar tetap berjalan dengan baik. Masing-masing komponen berperan dan memiliki tanggungjawabnya sendiri dalam proses regulasi tersebut. Regulasi gen terjadi dalam berbagai tingkatan, mulai dari tingkat DNA hingga tingkat pasca translasi. Setiap prosesnya tentu diatur sedemikian agar berjalan sempurna. Konsep regulasi ekspresi gen secara implisit tercantum dalam QS Yunus ayat 61:

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتْلُوا مِنْهُ مِنْ قُرْآنٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ
 عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ وَمَا يَعْزُبُ عَنْ
 رَبِّكَ مِنْ مِثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ
 ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ ﴿٦١﴾

“Dan tidakkah engkau (Muhammad) berada dalam suatu urusan, dan tidak membaca suatu ayat Al-Qur'an serta tidak pula kamu melakukan suatu pekerjaan, melainkan Kami menjadi saksi atasmu ketika kamu melakukannya. Tidak lengah sedikit pun dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah, baik di bumi ataupun di langit. Tidak ada sesuatu yang lebih kecil dan yang lebih besar daripada itu, melainkan semua tercatat dalam Kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)”.

QS Yunus ayat 61 tersebut menegaskan bahwa seluruh perbuatan manusia selalu berada dalam pengawasan Allah. Bila dipahami lebih dalam, kalimat terjemahan *“Tidak lengah sedikit pun dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah”* diartikan bahwa *“zarah”* dianalogikan sebagai benda yang berukuran sekecil atom. Itu berarti Allah SWT Maha Melihat segala macam amalan yang dilakukan oleh hamba-Nya, tidak ada satupun yang luput dari ilmu dan pengawasan Allah, meskipun amalan itu lebih kecil dari benda yang terkecil, ataupun urusan itu maha penting sehingga tak terkendalikan oleh manusia.

Disebutkannya urusan yang kecil dari yang terkecil dan urusan yang maha penting, agar tergambar dalam hati para hamba-Nya, bahwa ilmu Allah itu begitu sempurna sehingga tidak ada satu urusanpun yang luput dari ilmu-Nya, bagaimanapun remahnya urusan itu dan bagaimana pentingnya urusan itu, apalagi urusan itu di luar kemampuan manusia. Ilmu Allah tidak hanya meliputi segala macam urusan yang ada di bumi, tetapi. Juga meliputi segala macam urusan di langit, yang

urusannya lebih rumit dan lebih sukar tergambar dalam pikiran manusia. Hal ini untuk menguatkan arti dari keluasan ilmu Allah, sehingga terasalah keagungan dan kekuasaan-Nya.

Di akhir ayat ini, Allah menyatakan dengan tegas bahwa tidak ada satu urusanpun melainkan telah tercatat dalam kitab yang nyata yaitu *Lauh Mahfuzh*, maksudnya segala macam urusan itu semuanya dikontrol dan dikendalikan serta dikuasai oleh ilmu Allah Yang Maha Luas dan tercatat dalam kitab-Nya yang jelas di *Lauh Mahfuzh*. Hal tersebut menggambarkan segala proses yang terjadi di alam semesta sudah tertulis dalam Al Qur'an. Bahkan bagian terkecil dari makhluk hidup (seperti DNA, RNA, dan protein) pun telah tertulis dalam Al Qur'an, dan Allah SWT Maha Mengetahui detailnya sehingga mudah bagi Allah SWT untuk mengatur proses regulasi tersebut.

Ketepatan sel melakukan proses regulasi ekspresi gen adalah bentuk kuasa dari Allah SWT, di mana Allah SWT bekerja dengan cara-Nya, penuh ketelitian dan keseimbangan untuk kesempurnaan hasil ciptaan-Nya. Keteraturan dalam proses regulasi ekspresi gen juga mengajarkan kita untuk dapat disiplin menjalani kehidupan terutama dalam beribadah. Dengan mengutamakan disiplin dalam beribadah, maka hidup akan menjadi seimbang.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Yunus ayat 61 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Menjauhkan diri dari sifat sombong, Disiplin, Bertanggungjawab**

**Dapatkah kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

EVALUASI BELAJAR MU!

☆ Apakah saya sudah menguasai seluruh pokok bahasan ini?

Catat kembali dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

Jika belum, pelajari kembali dan kerjakan pertanyaan-pertanyaan kotak **TUGAS 6-1** dan **TUGAS 6-2**

☆ Apakah saya sudah benar-benar memahami materi yang telah dipelajari?

Jawablah pertanyaan pada **LATIHAN SOAL**

E. LATIHAN SOAL

1. Apa yang akan terjadi jika sel bakteri *E. coli* memiliki laktosa dan glukosa dalam mekanisme regulasi operan *lac* -nya?

(Indikator: Analisis, Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan
LATIHAN SOAL
berikut!

2. Apa yang membedakan proses regulasi antara prokariot dengan eukariot pada level transkripsi?

(Indikator: Analisis, Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)

UMPAN BALIK

☆ Apakah Anda sudah mampu menyelesaikan semua **TUGAS** dan **LATIHAN SOAL**?

Jika belum, pelajari kembali urutan materi yang dibahas.

REFERENSI

- Al Fatih. (Februari, 2013). *Al Qur'an dan Terjemahannya, Mushaf Khadijah*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology 4th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular biology of the cell 6th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Crowther, A., Bergan-Roller, H.E., Galt, N.J., Booth, C., Dauer, J.T., & Helikar, T. (2018). Discovering Prokaryotic Gene Regulation with Simulations of the trp Operon. *Course Source*. <https://doi.org/10.24918/cs.2018.9>.
- Fatchiyah., Arumingtyas, E.L., Widyarti, S., & Rahayu, S. (2011). *Biologi Molekular: Prinsip Dasar Analisis*. Jakarta: Erlangga.
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>.
- Jusuf, M. (tanpa tahun). *Modul Regulasi Ekspresi Gen*. Jurusan Biologi FMIPA Institut Pertanian Bogor. Available from: <http://web.ipb.ac.id/~tpb/files/materi/genetika/regulasi/regulasitextpdf.pdf> (24 halaman).
- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology (Concepts and Experiments)*. 7th Edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al Qur'an-LPMQ. (2019). *Qur'an Kemenag in Word Add-Ins*. Jakarta: Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Microbe Online. (2019). *Lac Operon: Mechanism and Regulation*. Available from: <https://microbeonline.com/lac-operon-mechanism/>.
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P., Jackson, R.B., & Campbell, N.A. (2011). *Campbell Biology, 9th edition*. San Fransisco: Pearson.
- Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). *TafsirWeb*. Available from: <https://tafsirweb.com/>
- Yuwono, T. (2005). *Biologi Molekular*. Jakarta: Erlangga.

Petunjuk:

Gunakan kotak LATIHAN SOAL untuk menjawab pertanyaan bagian LATIHAN SOAL, atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

LATIHAN SOAL

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Petunjuk:

Tuliskan hasil pemahaman Anda pada kotak REFLEKSI DIRI atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

REFLEKSI DIRI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



PERANAN BIOLOGI SEL DAN MOLEKULER DALAM KEHIDUPAN

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai peranan Biologi sel dan molekuler dalam berbagai bidang kehidupan
CPMK	Mahasiswa mampu menganalisis Peranan Biologi Sel dan Molekuler dalam kehidupan sehari-hari
Sub-CPMK	Mahasiswa mampu: <ul style="list-style-type: none">▪ memahami tentang implikasi biologi sel dan molekuler pada bidang pertanian, industri, dan lingkungan▪ menganalisis keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan nilai karakter dalam kehidupan

MERAIH SUKSES BELAJAR

RENCANAKAN Belajar mu!

- ☆ Pengetahuan apa yang harus dimiliki? ➤ Bacalah pada kolom **Deskripsi**
- ☆ Apa yang harus dimiliki setelah belajar? ➤ Bacalah pada kolom **Sub-CPMK**

KONTROL Belajar mu!

- ☆ Materi apa yang sudah dipahami? ➤ Tuliskan pada kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika ada materi yang belum dipahami? ➤ Kerjakan pertanyaan yang ada di kotak **TUGAS**

EVALUASI Belajar mu!

- ☆ Kerjakan Latihan Soal! ➤ Tuliskan pada kotak **LATIHAN SOAL**
- ☆ Kerjakan Tugas! ➤ Kerjakan secara individu
- ☆ Apa yang harus dilakukan jika belum paham pada bahasan ini? ➤ Perhatikan kotak **UMPAN BALIK**

RENCANAKAN BELAJAR MU!

Sebelum memulai belajar, rencanakan dahulu belajar mu!

☆ **Pengetahuan apa yang harus dimiliki?**

Bacalah kolom **DESKRIPSI**, lalu bacalah beberapa referensi lain tentang hal tersebut!

☆ **Apa yang harus dimiliki setelah belajar?**

Bacalah kolom **SUB-CPMK**, sehingga kamu mempersiapkan agar capaian mata kuliah terlaksana dengan baik

B iologi sel dan molekuler merupakan cabang dari ilmu Biologi, adalah studi tentang bagaimana sel bekerja dan interaksi molekul yang ada di dalamnya. Keberadaan kajian biologi sel dan biologi molekuler tentunya bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan dalam kehidupan. Seperti yang kita ketahui, biologi sel adalah ilmu yang mempelajari sel, mencakup pengertian, organel yang ada di dalamnya, serta fungsinya. Sementara biologi molekuler adalah ilmu multidisiplin karena mencakup biologi sel, biokimia, dan genetika, atau dapat juga dikatan bahwa biologi molekuler mempelajari bagaimana pertumbuhan dan perkembangan sel. Mempelajari konsep dalam biologi sel dan molekuler tentunya memberikan implikasi dalam berbagai aspek kehidupan. Pada bab ini akan dibahas peranan biologi sel dan molekuler dalam bidang pertanian, industri, dan lingkungan.

A. PENGANTAR

Setiap cabang keilmuan memiliki bidang kajian berbeda-beda namun dalam perananannya ilmu tersebut saling melengkapi guna pemenuhan kebutuhan, peningkatan kesejahteraan, upaya pencegahan bahkan penanganan suatu masalah. Dalam hal ini berkaitan dengan kajian dibidang biologi tentang biologi sel molekuler merujuk pada berbagai bidang keilmuan, biologi itu sendiri mengkaji dari makhluk hidup, oleh makhluk hidup (manusia) bahkan untuk manusia.

Berbagai upaya banyak dilakukan oleh manusia sebagai bentuk aktualisasi diri atas pemahaman yang dimiliki. Sebagai

contoh seorang dokter akan mengaktualisasikan dirinya melalui praktek di rumah sakit atau praktek mandiri. Contoh lainnya adalah sarjana pertanian akan mengabdikan dirinya dalam lingkungan masyarakat untuk mengembangkan produksi pangan yang berkualitas tinggi, dan masih banyak contoh lainnya.

Allah SWT berfirman dalam QS Al Baqarah ayat 29 berikut:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ
فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

“Dialah (Allah) yang menciptakan segala apa yang ada di bumi untukmu kemudian Dia menuju ke langit, lalu Dia menyempurnakannya menjadi tujuh langit. Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu”.

QS Al Baqarah ayat 29 tersebut ditafsirkan bahwa Allah SWT telah menganugerahkan karunia yang besar kepada manusia, menciptakan langit dan bumi untuk manusia, untuk diambil manfaatnya, sehingga manusia dapat menjaga kelangsungan hidupnya dan agar manusia berbakti kepada Allah penciptanya, kepada keluarga dan masyarakat. Allah telah menciptakan segala yang terdapat di muka bumi beserta isinya, tanpa terkecuali sel yang memiliki ukuran mikroskopis. Semua ciptaan-Nya merupakan bukti kekuasaan Allah SWT.

Pada akhir ayat tersebut, Allah menyebutkan *“Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu”* maksudnya bahwa alam semesta ini diatur dengan hukum-hukum Allah, baik benda itu kecil maupun besar, tampak atau tidak tampak. Semuanya diatur, dikuasai dan diketahuioeh Allah SWT. Ayat ini mengisyaratkan agar manusia menuntut ilmu untuk memikirkan segala macam ciptaan Allah, sehingga dapt menambah iman dan memurnikan ketaatan kepada Allah.

Dengan begitu, tugas manusia harus selalu bersyukur dan beriman kepada-Nya. Dan semesta tercipta agar kita dapat merenungkan, mempelajari, dan mengeksplorasi apapun yang diciptakan oleh-Nya sehingga bermanfaat bagi kehidupan.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al Baqarah ayat 29 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan, Menjauhkan diri dari sifat sombong**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

Pentingnya mempelajari biologi sel dan molekuler akan berguna untuk menyelesaikan permasalahan dalam kehidupan. Biologi sel, khususnya biologi molekuler berhubungan sangat erat dengan biokimia, genetika, fisika dan matematika. Biologi molekuler memfokuskan dalam interaksi sel termasuk interaksi antara molekul DNA, RNA dan protein serta regulasi interaksinya. Adanya penemuan struktur dan fungsi materi genetik DNA yang mengatur proses biokimiawi sel dan pesatnya perkembangan penelitian tehnik biologi molekul, telah menghasilkan teknologi baru dalam bentuk multidisiplin bioteknologi. Bioteknologi tidak saja diartikan sebagai suatu teknik eksploitasi potensi biomikiawi organisma, tetapi merupakan suatu teknik memilih dan mengembangkan sifat genetik unggul suatu organisme.

Berikut lebih lanjut akan membahas peranan Biologi sel dan molekuler dalam berbagai bidang kehidupan, antara lain bidang pertanian, industri, dan lingkungan.

B. PERANAN BIOLOGI SEL DAN MOLEKULER BIDANG PERTANIAN

Peningkatan kebutuhan pangan dan keberagaman keinginan manusia yang terjadi saat ini mendorong para ilmuwan untuk terus berinovasi. Kajian biologi sel dan molekuler berperan dalam menyeleksi suatu variasi yang unggul dalam populasinya, sehingga produk yang dihasilkan dapat memberikan kebermanfaatan bagi kehidupan. Teknologi tersebut dikenal dengan *molecular farming*, adalah penggunaan tanaman untuk direkayasa sesuai kebutuhan-keinginan, merupakan suatu terobosan yang dapat menurunkan biaya produksi dibanding cara konvensional.

Rekayasa genetika merupakan salah satu contoh penggunaan dari teknologi molekuler yang umumnya dilakukan guna tercapainya kebutuhan dalam bidang pertanian. Rekayasa genetika dilakukan untuk menghasilkan produk pangan yang unggul melalui DNA rekombinan yang dikonstruksi dengan menggabungkan materi genetika dari dua atau lebih sumber yang berbeda, atau melakukan perubahan secara terarah pada suatu materi genetika tertentu. Selain rekayasa genetika, banyak cara atau teknik-teknik biologi molekuler yang dapat dipergunakan dalam bidang pertanian antara lain:

- Teknik pemuliaan tanaman selektif, yaitu menggabungkan materi genetika dari sumber yang berbeda untuk menghasilkan organisme yang memiliki sifat-sifat baru yang berguna. Meskipun pada dasarnya rekayasa genetika dan pemuliaan selektif memiliki kesamaan, namun kedua teknik itu juga memiliki perbedaan-perbedaan penting.
- Pemanfaatan marka molekuler (dengan mengidentifikasi DNA dalam genom) seperti jagung dan padi.
- Pemanfaatan sumber daya genetik yang dikenal dengan istilah bioprospeksi. Bioprospeksi adalah kegiatan eksplorasi material-material biologis dengan mendapatkan gen dan sifat biokimia yang dapat dikomersilkan.

KONTROL BELAJAR MU!

- ☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**
Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
- ☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**
Kerjakan **TUGAS 7-1** berikut!

TUGAS 7-1

Apa yang Anda ketahui tentang teknik-teknik molekuler dalam bidang pertanian? Berikan penjelasannya!

Indikator: Penjelasan
(Menyajikan informasi secara benar dan rinci)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 7-1

C. PERANAN BIOLOGI SEL DAN MOLEKULER BIDANG INDUSTRI

Perkembangan teknologi yang progresif saat ini sangat mendukung pengembangan ilmu biologi dalam bidang industri sebagai pemenuhan kebutuhan manusia sehari-hari. Peranan biologi sel dan molekuler dalam bidang industri yang pertama adalah penanganan limbah industri seperti contoh isolasi khamir dari limbah industri, atau pengolahan sampah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Kedua yaitu pengolahan limbah menjadi produk yang memiliki nilai guna seperti ekstraksi biji jeruk untuk menghambat bakteri *e-coli*.

Kini aplikasi dari biologi sel khususnya biologi molekuler berperan dalam prospek pengembangan sumber energi terbarukan. Melalui bioteknologi molekuler akan tercipta produk bio energi yang diolah dari tanaman hasil pertanian, misalnya produksi bioethanol dari tetes tebu (molasses). Contoh lainnya adalah aplikasi teknologi molekuler *monosex culture* yang diterapkan dalam budidaya perairan (ranah industri perikanan) atau akuakultur.

D. PERANAN BIOLOGI SEL DAN MOLEKULER BIDANG LINGKUNGAN

Lingkungan merupakan bagian penting dalam kehidupan di bumi, karena dengan adanya lingkungan setiap makhluk hidup dapat melangsungkan seluruh aktivitasnya. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk mengupayakan kelestarian lingkungan. Salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan kajian ilmu biologi sel dan molekuler. Adapun peranan yang dapat kita terapkan dari adanya biologi sel molekuler adalah sebagai berikut:

- Pengembangan konservasi keanekaragaman hayati.
- Penggunaan teknik-teknik maupun teknologi yang mutakhir seperti DNA rekombinan, fusi protoplas, koleksi mikroba, ataupun kultur sel.
- Pengendalian penyakit pada tanaman seperti contoh perkembangan infeksi suatu penyakit dalam tanaman inangnyamaupun pengaruh faktor lingkungan terhadap kejadian, keparahan serangan dan penyebaran suatu OPT (Organisme Pengganggu Tanaman).

KONTROL BELAJAR MU!

☆ **Apa yang sudah saya pahami dari materi ini?**

Catatlah dalam kotak **REFLEKSI DIRI**

☆ **Apa yang harus saya lakukan jika belum paham?**

Kerjakan **TUGAS 7-2** berikut!

TUGAS 7-2

Lingkungan tidak bisa lepas dari keanekaragaman hayati yang ada di dalamnya. Jelaskan bagaimana peran kajian Biologi sel dan molekuler dalam hal pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati tersebut!

Indikator: Interpretasi
(Menafsirkan/Menjelaskan/Mengklarifikasi informasi)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan kotak
TUGAS 7-2

Seiring dengan begitu cepatnya zaman berkembang, kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pun mengiringi setiap gerak perkembangan zaman tersebut. Kajian biologi sel dan molekuler pun tidak luput dari hal tersebut. Teknologi-teknologi molekuler yang berkembang saat ini akan terus berinovasi demi keberlanjutan kehidupan manusia di muka bumi.

Dalam QS A'raf ayat 10, Allah SWT berfirman:

وَلَقَدْ مَكَّنَّاكُمْ فِي الْأَرْضِ وَجَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا مَعَايِشَ قَلِيلًا مَّا تَشْكُرُونَ

“Dan sungguh, Kami telah menempatkan kamu di bumi dan di sana Kami sediakan (sumber) penghidupan untukmu. (Tetapi) sedikit sekali kamu bersyukur”.

Pada ayat tersebut Allah SWT menegaskan sebagian dari sekian banyak karunia yang telah dianugerahkan kepada hamba-Nya yaitu bahwa Dia telah menyediakan bumi ini untuk manusia tinggal dan berdiam di atasnya, bebas berusaha dalam batas-batas yang telah digariskan, diberi perlengkapan kehidupan. Ayat tersebut menyiratkan bahwa semua karunia dan nikmat tersebut adalah untuk memenuhi keperluan hidup jasmani baik secara perorangan maupun secara berkelompok yang akan dijadikan batu loncatan untuk memenuhi dan menjaga kesejahteraan hidup rohani agar selalu mempersiapkan diri sebagai bekal hidup abadi di akhirat nanti, serta memperoleh nikmat dan kebahagiaan abadi yang tak berkesudahan. Atas semua karunia dan nikmat yang tak terhitung banyaknya itu maka wajiblah manusia bersyukur, mensyukuri penciptanya, yaitu Allah swt, dan janganlah sekali-kali dia mengingkarinya.

Pada ayat lainnya Allah SWT mengatakan dalam QS Al Hijr ayat 20 berikut:

وَجَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا مَعَايِشَ وَمَنْ لَسْتُمْ لَهُ بِرِزْقَيْنَ ﴿٢٠﴾

“Dan Kami telah menjadikan padanya sumber-sumber kehidupan untuk keperluanmu, dan (Kami ciptakan pula) makhluk-makhluk yang bukan kamu pemberi rezekinya”.

Ayat tersebut menerangkan bahwa anugerah Allah swt yang tidak terhingga kepada manusia, yaitu Dia telah menciptakan bermacam-macam keperluan hidup bagi manusia. Dia telah menciptakan tanah yang subur yang dapat ditanami dengan tanam-tanaman yang berguna dan merupakan kebutuhan pokok baginya. Dia menciptakan air yang dapat diminum dan menghidupkan tanam-tanaman. Dia juga menciptakan burung yang beterbangan di angkasa yang dapat ditangkap dan dijadikan makanan yang enak dan lezat. Diciptakan-Nya laut yang di dalamnya hidup bermacam-macam jenis ikan yang dapat dimakan serta mutiara dan barang tambang yang diperlukan oleh manusia dan menjadi sumber mata pencaharian. Laut yang luas dapat dilayari manusia menuju segenap penjuru dunia.

Dialah yang menciptakan segala macam sumber kesenangan bagi manusia itu. Allah telah memudahkan pula bagi manusia segala sumber kebutuhan hidup, yang bisa diolah menjadi pakaian, makanan, obat-obatan, dan sebagainya. Dengan begitu seluruh makhluk yang diciptakan oleh Allah SWT adalah untuk kepentingan dan kebutuhan hidup yang bermanfaat bagi manusia, serta hanya Allah yang Maha Pemberi rizki tersebut.

NILAI KARAKTER

Dari QS. Al A'raf ayat 10 dan Al Hijr ayat 20 tersebut dapat diambil nilai-nilai karakter berikut:

- ☆ Akhlak terhadap Allah SWT: **Beriman, Bertaqwa, Bersyukur, Memikirkan tentang ciptaan-Nya**
- ☆ Akhlak terhadap Diri Pribadi: **Mencari ilmu pengetahuan**
- ☆ Akhlak terhadap Lingkungan: **Peduli (melestarikan) lingkungan**

**Dapatkan kalian menemukan NILAI KARAKTER lainnya?
Tuliskan !**

EVALUASI BELAJAR MU!

- ☆ **Apakah saya sudah menguasai seluruh pokok bahasan ini?**
Catat kembali dalam kotak **REFLEKSI DIRI**
Jika belum, pelajari kembali dan kerjakan pertanyaan-pertanyaan kotak **TUGAS 7-1** dan **TUGAS 7-2**
- ☆ **Apakah saya sudah benar-benar memahami materi yang telah dipelajari?**
Jawablah pertanyaan pada **LATIHAN SOAL**

E. LATIHAN SOAL

1. Meskipun teknik pemuliaan selektif dan rekayasa genetika terlihat sama, namun keduanya tetaplah memiliki perbedaan. Jelaskan letak perbedaan dari kedua teknik tersebut!
(Indikator: Analisis, Menganalisis secara obyektif dari berbagai sudut pandang teori)
2. Bioprospeksi merupakan sumber daya genetik baru dan berkelanjutan, sehingga dapat membantu dalam berbagai sektor kehidupan. Berikanlah contoh dari mekanisme bioprospeksi!
(Indikator: Penjelasan, Menyajikan informasi secara benar dan rinci)

Ayo Latih
Berpikir Kritis mu!
Kerjakan
LATIHAN SOAL
berikut!

UMPAN BALIK

- ☆ **Apakah Anda sudah mampu menyelesaikan semua TUGAS dan LATIHAN SOAL?**
Jika belum, pelajari kembali urutan materi yang dibahas.

REFERENSI

- Al Fatih. (Februari, 2013). *Al Qur'an dan Terjemahannya, Mushaf Khadijah*. Jakarta: PT. Insan Media Pustaka.
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology 4th Edition*. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Christian. S. & W. Irawati. (2019). Uji Resistensi Isolat Khamir yang Diisolasi dari Limbah Industri di Rungkut, Surabaya, Indonesia. *Jurnal Bioeksperimen.*, 5 (1), 1-10.
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al Qur'an-LPMQ. (2019). *Qur'an Kemenag in Word Add-Ins*. Jakarta: Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.
- Sugiharto, Bambang. (2015). *Dari Biologi ke Bioteknologi Molekul: Pengetahuan, Pembelajaran dan Pengembangan Teknologinya*. Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Suryaningtyas, I.T. (2017). Aplikasi Bioteknologi Molekuler dalam Budidaya Perairan. *Oseana*, 42 (4), 13-24.
- Suwanto, A. (1998). Ulasan Bioteknologi Molekuler: Mengoptimalkan Manfaat Keaneka-an Hayati Melalui Teknologi DNA Rekombinan. *Hayati*. Maret, (May), 25–28.
- Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). *TafsirWeb*. Available from: <https://tafsirweb.com/>
- Tammu, R.M. (2018). *Peran Pembelajaran Biologi Sel dan Molekuler dalam Pengelolaan dan Konservasi Keanekaragaman Hayati Indonesia*. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi, Juni 2018.
- Wusqo, I. U. (2014). Upaya Mendorong Kemampuan Berfikir Kreatif Mahasiswa Dalam Inovasi Konservasi Pangan. *Indonesian Journal of Conservation*, 3(1), 75–82.

Petunjuk:

Gunakan kotak LATIHAN SOAL untuk menjawab pertanyaan bagian LATIHAN SOAL, atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

LATIHAN SOAL

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Petunjuk:

Tuliskan hasil pemahaman Anda pada kotak REFLEKSI DIRI atau dapat menggunakan lembaran HVS lain!

REFLEKSI DIRI	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	

MERISKA

LAMPIRAN:**CONTOH RENCANA PERKULIAHAN SEMESTER (RPS)
BIOLOGI SEL & MOLEKULER**

	UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA FAKULTAS PENDIDIKAN DAN ILMU KEGURUAN PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI				
RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER					
MATA KULIAH	KODE	Rumpun MK	BOBOT (sks)	SEMESTER	Tgl Penyusunan
Biologi Sel dan Molekuler	01110405	MKU	3 sks	4	Februari 2020
OTORISASI	Pengembang RP		Koordinator RMK	Ka. Prodi	

<p>Capaian Pembelajaran (CP)</p>	<p>CPL</p> <p>SIKAP: S1. Bertakwa kepada Tuhan YME dan mampu menunjukkan sikap religius</p> <p>KETERAMPILAN UMUM: KU1. Menerapkan pemikiran logis, kritis, sistematis, dan inovatif dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan/atau teknologi sesuai dengan bidang keahliannya KU2. Mampu menunjukkan kinerja mandiri bermutu dan terukur KU3. Mampu mengkaji implikasi pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora sesuai dengan keahliannya berdasarkan kaidah, tata cara dan etika ilmiah dalam rangka menghasilkan solusi, gagasan, desain atau kritik seni, menyusun deskripsi saintifik hasil kajiannya dalam bentuk skripsi atau laporan tugas akhir, dan mengunggahnya dalam laman perguruan tinggi KU4. Menyusun deskripsi saintifik hasil kajian tersebut di atas dalam bentuk skripsi atau laporan tugas akhir dan mengunggahnya dalam laman perguruan tinggi KU5. Mampu mengambil keputusan secara tepat dalam konteks penyelesaian masalah di bidang keahlian biologi, berdasarkan hasil analisis terhadap informasi dan data</p> <p>KETERAMPILAN KHUSUS: KK1. Mampu memecahkan masalah iptek di bidang pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya hayati melalui prinsip-prinsip pengorganisasian sistematis, memprediksi, menganalisis data informasi dan bahan hayati serta memodulasi struktur dan fungsi sel (organizing principle, predicting, analyzing and modulating), serta penerapan teknologi relevan KK5. Mampu menyelesaikan masalah pendidikan Biologi dengan menerapkan hasil penelitian di bidang Biologi dan Pendidikan Biologi</p>
----------------------------------	---

KK6. Mampu menerapkan prinsip dasar kewirausahaan dan memanfaatkan IPTEKS pada pengembangan produk-produk pendidikan dan biologi sesuai dengan kebutuhan sekolah dan masyarakat

PENGUASAAN PENGETAHUAN:

PP1. Menguasai konsep, prinsip, dan teori biologi dan kependidikan serta terapannya dalam pembelajaran di sekolah

PP6. Menguasai hakekat (pengertian, tujuan, fungsi, prinsip, keunggulan, dan kelemahan) dan jenis sumber belajar biologi

CP-MK

1. Mahasiswa mampu mendeskripsikan organisasi kehidupan makhluk hidup berdasarkan sejarah perkembangan Teori Sel (S1, PP1)
2. Mahasiswa mampu mensintesis perbedaan struktur dan fungsi Sel Prokariot, Eukariot (KU1, PP1)
3. Mahasiswa mampu menganalisis struktur dan fungsi dari masing-masing Organel Sel, serta metabolisme selulernya (PP1, KK1, KU4)
4. Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Komunikasi intra dan interseluler (PP1, KK1, KU4)
5. Mahasiswa mampu menganalisis Tahapan Pembelahan Sel dan Siklus Sel (PP1, KK1, KK5, KK6, KU3)
6. Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Ekspresi Gen (KU1, KU2, PP1, KK1, KK5, KK6, KU3)
7. Mahasiswa mampu menganalisis Peranan Biologi Sel dan Molekuler dalam kehidupan sehari-hari (S1, PP1, PP6, KU3)
8. Mahasiswa mampu menginternalisasikan/menghubungkan nilai-nilai Islam terkait dengan topik Biologi Sel Molekuler, sehingga memiliki karakter religius yang berguna bagi kemanfaatan diri sendiri dan lingkungannya. (S1, KU2)

Deskripsi Singkat Matakuliah	Biologi sel dan molekuler adalah mata kuliah wajib yang dirancang untuk memberikan pemahaman konsep dan pengetahuan tentang sel secara fisik (seluler dan molekuler, termasuk metabolisme), serta menanamkan nilai-nilai Islam terkait dengan topik Biologi sel dan molekuler sehingga mahasiswa memiliki karakter religius yang berguna bagi kemanfaatan diri sendiri dan lingkungannya
Materi Pembelajaran/ Pokok Bahasan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Organisasi Kehidupan Mahkluk Hidup: Sejarah Perkembangan Teori Sel 2. Struktur Sel: Prokariot dan Eukariot 3. Struktur dan Fungsi Membran Sel 4. Struktur dan Fungsi Inti Sel (Gen, Genom, Kromosom) 5. Struktur dan Fungsi Ribosom, serta Sintesis Protein 6. Struktur dan Fungsi Mitokondria, serta Respirasi Seluler 7. Struktur dan Fungsi Retikulum Endoplasma, Badan Golgi dan Lisosom 8. Struktur dan Fungsi Kloroplas, serta Konversi Energi 9. Struktur dan Fungsi Sitoskeleton, serta Pergerakan Sel 10. Komunikasi Intra dan Interseluler 11. Siklus Sel 12. Ekspresi Gen pada Prokariot dan Eukariot 13. Peranan Biologi Sel Molekuler pada Bidang Pertanian, Industri, dan Lingkungan
Bahan Kajian	BK3- Biologi Sel Molekuler
Mata kuliah syarat	Biologi Umum, Biokimia
Pustaka	<p>Utama:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buku ajar integrasi MERISKA (produk pengembangan)

- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Essential Cell Biology* 4th Edition. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Walter, P. *Molecular Biology of the Cell 4th Edition*. New York: Garland Science; (2002). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21054/>
- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology (Concepts and Experiments)*. 7th Edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P., Jackson, R.B., & Campbell, N.A. (2011). *Campbell Biology*, 9th edition. San Fransisco: Pearson
- Sumadi & Aditya. (2007). *Biologi Sel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Yuwono, T. (2005). *Biologi Molekular*. Jakarta: Erlangga.

Pendukung:

- Arifnma. (2017). *Kontemplasi dibalik Mitokondria*. Available from: <https://arifnma.blogspot.com/2017/04/sebuah-kontemplasi-dibalikmitokondria.html> (25 Oktober 2019).
- Crowther, A., Bergan-Roller, H.E., Galt, N.J., Booth, C., Dauer, J.T., & Helikar, T. (2018). *Discovering Prokaryotic Gene Regulation with Simulations of the trp Operon*. Course Source. <https://doi.org/10.24918/cs.2018.9>
- Fatchiyah., Arumingtyas, E.L., Widyarti, S., & Rahayu, S. (2011). *Biologi Molekular: Prinsip Dasar Analisis*. Jakarta: Erlangga
- Fathullah, A.L. (2019). *Al Qur'an Al Hadi, 11 Kemudahan Berinteraksi dengan Al Qur'an*. Jakarta: Pusat Kajian Hadis. Available from: <https://alquranalhadi.com/>
- Gartner, L.P., Hiatt, J.L. (2007). *Nucleus*. In: *Color Textbook of Histology 3rd Edition Pdf*. Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Majelis Tarjih PP Muhammadiyah. (2012). *Risalah Islamiyah Bidang Akhlak*. Yogyakarta: Gramasurya.

	<ul style="list-style-type: none"> • Shihab, Q. (2003). <i>Tafsir Al Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al Qur'an</i>. Jakarta: Lentera Hati. • Sinobiological. (2019). <i>Neurotransmitter Receptors in Cell Signaling Transduction</i>. Available from: https://www.sinobiological.com/neurotransmitter-receptors-in-cellsignaling-transduction.html (30 November 2019). • Suwanto, A. (1998). Ulasan Bioteknologi Molekuler: Mengoptimalkan Manfaat Keanekaan Hayati Melalui Teknologi DNA Rekombinan. Hayati. Maret, (May), 25–28. • Tafsir Al Qur'an Online. (Februari, 2020). <i>TafsirWeb</i>. Available from: https://tafsirweb.com/ • Tammu, R.M. (2018). Peran Pembelajaran Biologi Sel dan Molekuler dalam Pengelolaan dan KOnservasi Keanekaragaman Hayati Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi, Juni 2018. • Thieman, W. J. & Palladino, M. A. (2013). <i>Introduction to Biotechnology, International 3rd Edition</i>. Boston: Pearson. • Wusqo, I. U. (2014). Upaya Mendorong Kemampuan Berfikir Kreatif Mahasiswa Dalam Inovasi Konservasi Pangan. Indonesian Journal of Conservation, 3(1), 75–82. • Xu, D. & Esko, J. D. A. (2009). Golgi-on-a-chip for glycan synthesis. <i>Nature Chemical Biology</i>, 5, 612–613. • Artikel ilmiah lainnya yang relevan.
Media Pembelajaran	Ms. Power Point, Video
Team Teaching	

TM	Sub-CPMK	Indikator	Kriteria & Bentuk Penilaian	Metode Pembelajaran (Estimasi Waktu)	Materi Pembelajaran	Bobot nilai	Integrasi	
							Point	Teknik
1	CPMK-1 Sub-CPMK: 1.1. Mahasiswa mampu memahami tentang deskripsi, tujuan, dan urgensi mata kuliah 1.2. Mahasiswa mampu memahami tentang Organisasi Kehidupan Makhluk Hidup 1.3. Mahasiswa mampu menjelaskan sejarah perkembangan teori sel CPMK-8 Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai	<ul style="list-style-type: none"> Mendeskripsikan tujuan dan urgensi mata kuliah Menjelaskan organisasi kehidupan makhluk hidup Menjelaskan sejarah perkembangan teori sel Memberikan contoh keterkaitan topik dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keIslaman yang relevan. 	Kriteria: <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan & penguasaan materi Bentuk penilaian: <ul style="list-style-type: none"> Tes: uraian 1. Pada saat Robert Hooke mengamati sayatan gabus dan menemukan ruang kecil kosong yaitu <i>Cella</i> (sel), dan diketahui bahwa ruang tersebut adalah sel mati. Mengapa disebut sel mati? Apa yang tidak dimiliki oleh sel mati yang membedakannya dengan sel masih hidup? Jelaskan!	Model: <i>Learning Cycle</i> 5E Metode: Presentasi, diskusi, tanya-jawab (3x50 menit)	Organisasi Kehidupan Makhluk Hidup: Sejarah Perkembangan Teori Sel	5%	QS. Al Furqon (2): وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ... تَقْدِيرًا ﴿٢٠﴾ "... Dan Dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya." QS. Ali Imron (191) QS. Al Anbiya (30) QS. Nuh (13-14) QS. Fushilat (53): QS. An Nahl (43):	Similarisasi Informatif Informatif Konfirmatif Informatif Komparatif

	<p>islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>		<p>2. Empat teori seputar sel menyatakan bahwa “Sel sebagai unit struktural, fungsional, herediter, dan pertumbuhan”. Jelaskan masing-masing teori sel tersebut beserta tokohnya!</p> <p>3. Perhatikan kutipan QS. Al Furqon ayat 2 berikut:</p> <p>وَوَخَّلَقَ كُلَّ شَيْءٍ... فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا ﴿٢﴾</p> <p>“... Dan Dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukurannya dengan serapi-rapinya.”</p> <p>Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman</p>					
--	---	--	---	--	--	--	--	--

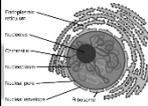
			<p>Saudara mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep organisasi kehidupan makhluk hidup!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 					
2	<p>CPMK-2 Sub-CPMK: 2.1. Mahasiswa mampu menganalisis struktur dan fungsi sel prokariot dan eukariot 2.2. Mahasiswa mampu mendeskripsikan perbedaan Sel Hewan, Tumbuhan, dan Bakteri</p> <p>CPMK-8 Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menganalisis perbedaan struktur dan fungsi sel prokariot dan eukariot • Memberikan contoh keterkaitan topik dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keIslaman yang relevan. 	 <p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan & penguasaan materi <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tes : uraian <p>4. Di bawah ini merupakan gambar struktur sel prokariotik dan eukariotik. Buatlah 4 perbedaan dari kedua sel tersebut!</p>	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E</p> <p>Metode: Presentasi, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>	<p>Struktur Sel: Prokariot dan Eukariot</p>	5%	<p>QS. Al Qamar (49):</p> <p>إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٥١﴾</p> <p>“<i>Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.</i>”</p> <p>QS. Al Ankabut (43-44) QS. Yunus (61) QS. Al Furqon (53) QS. An Nahl (8) QS. Al Baqarah (219)</p>	<p>Paralelisasi</p> <p>Informatif</p> <p>Similiarisasi</p> <p>Konfirmatif</p> <p>Komparasi</p> <p>Komparasi</p>

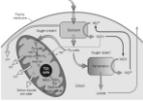
	<p>dan karakter dalam kehidupan</p>		<p>5. Jelaskan perbedaan yang mendasar dari struktur sel hewan dan sel tumbuhan!</p> <p>6. Perhatikan kutipan QS. Al Qamar ayat 49 berikut:</p> <p>إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدْرٍ ۝</p> <p><i>“Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.”</i></p> <p>Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman Saudara mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep struktur sel prokariotik dan eukariotik!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi 					
--	-------------------------------------	--	---	--	--	--	--	--

			(ceklis keaktifan)					
3	<p>CPMK-3 Sub-CPMK:</p> <p>3.1. Mahasiswa mampu mendeskripsikan struktur dan fungsi membran sel</p> <p>3.2. Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Transpor zat melalui Membran sel</p> <p>CPMK-8 Sub-CPMK:</p> <p>Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>	<ul style="list-style-type: none"> Menganalisis perbedaan struktur dan fungsi membran sel Menganalisis mekanisme transport trans membran Memberikan contoh keterkaitan topik dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keislaman yang relevan. 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan & penguasaan materi <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> Tes : uraian <p>7. Gambarkan struktur membran sel model Mozaik Fluida (Singer & Nicholson, 1972) serta tunjukkan/beri keterangan komponen penyusun membran sel!</p> <p>8. Gambar di bawah ini merupakan ilustrasi dari</p>  <p>transport zat melalui membran sel.</p>	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E</p> <p>Metode: Presentasi, kajian video, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>	<p>Struktur dan Fungsi Membran Sel</p>	6%	<p>QS. At Taghabun (3):</p> <p>خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ بِالْحَقِّ وَصَوَّرَكُمْ فَأَحْسَنَ صُورَكُمْ وَإِلَيْهِ الْمَصِيرُ ﴿٣﴾</p> <p>"Dia menciptakan langit dan bumi dengan haq. Dia membentuk rupamu dan dibaguskan-Nya rupamu itu dan hanya kepada Allah-lah kembali(mu)"</p> <p>QS. Al Hujurat (6)</p>	<p>Komparasi</p> <p>Komparasi</p>

			<p>Peristiwa apa saja yang Saudara temukan dari gambar tersebut, jelaskan!</p> <p>9. Perhatikan kutipan QS. Al Furqon ayat 53 berikut:</p> <p>مَرَجَ لُذْيَا ۖ وَهُوَ عَذَابٌ لِّالْحَمِيرِ ۚ أَجَاجٌ مَّلْحٌ وَهَذَا فِرَاتٌ بَرَزَخًا يَّبْتَهُمَا وَجَعَلَ ۝۳ رَأْسِخُورًا وَجَعَلَ</p> <p>“Dan Dialah yang membiarkan dua laut yang mengalir (berdampingan) ; yang ini tawar lagi segar dan yang lain asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang menghalangi.”</p> <p>Ayat tersebut secara implisit menjelaskan</p>				
--	--	--	--	--	--	--	--

			<p>bahwa Allah SWT menghadirkan fenomena yang terjadi di alam sebagai pengetahuan untuk dipelajari. Jelaskan hubungan antara ayat tersebut dengan konsep membran sel!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 				
4	<p>CPMK-3 Sub-CPMK: 3.3. Mahasiswa mampu mendeskripsikan struktur dan fungsi dari nukleus 3.4. Mahasiswa mampu memahami tentang Genom, Kromosom, dan Gen 3.5. Mahasiswa mampu menganalisis</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menganalisis struktur dan fungsi nukleus • Menganalisis perbedaan gen, genom, dan kromosom 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan & penguasaan materi  <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tes : uraian <p>10. Gambar</p>	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E</p> <p>Metode: Presentasi, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>	<p>Struktur dan Fungsi Inti Sel (Gen, Genom, Kromosom)</p>	7%	

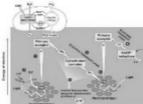
	keterkaitan antara nukleus dengan kromosom, DNA, Gen		<p>berikut merupakan ilustrasi dari struktur inti sel. Buatlah pengelompokan bagian-bagian nukleus tersebut menjadi 3 struktur (bagian) utama dan jelaskan masing-masing fungsinya!</p>  <p>11. Berdasarkan gambar di bawah ini, jelaskan hubungan antara nukleus dengan kromosom, DNA, dan Gen!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 					
5	CPMK-3 Sub-CPMK: 3.6. Mahasiswa mampu	<ul style="list-style-type: none"> • Menganalisis peran ribosom dalam sintesis 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan & penguasaan 	Model: <i>Learning Cycle</i> 5E	Struktur dan Fungsi Ribosom, serta Sintesis Protein	7%		

	<p>menjelaskan struktur dan fungsi Ribosom</p> <p>3.7. Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Sintesis Protein</p>	<p>protein</p> <ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan tahapan sintesis protein 	<p>materi</p> <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> Tes : uraian <p>12. Jelaskan bagaimanakah hubungan DNA dengan RNA dalam tahapan sintesis protein</p> <ul style="list-style-type: none"> Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 	<p>Metode: Presentasi, kajian video, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>				
6	<p>CPMK-3 Sub-CPMK:</p> <p>3.8. Mahasiswa mampu menjelaskan struktur dan fungsi Mitokondria</p> <p>3.9. Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Siklus Krebs, Respirasi Seluler, dan Transpor Elektron</p> <p>CPMK-8 Sub-CPMK:</p>	<ul style="list-style-type: none"> Menganalisis struktur dan fungsi Mitokondria Memberikan contoh keterkaitan topik dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keIslaman yang relevan. 	 <p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan & penguasaan materi <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> Tes : uraian <p>13. Perhatikan gambar berikut! a. Apa yang Anda ketahui dari ilustrasi gambar</p>	<p>Model: Learning Cycle 5E</p> <p>Metode: Presentasi, kajian video, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>	<p>Struktur dan Fungsi Mitokondria, serta Respirasi Seluler</p>	6%	<p>QS. At Taghabun (3): خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ بِالْحَقِّ وَصَوَّرَهُمْ فَأَحْسَنَ صُورَهُمْ وَإِلَيْهِ النُّصَيْرُ</p> <p>"Dia menciptakan langit dan bumi dengan haq. Dia membentuk rupamu dan dibaguskan-Nya rupamu itu dan hanya kepada Allah-lah kembali(mu)"</p> <p>QS. Luqman (14) Hadits Bukhori</p>	<p>Komparasi</p> <p>Konfirmatif</p>

	<p>Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>		<p>tersebut? b. Buatlah penjabaran/kesimpulan dari peristiwa yang ada dalam ilustrasi tersebut!</p> <p>14. Perhatikan kutipan QS. Luqman ayat 14 berikut :</p> <p>وَوَصَّيْنَا الْإِنْسَانَ بِوَالِدَيْهِ إِحْسَانًا وَهُنَّا عَلَىٰ رُحْمٍ وَقَضَلَهُ فِي عَمَزِ الْأُنثَىٰ أَشْكُرْ لِي وَلِوَالِدَيْكَ إِلَهَ الْمُصِيرِ ﴿١٤﴾</p> <p><i>“Dan Kami perintahkan kepada manusia (berbuat baik) kepada dua orang ibu-bapaknya; ibunya telah mengandungnya dalam keadaan lemah yang bertambah lemah, dan menyapihnya dalam dua tahun. Bersyukurlah</i></p>			<p>No. 5514 menerangkan bahwa Rasulullah SAW menjawab pertanyaan seseorang tentang kepada siapa orang yang berhak pertama kali dihormati, dan Rasulullah SAW menjawab ibu, ibu, ibu, lalu ayah.</p>	
--	---	--	--	--	--	---	--

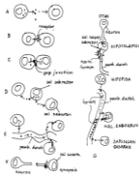
			<p><i>kepada-Ku dan kepada dua orang ibu bapakmu, hanya kepada-Kulah kembalimu.”</i></p> <p>Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman Anda mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep dari fungsi mitokondria!</p> <ul style="list-style-type: none">• Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan)				
--	--	--	---	--	--	--	--

7	<p>CPMK-3 Sub-CPMK: 3.10. Mahasiswa mampu menjelaskan struktur dan fungsi organel RE, Badan golgi, Lisosom</p> <p>3.11. Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Hasil Metabolisme RE, Badan Golgi, Lisosom</p>	<ul style="list-style-type: none"> Menganalisis perbedaan struktur dan fungsi RE, Badan Golgi, dan Lisosom 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan & penguasaan materi <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> Tes : uraian <p>15. Letak badan Golgi yang berdekatan dengan RE memang dirancang untuk dapat saling bekerja sama dalam proses sekresi protein. Jelaskan bagaimana membuktikan proses pemaketan protein melalui badan Golgi?</p> <ul style="list-style-type: none"> Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E</p> <p>Metode: Presentasi, kajian video, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>	<p>Struktur dan Fungsi Retikulum Endoplasma, Badan Golgi dan Lisosom</p>	6%			
8	UJIAN TENGAH SEMESTER								
9	<p>CPMK-3 Sub-CPMK: 3.12. Mahasiswa</p>	<ul style="list-style-type: none"> Menganalisis peran kloroplast dalam 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan & penguasaan 	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E</p>	<p>Struktur dan Fungsi Kloroplas, serta</p>	7%	QS. Al Imran (190-191):	Komparasi	

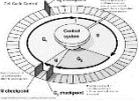
	<p>mampu menjelaskan struktur dan fungsi organel Kloroplast</p> <p>3.13. Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Konversi Energi</p> <p>CPMK-8 Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>	<p>mekanisme fotosintesis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Memberikan contoh keterkaitan topik dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keIslaman yang relevan. 	<p>materi</p> <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tes : uraian <p>16. Perhatikan gambar di bawah ini. Jelaskan peristiwa yang terjadi pada</p>  <p>gambar tersebut!</p> <p>17. Perhatikan kutipan surat Al An'am ayat 99 berikut:</p> <p>وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا ... ﴿٩٩﴾</p> <p>“Dan Dialah yang</p>	<p>Metode: Presentasi, kajian video, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>	<p>Konversi Energi</p>	<p>إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٠١﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَتَعُوذًا وَعَلَىٰ جُوهِبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ قِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٠٢﴾</p> <p>“<i>Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal.</i>”⁽¹⁰⁰⁾ (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang</p>	
--	--	--	---	---	------------------------	--	--

			<p>menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak ...”</p> <p>Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman Anda mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep pada kloroplast!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 				<p><i>penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka."⁽¹⁹¹⁾</i></p> <p>Al An'am (99)</p>	Konfirmatif
10	CPMK-3 Sub-CPMK: 3.14. Mahasiswa mampu menjelaskan	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan struktur dan fungsi sitokeleton 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan & penguasaan materi 	Model: <i>Learning Cycle</i> 5E Metode: Presentasi,	Struktur dan Fungsi Sitoskeleton, serta Pergerakan Sel	7%		

	struktur dan fungsi Sitoskeleton		Bentuk penilaian : • Tes : uraian	kajian video, diskusi, tanya-jawab (3x50 menit)				
3.15.	Mahasiswa mampu menganalisis mekanisme Pergerakan Sel		18. Bentuk komunikasi sel otot rangka dan sel otot jantung akan berbeda saat diberi rangsang asetilkolin, gambarkan perbedaannya dan jelaskan! • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan)					
11	CPMK-4 Sub-CPMK: 4.1. Mahasiswa mampu menganalisis tentang mekanisme Komunikasi intra dan interseluler CPMK-8 Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara	<ul style="list-style-type: none"> Menganalisis tentang mekanisme Komunikasi intra dan interseluler Memberikan contoh keterkaitan topik dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keIslaman yang relevan. 	Kriteria : • Ketepatan & penguasaan materi Bentuk penilaian : • Tes : uraian 19. Perhatikan gambar berikut!	Model: <i>Learning Cycle</i> 5E Metode: Presentasi, diskusi, tanya-jawab (3x50 menit)	Komunikasi Intra dan Interseluler	6%	QS Ar Rahman (1-4) 	Similiarisasi

	<p>topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>		<p>Bila keterangan gambar : A : merupakan</p>  <p>bentuk komunikasi sel jarak dekat dengan cara difusi, B : jarak dekat dengan adanya reseptor pada sel sasaran, C : penyampaian bahan komunikasi lewat gap junction antara sel se-populasi. Maka, deskripsikanlah peristiwa pada gambar D, E, F, dan G!</p> <p>20. Perhatikan kutipan QS. Al Ahzab ayat 70 berikut:</p>			<p><i>menciptakan manusia,3 mengajarnya pandai berbicara.4”</i></p> <p>QS. Al Ahzab (70)</p>	<p>Similiarisasi</p>
--	--	--	---	--	--	--	----------------------

			<p>يٰۤاَيُّهَا الَّذِيْنَ ءَامَنُوْا اٰتُّوْا اللّٰهَ وَفِرْلُوْا قَوْلًا سٰدِيْقًا ﴿٥٠﴾</p> <p><i>“Hai orang-orang yang beriman, bertakwalah kamu kepada Allah dan katakanlah perkataan yang benar”</i></p> <p>Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman Anda mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep komunikasi sel!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 					
12	<p>CPMK-5 Sub-CPMK: 5.1. Mahasiswa mampu menjelaskan tentang siklus sel 5.2. Menganalisis</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menganalisis mekanisme pengaturan Siklus sel • Memberikan contoh keterkaitan topik 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan & penguasaan materi <p>Bentuk penilaian :</p>	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E</p> <p>Metode: Presentasi, kajian video,</p>	Siklus Sel	6%	<p>QS. Al Infithar (7): الَّذِيْ خَلَقَكَ فَسَوِّدَكَ فَعَدَلَكَ ﴿٧٠﴾</p> <p><i>“Yang telah menciptakan kamu</i></p>	Similiarisasi

	<p>mekanisme pengaturan Siklus sel</p> <p>CPMK-8 Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>	<p>dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keIslaman yang relevan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tes : uraian <p>21.Perhatikan Gambar berikut! <i>Checkpoint</i></p>  <p>terjadi pada beberapa waktu yang berbeda selama siklus sel. Apabila checkpoint tidak berfungsi, kesalahan apa yang akan terjadi pada masing-masing siklus sel?</p> <p>22. Perhatikan kutipan QS. Al Mulk ayat 3 berikut:</p> <p>الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَّا تَرَى فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفْوُوتٍ فَأَرْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَى مِن فُطُورٍ ۝</p>	<p>diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>		<p><i>lalu menyempurnakan kejadianmu dan menjadikan (susunan tubuh) mu seimbang.”</i></p> <p>QS. Al Mulk (3): الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَّا تَرَى فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفْوُوتٍ فَأَرْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَى مِن فُطُورٍ ۝</p> <p>“Yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, adakah kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang?”</p> <p>QS. Al A'raf (189) QS. Maryam (7)</p>	<p>Konfirmatif</p> <p>Informatif Informatif</p>
--	---	---	--	---	--	---	---

			<p><i>“Yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, adakah kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang?”</i></p> <p>Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman Anda mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep siklus sel!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 					
13	CPMK-6 Sub-CPMK: 6.1. Mahasiswa mampu	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan proses regulasi ekspresi gen 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan & penguasaan 	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E Metode:</p>	Ekspresi Gen pada Prokariot dan Eukariot	6%	QS. Ar Rad (2): بَلِّغْ لَعَلَّكُمْ يَتَّقُونَ	Komparasi

	<p>menjelaskan proses regulasi ekspresi gen pada sel prokariot dan eukariot</p> <p>6.2. Mahasiswa mampu menganalisis perbedaan proses regulasi ekspresi gen pada sel prokariot dan eukariot</p> <p>CPMK-8 Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>	<p>pada sel prokariot dan eukariot</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menganalisis perbedaan proses regulasi ekspresi gen pada organisme prokariot dan eukariot • Memberikan contoh keterkaitan topik dengan kandungan ayat-ayat Al Qur'an/nilai-nilai keislaman yang relevan. 	<p>materi</p> <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tes : uraian <p>23. Apa yang membedakan proses regulasi antara prokariot dengan eukariot pada level transkripsi?</p> <p>24. Perhatikan kutipan QS. Ar Rad ayat 2 berikut:</p> <p>... يُدَبِّرُ الْأَمْرَ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لَعَلَّكُمْ يَلْقَاءُ رَبِّكُمْ تُوقِنُونَ ﴿٢﴾</p> <p>"... Allah mengatur urusan (mahluk-Nya), menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya), supaya kamu meyakini pertemuan(mu) dengan Tuhanmu."</p> <p>Dari kutipan</p>	<p>Presentasi, kajian video, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>		<p>تُوقِنُونَ ﴿٢﴾</p> <p>"... Allah mengatur urusan (mahluk-Nya), menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya), supaya kamu meyakini pertemuan(mu) dengan Tuhanmu."</p> <p>QS. Yunus (61):</p>	<p>Komparasi</p>
--	--	--	--	---	--	---	------------------

			<p>ayat di atas, jelaskan pemahaman Anda mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep ekspresi gen!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 					
14	<p>CPMK-7 Sub-CPMK: 7.1. Mahasiswa mampu memahami tentang implikasi biologi sel molekuler pada bidang pertanian, industri, dan lingkungan</p> <p>CPMK-8 Sub-CPMK: Mahasiswa mampu mencari hubungan/ Keterkaitan antara topik dengan nilai islam (ayat Qur'an) dan karakter dalam kehidupan</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan peranan Biologi Sel Molekuler pada bidang pertanian, industri dan lingkungan. 	<p>Kriteria :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan & penguasaan materi <p>Bentuk penilaian :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tes : uraian <p>25. Lingkungan tidak bisa lepas dari keanekaragaman hayati yang ada di dalamnya. Jelaskan bagaimana peran kajian Biologi sel dan molekuler dalam hal pengelolaan dan konservasi keanekaragaman</p>	<p>Model: <i>Learning Cycle</i> 5E</p> <p>Metode: Presentasi, kajian video, diskusi, tanya-jawab</p> <p>(3x50 menit)</p>	<p>Peranan Biologi Sel Molekuler pada Bidang Pertanian, Industri, dan Lingkungan</p>	6%	<p>QS. Al Baqarah (29);</p> <p>هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ ۗ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾</p> <p>“Dialah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan Dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu.”</p>	Informatif

			hayati! <ul style="list-style-type: none"> • Non-tes : Partisipasi (ceklis keaktifan) 				QS. Al A'raf (10): QS. Al Hijr (20):	Komparasi Komparasi
15	Refleksi Akhir Perkuliahan							
16	UJIAN AKHIR SEMESTER							

MERISKA



KUNCI JAWABAN TUGAS & LATIHAN SOAL

BAB 1. ORGANISASI KEHIDUPAN MAKHLUK HIDUP: SEJARAH DAN PERKEMBANGAN TEORI SEL

TUGAS 1-1

Bacalah beberapa referensi mengenai penemuan dari para ilmuwan yang mendukung teori sel, lalu jelaskan mengapa dikatakan “Sel sebagai unit struktural, fungsional, herediter dan pertumbuhan”!

Jawaban:

No	Penemu	Teori Sel
1	Robert Hooke	Penemu sel, setelah mengamati sayatan gabus kering
2	Scheilden & Schwann	Sel merupakan kesatuan struktural
3	Max Schultze	Sel merupakan kesatuan fungsional
4	Rudholf Virchow	Sel merupakan kesatuan pertumbuhan (<i>omne cellulae e cellula</i>)
5	Thomas huxley	Sel merupakan kesatuan fisik kimia
6	Robert Brown	Pada sel terdapat inti sel (nukleus)
7	Felix Dujardin	Di dalam setiap sel makhluk hidup terdapat sitoplasma

Beberapa referensi terkait teori sel tersebut, dikatakan bahwa sel sebagai unit struktural suatu makhluk hidup yang berarti bahwa seluruh makhluk hidup tersusun dari sel yang memiliki kelengkapan struktur yang dimilikinya seperti organela-organela dan matriks yang terdapat dalam protoplasma. Sel sebagai unit herediter memiliki arti bahwa sel mampu melakukan penggandaan diri melalui pembelahan, tunas dan lainnya karena di dalam sel terdapat materi genetik yang mampu meneruskan sifat pada keturunannya. Dari herediter itulah sel melakukan pertumbuhan. Sementara sel sebagai unit fungsional makhluk hidup menunjukkan bahwa di dalam sel terjadi aktivitas seluler sebagai penunjang kehidupan suatu makhluk hidup.

TUGAS 1-2

Bacalah beberapa referensi mengenai ciri suatu makhluk hidup, lalu buatlah ringkasan mengenai penjelasan dan contoh dari ciri makhluk hidup tersebut!

Jawaban:

- Bernapas, merupakan proses mengambil oksigen dari lingkungan dan mengeluarkan gas karbondioksida dari tubuh. Sementara pada tumbuhan proses sebaliknya. Bernapas sering juga dikaitkan dengan peristiwa respirasi, suatu proses memanfaatkan oksigen untuk mobilisasi energi dan mengeluarkan zat sisa (misal, CO₂).
- Tumbuh dan berkembang, suatu makhluk hidup pasti akan tumbuh dan berkembang, baik itu manusia, hewan atau tumbuhan. Proses tumbuh tiap makhluk hidup berbeda-beda. Misalnya manusia tumbuh dari bayi lalu menjadi anak hingga menjadi dewasa.
- Bergerak, adalah berpindahnya sebagian atau seluruh bagian tubuh makhluk hidup karena adanya rangsangan internal atau pun eksternal.
- Peka terhadap rangsangan, sifat ini adalah wujud reaksi terhadap perubahan yang terjadi di sekitarnya. Rangsangan yang dimaksud bisa berupa cahaya, sentuhan, suara, panas, dingin, bau, rasa dan lain-lain.
- Ekskresi, tiap makhluk hidup pasti mengeluarkan zat-zat sisa atau dikenal sebagai ekskresi.
- Membutuhkan energi dan nutrisi, makanan berfungsi untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tubuh dan menambah energi untuk beraktivitas.

LATIHAN SOAL

1. Berikan pendapat Saudara mengenai “Semua sel hidup berevolusi dari sel ancestor yang sama”!

Jawaban:

Semua sel tersusun atas komponen-komponen kimiawi utama yaitu protein, asam nukleat, lemak, dan polisakarida oleh karena itu sel-sel jasad hidup yang ada di alam tersusun oleh komponen-komponen tersebut meskipun dengan komposisi yang berbeda sehingga di indikasi bahwa semua sel berasal dari leluhur yang sama kemudian berkembang dan berevolusi menjadi sel-sel yang ditemukan saat ini.

2. Pada saat Robert Hooke mengamati sayatan gabus dan menemukan ruang kecil kosong yaitu Cella (sel), dan diketahui bahwa ruang tersebut adalah sel mati. Mengapa disebut sel mati? Apa yang tidak dimiliki oleh sel mati yang membedakannya dengan sel masih hidup? Jelaskan!

Jawaban:

Suatu sel dikatakan sel “mati” karena sel tersebut sudah tidak memiliki peranan dalam proses kelangsungan kehidupan dan sudah tidak melakukan

aktivitas metabolisme selulernya, dan secara struktur sel tersebut tidak lagi berisi protoplasma. Hal yang membedakan sel mati dan sel masih hidup yaitu:

- Pada sel hidup masih terdapat organel sel dan mampu menjalankan perannya sebagai sel termasuk diantaranya adalah melakukan proses metabolisme di dalam selnya.
- Pada sel mati, sel ini hanya terdapat dinding sel (pada sel tumbuhan), selain itu sel tersebut sudah tidak dapat melakukan fungsinya sebagai sel termasuk di dalam hal melakukan proses metabolisme di dalam selnya.

3. Perhatikan kutipan QS Al Furqan ayat 2 berikut:

... وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ وَتَقْدِيرًا ﴿٢﴾

"... Dan Dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya."

Dari kutipan ayat di atas, jelaskan pemahaman Anda mengenai hubungan antara ayat tersebut dengan konsep organisasi kehidupan makhluk hidup!

Jawaban:

- Organisasi kehidupan makhluk hidup terdiri atas susunan sel yang akhirnya akan membentuk suatu organisme
- Allah SWT menciptakan semua itu dengan ukuran yang berbeda-beda karena memiliki fungsi yang berbeda namun saling bersinergi
- Struktur suatu sel (ukuran sel) akan mengikuti fungsinya dalam kehidupan, dan diposisikan pada tempat yang sesuai sehingga terbentuk suatu organisme
- Allah SWT telah merancang alam semesta termasuk sel dengan perbandingan yang sesuai agar manusia dapat menjadi khalifah yang baik di bumi.

BAB 2. STRUKTUR SEL

(SEL PROKARIOTIK & SEL EUKARIOTIK)

TUGAS 2-1

Peptidoglikan menjadi dasar penggolongan bakteri Gram. Deskripsikan perbedaan struktur bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif, tunjukkan perbedaan yang mendasar antara keduanya!

Jawaban:

- Struktur Bakteri gram positif:
Homogen dan tebal (20-80 nm) serta sebagian besar tersusun dari peptidoglikan. Polisakarida lain dan asam teikoat dapat ikut menyusun dinding sel. Bentuk sel: Bulat, batang atau filamen
- Struktur Bakteri gram negatif:
Peptidoglikan (2-7 nm) di antara membran dalam dan luar, serta adanya membran luar (7-8 nm tebalnya) yang terdiri dari lipid, protein, dan lipopolisakarida. Bentuk sel: Bulat, oval, batang lurus atau melingkar seperti tand koma, heliks atau filamen; beberapa mempunyai selubung atau kapsul

TUGAS 2-2

Contoh dari sel eukariotik adalah sel hewan dan sel tumbuhan. Buatlah perbandingan secara mendasar antara sel hewan dengan sel tumbuhan bila dilihat dari struktural, fungsional, dan metabolisme!

Jawaban:

- Sel Hewan
Sel hewan memiliki berbagai komponen termasuk organel-organel sel yang dibatasi oleh membran. Pada sel hewan organel yang biasanya paling menonjol adalah nukleus. Aktivitas metabolisme sel sebagian besar terjadi dalam sitoplasma. Sitoplasma mengandung banyak organel serta komponen sel lain yang tertanam dalam medium semi cair.
- Sel Tumbuhan
Sebagian besar ciri yang ada dalam sel hewan juga terdapat dalam sel tumbuhan, pada sel tumbuhan memiliki organel yang disebut plastida. Untuk jenis plastida terpenting yang harus ada dalam sel tumbuhan adalah kloroplas yang dapat melaksanakan fotosintesis. Kebanyakan dari sel tumbuhan memiliki vakuola sentral yang besar.

LATIHAN SOAL

1. Berdasarkan struktur dari sel prokariotik dan eukariotik, buatlah 4 perbedaan dari kedua sel tersebut!

Jawaban:

Faktor Pembeding	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
Membran inti	Belum memiliki membran inti sehingga materi genetik tersebar di sitoplasma	Inti sel terbungkus oleh membran inti
Ukuran sel	Umumnya kecil (0,1 - 1 μ m)	Umumnya lebih besar dari pada sel prokariotik
Organel	Tidak memiliki organel yang dilapisi oleh suatu membran rangkap	Organel-organel dilapisi oleh suatu membran rangkap
Sitoskeleton	Tidak terdapat sitoskeleton	Terdapat sitoskeleton
Pembelahan sel	Amitosis	Amitosis, Mitosis, Meiosis
Material genetik	Berbentuk cincin, bercampur dengan sitoplasma	Berbentuk <i>double helix</i> (DNA) terdapat pada nukleus
Kapsul (penutup sel)	Ada	Ada/tidak ada
Nukleus	Tidak ada	Ada

2. Mengapa sel selalu berukuran mikroskopis?

Jawaban:

Ukuran sel berkaitan dengan fungsi sel tersebut dan organel-organel sel yang melakukan proses metabolisme. Untuk melaksanakan fungsinya dengan baik sel harus memiliki ukuran yang kecil sehingga memudahkan dalam transpor zat keluar masuk serta pembuangan sisa metabolisme.

3. Perhatikan kutipan QS. Al Qomar ayat 49 berikut:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ

“Sungguh, Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.”

Terjemahan QS Al Qamar ayat 49 jelas menerangkan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu menurut ukuran. Jelaskan pendapat Saudara tentang keterkaitan ayat tersebut dengan topik struktur sel prokariotik dan eukariotik!

Jawaban:

- Segala hal yang diciptakan Allah SWT menunjukkan penampakan yang beragam, unik, dan variasi termasuk sel prokariotik dan eukariotik
- Kedua sel ini memiliki ukuran yang berbeda di mana keduanya tersusun atas organel-organel sel dengan ukuran yang variasi namun demikian

keduanya merupakan bagian dari isi bumi sebagai salah satu ciptaan Allah yang memiliki ukuran yang berbeda.

- Umumnya sel prokariotik memiliki ukuran 1-5 mikrometer dan sel eukariotik memiliki ukuran lebih besar yaitu berukuran 10-100 mikrometer
- Allah SWT dalam firman tersebut telah memperhitungkan dengan teliti bahwa segala yang diciptakan-Nya sesuai dengan ukuran dan ukuran menyesuaikan fungsinya dalam kehidupan.

MERISKA

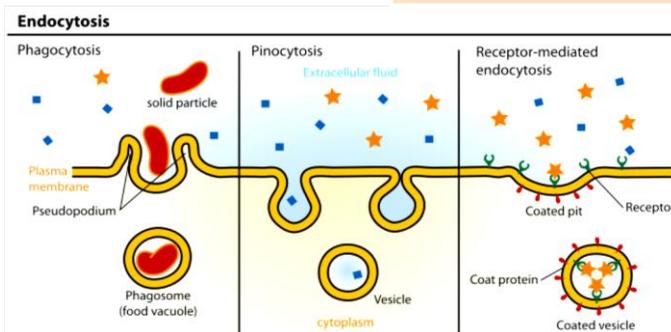
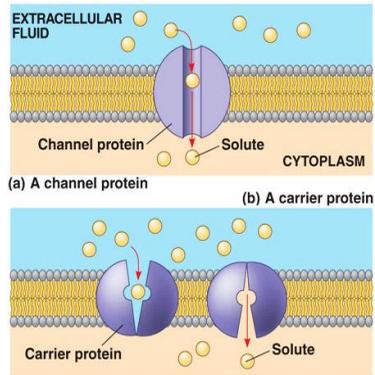
BAB 3. STRUKTUR & FUNGSI: MEMBRAN SEL & ORGANEL SEL

TUGAS 3-1

Buatlah ilustrasi mekanisme transpor molekul berukuran kecil dan berukuran besar, disertai dengan penjelasannya!

Jawaban:

Transpor materi berukuran kecil dan ion-ion dibedakan menjadi difusi sederhana, difusi terfasilitasi (dipermudah dengan bantuan protein membran), dan transpor aktif.



(Albert, et al. 2015. *Molecular Biology of Cell 6th Edition*)

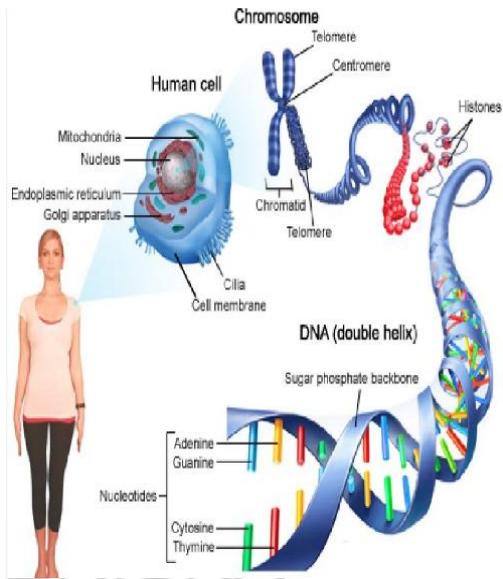
Transpor materi berukuran besar meliputi pinositosis dan fagositosis. Perbedaan yang mendasar dari kedua mekanisme transpor tersebut adalah sifat dan ukuran bahan yang ditranspor. Jika yang ditranspor berupa larutan melalui proses pembentukan gelembung-gelembung kecil maka disebut pinositosis (meminum), dan jika bahan yang ditranspor berupa makromolekul (meliputi organel berukuran kecil) melalui mekanisme pembentukan gelembung-gelembung besar disebut fagositosis atau memakan.

TUGAS 3-2

Buatlah sebuah ilustrasi (berupa gambar/ diagram) yang disertai dengan penjelasannya mengenai hubungan antara Nukleus, Kromosom, DNA, dan Gen!

Jawaban:

- Nukleus merupakan pusat kegiatan seluler, di dalam nukleus terdapat benang-benang halus yang disebut kromatin.
- Benang-benang kromatin akan tersusun memadat membentuk lengan kromatin. Pada saat sel akan memulai aktivitas reproduksi selnya, benang-benang halus (kromatin) tersebut menebal, lalu memendek membentuk kromosom.
- Kromosom pada dasarnya merupakan pembawa gen yang terdapat di dalam inti sel. Kromosom terdiri dari DNA, RNA, dan protein. Kromosom terdapat dalam inti sel berupa benang-benang tipis yang disebut kromatin. Dalam kromosom terdapat gen, merupakan unit pembawa informasi genetik.
- Gen secara substansi merupakan sepinggal dari DNA yang diliputi dan diikat oleh protein (histon) atau gen diartikan sebagai urutan nukleotida yang menyediakan sel dengan petunjuk untuk mensintesis protein tertentu atau jenis RNA tertentu. Dan tidak semua gen digunakan untuk menghasilkan protein. Sebagai contoh, gen untuk transfer RNA (tRNA) digunakan untuk membuat molekul tRNA, dan sementara tRNAs diperlukan untuk sintesis protein, dan tidak diterjemahkan untuk menghasilkan protein.



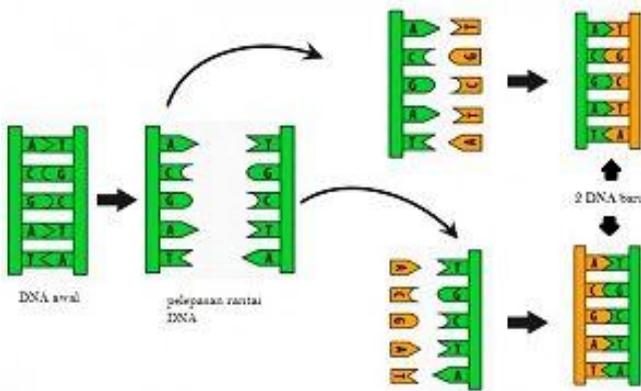
(<https://biologigonz.blogspot.com/2014/09/bab-substansi-genetik-bologi-kelas-xii.html>)

TUGAS 3-3

Buatlah sebuah ilustrasi (berupa gambar/ diagram) yang disertai dengan penjelasannya mengenai proses Sintesis Protein!

Jawaban:

- Dogma sentral terkait sintesis protein diawali terlebih dahulu dengan mekanisme replikasi DNA, dilanjutkan dengan tahap transkripsi lalu translasi.
- Replikasi DNA itu secara umum terjadi dengan bantuan enzim DNA polimerase. Enzim DNA polimerase sebenarnya memiliki banyak variasi sesuai organismenya, plus proses ini juga dibantu oleh enzim-enzim lain seperti topoisomerase yang fungsinya meluruskan struktur heliks DNA, helikase yang membuka ikatan hidrogen, RNA primase yang memasang primer RNA, dan enzim ligase yang menyatukan potongan DNA. Berikut contoh ilustrasi terkait proses replikasi DNA:

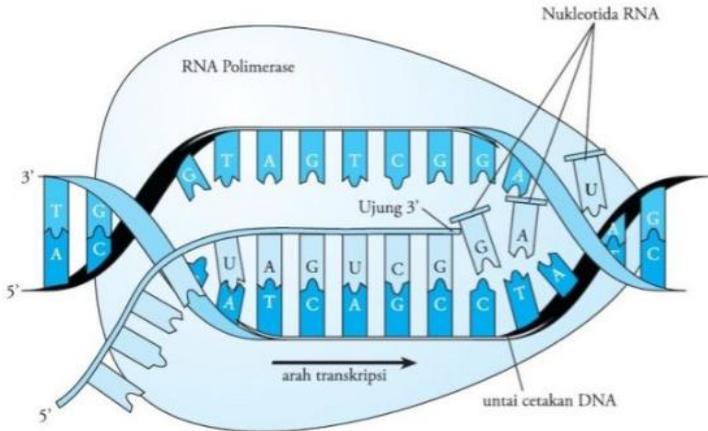


(<https://www.visionlearning.com/en/library/Biology/2/DNA-III/180>)

- Transkripsi merupakan sintesis RNA dari salah satu rantai DNA, yaitu rantai cetakan yang disebut *sense*, sedangkan pasangan rantai DNA nya disebut rantai *anti-sense*.
- Transkripsi diartikan juga sebagai **proses penyalinan** (transkrip = salin = fotokopi) gen di DNA menjadi urutan kodon mRNA (messenger RNA, atau ARNd, ARN duta) dengan bantuan enzim RNA polimerase. RNA polimerase menyalin DNA dengan menambahkan basa komplemen di bagian DNA cetakan/antisense sehingga huruf nukleotida akan sama dengan DNA komplemen/kode/sense.
- Tahap transkripsi dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu inisiasi, elongasi, dan terminasi. Inisiasi: RNA polimerase terikat pada untai DNA, yang disebut promoter, ditemukan didekat awal dari suatu gen. Setiap gen mempunyai promoter sendiri. Elongasi: Satu untai DNA, untai cetakan.

Terminasi: Urutan ini memberikan sinyal bahwa transkripsi RNA telah selesai. Setelah ditranskripsi, RNA polimerase melepaskan hasil transkripsi RNA.

Berikut contoh ilustrasinya:



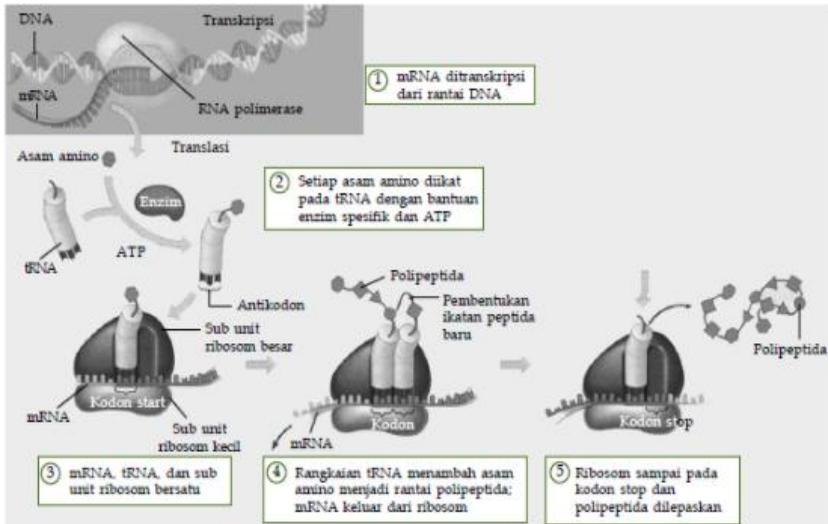
(<https://ilmudasar.id/pengertian-transkripsi-dna/>)

- Di prokariot, mRNA bisa langsung ditranslasi, sementara di eukariot, mRNA mengalami pemotongan bagian intron (bagian yang tidak dikode jadi protein) menyisakan ekson (yang berisi informasi kode protein) melalui proses yang disebut splicing. Informasi gen yang dibawa berupa kodon, 3 huruf/triplet huruf nukleotida berisi informasi asam amino tertentu.
- Translasi merupakan proses penerjemahan suatu kode genetik (kodon) menjadi protein yang sesuai. Selama proses ini, ribosom akan membaca kode yang ada pada mRNA dengan bantuan RNA lain, yakni pada RNA transfer (tRNA) dan menggunakannya untuk membuat sebuah protein. Sama seperti transkripsi, proses translasi pun terbagi dalam 3 tahapan: Inisiasi, Elongasi, dan Translasi.

Inisiasi translasi: Ribosom sub unit kecil yang mengikatkan diri pada mRNA yang telah membawa sandi bagi asam amino yang akan dibuat, serta mengikat pada bagian inisiator tRNA. Selanjutnya, molekul besar ribosom juga akan ikut terikat bersama ketiga molekul tersebut membentuk kompleks inisiasi. Elongasi translasi: Tahap pengaktifan asam amino akan terjadi kodon demi kodon sehingga dihasilkan asam amino satu demi satu. Asam-asam amino yang telah diaktifkan oleh kerja tRNA sebelumnya, akan dihubungkan melalui ikatan peptida membentuk polipeptida pada ujung tRNA pembawa asam amino. Misalnya, tRNA yang membawa asam amino fenilalanin, maka antikodon berupa AAA kemudian yang

berhubungan dengan kodon mRNA UUU. Terminasi translasi: Proses translasi akan berhenti setelah antikodon yang dibawa tRNA bertemu dengan kodon UAA, UAG, atau UGA. Dengan demikian, rantai polipeptida yang telah terbentuk akan dilepaskan dari ribosom dan diolah untuk membentuk protein fungsional.

Berikut ilustrasi proses translasi:



(<https://konsepbiologi.files.wordpress.com/2011/09/translasi-dan-trna.png>)

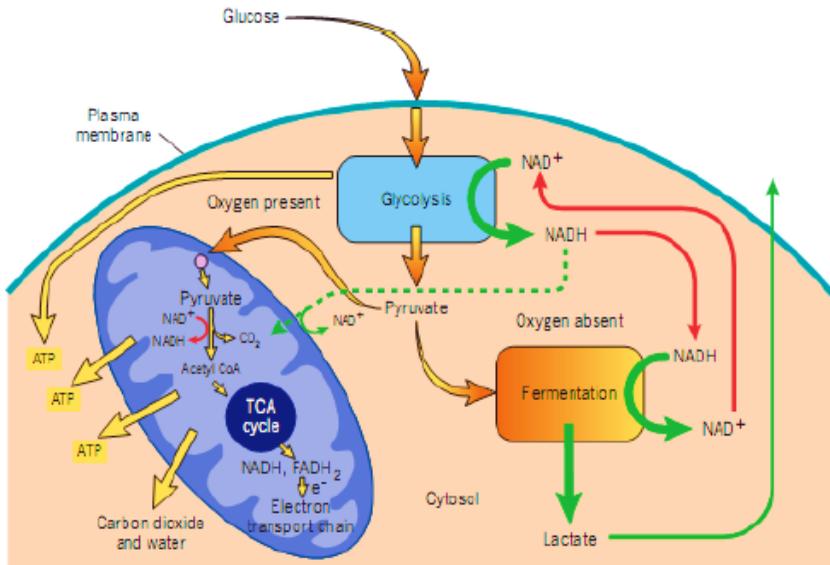
TUGAS 3-4

Mitochondria dikenal sebagai *The Power House of Cell*. Berkaitan dengan julukan tersebut, bagaimanakah cara kerja mitokondria pada organisme eukariotik?

Jawaban:

- Mitochondria dikenal dengan *The Power House of Cell* karena sebagai tempat terjadinya proses respirasi sel makhluk hidup, dan penghasil energi berupa ATP. Dalam kehidupan seluler, energi disimpan pada suatu molekul yang disebut ATP. Sel bekerja secara konstan untuk memelihara persediaan molekul penyimpan energi ATP ini.
- Metabolisme energi seluler oleh mitokondria diawali dari proses reaksi **glikolisis** menghasilkan piruvat dan NADH di sitosol. Jika oksigen tidak ada piruvat akan direduksi oleh NADH menjadi laktat. NAD⁺ terbentuk pada reaksi yang kemudian digunakan kembali pada kelanjutan glikolisis. Jika ada oksigen, piruvat bergerak ke dalam matriks mitokondria, kemudian terjadi dekarboksilat dan koenzim A (CoA) terkait, sebuah reaksi yang

menghasilkan NADH. NADH dihasilkan selama glikolisis menyumbangkan elektron berenergi tinggi. Kandungan tersebut akan menyebrangi membran dalam mitokodria. Asetil Co-A masuk ke **siklus Krebs (TCA)**, menghasilkan NADH dan FADH₂. Elektron yang beragam dari molekul NADH dan FADH₂ melintasi rantai transfer elektron. Energi dilepaskan selama transfer elektron dan kemudian digunakan untuk membentuk ATP. Jika semua energi dari transfer elektron digunakan dalam pembentukan ATP, kira-kira 36 ATP dapat dihasilkan dari satu molekul glukosa. Berikut ilustrasi metabolisme energi seluler oleh mitokondria:



(Karp. 2013. *Cell and Molecular Biology 7th Edition*)

TUGAS 3-5

RE, badan Golgi, dan lisosom saling berkaitan terkait perannya dalam sistem endomembran. Namun demikian, badan Golgi juga diketahui berperan dalam pembentukan dinding sel. Jelaskan peristiwa tersebut!

Jawaban:

- Badan Golgi berperan dalam pembentukan dinding sel (tumbuhan) pada saat proses sitokinesis.
- Badan Golgi mengeluarkan/membentuk vesikula-vesikula yang berisi senyawa pembentuk dinding sel seperti pektin, selulosa, hemiselulosa, dan sejenisnya.

- Adapun proses pembentukan dinding sel pada tumbuhan diawali dari peristiwa sitokinesis. Saat sitokinesis terjadi, badan Golgi melepaskan vesikula-vesikula menuju pusat kumparan. Vesikula yang dibentuk dari badan Golgi tersebut berhubungan dengan fragmoplas (yaitu mikrotubulus-mikrotubulus yang tersusun paralel di dalam sitoplasma), selanjutnya ditransportasikan menuju bidang ekuatorial pembelahan. Vesikula-vesikula yang telah berada di bidang ekuatorial berfungsi membentuk *cell plate* dan meluas ke arah luar. Vesikel Golgi yang baru terbentuk tersebut pada akhirnya akan membentuk sekat sempurna dan terbentuklah dinding sel.

TUGAS 3-6

Kemiripan struktur membran yang berlapis pada mitokondria dan kloroplas tentunya berkaitan. Jelaskan hubungan keterkaitan tersebut pada setiap reaksi kimia dalam sel antara mitokondria dan kloroplas!

Jawaban:

- Mitokondria dan kloroplas adalah 2 tipe organel di dalam sel yang mentransfer dan menyimpan energi. Keduanya berfungsi sebagai tempat metabolisme seluler, di mana pada mitokondria terjadi proses katabolisme dan di kloroplas terjadi anabolisme.
- Secara struktural, mitokondria dan kloroplas memiliki kemiripan struktur membran yang berlapis yang berguna untuk mensintesis energi (ATP).
- Membran berlapis pada mitokondria terbagi menjadi membran luar dan membran dalam. Membran luar mitokondria membungkus dan melindungi bagian luar mitokondria berfungsi sebagai pelindung. Selain itu, membran luar juga mengandung enzim yang terlibat dalam biosintesis lipid dan enzim yang berperan dalam proses transpor lipid ke matriks untuk menjalani β -oksidasi menghasilkan asetil-KoA.
- Membran dalam mitokondria terbagi menjadi dua daerah yaitu daerah batas membran dalam (*inner membrane*), terletak persis di luar membran dalam mitokondria, sebagai pembungkus bagian luar membran dalam, batas membran dalam ini kaya protein yang bertanggungjawab untuk impor protein mitokondria. Daerah lainnya berupa lipatan-lipatan yang menonjol ke dalam matriks disebut krista. Struktur krista ini memperluas permukaan membran dalam, sehingga meningkatkan kemampuannya dalam memproduksi ATP. Membran dalam mengandung protein yang terlibat dalam reaksi fosforilasi oksidatif, ATP sintase yang berfungsi membentuk ATP pada matriks mitokondria, serta protein transpor yang mengatur keluar masuknya metabolit dari matriks melewati membran dalam.
- Pada kloroplas, membran luarnya menutupi ruang intermembran antara membran dalam dan membran luar kloroplas. Fungsi membran luar

kloroplas sama dengan membran luar mitokondria, sebagai pelindung dan jalan masuk bebas untuk segala macam molekul makanan dari sitosol.

- Membran dalam kloroplas menutupi daerah yang berisi cairan yang disebut stroma yang mengandung enzim untuk reaksi terang pada proses fotosintesis. Pelipatan membran dalam membentuk struktur seperti tumpukan piringan yang saling berhubungan yang disebut tilakoid yang tersusun membentuk grana.

LATIHAN SOAL

1. Mengapa peristiwa respirasi anaerob menghasilkan energi lebih kecil?

Jawaban:

- Energi yang dihasilkan respirasi anaerob jauh lebih rendah dibandingkan aerob. Respirasi aerob menghasilkan energi bersih 36 ATP sedangkan anaerob hanya 2 ATP (karena saat pindah dari proses glikolisis di sitoplasma ke Transfer Elektron di mitokondria membutuhkan 36 ATP pada aerob, jadi dari total 38 ATP - 2 ATP).
- Respirasi anaerob menghasilkan energi yang lebih sedikit dibandingkan respirasi aerob, karena pada proses pernafasan aerob, dengan adanya oksigen, proses oksidasi lebih sempurna, sehingga energi yang dihasilkan lebih banyak daripada pernafasan anaerob yang mengalami oksidasi tidak sempurna. Karena itu, pada pernafasan aerob jumlah energi yang dihasilkan lebih besar, sekitar 36-38 molekul ATP setiap proses pernafasan. Sementara pernafasan anaerob menghasilkan sedikit sekali molekul ATP setiap prosesnya.

2. Letak badan Golgi yang berdekatan dengan RE memang dirancang untuk dapat saling bekerja sama dalam proses sekresi protein. Jelaskan bagaimana membuktikan proses pematangan protein melalui badan Golgi?

Jawaban:

- Semua protein yang dihasilkan dari REK, kecuali yang untuk membran RE sendiri, masuk ke lumen sisterna AG bagian cis, selanjutnya ke bagian media dan akhirnya masuk bagian trans.
- Dari RE ke AG protein dikemas dalam vesikel transisi sedang dari sisterna satu ke yang lain. Protein dikemas dalam vesikel-vesikel kecil yang di bentuk dari sisterna.
- Pada bagian trans Golgi protein sudah mengalami glikosilasi lengkap, selanjutnya protein masuk ke jala trans Golgi. Protein yang berada di dalam jala trans Golgi ini kemungkinan akan dikeluarkan dari sel sebagai sekret, tetap berada di dalam sel misalnya dalam lisosom, atau untuk membran sel dan membran intra sel.

3. Peristiwa fotosintesis tentunya tidak lepas dari peran kloroplas. Di dalam kloroplas terdapat klorofil, dikenal sebagai green substance yang membantu fotosintesis. Dalam QS Al An'am ayat 99 secara tersirat menjelaskan keistimewaan kloroplas, dapatkah kamu menjelaskan hal tersebut!

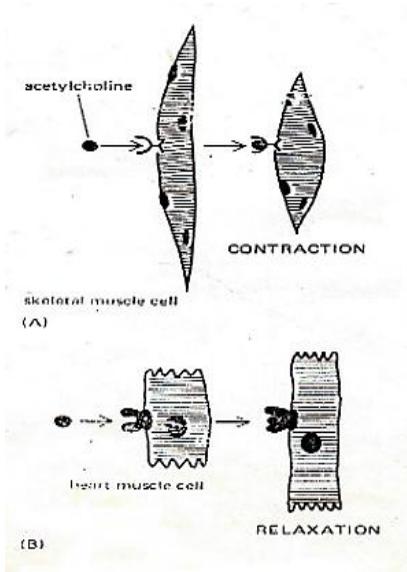
Jawaban:

- Kandungan isi surat Q.S An'am ayat 99 yaitu tentang Allah SWT telah menurunkan hujan dari langit, lalu Dia mengeluarkan dari hujan itu berbagai macam tumbuhan. Kemudian menumbuhkan dari tetumbuhan tersebut tanaman dan pepohonan yang menghijau, dan mengeluarkan dari tanaman itu biji-bijian yang tersusun satu sama lain.
 - Artinya tanaman dalam bertumbuh dan berkembang hingga menghasilkan biji-bijian tidak lepas dari proses fotosintesis yang mana hasilnya diedarkan keseluruh tubuh tumbuhan sehingga tumbuhan mampu tumbuh.
 - Kemudian untuk proses fotosintesis itu sendiri dapat terjadi jika ada kloroplas dalam tumbuhan tersebut. Berkaitan dengan sel, hanya sel tumbuhan saja yang mempunyai klorofil dan mampu memberikan kita kehidupan karena sebagai produsen.
4. Bentuk komunikasi sel otot rangka dan sel otot jantung akan berbeda saat diberi rangsang asetilkolin, gambarkan perbedaannya dan jelaskan!

Jawaban:

- Asetilkolin merupakan salah satu bentuk neurotransmitter yang dihasilkan oleh neuron. Asetilkolin memiliki peran untuk melakukan transmisi sinyal atau rangsangan yang di terima dari luar, kemudian sinyal tersebut disalurkan ke bagian sel sel yang letaknya berdekatan atau memiliki hubungan secara neuro muscular. Bentuk komunikasi sel otot lurik berbeda dengan sel otot jantung berbeda saat diberi rangsangan asetilkolin. Berikut penjelasannya.
- **Gambar (A)** sel otot lurik/rangka saat diberi rangsangan asetilkolin akan merespon dalam bentuk kontraksi otot. Saat asetilkolin berikatan dengan reseptor membran serabut serabut otot, saluran masuk membran terbuka dan proses kontraksi dimulai.

- Gambar (B)** sel otot jantung saat diberi rangsangan asetilkolin akan merespon dalam bentuk relaksasi. Kebalikan dari sel otot lurik, sel otot jantung akan relaksasi bila ada rangsangan asetilkolin. Saat asetilkolin berikatan dengan reseptor membran, potensial aksi sel mengalami relaksasi. Hal tersebut terjadi karena ion natrium yang berlebihan di dalam sel dan ion kalium yang berlebihan di luar sel dikembalikan ke tempat semula dengan pompa natrium-kalium, sehingga ion natrium kembali ke luar sel dan ion kalium kembali ke dalam sel, sehingga terjadi relaksasi.



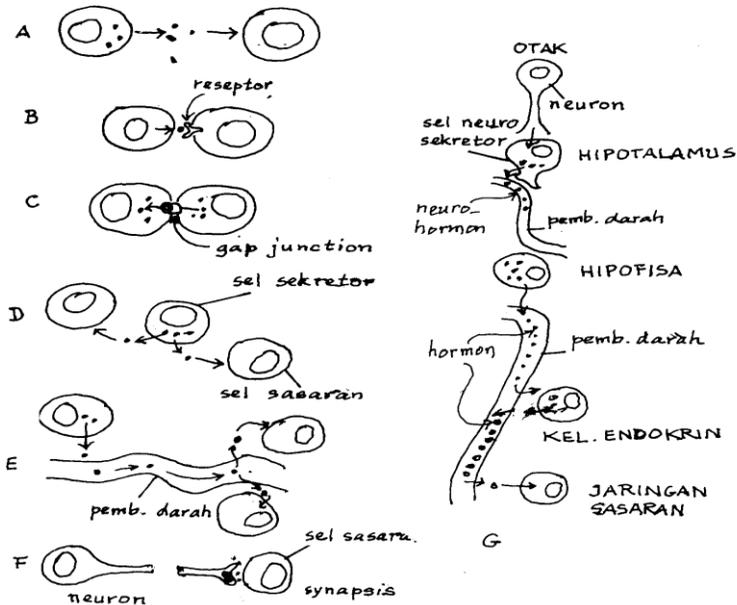
MERISKA

BAB 4. KOMUNIKASI SEL

TUGAS 4-1

Buatlah ilustrasi dari bentuk komunikasi antar sel: komunikasi lokal dan komunikasi jarak jauh, disertai dengan penjelasannya!

Jawaban:



Penjelasan Gambar:

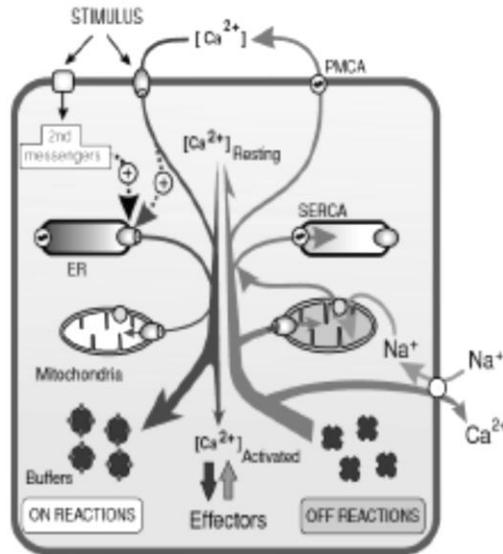
- merupakan bentuk komunikasi sel jarak dekat dengan cara difusi,
- jarak dekat dengan adanya reseptor pada sel sasaran,
- penyampaian bahan komunikasi lewat gap junction antara sel se-populasi.
- Sel sekretori mensekresi hasil sekret menuju sel lain dan sel target.
- Komunikasi antar sel yang melibatkan pembuluh darah, suatu sel mengeluarkan sekret menuju sel target.
- Komunikasi antar sel pada sel saraf dan sel lainnya yang melibatkan synapsis.
- Komunikasi antar sel yang melibatkan organ dan jaringan, misalnya produksi hormon oleh kelenjar hormon (endokrin) atau hipofisa, pengaruh kerja oleh otak, dan dialirkan ke pembuluh darah.

TUGAS 4-2

Buatlah ilustrasi dari mekanisme ion Ca^{2+} (kalsium) sebagai *second messenger*, lalu beri penjelasannya secara singkat!

Jawaban:

- Sinyal Ca^{2+} berfungsi untuk mengatur banyak proses seluler. Dinamika atau homeostasis sinyal Ca^{2+} diatur oleh interaksi antara reaksi ON dan OFF yang mengendalikan fluks Ca^{2+} di kedua plasma membran dan organel internal seperti retikulum endoplasma (ER) dan mitokondria.
- Sinyal Ca^{2+} adalah salah satu sistem sinyal utama di dalam sel. Sinyal Ca^{2+} ini berfungsi untuk mengatur banyak proses seluler.
- Sinyal Ca^{2+} dapat memicu kehidupan baru pada saat proses pembuahan, juga mengontrol banyak proses selama pertumbuhan, begitu satu sel membelah/berdiferensiasi, sinyal akan mengatur hampir semua aktivitas proses seluler, yang menentukan bagaimana metabolisme, sekresi, bergerak dan berpikir.



LATIHAN SOAL

1. Mengapa GPCRs memiliki 7 domain transmembran?

Jawaban:

- GPCRs (G-Protein couple receptor) merupakan grup reseptor yang penting karena perannya dalam proses transduksi sinyal.
- GPCRs memainkan peran kunci untuk terjemahan rangsangan ekstraseluler dalam sinyal intraseluler.

- Reseptor ini terlibat dalam mekanisme utama dari sel-sel eukariotik untuk menerima, menafsirkan, dan mengaktifkan berbagai rangsangan ekstraseluler yang berbeda. Oleh karena itu, GPCRs secara struktural memiliki tujuh transmembran.

2. Apakah peran utama dari protein G dalam sel?

Jawaban:

- G-protein atau GTP-binding protein merupakan molekul transduksi intermediet. Tipe-tipe protein GTP-binding akan berkaitan dengan perannya dalam proses transduksi sel.
- Protein heterotrimerik G yang terdiri dari tiga subunit yang berbeda (α , β , dan γ). Aktivasi reseptor menyebabkan ikatan dari protein G dan subunit α untuk mengubah GDP menjadi GTP, menyebabkan disosiasi subunit α dan $\beta\gamma$. Aksi biologis dari protein G diakhiri oleh hidrolisis GTP, yang dipercepat dengan protein GTPase-activating (GAP).
- Protein monomerik G menggunakan mekanisme yang serupa untuk menghantarkan sinyal dari reseptor permukaan sel yang teraktivasi ke target intraselular. Ikatan GTP menstimulasi aksi biologis dari protein G ini, dan aktivitasnya diakhiri dengan hidrolisis GTP, yang juga diregulasi oleh protein GAP.

3. Apa yang dimaksud dengan ligan, dan bagaimana perannya dalam transduksi sinyal dalam sel?

Jawaban:

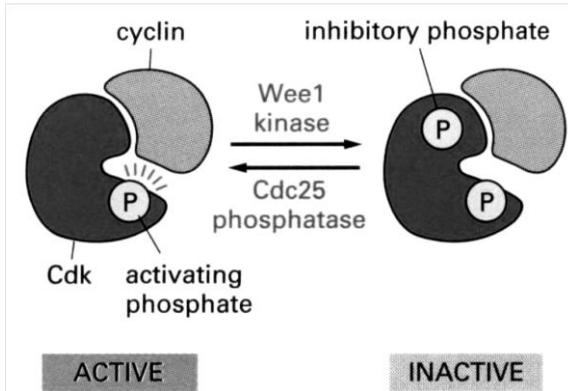
- Ligan sering juga dikatakan sebagai “sinyal”, merupakan ion atau molekul yang berikatan dengan reseptor mengikat G-protein sehingga berperan dalam aktivasi G-protein.
- Ligan dapat berupa hormon, growth factor, feromon, dapat pula berupa stimulus fisik (seperti cahaya, panas, sentuhan), dan perubahan konsentrasi metabolit.

BAB 5. SIKLUS SEL

TUGAS 5-1

Buatlah ilustrasi mengenai mekanisme aktivasi dan inaktivasi dari *Cyclin*!

Jawaban:



- Aktivitas cyclin juga dipengaruhi oleh beberapa jalur *extracellular signaling* yang memfasilitasi koordinasi pembelahan sel pada organisme multiselular.
- Sebagai tambahan aktivitas cyclin, siklus sel dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: growth factor, hormon, interaksi sel dengan sel. Setelah membentuk fungsi spesifiknya, cyclin akan didegradasi melalui jalur ubiquitin-proteasome.

TUGAS 5-2

Jika pada sel hewan proses sitokinesis diawali dengan adanya alur pembelahan yang terjadi pada bidang ekuator sehingga terbentuk cincin kontraktil. Bagaimana mekanisme sitokinesis pada sel tumbuhan?

Jawaban:

- Sitokinesis pada sel tumbuhan berlangsung dengan cara yang sangat berlainan. Tidak ada daerah pelekukan. Apabila terbentuknya dua buah sel anakan pada sel hewan merupakan akibat penjepitan permukaan sel dengan cincin kontraktil, maka pada sel tumbuhan, sitoplasma dibagi dua oleh pembentukan dinding sel yang baru di dalam sel induk. Dinding lintang (sekat sel) yang baru menentukan dengan tepat kedudukan dua sel baru di dalam sel induk dalam tubuh tumbuhan.
- Setelah dinding lintang baru (sekat sel) mulai terbentuk di bidang antara dua nukleus sel anakan. Sekat sel berhubungan dengan sisa mikrotubula gelendong mitosis, filament aktin, vesikel membrane yang membentuk

suatu struktur phragmoplast di tengah membagi sel. Mikrotubulus gelendong mitosis berfungsi sebagai lintasan gerakan vesikel-vesikel yang berasal dari golgi. Mikrotubula ini kemungkinan dibentuk di daerah permukaan nucleus sel yang baru, dengan ujung positif ke arah bidang ekuatorial.

- Vesikel-vesikel yang berasal dari apparatus golgi yang berisi zat-zat konstruksi dinding sel, tampak tersusun sepanjang mikrotubula disebelah phragmoplast dan diangkut ke arah bidang ekuatorial. Di daerah ekuatorial ini vesikel-vesikel tersebut melebur membentuk struktur yang berselaput yang dinamai sekat sel.

LATIHAN SOAL

1. Dalam sebuah siklus sel, jelaskan apa yang akan terjadi jika sel masuk ke fase G₀!

Jawaban:

- Sel memiliki kemampuan kapan harus membelah dan kapan harus berhenti.
 - Fase G₀ adalah fase stasioner. Jika sel masuk ke fase G₀ maka sel akan berhenti membelah/tidak membelah. Jika sel yang seharusnya masuk ke fase G₀ (berhenti membelah) tetapi sel tersebut langsung menuju ke fase G₁ maka sel itu merupakan sel tumor atau kanker.
 - Sel yang sudah berdiferensiasi (sudah membelah) maka tidak memiliki kemampuan untuk membelah
2. Checkpoint terjadi pada beberapa waktu yang berbeda selama siklus sel. Apabila checkpoint tidak berfungsi, kesalahan apa yang akan terjadi pada masing-masing siklus sel tersebut?

Jawaban:

- Sel memiliki mekanisme kontrol, yaitu pada checkpoint.
 - Tempat ini memeriksa kejadian-kejadian penting, seperti pertumbuhan sel, sintesis DNA, dan ketepatan segregasi chromosome sebelum sel meninggalkan suatu fase dalam siklus sel.
 - Bila checkpoint tidak berfungsi maka kejadian penting yang harus diperiksa akan mengalami gangguan.
3. Buatlah tabel perbedaan antara peristiwa mitosis dan meiosis!

Jawaban:

Aspek Perbedaan	Mitosis	Meiosis
Tujuan Pembelahan	Memperbanyak sel pada proses pertumbuhan, mengganti sel yang rusak. Pada organisme uniseluler untuk memperbanyak diri	Membentuk sel gamet (gametogenesis), mengurangi jumlah kromosom agar generasi berikutnya memiliki jumlah kromosom yang tetap
Tempat berlangsung	Pada sel hewan, terjadi pada sel-sel somatis Pada sel tumbuhan, terjadi di jaringan meristem (ujung akar, batang, dan kambium)	Pada sel hewan, terjadi pada proses gametogenesis Pada sel tumbuhan, terjadi pada mikrosporogenesis dan megasporogenesis
Pindah silang (pertukaran genetik)	Tidak adanya pertukaran genetik antara kromosom-kromosom homolog	Terjadi <i>crossing over</i> antara kromosom homolog
Tahap pembelahan sel	Terjadi dalam satu kali	Terjadi dalam 2 kali pembelahan
Kandungan genetik pada sel anakan	Sel anak identik dengan sel induknya ($2n - 2n$ atau $n - n$)	Genetik sel anakan berbeda satu sama lain, dan berbeda dengan sel induknya

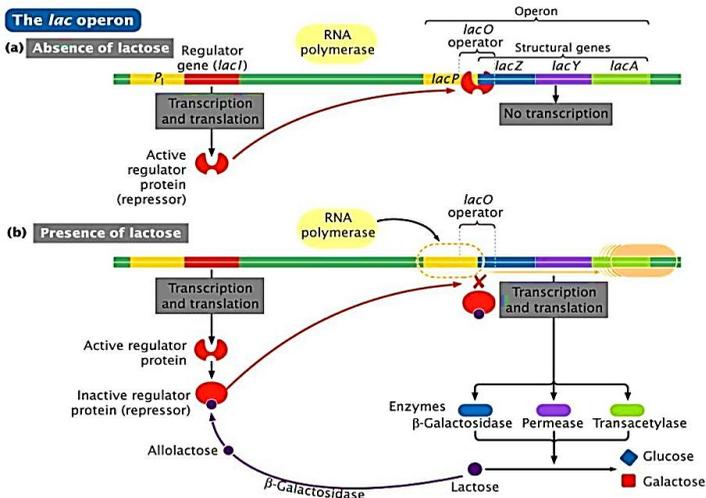
BAB 6. EKSPRESI GEN

TUGAS 6-1

Buatlah ilustrasi (gambar) mengenai organisasi operon pada bakteri, dan berikan penjelasannya!

Jawaban:

- Bakteri merupakan contoh dari organisme prokariotik.
- Suatu *operon* adalah organisasi beberapa gen struktural yang ekspresinya dikendalikan oleh satu promotor yang sama, sebagai contoh adalah *operon lac*, yaitu operan yang mengendalikan kemampuan metabolisme laktosa pada bakteri *Escherichia coli*.
- Operon laktosa terdiri atas 3 gen structural utama yaitu gen *lac Z* mengkode enzim β -galaktosidase yang menghasilkan dua monosakarida yaitu glukosa dan galaktosa, gen *lac Y* mengkode permease galaktosida, yaitu enzim yang berperan dalam pengangkutan laktosa dari luar ke dalam sel, dan gen *lac A* mengkode enzim transasetilase tiogalaktosida yang perannya belum diketahui secara jelas. Ketiga gen struktural tersebut dikendalikan ekspresinya oleh satu promoter yang sama dan menghasilkan satu mRNA yang bersifat polisistronik. Selain ketiga gen structural tersebut, juga terdapat gen regulator *lac I* yang mengkode suatu protein repressor dan merupakan bagian sistem pengendalian operon laktosa.
- Berikut ilustrasi mekanisme operan *lac*:



(<https://microbeonline.com/lac-operon-mechanism/>)

- Gambar a: mekanisme saat tidak ada laktosa. Pada keadaan tidak ada laktosa (sehingga alolaktosa juga tidak ada), repressor lac akan berada dalam konfigurasi aktifnya, dan gen-gen operon lac akan berada dalam keadaan diam. Sehingga tidak terjadi transkripsi.
- Gambar b: mekanisme saat ada laktosa. Jika laktosa ditambahkan ke medium nutrient sel tersebut, alolaktosa akan mengikatkan diri pada repressor lac dan mengubah konformasinya, menghilangkan kemampuan repressor untuk mengikatkan diri pada operator. Sehingga terjadi proses transkripsi.

TUGAS 6-2

Berdasarkan dari penjelasan tersebut, buatlah tabel perbedaan yang mendasari proses regulasi ekspresi gen antara prokariot dengan eukariot!

Jawaban:

- Berikut tabel perbedaan regulasi ekspresi gen antara prokariot dengan eukariot.

Pembeda	Prokariot	Eukariot
Promote	Polisistronik	Monosistronik
<i>DNA coding region</i>	Tidak ditemukan intron	Ditemukan intron
RNA polimerase	Hanya 1 jenis	3 jenis
Proses inisiasi	Hanya butuh DNA polimerase	Butuh protein atau enzim lain
<i>Post transcription</i>	Tidak ada	Ada

LATIHAN SOAL

1. Apa yang akan terjadi jika sel bakteri E. coli memiliki laktosa dan glukosa dalam mekanisme regulasi operan lac -nya?

Jawaban:

- Sel akan menguraikan glukosa sebelum laktosa. Glukosa dapat dengan segera digunakan untuk metabolisme, namun laktosa pertama-tama harus menjadi subjek aksi enzimatik sebelum menjadi komponen gula dalam bentuk siap pakai.
- Pada bakteri semua glukosa dapat digunakan sebelum memulai membuat enzim katabolisme untuk menguraikan laktosa tumbuh cepat dan bersaing dalam sel maka glukosa diuraikan terlebih dahulu.
- Memberikan keuntungan yang selektif menggunakan glukosa sebelum laktosa, hal ini tidak mengagetkan pada mekanisme yang terjadi pada E.coli selama sel-sel menggunakan glukosa yang ada dalam medium, bahkan jika ada sumber energi yang lain, seperti laktosa. Penekanan glukosa berupa enzim yang mengkatabolisme jenis gula yang lain.

2. Apa yang membedakan proses regulasi antara prokariot dengan eukariot pada level transkripsi?

Jawaban:

- Ekspresi gen pada level transkripsi berkaitan dengan mRNA.
- Transkripsi pada prokariotik, RNA polimerase menempel secara langsung pada DNA di daerah promoter tanpa melalui suatu ikatan dengan protein lain (hanya butuh DNA polimerase).
- Transkripsi pada eukariotik, diawali (diinisiasi) oleh proses penempelan faktor-faktor transkripsi dan kompleks enzim RNA polimerase pada daerah promoter. RNA polimerase eukariot tidak menempel secara langsung pada DNA di daerah promoter, melainkan melalui perantara protein-protein lain.
- Regulasi ekspresi gen prokariotik tidak memiliki tahap post-transcription, sementara pada eukariotik ada. Hal tersebut terjadi karena pada prokariotik tidak ditemukan intron sebagai DNA coding region-nya.

MERISKA

BAB 7. PERANAN BIOLOGI SEL DAN MOLEKULER DALAM KEHIDUPAN

TUGAS 7-1

Apa yang Anda ketahui tentang teknik-teknik molekuler dalam bidang pertanian? Berikan penjelasannya!

Jawaban:

Teknologi molekuler dalam bidang pertanian berkaitan dengan kajian Bioteknologi Pertanian. Berikut teknik-teknik molekuler yang umum dilakukan:

- Mikropropagasi adalah teknik memperbanyak tanaman di dalam wadah kaca dalam konsisi steril (*in vitro*). Bagian tanaman yang diperbanyak adalah meristem dan tunas tanaman. Teknik mikropropagasi tanaman telah dilakukan untuk menghasilkan bibit yang berkualitas dan bebas dari penyakit terutama pada tanaman yang mempunyai karakteristik sebagai berikut: tidak menghasilkan biji, tanaman yang terinfeksi virus, biji yang tidak sempurna, dan tanaman yang relatif sulit diperbanyak secara vegetatif dan generatif.
- Fusi Protoplas adalah memfusiikan 2 macam protoplasma yang sama atau berbeda, sehingga menghasilkan hibrida sel yang diharapkan dapat mengadakan regenerasi menjadi tanaman baru dengan sifat yang baru. Semua informasi genetik yang dikehendaki tidak berada dalam protoplasma yang sama. Sumber protoplas biasanya jaringan daun, kalus, kotiledon, bunga, dan lainnya.
- Kultur Mikrospora adalah teknik perbanyakan tanaman menggunakan mikrospora dalam satu bunga. Kultur dengan cara ini, jauh lebih banyak dan lebih efisien jika dibandingkan dengan jumlah sel pada jaringan meristem pucuk/tunas, suspensi sel, dan protoplas pada penggunaan satu pohon sumber eksplan. Setiap mikrospora berpeluang untuk tumbuh menjadi individu tanaman lengkap apabila dikulturkan di dalam medium yang kaya nutrisi karena sel tersebut memiliki sifat totipotensi.

TUGAS 7-2

Lingkungan tidak bisa lepas dari keanekaragaman hayati yang ada di dalamnya. Jelaskan bagaimana peran kajian Biologi sel dan molekuler dalam hal pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati tersebut!

Jawaban:

- Keanekaragaman hayati atau biodiversitas tidak hanya berkaitan dengan ekologi, namun biodiversitas juga berkaitan dengan biologi sel dan molekuler

- Kajian biologi sel dan molekuler memberikan pemahaman dasar untuk memahami karakteristik utama seluruh organisme sumber daya hayati Indonesia pada level seluler.
- Setiap organisme terdiri atas sel sebagai unit penyusun yang terkecil. Memahami sel berarti memahami struktur dan fungsi pada makhluk hidup pada level terkecil. Informasi mengenai karakter pada setiap organisme sangat diperlukan untuk identifikasi, meninjau potensi, dan menentukan upaya konservasi yang tepat.
- Selain itu, sel dapat digunakan sebagai perwakilan untuk mempelajari sifat- sifat organisme yang sulit untuk dibawa dan dianalisis langsung di laboratorium.
- Teknologi dalam biologi sel dan molekuler dapat diaplikasikan untuk mengembangkan dan mengkonservasi keanekaragaman hayati Indonesia.
- Beberapa di antaranya seperti kultur sel, fusi protoplas, DNA rekombinan, kultur jaringan, gene bank, dan lainnya.

LATIHAN SOAL

1. Meskipun teknik pemuliaan selektif dan rekayasa genetika terlihat sama, namun keduanya tetaplah memiliki perbedaan. Jelaskan letak perbedaan dari kedua teknik tersebut!

Jawaban:

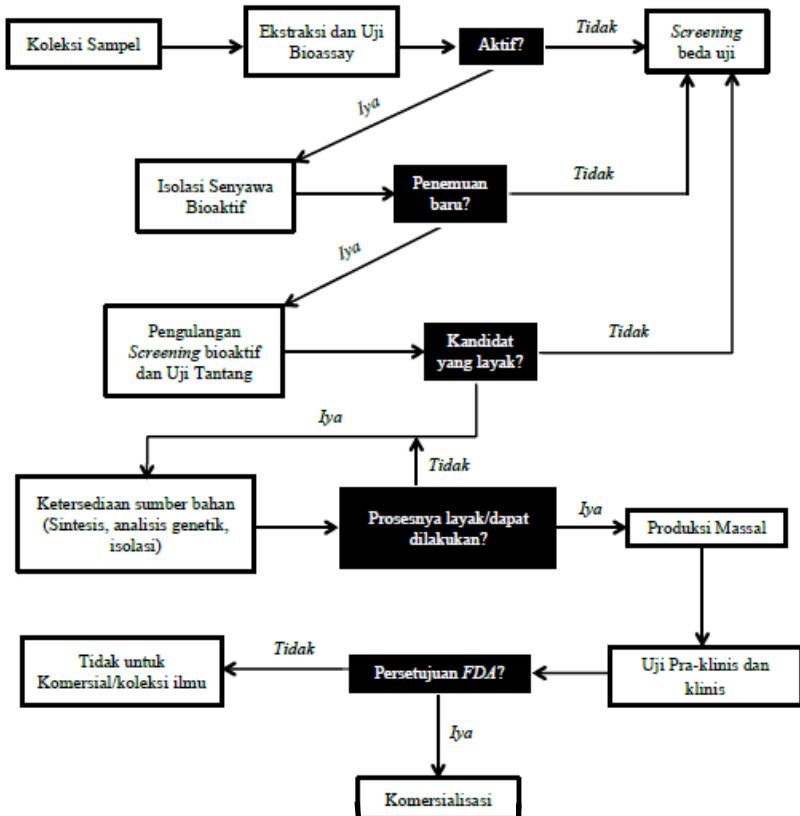
- Pada dasarnya teknik pemuliaan selektif dan rekayasa genetika bertujuan menggabungkan materi genetik dari sumber yang berbeda untuk menghasilkan organisme yang memiliki sifat-sifat baru yang berguna. Namun demikian, kedua tetap memiliki perbedaan.
- Berikut perbedaan antara teknik pemuliaan selektif dengan rekayasa genetika.

Parameter	Pemuliaan selektif	Rekayasa Genetika
Tingkat	Organisme utuh	Sel atau molekul
Ketepatan	Sekumpulan gen	Satu gen tunggal
Kepastian	Perubahan genetika sulit atau tidak mungkin dapat dikarakterisasi	Perubahan material genetika dapat dibentuk/dikarakterisasi dengan baik
Batasan taksonomi	Hanya dapat dilakukan dalam satu spesies atau satu genus	Tidak ada batasan taksonomi

2. Bioprospeksi merupakan sumber daya genetik baru dan berkelanjutan, sehingga dapat membantu dalam berbagai sektor kehidupan. Berikanlah contoh dari mekanisme bioprospeksi!

Jawaban:

- Bioprospeksi adalah kegiatan eksplorasi material-material biologis dengan mendapatkan gen dan sifat biokimia yang dapat dikomersialkan.
- Proses biologi dan bahan-bahan yang digunakan sumberdaya hayati untuk bertahan hidup dari suhu yang ekstrim, pH, tekanan, dan kondisi ekstrim lainnya menjadikan sebagai sumber yang sangat berpotensi untuk pengembangan ilmu dan kegiatan bioprospeksi.
- Secara umum, proses bioprospeksi terdiri dari 4 tahap, yaitu koleksi sampel dari berbagai lokasi, isolasi (mencakup karakterisasi dan produksi senyawa tertentu), screening, dan pengembangan produk (komersialisasi seperti paten, promosi, penjualan, dan pemasaran). Berikut ilustrasi dari tahapan dari proses bioprospeksi.



Newman, D.J. and Cragg, G.M. 2005. *Political, Legal, Scientific and Financial Aspects of Marine Biodiscovery Programmes*. In Shotton, R. (Ed)



RUBRIK PENILAIAN TUGAS & LATIHAN SOAL

PEDOMAN PEMBERIAN SKOR TUGAS DAN LATIHAN SOAL BERPIKIR KRITIS

SKOR	KATEGORI BERPIKIR KRITIS	KRITERIA
4	Sangat Terampil	Jawaban tepat dan lengkap (sesuai dengan petunjuk/pertanyaan diikuti), tersusun dengan kalimat penjelasan yang sistematis, sehingga tampak alur berpikir yang logis
3	Terampil	Jawaban cukup tepat, cukup lengkap (hampir semua petunjuk/pertanyaan diikuti), susunan kalimat jelas tetapi belum sistematis, alur berpikir logis
2	Tidak Terampil	Jawaban belum tepat, hampir lengkap (hampir semua petunjuk/pertanyaan diikuti), susunan kalimat cukup jelas, namun alur berpikir masih kurang sesuai dan kurang logis
1	Dasar	Jawaban tidak tepat, kurang lengkap (sebagian petunjuk/pertanyaan tidak diikuti), susunan kalimat tidak jelas, alur berpikir tidak sesuai dan kurang logis

**PEDOMAN PEMBERIAN SKOR KETERAMPILAN METAKOGNITIF
(TERINTEGRASI TES ESSAY)**

SKOR	KRITERIA
7	Jawaban dalam kalimat sendiri, urutan paparan jawaban runtut dan sistematis, logis, dengan gramatika (bahasa) benar, yang dilengkapi dengan alasan (analisis/evaluasi/kreasi), dan jawaban itu benar
6	Jawaban dalam kalimat sendiri, urutan paparan jawaban runtut dan sistematis, logis, dengan gramatika (bahasa) kurang benar, yang dilengkapi dengan alasan (analisis/evaluasi/kreasi), dan jawaban itu benar
5	Jawaban dalam kalimat sendiri, urutan paparan jawaban kurang/tidak runtut dan sistematis, kurang/tidak logis, dengan gramatika (bahasa) kurang benar, yang dilengkapi dengan alasan (analisis/evaluasi/kreasi), dan jawaban itu benar
4	Jawaban tidak dalam kalimat sendiri, urutan paparan jawaban runtut dan sistematis, logis, dengan gramatika (bahasa) benar, yang dilengkapi dengan alasan (analisis/evaluasi/kreasi), dan jawaban itu benar
3	Jawaban tidak dalam kalimat sendiri, urutan paparan jawaban kurang/tidak runtut dan sistematis, kurang/tidak logis, dengan gramatika (bahasa) kurang benar, yang dilengkapi dengan alasan (analisis/evaluasi/kreasi), dan jawaban itu benar
2	Jawaban tidak dalam kalimat sendiri, urutan paparan jawaban kurang/tidak runtut dan sistematis, kurang/tidak logis, dengan gramatika (bahasa) kurang benar, kurang dilengkapi dengan alasan (analisis/evaluasi/kreasi), dan jawaban itu kurang benar
1	Jawaban tidak dalam kalimat sendiri, urutan paparan jawaban kurang/tidak runtut dan sistematis, kurang/tidak logis, dengan gramatika (bahasa) tidak benar, tidak dilengkapi dengan alasan (analisis/evaluasi/kreasi), dan jawaban itu tidak benar
0	Tidak ada jawaban sama sekali

(Corebima, 2009)

Rumus: $y_2 = \frac{y_1 + 2x}{3}$ atau $x = \frac{3y_2 - y_1}{2}$

di mana:

y_2 = skor gabungan

(skor pemahaman konsep dan skor keterampilan metakognitif mentah)

y_1 = skor pemahaman konsep

x = skor keterampilan metakognitif

KATEGORI KETERAMPILAN METAKOGNITIF

KATEGORI	SKALA SKOR	DESKRIPSI
<i>Not yet</i>	00 – 16	Belum tersingkap/mengarah pada metakognitif
<i>At risk</i>	17 – 33	Nampak tidak memiliki kesadaran berpikir sebagai sebuah proses
<i>Not really</i>	34 – 50	Tidak mampu memisahkan apa yang dipikirkan dengan bagaimana ia berpikir
<i>Developing</i>	51 – 67	Bisa membantu menuju kesadaran berpikir sendiri jika didorong dan didukung
<i>Ok</i>	68 – 84	Sadar akan berpikir sendiri dan bisa membedakan tahap-tahap input elaborasi-output pikirannya sendiri Kadang-kadang menggunakan model untuk mengatur berpikir dan belajarnya sendiri
<i>Super</i>	85 – 100	Menggunakan kesadaran metakognitif secara teratur untuk mengatur proses berpikir dan belajarnya sendiri. Menyadari ada banyak macam kemungkinan berpikir, mampu menggunakan dengan lancar dan merefleksikan proses berpikirnya

PEDOMAN PENILAIAN SKOR PEMAHAMAN KONSEP

Perhitungan skor pemahaman konsep dilihat dari jawaban mahasiswa dalam menjawab pertanyaan Kolom Tugas dan Latihan Soal. Kriteria jawaban mengacu pada Pedoman Pemberian Skor (hal. 201). Skor akhir pemahaman konsep ini nantinya akan digabungkan dengan rumus *Metacognitive Skill* untuk menemukan skor keterampilan metakognitif.

Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung pemahaman konsep mahasiswa:

$$\text{Skor Pemahaman Konsep} = \frac{\text{jumlah skor jawaban}}{\text{jumlah skor total}} \times 100$$

KATEGORI PEMAHAMAN KONSEP

SKALA SKOR	KATEGORI
90 – 100	Baik Sekali
80 – 89	Baik
70 – 79	Cukup
< 70	Kurang

MERISKA



LEMBAR PENILAIAN KETERLAKSANAAN ASPEK BUKU MERISKA

Petunjuk

1. Lembar Penilaian ini bertujuan untuk mengetahui apakah aspek yang terintegrasi dalam buku MERISKA ini terlaksana atau tidak dalam proses pembelajaran.
2. Aspek MERISKA meliputi metakognitif, berpikir kritis, nilai Islam, dan nilai karakter.
3. Berilah tanda ceklis (✓) pada skala penilaian yang dianggap sesuai. Makna angka penilaian antara lain:
 - 1 = tidak terlaksana
 - 2 = sebagian kecil terlaksana
 - 3 = cukup terlaksana
 - 4 = hampir seluruhnya terlaksana
 - 5 = semua terlaksana

Tabel Penilaian (Observasi)

No.	Aspek yang dinilai	Skala Penilaian					Saran/ Komentar
		1	2	3	4	5	
A. METAKOGNITIF							
1	Setiap Bab Buku MERISKA terdapat Capaian Matakuliah (CPMK), dan terlebih dahulu Saya membacanya						
2	Adanya CPMK dan Sub-CPMK memudahkan Saya dalam merumuskan tujuan dan strategi keberhasilan belajar						

3	Setiap Bab buku MERISKA diawali dengan pendahuluan/ PENGANTAR, sehingga sangat membantu Saya memahami materi						
4	Tampilan penulisan dari setiap Bab dalam buku MERISKA membantu Saya dalam memahami materi yang akan diajarkan						
5	Adanya petunjuk pada kolom TUGAS dan LATIHAN SOAL memudahkan Saya sebelum mengerjakannya						
6	Adanya Kolom REFLEKSI DIRI membantu Saya dalam membuat catatan/ringkasan materi yang telah saya kuasai/pelajari						
7	Adanya KUNCI JAWABAN membantu Saya menguraikan jawaban dengan kalimat sendiri						
B. BERPIKIR KRITIS							
6	Kalimat-kalimat yang ada di setiap Bab memudahkan Saya dalam menginterpretasikan materi yang dipelajari						
7	TUGAS dan LATIHAN yang ada dalam setiap Bab membantu Saya untuk melatih komponen keterampilan berpikir						

8	TUGAS dan LATIHAN yang berbentuk uraian memudahkan Saya mengeksplorasi jawaban						
9	TUGAS dan LATIHAN mendorong Saya untuk dapat mengkomunikasikan hasil pemikiran/jawaban (komponen <i>explanation</i>)						
NILAI ISLAM							
10	Adanya bagian dari buku MERISKA yang berisi nilai Islam membantu Saya memahami keterkaitan antara topik materi dengan Al Qur'an atau Hadits						
11	Tafsir dari kutipan-kutipan ayat Al Qur'an atau hadits membantu Saya memahami adanya integrasi di antara keduanya						
12	Tafsir dari kutipan-kutipan-kutipan ayat Al Qur'an atau hadits menjadikan Saya mencari tahu hubungan/keterkaitan antara topik materi dengan ayat Al Qur'an atau Hadits						

NILAI KARAKTER							
13	Adanya bagian dari buku MERISKA yang berisi nilai Islam membantu Saya memahami keterkaitan antara topik materi dengan nilai karakter kaehidupan						
14	Pemberian contoh nilai karakter disajikan secara sederhana dan mudah Saya pahami						
15	Pemberian contoh nilai karakter disajikan secara sederhana dan berkaitan dengan kehidupan sehari-hari sehingga mudah bagi Saya untuk menjalankannya						

MERISKA

Tentang Penulis



Rizkia Suciati. Alumnus Jurusan Pendidikan Biologi S1 Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta (UHAMKA) tahun 2008. Pada tahun 2012 menyelesaikan studi Program Magister Pendidikan Biologi di Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Sejak tahun 2013 hingga sekarang, penulis mengajar di program studi Pendidikan Biologi FKIP

UHAMKA. Mata kuliah yang diampu antara lain: Biologi Umum, Biologi Sel dan Molekuler, Evolusi, dan Pembinaan Kompetensi Mengajar Biologi.

Tahun 2015, penulis ditugaskan untuk mengikuti kegiatan *Baitul Arqam* Ketua Program Studi dan Dosen bertema “Integrasi Ilmu sebagai Basis dan Terapan Kualifikasi Pendidikan Muhammadiyah”, dan Workshop “Integrasi Keilmuan untuk Membangun Peradaban Islam, Pengalan Perguruan Tinggi Islam”. Berawal dari kegiatan tersebut, penulis tertarik untuk mempelajari tentang integrasi Islam dan sains.

Beberapa karya ilmiah yang telah dihasilkan antara lain: Perbedaan Kemampuan *Self-efficacy* Mahasiswa antara Model *Problem-Based Learning* dengan Model Ekspositori pada Mata Kuliah Evolusi (SNIPS ITB, 2014), Perbedaan Kemampuan Berpikir Kritis Mahasiswa antara Model Problem Based Learning dengan Model Ekspositori pada Matakuliah Evolusi (Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi UMM, 2015), Literasi Asesmen IPA Guru Sekolah Dasar (Jurnal Inovasi Pendidikan Dasar, 2015), Analisis Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) Mahasiswa Calon Guru Biologi (EDUSAINS, 2016), Efektifitas media pertumbuhan maggots *Hermetia illucens* (lalat tentara hitam) sebagai solusi pemanfaatan sampah organik (BIOSFER, 2017), *Method of Portofolio Resume Assignment to Improving Students Concept*

Comprehension Towards Molecular Cellular Biology Class (EDUSAINS, 2018), *Implementasi Green Living Sebagai Upaya Meningkatkan Sikap Peduli Lingkungan di Sekolah Adiwiyata SMPN 2 Solear Kab. Tangerang* (FLOREA, 2018), *Persepsi Mahasiswa Pendidikan Biologi tentang Integrasi Nilai Islam & Karakter dalam Perkuliahan Biologi Sel Molekuler* (Laporan Penelitian, 2018).

Saat ini, penulis tercatat sebagai mahasiswa aktif angkatan 2017 pada Program Doktor (S3) jurusan Pendidikan Biologi FMIPA Universitas Negeri Malang, Jawa Timur. Sepanjang menjalankan studi, penulis memperoleh beasiswa seperti program Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik DIKTI (S1), Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (S3), dan Beasiswa Studi Lanjut UHAMKA (S2).

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: rizkia_suciati@uhamka.ac.id.

MERISKA

MERISKA

(METAKOGNISI, BERPIKIR KRITIS,
NILAI ISLAM & KARAKTER)



Sel sebagai ciptaan Allah SWT memiliki berjuta keunikan di dalamnya. Allah SWT mengatur segala hal yang ada di bumi ini tidak terkecuali sel beserta aktivitas sel lainnya. Mempelajari sel secara mendalam tentunya menyadarkan kita untuk menjalani kehidupan dengan penuh rasa syukur atas kebesaran-Nya.

Kajian Biologi sel dan molekuler merupakan konsep dasar untuk mempelajari Ilmu Biologi secara komprehensif, namun seringkali sulit dipahami. Tanpa disadari, hal tersebut akan mempengaruhi keterampilan berpikir si pembaca sehingga timbul kemalasan untuk mempelajari Biologi sel dan molekuler.

Buku MERISKA hadir sebagai buku ajar Biologi sel dan molekuler yang terintegrasi dengan Metakognisi, Berpikir Kritis, Nilai Islam dan Karakter. Buku ini berisi materi perkuliahan Biologi Sel dan Molekuler yang disajikan secara ringkas dan sederhana, sehingga dapat memfasilitasi mahasiswa dan dosen dalam perkuliahan.

Buku MERISKA dilengkapi dengan Tugas dan Latihan Soal guna memberdayakan keterampilan metakognitif dan berpikir kritis mahasiswa. Muatan nilai Islam dalam bentuk pemahaman ayat Al Qur'an dan Hadits, serta nilai karakter yang dapat diambil dari setiap topik/materi juga dimunculkan sebagai upaya untuk menumbuhkan nilai karakter pada mahasiswa, khususnya karakter religius-Islam.

Selamat membaca!



Penerbit:

CV. Multimedia Edukasi

Jl. Ki Ageng Gribig, Gang Kaserin MU No. 36
Kota Malang 65138, Telp: +628523277747
www.multidukasi.co.id

ISBN 978-623-6605-31-8



9 786236 605318