



Pengembangan Keprofesian
Berkelanjutan (PKB)
Guru Madrasah Aliyah



**MADRASAH
REFORM** 2020
2024
Realizing Education's Promise
Madrasah Education Quality Reform
(IBRD 8992-1D)

Modul Pembelajaran Biologi

BIOLOGI SEL

Unit 07

Pembelajaran

Kementerian Agama Republik Indonesia
Direktorat Jenderal Pendidikan Islam
Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Madrasah
Tahun 2020

Disusun oleh :
Tim Pengembang Modul
Pembelajaran PKB Guru
Madrasah Aliyah



Unit Pembelajaran 07

BIOLOGI SEL

MATA PELAJARAN BIOLOGI MADRASAH ALIYAH

Penanggung Jawab

*Direktorat GTK Madrasah
Direktorat Jenderal Pendidikan Islam
Kementerian Agama Republik Indonesia*

Penyusun

*Sri Surti
Tina Yulistania
Tinia Leyli Shofia Ahmad
Lilik Muntamah
Andri Adi Mustika*

Reviewer

Ade Suryanda

Copyright © 2020

Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Madrasah

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang mengcopy sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Agama Republik Indonesia



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Undang – undang Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen Pasal 1 ayat 1 menyatakan bahwa Guru adalah pendidik profesional dengan tugas utama mendidik, mengajar, membimbing, mengarahkan, melatih, menilai, dan mengevaluasi peserta didik pada Pendidikan Anak Usia Dini jalur Pendidikan Formal, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah. Agar dapat melaksanakan tugas utamanya dengan baik, seorang guru perlu meningkatkan kompetensi dan kinerjanya secara bertahap, berjenjang, dan berkelanjutan melalui Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) guru. Untuk itu saya menyambut baik terbitnya modul ini sebagai panduan semua pihak dalam melaksanakan program PKB.

Peningkatan Kompetensi Pembelajaran merupakan salah satu fokus upaya Kementerian Agama, Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan (GTK) dalam meningkatkan kualitas madrasah melalui pembelajaran berorientasi keterampilan berpikir tingkat tinggi, kontekstual, dan terintegrasi dengan nilai-nilai keislaman. Program PKB dilakukan mengingat luasnya wilayah Indonesia dan kualitas pendidikan yang belum merata, sehingga peningkatan pendidikan dapat berjalan secara masif, merata, dan tepat sasaran.

Modul ini dikembangkan mengikuti arah kebijakan Kementerian Agama yang menekankan pada pembelajaran berorientasi pada keterampilan berpikir tingkat tinggi atau *higher order thinking skills* (HOTS) dan terintegrasi dengan nilai-nilai keislaman. Keterampilan berpikir tingkat tinggi adalah proses berpikir kompleks dalam menguraikan materi, membuat kesimpulan, membangun representasi, menganalisis, dan membangun hubungan dengan melibatkan aktivitas mental yang paling dasar. Sementara, nilai-nilai keislaman diintegrasikan dalam pembelajaran sebagai *hidden curriculum* sehingga tercipta generasi unggul sekaligus beriman dan bertakwa serta berakhlak mulia.



Sasaran Program PKB ini adalah seluruh guru di wilayah NKRI yang tergabung dalam komunitas guru sesuai bidang tugas yang diampu di wilayahnya masing-masing. Komunitas guru dimaksud meliputi kelompok kerja guru (KKG), Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP), dan Musyawarah Guru Bimbingan Konseling (MGBK). Model pembelajaran yang digunakan dalam modul ini adalah melalui moda Tatap Muka *In-On-In* sehingga guru tidak harus meninggalkan tugas utamanya di madrasah sebagai pendidik.

Semoga modul ini dapat digunakan dengan baik sebagaimana mestinya sehingga dapat menginspirasi guru dalam materi dan melaksanakan proses pembelajaran. Kami ucapkan terima kasih atas kerja keras dan kerja cerdas para penulis dan semua pihak terkait yang dapat mewujudkan Modul ini. Semoga Allah SWT senantiasa meridhai dan memudahkan upaya yang kita lakukan. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Jakarta, Oktober 2020
An. Direktur Jenderal,
Direktur Guru dan Tenaga Kependidikan Madrasah,

Muhammad Zain



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
01 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan.....	1
C. Manfaat	2
D. Sasaran	2
E. Petunjuk Penggunaan	2
1. Perangkat Pembelajaran, Alat dan Bahan yang harus disiapkan oleh guru.....	5
2. Alat dan Bahan yang harus disiapkan oleh peserta didik	5
02 TARGET KOMPETENSI	6
A. Target Kompetensi Guru	6
1. Target Kompetensi Guru.....	6
2. Indikator Pencapaian Kompetensi Guru	7
B. Target Kompetensi Peserta Didik.....	7
1. Kompetensi Dasar	8
2. Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK)	8
03 MATERI DAN ORGANISASI PEMBELAJARAN.....	10
A. Ruang Lingkup Materi	10
B. Organisasi Pembelajaran.....	10
04 KEGIATAN PEMBELAJARAN	11
A. Pengantar	11
B. Aplikasi dalam Kehidupan	13
C. Integrasi Keislaman.....	13



D. Bahan Bacaan	15
E. Aktivitas Pembelajaran	47
1. Aktivitas Pembelajaran Topik 1: Sejarah perkembangan sel, evolusi sel dan sifat kimia protoplasma	47
2. Aktivitas Pembelajaran Topik 2: Struktur sel dan deferensiasi dan spesialisasi sel, <i>Kegiatan In Service Learning-1 (2 JP)</i>	51
F. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)	55
05 PENILAIAN	69
A. Tes Formatif	69
B. Penilaian	72
1. Penilaian untuk Guru	72
2. Penilaian untuk Peserta Didik	73
06 PENUTUP	75
KUNCI JAWABAN TES FORMATIF	76
GLOSARIUM	77
DAFTAR PUSTAKA	80



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Target Kompetensi Guru	6
Tabel 2 Indikator Pencapaian Kompetensi Guru.....	7
Tabel 3 Target Kompetensi Dasar Peserta Didik	8
Tabel 4 Indikator Pencapaian Kompetensi Peserta Didik	9
Tabel 5 Organisasi Pembelajaran	10
Tabel 6 Komposisi senyawa organik dan anorganik pada protoplasma.....	25
Tabel 7 Klasifikasi Asam Amino	28
Tabel 8 Desain Pembelajaran Topik 1 Pertemuan 1.....	48
Tabel 9 Desain Pembelajaran Topik 1 Pertemuan 2.....	49
Tabel 10 Desain Pembelajaran Topik 1 Pertemuan 3	50
Tabel 11 Refleksi Pelaksanaan Pembelajaran On the Job Learning Topik 1	51
Tabel 12 Desain Pembelajaran Topik 2 Pertemuan 1	52
Tabel 13 Desain Pembelajaran Topik 2 Pertemuan 2	53
Tabel 14 Refleksi Pelaksanaan Pembelajaran On the Job Learning Topik 2	54
Tabel 15 Instrumen penilaian diri bagi guru.....	72
Tabel 16 Instrumen penilaian guru oleh asesor/fasilitator.....	72
Tabel 17 Instrumen penilaian diri bagi peserta didik	73
Tabel 18 Instrumen penilaian peserta didik oleh guru	74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Alur Tatap Muka In-On-In.....	4
Gambar 2 Hasil pengamatan sel trakea kelinci menggunakan mikroskop elektron	12
Gambar 3 Asal usul mitokondria dan kloroplas	23
Gambar 4 Rumus dan sifat molekul air	26
Gambar 5 Struktur es dan air.....	27
Gambar 6 Deoksiribosa dan ribosa	29
Gambar 7 Model struktur basa nitrogen, DNA, dan RNA	29
Gambar 8 Lemak dan derivatnya	32
Gambar 9 Prokariot (bakteri)	33
Gambar 10 Inti sel dan selaputnya	36
Gambar 11 Diagram dan TEM mitokondria	37
Gambar 12 Diagram dan TEM kloroplas	38
Gambar 13 RE (a) diagram; (b) mikrograf.....	40
Gambar 14 Aparatus Golgi	42
Gambar 15 Lisosom.....	43
Gambar 16 Peroxisom	45
Gambar 17 Ribosom	45
Gambar 18 Sitoskeleton.....	46



01 PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pendidikan merupakan proses yang sangat strategis dalam mencerdaskan kehidupan bangsa sehingga harus dilakukan secara profesional. Undang-Undang Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen Pasal 10 ayat (1) mengamanatkan bahwa guru yang profesional harus memiliki kompetensi pedagogik, kompetensi kepribadian, kompetensi sosial, dan kompetensi profesional. Keempat kompetensi tersebut bersifat holistik dan merupakan suatu kesatuan yang menjadi ciri guru profesional. Agar dapat melaksanakan tugas profesinya dengan baik, seorang guru perlu meningkatkan kompetensi dan kinerjanya secara bertahap, berjenjang, dan berkelanjutan melalui Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) guru.

Strategi pelaksanaan PKB guru madrasah yang ditempuh oleh Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Madrasah adalah melalui KKG/MGMP/MGBK, Kantor Wilayah Kementerian Agama Provinsi, dan Kementerian Agama Pusat. Untuk mendukung program tersebut, diperlukan modul sebagai salah satu alternatif sumber bahan ajar bagi guru untuk mempelajari konten materi, merancang pembelajaran dan cara mengajarkannya, mengembangkan Lembar Kerja Peserta Didik, mengembangkan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar

B. Tujuan

Tujuan modul ini adalah:

1. Meningkatkan kompetensi pedagogis dan kompetensi profesional guru melalui kegiatan PKB.
2. Meningkatkan hasil Asesmen Kompetensi Guru (AKG).

Menfasilitasi sumber belajar guru dan peserta didik dalam mengembangkan kurikulum, mempersiapkan dan melaksanakan pembelajaran yang mendidik



C. Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai:

1. Sebagai sumber belajar bagi guru dalam melaksanakan PKB untuk mencapai target kompetensi pedagogis dan kompetensi profesional tertentu.
2. Sebagai sumber bagi guru dalam mengembangkan kurikulum, persiapan dan pelaksanaan pembelajaran yang mendidik.
3. Sebagai bahan melakukan asesmen mandiri guru dalam rangka peningkatan keprofesionalan.
4. Sebagai sumber dalam merencanakan dan melaksanakan penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar peserta didik.
5. Sebagai sumber belajar bagi peserta didik untuk mencapai target kompetensi dasar.

D. Sasaran

Adapun sasaran modul ini adalah:

1. Fasilitator nasional, provinsi, dan kabupaten/kota
2. Pengawas Madrasah
3. Kepala Madrasah
4. Ketua KKG/MGMP/MGBK
5. Guru
6. Peserta didik.

E. Petunjuk Penggunaan

Agar Anda berhasil dengan baik dalam mempelajari dan mempraktikkan modul ini, ikutilah petunjuk belajar sebagai berikut:

1. Bacalah dengan cermat bagian pendahuluan sampai Anda memahami benar tujuan mempelajari Unit Pembelajaran ini.
2. Pelajarilah dengan seksama bagian target kompetensi sehingga Anda benar-benar memahami target kompetensi yang harus dicapai baik oleh diri Anda sendiri maupun oleh peserta didik.
3. Kegiatan Pembelajaran untuk menyelesaikan setiap Unit Pembelajaran dilakukan melalui moda Tatap Muka *In-On-In* sebagai berikut:



- a. Kegiatan *In Service Learning 1*. Kegiatan ini dilakukan secara tatap muka untuk mengkaji materi bersama fasilitator dan teman sejawat. Aktivitas yang dilakukan diantaranya:
 - 1) Melakukan analisis kurikulum dan analisis hasil belajar peserta didik dari skor Ujian Nasional (UN) atau sumber lain untuk mengetahui kebutuhan kompetensi peserta didik.
 - 2) Mempelajari konten materi ajar dan mendiskusikan materi ajar yang sulit atau berpeluang terjadi miskonsepsi.
 - 3) Mendesain pembelajaran yang sesuai dengan daya dukung madrasah dan karakteristik peserta didik.
 - 4) Mempelajari dan melengkapi LKPD.
 - 5) Mempersiapkan instrumen penilaian proses dan hasil belajar.
 - 6) Dalam kegiatan ini, dapat juga dilakukan rencana pengambilan data untuk dikembangkan menjadi Penelitian Tindakan Kelas.
 - b. Kegiatan *On the Job Learning*. Pada tahap ini, Anda dapat mengkaji kembali uraian materi secara mandiri dan melakukan aktivitas belajar di madrasah berdasarkan rancangan pembelajaran dan LKPD yang telah dipersiapkan. Buatlah catatan-catatan peluang dan hambatan yang ditemui selama pelaksanaan pembelajaran dan data-data pendukung PTK. Hasil kegiatan *on* baik berupa tugas lembar kerja maupun tugas lainnya dilampirkan sebagai bukti fisik bahwa Anda telah menyelesaikan seluruh tugas *on* yang ada pada Unit Pembelajaran.
 - c. Kegiatan *In Service Learning 2*. Tahap ini dilakukan secara tatap muka bersama fasilitator dan teman sejawat untuk melaporkan dan mendiskusikan hasil kegiatan *on*. Arahkan diskusi pada refleksi untuk perbaikan dan pengembangan pembelajaran. Jika memiliki data-data hasil PTK dapat pula dijadikan sebagai bahan diskusi dalam kegiatan ini.
4. Ujilah capaian kompetensi Anda dengan mengerjakan soal tes formatif, kemudian cocokkan jawaban Anda dengan kunci jawaban yang tersedia di bagian akhir Unit Pembelajaran.



5. Lakukan penilaian mandiri sebagai refleksi ketercapaian target kompetensi.



Gambar 1 Alur Tatap Muka In-On-In

Dalam melaksanakan setiap kegiatan pada modul ini, Anda harus mempertimbangkan prinsip kesetaraan dan inklusi sosial tanpa membedakan suku, ras, golongan, jenis kelamin, status sosial ekonomi, dan yang berkebutuhan khusus. Kesetaraan dan inklusi sosial ini juga diberlakukan bagi pendidik, tenaga kependidikan dan peserta didik. Dalam proses diskusi kelompok yang diikuti laki-laki dan perempuan, perlu mempertimbangkan kapan diskusi harus dilakukan secara terpisah baik laki-laki maupun perempuan dan kapan harus dilakukan bersama. Anda juga harus memperhatikan partisipasi setiap peserta didik dengan seksama, sehingga tidak mengukuhkan relasi yang tidak setara.

Sebelum mempelajari atau mempraktikkan modul ini, ada beberapa perangkat pembelajaran, alat dan bahan yang harus disiapkan oleh guru dan peserta didik agar proses pembelajaran berjalan dengan baik.



1. Perangkat Pembelajaran, Alat dan Bahan yang harus disiapkan oleh guru

- a. Perangkat Pembelajaran:
 - 1) Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP)
 - 2) Bahan ajar
 - 3) Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)
 - 4) Media pembelajaran
 - 5) Instrumen penilaian
- b. Alat dan bahan pembelajaran, meliputi:
 - 1) Laptop/gawai dan akses internet
 - 2) Buku paket/referensi
 - 3) Alat dan bahan praktikum Sel
 - 4) Alat dan bahan praktikum

2. Alat dan Bahan yang harus disiapkan oleh peserta didik

- a. Buku paket/referensi lainnya
- b. Bahan praktikum sesuai LKPD

Unit Pembelajaran dalam modul ini dibagi dalam 2 (dua) topik, dengan total alokasi waktu yang digunakan diperkirakan 20 Jam Pembelajaran:

1. *In Service Learning 1* : 4 JP
2. *On the Job Learning* : 12 JP
3. *In Service Learning 2* : 4 JP



02 TARGET KOMPETENSI

A. Target Kompetensi Guru

Target kompetensi guru didasarkan pada Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2007 Tentang Standar Kualifikasi Akademik dan Kompetensi Guru. Dalam Unit Pembelajaran ini, target kompetensi yang dituangkan hanya yang terkait kompetensi pedagogis dan kompetensi profesional.

1. Target Kompetensi Guru

Tabel 1 Target Kompetensi Guru

Ranah Kompetensi	Target Kompetensi Guru
Kompetensi Pedagogis	4.3 Menyusun rancangan pembelajaran yang lengkap, baik untuk kegiatan di dalam kelas, laboratorium, maupun lapangan. 4.5 Menggunakan media pembelajaran dan sumber belajar yang relevan dengan karakteristik peserta didik dan mata pelajaran yang diampu untuk mencapai tujuan 8.4 Mengembangkan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar
Kompetensi Profesional	20.1 Memahami konsep-konsep, hukum-hukum, dan teori-teori biologi serta penerapannya secara fleksibel. 20.2 Memahami proses berpikir biologi dalam mempelajari proses dan gejala alam



2. Indikator Pencapaian Kompetensi Guru

Tabel 2 Indikator Pencapaian Kompetensi Guru

Target Kompetensi	Indikator Pencapaian Kompetensi Guru
4.3 Menyusun rancangan pembelajaran yang lengkap, baik untuk kegiatan di dalam kelas, laboratorium, maupun lapangan.	4.3.1 Menyusun rencana pembelajaran di dalam kelas pada materi biologi sel 4.3.2 menyusun rencana pembelajaran di laboratorium pada materi biologi sel
4.5 Menggunakan media pembelajaran dan sumber belajar yang relevan dengan karakteristik peserta didik dan mata pelajaran yang diampu untuk mencapai tujuan	4.5.1 Menyediakan berbagai kegiatan pembelajaran dengan memanfaatkan berbagai media untuk mendorong peserta didik mencapai prestasi belajar secara optimal. 4.5.2 Menyediakan berbagai kegiatan pembelajaran dengan memanfaatkan berbagai media untuk mengaktualisasikan potensi peserta didik, termasuk kreativitasnya.
8.4 Mengembangkan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar	8.4.1 Menyusun instrumen penilaian kompetensi pengetahuan pada materi biologi sel 8.4.2 Menyusun instrumen penilaian kompetensi sikap pada materi biologi sel 8.4.3 Menyusun instrumen penilaian kompetensi ketrampilan pada materi biologi sel
20.1 Memahami konsep konsep, hukum hukum, dan teori teori biologi serta penerapannya secara fleksibel.	20.1.1 Menjelaskan komponen kimiawi yang membentuk struktur sel 20.1.2 Menjelaskan struktur dan fungsi organel sel

B. Target Kompetensi Peserta Didik

Target kompetensi peserta didik dalam Unit Pembelajaran ini dikembangkan berdasarkan Kompetensi Dasar kelas XI semester 1 (satu) sesuai dengan permendikbud nomor 37 tahun 2018 Tentang Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar Pelajaran Kurikulum 2013 Pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah sebagai berikut:



1. Kompetensi Dasar

Tabel 3 Target Kompetensi Dasar Peserta Didik

No.	Kompetensi Dasar	Target Kompetensi Dasar
3.1	Menjelaskan komponen kimiawi penyusun sel, struktur, fungsi, dan proses yang berlangsung dalam sel sebagai unit terkecil kehidupan	<ul style="list-style-type: none">• Menjelaskan komponen kimiawi yang membentuk struktur sel• Menjelaskan struktur dan fungsi organel sel
4.1	Menyajikan hasil pengamatan mikroskopik struktur sel hewan dan sel tumbuhan sebagai unit terkecil kehidupan	<ul style="list-style-type: none">• Menyajikan hasil pengamatan mikroskopis struktur sel

2. Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK)

Kompetensi dasar dikembangkan menjadi beberapa indikator pencapaian kompetensi sebagai acuan bagi guru untuk mengukur pencapaian kompetensi dasar. Dalam rangka memudahkan guru menentukan indikator yang sesuai dengan tuntutan kompetensi dasar, indikator dibagi menjadi tiga kategori, yaitu indikator pendukung, indikator kunci, dan indikator pengayaan sebagai berikut:



Tabel 4 Indikator Pencapaian Kompetensi Peserta Didik

Kompetensi Dasar	Indikator Pencapaian Kompetensi
3.1 Menjelaskan komponen kimiawi penyusun sel, struktur, fungsi, dan proses yang berlangsung dalam sel sebagai unit terkecil kehidupan	IPK Pendukung: 3.1.1. Menjelaskan perkembangan teori sel 3.1.2. Menjelaskan teori evolusi sel
	IPK Inti: 3.1.3 Menjelaskan komponen kimia yang membentuk struktur sel 3.1.4 Menjelaskan struktur dan fungsi organel sel
	3.1.5 Membedakan sel prokariotik dan eukariotik 3.1.6 Membedakan struktur sel hewan dan sel tumbuhan
1.1 Menyajikan hasil pengamatan mikroskopik struktur sel hewan dan sel tumbuhan sebagai unit terkecil kehidupan	IPK Pendukung: 4.1.1 Mengoperasikan mikroskop
	IPK Inti: 4.1.2 Menyajikan hasil pengamatan mikroskopis struktur sel
	IPK Pengayaan: 4.1.3 Membuat preparat basah sel epidermis tumbuhan



03 MATERI DAN ORGANISASI PEMBELAJARAN

A. Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi biologi sel di Madrasah Aliyah meliputi:

1. Sejarah Perkembangan Sel
2. Evolusi Sel
3. Sifat Kimia Protoplasma
4. Struktur Sel

B. Organisasi Pembelajaran

Guna memudahkan guru dalam mempelajari modul ini, kita akan membaginya menjadi 2 (dua) topik bahasan dengan alokasi waktu sebagai berikut:

Tabel 5 Organisasi Pembelajaran

Topik	Materi	Jumlah JP		
		In – 1	On	In – 2
1	Sejarah perkembangan sel, evolusi sel, dan sifat kimia protoplasma	2	8	2
2	Struktur sel	2	4	2
	Total Jam Pembelajaran PKB	4	12	4



04 KEGIATAN PEMBELAJARAN

A. Pengantar

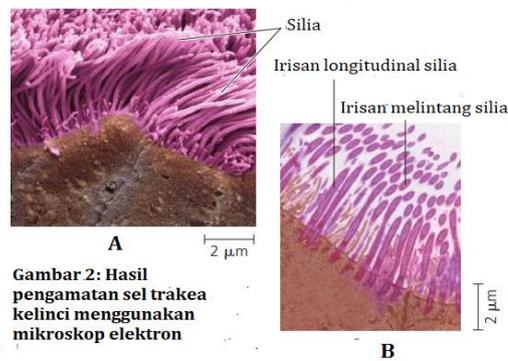
Unit pembelajaran Biologi Sel ini terdiri atas 2 topik. Topik 1 terdiri dari 3 materi yaitu teori perkembangan sel, evolusi sel, dan komponen kimiawi sel. Dan topik 2 juga terdiri dari 1 materi yaitu: struktur sel. Pembahasan pada topik-topik ini ditekankan mengenai komponen kimiawi, struktur, fungsi, proses yang berlangsung di dalam sel.

Biologi sel salah satu dari cabang ilmu Biologi yang mempelajari tentang sel. Sel merupakan kumpulan materi paling sederhana dan sebagai dasar kehidupan. Dengan mempelajari biologi sel, diharapkan dapat memahami struktur sel, proses-proses metabolisme, biosintesis, dan evolusi pada tingkat seluler. Untuk lebih memahami tentang molekul dan proses-proses kimia (metabolisme) sel sekarang telah berkembang biologi sel modern yaitu biokimia.

Perkembangan Biologi sel sangat pesat seiring dengan ditemukannya mikroskop yang juga semakin canggih. Bahkan saat ini telah ditemukan mikroskop elektron yang dapat mengamati struktur sel dengan lebih jelas. Ditemukannya mikroskop elektron (*Electron Mycroscope/EM*) pada tahun 1950-an, sel dapat terlihat hingga ke komponen sel yang lebih rinci lagi. Ditemukan pula bahwa ternyata sel merupakan tempat yang berongga (*cytos* dalam bahasa Yunani), dan kantong yang berisi (*cella* dalam bahasa Romawi). Setelah mikroskop elektron, fakta tentang sel semakin berkembang dengan ditemukannya mikroskop pemindai elektron (*Scanning Electron Mycroscope, SEM*) yang dapat melihat topografi sel dengan lebih jelas. Sedangkan untuk mengamati struktur internal sel telah ditemukan mikroskop elektron transmisi (*Transmission Electron Microscope, TEM*).

Selain penemuan mikroskop elektron, penemuan sentrifus (*centrifuge*) juga membantu dalam analisis secara kimia bagian bagian sel. Bahkan ultrastruktur dan komposisi membran plasma dapat diketahui dengan ditemukannya teknologi difraksi sinar X, mikroteknik, dan ultrasentrifus. Sedangkan penemuan radio isotop

dapat digunakan untuk mendeteksi reaksi-reaksi kimia di dalam sel berikut adalah hasil pengamatan sel menggunakan SEM dan TEM. **Gambar 2(A)** memperlihatkan hasil pengamatan sel trakea kelinci menggunakan SEM, dan **Gambar 2(B)** memperlihatkan ultrastruktur irisan sel trakea menggunakan TEM.



Gambar 2: Hasil pengamatan sel trakea kelinci menggunakan mikroskop elektron

(Sumber: Campbell *et al.*, 2020)

Unit Pembelajaran ini disusun sebagai salah satu alternatif sumber belajar bagi guru maupun peserta didik untuk memahami materi biologi sel. Melalui pembahasan materi pada Unit Pembelajaran ini guru dapat memiliki dasar pengetahuan untuk mengajarkan materi tersebut kepada peserta didik. Sementara bagi peserta didik, dapat digunakan sebagai sumber belajar untuk mencapai kompetensi dasar yang ditetapkan.

Unit Pembelajaran ini dilengkapi dengan target kompetensi guru maupun peserta didik agar terjadi sinkronisasi antara kompetensi yang harus dimiliki guru dengan kompetensi dasar yang harus dikuasai peserta didik. Bahan bacaan sengaja disusun secara singkat dan padat sehingga diharapkan memudahkan guru dan peserta didik dalam memahami konten dan menghindarkan dari kesalahan konsep.

Aplikasi biologi sel dalam dunia nyata serta integrasi nilai-nilai keislaman akan mendorong pembelajaran yang kontekstual sekaligus menanamkan nilai-nilai karakter peserta didik. Unit Pembelajaran juga dilengkapi contoh alternatif aktivitas pembelajaran, lembar kegiatan peserta didik (LKPD), dan contoh kisi-kisi pengembangan instrumen penilaian HOTS guna memudahkan guru dalam merancang pembelajaran yang sesuai dengan daya dukung madrasah dan



karakteristik peserta didik. Di akhir Unit Pembelajaran terdapat latihan tes formatif yang dapat dijadikan instrumen penilaian diri bagi guru sebelum melaksanakan Asesmen Kompetensi Guru (AKG) maupun peserta didik dalam hal penguasaan materi.

B. Aplikasi dalam Kehidupan

Konsep-konsep Biologi Sel dan keterkaitannya dengan kehidupan sehari-hari, misalnya untuk masalah kesehatan (contohnya kelainan sel pada organel mitokondria, lisosom, dan aparatus Golgi (Shupnik, 1999). Dalam Bidang farmasi pengetahuan tentang biologi sel dapat membantu dalam memahami tentang penyakit *autosomal anomalis*, kelainan pada sistem imun maupun kanker (Hanum, 2009)

Stem cell merupakan salah satu aplikasi dari biologi sel di bidang kesehatan. *Stem cell* adalah sel yang belum berubah bentuk menjadi jaringan (terspesialisasi), dan memiliki potensi untuk melakukan perkembangan sel menjadi bentuk yang khusus sehingga terjadi berbagai macam bentuk sel (berdiferensiasi) dan menumbuhkan kembali bagian tubuh yang rusak atau lepas (beregenerasi). Dalam bahasa Indonesia *stem cell* disebut juga sel punca. *Stem cell* diyakini dapat memberi jalan keluar untuk penyakit-penyakit degeneratif (penyakit yang menyebabkan terjadinya kerusakan atau penghacuran terhadap jaringan atau organ tubuh) seperti, *Infark Jantung*, *Diabetes Melitus*, *Parkinson*, dll.

C. Integrasi Keislaman

Maha Besar Allah yang menciptakan keindahan sebuah sel makhluk hidup. Dengan melihat sebuah sel yang kecil tetapi menakjubkan, kita melihat kehebatan Allah. Tubuh manusia terdiri dari organ-organ. Organ terdiri dari sekumpulan jaringan. Dalam jaringan terdapat kumpulan sel. Sel-sel dalam tubuh makhluk hidup berjumlah jutaan bahkan milyaran.

Mengenai sel ini, seorang ilmuwan mengatakan, “jenis sel yang paling sederhana terdiri atas ‘mekanisme’ yang jauh lebih kompleks daripada mesin manapun, yang mungkin baru terpikirkan dan belum dibuat manusia.” Sebuah sel begitu kompleks sehingga teknologi tercanggih pun tidak dapat membuatnya.



Walaupun sangat kecil, sel adalah sebuah sistem yang kompleks ibarat sebuah kehidupan.

Sel berukuran sangat kecil dan hanya bisa dilihat menggunakan mikroskop. Bisakah dipahami dengan desain yang sangat rumit tersebut? Maha suci Allah dengan segala ciptaan-Nya. Manusia tidak akan mampu menciptakan sebuah sel yang sangat kecil namun memiliki struktur dan fungsi yang sangat kompleks tersebut (Maghfirah, 2015).

Pengetahuan tentang partikel yang kecil juga sudah dijelaskan dalam Al-Quran dalam surah Yunus ayat 61 :

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتْلُوا مِنْهُ مِنْ قُرْءَانٍ 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

Artinya: “(Kamu tidak berada) hai Muhammad! (dalam suatu keadaan) dalam suatu perkara (dan tidak membaca suatu ayat) artinya mengenai perkara tersebut atau membaca dari Allah (dari Alquran) yang diturunkan oleh-Nya kepadamu (dan kamu tidak mengerjakan) khithab ayat ini ditujukan kepada Nabi Muhammad saw. dan umatnya (suatu pekerjaan, melainkan Kami menjadi saksi atas kalian) meneliti (di waktu kalian melakukan) mengerjakan (perbuatan itu) amal perbuatan itu. (Tidak luput) tidak samar (dari pengetahuan Rabbmu hal yang sebesar) seberat (zarrah) semut yang paling kecil (di bumi atau pun di langit. Tidak ada yang lebih kecil dan tidak pula yang lebih besar dari itu melainkan semua tercatat dalam kitab yang nyata) yang jelas, yaitu Lauhmahfuz.

Teori evolusi sel menyebutkan bahwa sel prokariotik berasal dari protoplasma, protoplasma berasal dari ‘koaservat’ atau ‘*protobion*’ yang kumpulan makromolekul yang dikelilingi oleh molekul air dan dapat menyerap substrat dari lingkungannya dan dapat melepaskan hasil dari reaksi metabolisme. Dalam Qur’an Surat Al-Anbiya’ ayat 30 Allah berfirman:

أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا ۗ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ٣٠



Artinya: “Dan apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwa langit dan bumi keduanya dahulunya menyatu, kemudian Kami pisahkan antara keduanya; dan Kami jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air; maka mengapa mereka tidak beriman?”

Air merupakan senyawa yang sangat penting untuk kehidupan dan merupakan salah satu komponen penyusun protoplasma. Reaksi kimia di dalam sel terjadi karena adanya air. Protoplasma mengandung lebih kurang 60% air dan selebihnya zat padat.

D. Bahan Bacaan

1. Teori Perkembangan Sel

Tokoh-tokoh penemu teori sel :

a. Robert Hooke (1635 – 1703)

Orang yang pertama menyebutkan istilah sel yaitu *cellulae*=ruangan kecil yang kosong . Dia mengamati sel-sel mati yang tidak memiliki isi sel pada pepagan pohon ek. Dari hasil pengamatannya ini Robert Hooke menjadi orang yang pertama kali dapat melihat dinding sel.

b. Antonie Van Leeuwenhoek (1723)

Seorang ahli asah lensa dari Belanda, membuat mikroskop sederhana, Memeriksa setetes air kolam menemukan *microscopic “animalcules* (hewan kecil) merupakan sel bakteri dan orang yang pertama kali melukiskan bentuk- bentuk bakteri.

c. Robert Brown (1833)

Ilmuwan Skotlandia yang pertma kali menemukan inti sel pada sayatan sel anggrek. Inti sel disebutnya sebagai nukleus. Nukleus merupakan struktur sel yang sangat penting bagai kehidupan

d. Felix Durjadin (1835)

Tokoh berkebangsaan Perancis yang pertama kali menemukan cairan sel yang hidup (*sarkode*) yang merupakan bagian penting dari sel. Menurutnya bagian



terpenting dari sel adalah isi sel yang berupa cairan hidup yang berada dalam suatu lumen.

e. Johannes Purkinje

Merupakan ilmuwan yang menyatakan bahwa isi sel adalah protoplasma. Protoplasma merupakan bahan penting pada sel yang melangsungkan kehidupan.

Teori Sel

Ada beberapa teori tentang sel diantaranya:

- a. Sel merupakan kesatuan struktural dari makhluk hidup, semua makhluk hidup tersusun atas sel. (Matthias Jacob Schleiden dan Theodor Schwann)
- b. Sel merupakan kesatuan fungsional makhluk hidup. (Max Schulze).
- c. Sel adalah kesatuan pertumbuhan dari makhluk hidup dikemukakan oleh Rudolf Virchow, menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari pertumbuhan sel sebelumnya "*omne cellulae a cellulae*" (semua sel berasal dari sel yang ada sebelumnya dengan jalan pembelahan)
- d. Sel merupakan kesatuan **hereditas** (sifat menurun) makhluk hidup
Teori ini dikemukakan oleh Gregor Mendel, yang menyatakan bahwa sel mengandung sifat keturunan (genetik) atau hereditas yang diwariskan pada keturunannya.

2. Evolusi Sel

Pada masa sekarang ini dapat dikatakan hampir semua ahli biologi dapat menerima teori evolusi biologi atau disingkat teori evolusi, walaupun teori tersebut disusun berdasarkan bukti-bukti tak langsung. Pokok dari teori evolusi itu adalah bahwa hewan, tumbuhan, dan juga manusia dalam berbagai abad yang lalu telah berkembang dari makhluk yang berbentuk lebih sederhana.

Beberapa teori tentang sel telah dikemukakan oleh para ahli. Namun kapan dan bagaimana sel-sel hidup pertama kali muncul? Menurut pengamatan dan



percobaan kimia, geologi, dan fisika telah menuntun para saintis untuk menyusun suatu hipotesis bahwa proses-proses kimia dan fisika di bumi awal dibantu oleh kekuatan seleksi alam, menghasilkan sel-sel yang sangat sederhana melalui serangkaian dari 4 tahap utama yaitu:

1. Sintesis abiotik (tak-hidup) dari molekul-molekul organik yang kecil, seperti asam amino dan nukleotida.
 - Tahap atom menjadi zat an organik:
C, H, O, N → H₂O, CH₄, NH₃, HCN
 - Tahap zat anorganik menjadi zat organik sederhana:
H₂O + CH₄ → gula sederhana, asam lemak, gliserin
H₂O + CH₄ + NH₃ → asam amino
H₂O + CH₄ + NH₃ + HCN → basa nitrogen (purin dan pirimidin)
2. Penggabungan molekul-molekul kecil menjadi makromolekul
gula + gula → karbohidrat (polisakarida)
asam lemak + gliserin → lemak
Basa nitrogen + gula fosfat → adenosin fosfat (nukleotida)
Nukleotida + nukleotida → DNA; RNA
3. Pengemasan molekul-molekul ini menjadi *protobiont*, tetesan dengan membran-membran yang menjaga kimia internal yang berbeda dari lingkungannya.
Tahap zat organik kompleks → protoplasma → sel primitif
Molekul DNA dan RNA merupakan molekul yang dihasilkan secara abiotik. Molekul ini kemudian membentuk '*koaservat*' berupa kumpulan makromolekul yang dikelilingi oleh molekul air dan dapat menyerap substrat dari lingkungannya dan dapat melepaskan hasil dari reaksi metabolisme. *Koaservat* ini dikenal dengan sebagai *protobiont* (*Proto*: awal; *bios*: kehidupan). *Protobiont* berkembang menjadi protoplasma dan kemudian berkembang menjadi sel prokariot.
4. Asal usul molekul yang bereplikasi sendiri, yang akhirnya memunculkan terjadinya pewarisan sifat.



Molekul-molekul Organik Berasal dari Molekul-molekul Anorganik

Membahas evolusi sel berarti membayangkan atau merekonstruksi mengenai keadaan bumi pada milyaran tahun yang lampau. Walaupun kondisi bumi pada awal-awal terbentuknya hingga kini masih menjadi bahan perdebatan, akan tetapi para ilmuwan agaknya setuju bahwa bumi pada masa itu merupakan suatu tempat yang ganas dengan letusan-letusan vulkanik, kilat dan hujan badai, oksigen bebas hanya sedikit, dan tidak ada lapisan ozon yang menyerap radiasi ultra ungu dari matahari.

Berdasarkan eksperimen di laboratorium terbukti bahwa pada kondisi seperti itu telah terbentuk molekul-molekul organik sederhana, yaitu molekul-molekul yang mengandung karbon. Berdasarkan percobaan Miller terbukti bahwa apabila gas CO_2 , CH_4 , NH_3 dan H_2 dicampur kemudian dipanaskan dan diberi energi melalui lecutan listrik (*electrical discharge*) atau radiasi ultra ungu, gas-gas tersebut akan bereaksi membentuk molekul-molekul organik kecil. Meskipun macam molekul yang terbentuk tidak beragam tetapi masing-masing molekul terbentuk dalam jumlah besar. Bila molekul-molekul tersebut berada di air akan mengalami reaksi lebih lanjut membentuk lagi beberapa macam molekul, diantaranya adalah empat kelompok besar molekul-molekul organik kecil yang dijumpai dalam sel.

Pada tahun 1920-an, ahli kimia Rusia A.I Oparin dan saintis Inggris J.B.S. Haldane secara terpisah menyusun hipotesis bahwa atmosfer awal bumi merupakan lingkungan pereduksi (menambahkan elektron). Dalam atmosfer tersebut, senyawa senyawa organik dapat terbentuk dari molekul-molekul sederhana. energi bagi sintesis organik ini berasal dari kilat dan radiasi UV yang kuat. Haldane menyatakan bahwa samudra awal merupakan lautan molekul organik “sup purba” tempat kehidupan muncul (Campbell, *et al.*, 2020). Selanjutnya kompleks-kompleks molekul tersebut berimprovisasi hingga terbentuk sel pertama yang tentunya amat sederhana jika dibandingkan dengan sel yang ada sekarang.



Pada tahun 1953 Stanley Miller dan Harold Urey menguji hipotesis Oparin-Haldane dengan cara menciptakan kondisi laboratorium yang sebanding dengan kondisi bumi di awal seperti yang diduga oleh para saintis saat itu. Percobaan mereka menghasilkan berbagai variasi asam amino yang ditemukan pada organisme saat ini. Percobaan-percobaan lebih lanjut yang merupakan pengembangan penelitian Miller berhasil menyintesis unsur-unsur pokok lain pada benda hidup selain yang diperoleh Miller.

Sintesis Protein dan Terbentuknya Membran Sel

Molekul organik sederhana, seperti asam amino dan nukleotida yang telah terbentuk akan melakukan **polimerisasi** sehingga terbentuk molekul yang lebih besar. Tiga kelas makromolekul dari empat kelas yang ada, yaitu karbohidrat, protein dan asam amino merupakan molekul serupa rantai yang disebut **polimer**. Polimer adalah molekul panjang yang terdiri dari banyak blok pembangun yang mirip atau identik dan tertaut pada ikatan kovalen (Campbell, *et al.*, 2020). Unit berulang yang berperan sebagai blok pembangun polimer adalah molekul kecil yang disebut **monomer**.

Replikasi DNA merupakan salah satu bentuk polimerisasi yang terjadi pada semua sel. Asam-asam amino saling bergabung melalui ikatan peptida membentuk **polipeptida**, sedangkan nukleotida-nukleotida bergabung melalui ikatan fosfodiester membentuk polinukleotida. Di dalam sel masa kini, polipeptida dikenal sebagai protein dan polinukleotida dalam bentuk **RNA** dan **DNA**, merupakan senyawa yang sangat penting di dalam sel.

Dalam percobaan di laboratorium yang dikondisikan seperti keadaan bumi saat masih baru terbentuk, polimerisasi asam amino maupun nukleotida berlangsung dengan urutan acak dan dengan panjang yang beragam. Polimerisasi yang terbentuk, khususnya polinukleotida dapat menjadi cetakan (*template*) bagi terbentuknya polinukleotida baru. Polinukleotida baru cenderung membentuk ikatan dengan polinukleotida cetakannya. Sebaliknya polinukleotida komplementer dapat pula menjadi cetakan bagi polinukleotida asli. Dengan melalui mekanisme seperti itu maka urutan nukleotida yang asli dapat tetap



dilestarikan. Mekanisme tersebut merupakan inti proses pengalihan informasi dalam sistem biologi. Seperti diketahui, informasi genetik di dalam sel berupa urutan nukleotida yang terdapat dalam polinukleotida diwariskan melalui proses replikasi. Replikasi DNA yang berlangsung di dalam sel memerlukan katalisator berupa enzim misalnya DNA polimerase. Akan tetapi pada zaman pra-biotik enzim diyakini belum ada, sehingga diperkirakan ion-ion logam dan mineral berperan sebagai katalisator. Selain itu, RNA itu sendiri berperan sebagai katalisator (otokatalitik).

Selanjutnya molekul-molekul RNA mulai terlibat mengatur sintesis polipeptida atau yang sekarang lebih dikenal dengan sintesis protein. Sebuah molekul RNA berperan membawa informasi genetik untuk polipeptida tertentu dalam suatu kode (sekarang diperankan RNA transfer). Kedua macam molekul RNA ini membentuk pasangan-pasangan komplementer sehingga memungkinkan RNA pembawa informasi genetik mengatur penggabungan asam-asam amino yang dibawa molekul RNA adaptor menjadi rantai polipeptida.

Pada saat inilah mulai diperkirakan mulai berkembang selaput sel sehingga molekul-molekul RNA terwadahi di dalam suatu gelembung dilapisi membran. Selaput sel sederhana itu disusun oleh molekul yang bersifat amfipatik, yaitu terdiri dari bagian hidrofobik (tidak larut dalam air) dan bagian hidrofilik (larut dalam air). Pembentukan selaput ini dapat diperagakan dengan mencampurkan **fosfolipid** dengan air di dalam sebuah tabung dalam kondisi yang tepat. Molekul-molekul amfipatik tersebut akan menggumpal sedemikian rupa sehingga bagian yang hidrofob saling saling merapat dengan sesamanya, sedangkan bagian yang hidrofilik merapat dengan air. Gumpalan-gumpalan molekul amfipatik, kemudian saling bergabung membentuk gelembung kecil berlapis ganda. Lapisan ganda itu mengisolasi air di dalam gelembung dari medium di sebelah luar. Membran sel masa kini juga tersusun dari molekul-molekul amfipatik terutama fosfolipid. Pada umumnya banyak yang sepakat bahwa sintesis protein telah berlangsung sebelum terbentuk sel (membran). Setelah terbungkus membran, protein-protein produk RNA akan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan pengembangan sel itu



sendiri. Dengan demikian rangkaian nukleotida dalam molekul-molekul RNA dapat terekspresi untuk karakter sel secara utuh. (Lukman, A. 2008).

Perkembangan dari Prokariot Sampai Eukariot

Di dalam sel bakteri, salah satu prokariot, telah berlangsung reaksi-reaksi yang cukup rumit, bahkan tiga reaksi penting untuk memperoleh energi yaitu **glikolisis**, respirasi dan **fotosintesis** yang berlangsung pada eukariot juga dapat dilakukan sejumlah bakteri. Ketika sel purba baru terbentuk, reaksi metabolik yang rumit itu belum dapat dilakukan sel, atau lebih tepatnya sel belum memerlukan, karena sel dapat mengambil molekul-molekul yang diperlukan langsung dari lingkungan yang pada masa itu memang kaya bahan organik. Akan tetapi lama-kelamaan bahan organik di lingkungan semakin berkurang. Sebagian sel mulai membentuk enzim-enzim agar dapat membentuk sendiri molekul-molekul organik. Sejalan dengan bertambahnya waktu enzim-enzim di dalam sel semakin beragam jenisnya sehingga reaksi-reaksi metabolik di dalam sel juga semakin kompleks.

Seperti dikemukakan di atas pada akhirnya persediaan molekul organik di alam akan habis; oleh sebab itu, agar tetap bertahan hidup, sel harus dapat memanfaatkan atom-atom karbon dan nitrogen dari CO_2 dan N_2 di atmosfer untuk diubah menjadi molekul organik; maka muncullah ganggang biru-hijau (Sianobakteri) yang mampu mengikat serta mengubah CO_2 dan N_2 menjadi molekul-molekul organik. Melalui fotosintesis sianobakteri bersama bakteri-bakteri lain yang memiliki kemampuan serupa, menciptakan kondisi-kondisi yang memungkinkan organisme-organisme yang lebih kompleks dapat hidup dan berkembang dengan memanfaatkan produk fotosintesis.

Munculnya sel autotrof yang memiliki kemampuan fotosintesis menimbulkan revolusi pada kondisi atmosfer bumi yang akhirnya berimplikasi pada kehidupan di bumi itu sendiri. Atmosfir bumi yang semula sangat miskin O_2 menjadi mengandung banyak oksigen yang berasal dari produk fotosintesis. Keberadaan O_2 yang cukup banyak di atmosfer mendorong berkembangnya



proses respirasi secara aerob di dalam sel yang memungkinkan sel dapat mengoksidasi molekul-molekul organik dengan lebih tuntas. Dengan melalui oksidasi aerob, energi yang dapat dimanfaatkan dari setiap gram glukosa jauh lebih banyak dibandingkan melalui oksidasi anaerob. Pada satu sisi kehadiran O_2 di atmosfer membawa dampak positif bagi evolusi sel, tetapi pada sisi lain menjadi racun bagi sel-sel anaerob karena sifat O_2 yang sangat reaktif sehingga dapat berinteraksi dengan hampir semua unsur pembentuk sitoplasma. Akibatnya tidak sedikit sel-sel anaerob yang punah, tetapi ada pula yang tetap bertahan hidup secara anaerob dengan menempati habitat yang tidak mengandung oksigen. Sebagian yang lain mengembangkan kemampuan respirasi aerob selain dapat berespirasi anaerob (fakultatif anaerob) sehingga tetap bertahan hidup hingga sekarang misalnya sel *Saccharomyces*. Cara lain yang dilakukan sel anaerob agar tetap bertahan hidup adalah dengan membentuk persekutuan yang erat (**simbiosis**) dengan sel-sel aerob. Bentuk-bentuk simbiosis antara sel anaerob dan sel-sel aerob dalam perkembangannya akan melahirkan sel eukariot. Sel eukariot diyakini berkembang dari sel prokariot anaerob. Selaput inti diperkirakan berkembang dari penjuluran ke dalam dari membran sel (Lukman, A. 2008).

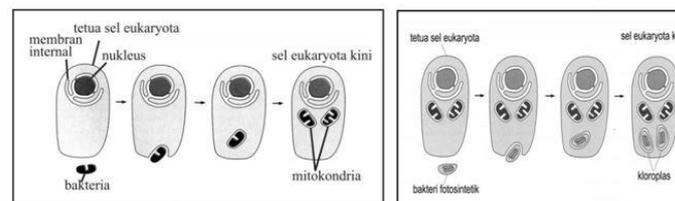
Hipotesis Endosimbiosis

Sel eukariotik memiliki susunan yang lebih kompleks daripada sel-sel prokariotik. Sel eukariotik memiliki membran inti, mitokondria, retikulum endoplasma dan struktur internal lainnya yang tidak dimiliki sel prokariotik. Organel-organel sel ini masing-masing memiliki fungsi khusus. Dua diantaranya adalah mitokondria yang berfungsi untuk respirasi dan kloroplas untuk fotosintesis. Mitokondria hampir selalu terdapat pada sel-sel eukariotik, sedangkan kloroplas hanya dijumpai dalam sel-sel eukariotik yang dapat melakukan fotosintesis (tumbuhan). Bagaimana ciri-ciri eukariotik ini berevolusi dari sel prokariotik?

Serangkaian bukti mendukung model yang disebut **endosimbiosis** (*endosymbiosis*), yang menyatakan bahwa mitokondria dan plastida (istilah umum untuk kloroplas dan organel-organel terkait) pada awalnya merupakan prokariot



kecil yang mulai hidup di sel-sel yang lebih besar. Istilah endosimbion mengacu pada sel-sel yang hidup di dalam sel lain, disebut sel inang (*host cell*). Nenek moyang prokariotik dari mitokondria dan plastida barangkali masuk ke dalam sel inang sebagai mangsa yang tidak tercerna atau parasit internal (**Gambar 3**).



Gambar 3. Asal usul mitokondria dan kloroplas
(Sumber: Albert *et al.*, 1998)

Dengan cara apapun hubungan tersebut dimulai, kita dapat membuat hipotesis bahwa simbiosis mungkin telah menjadi hal yang saling menguntungkan. Inang heterotrofik dapat menggunakan nutrisi yang dilepaskan dari endosimbion fotosintetik. Seiring waktu, inang dan endosimbion akan menjadi satu organisme tunggal dengan bagian-bagian yang tak terpisahkan. Walaupun semua eukariot memiliki mitokondria atau sisa-sisa dari organel tersebut, tidak semua eukariot memiliki plastida. Dengan demikian model **endosimbiosis beruntun** (*serial endosymbiosis*) beranggapan bahwa mitokondria berevolusi sebelum plastida melalui serangkaian peristiwa endosimbiosis.

Banyak sekali bukti pendukung asal usul mitokondria dan plastida sebagai endosimbion. Membran dalam dari kedua organel ini memiliki enzim dan sistem transpor yang homolog dengan yang ditemukan pada membran plasma prokariot masa kini. Mitokondria dan plastida bereplikasi dengan proses pemisahan yang mirip dengan proses replikasi prokariot tertentu. Terlebih lagi, masing-masing organel ini mengandung satu molekul DNA tunggal yang melingkar seperti kromosom bakteri, tidak berasosiasi dengan **histon** atau protein lain dalam jumlah besar.



Berdasarkan uraian di atas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Sel yang ada sekarang merupakan hasil evolusi dari sel yang lebih sederhana.
- b. Sel pertama berkembang dari molekul-molekul organik yang ada pada saat bumi baru terbentuk. Molekul-molekul organik tersebut merupakan hasil reaksi dari molekul-molekul anorganik.
- c. Informasi genetik pertama kali dibawa oleh molekul RNA kemudian beralih ke DNA.
- d. Munculnya organisme autotrof menimbulkan perubahan cara respirasi dari anaerob menjadi aerob. Sebagian sel anaerob tetap bertahan hingga sekarang. Sel eukariot berkembang dari sel prokariot anaerob primitif. Simbiosis dengan sel prokariot aerob melahirkan sel eukariot aerob. Simbiosis dengan prokariot autotrof menghasilkan sel eukariotik autotrof (Lukman, A. 2008).

3. Sifat Kimia Protoplasma

Protoplasma yang ditemukan oleh Purkinje dan Dujardin merupakan suatu substansi pertama yang memiliki tanda-tanda hidup. Substansi ini berupa cairan tidak berwarna, kental dan terdapat di semua sel. Dari segi morfologi, protoplasma merupakan substansi kental seperti agar-agar berwarna kehijauan. Kekentalan protoplasma sangat beraneka sesuai selnya, serta keadaan fisiologis sel tersebut.

Hasil analisis kimia protoplasma menunjukkan bahwa protoplasma terdiri atas air, senyawa organik yang meliputi: protein, asam nukleat, lipid dan sakarida, serta senyawa anorganik yang berupa garam-garam (**Tabel 6**). Senyawa-senyawa organik tersebut tersusun dari 13 unsur makro (C, H, O, N, Cl, Ca, P, Na, K, S, Mg, I, Fe) dan 23 elemen mikro, diantaranya Cu, Co, Mn, Fe, Cr, Mo, B, Si, V, Ni, F, dan Se.



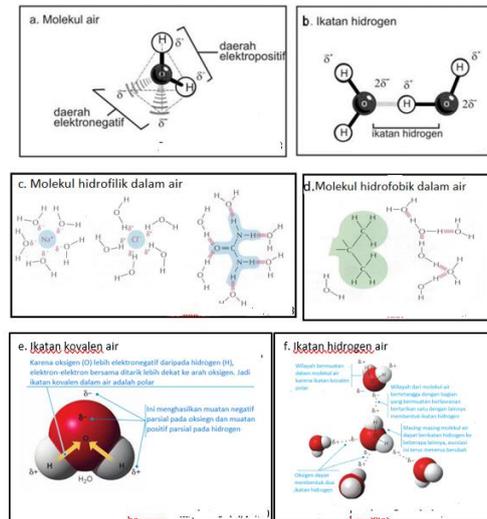
Tabel 6 Komposisi senyawa organik dan anorganik pada protoplasma

Senyawa	Nama	Jumlah (%)
An organik	Air	70-90
	Ion (garam, asam, basa, gas)	1
Organik	Protein	10-15
	Lemak	2
	Karbohidrat	3
	Asam nukleat	5-7

a. Air

Air merupakan senyawa yang sangat penting untuk kehidupan dan merupakan salah satu komponen penyusun protoplasma. Reaksi kimia di dalam sel terjadi karena adanya air. Selain berperan sebagai tempat terjadinya reaksi-reaksi, air merupakan pelarut. Air juga berperan dalam proses **hidrolisis** dan dehidrasi.

Protoplasma mengandung lebih kurang 60% air dan selebihnya zat padat. Di dalam cairan atau larutan, keberadaan air dapat berupa air bebas yang berperan sebagai pelarut, dapat pula berupa air terikat atau air intramolekul. Dua atom H setiap molekul air terikat pada atom O dengan **ikatan kovalen**. Ikatan kovalen dihasilkan ketika atom-atom berbagi elektron sehingga masing-masing atom memiliki 8 elektron di kulit terluarnya. Dua ikatan tersebut sangat polar, karena atom O sangat menarik elektron, sedangkan atom H daya tariknya lemah. Akibatnya di dalam molekul air penyebaran elektron tidak seimbang, dengan kecenderungan muatan positif berada pada dua atom H, dan muatan negatif berada pada atom O (**Gambar 4**). Apabila bagian muatan positif sebuah molekul air berdekatan dengan muatan negatif molekul air yang lain, daya tarik listrik mereka menimbulkan **ikatan hidrogen**. Ikatan hidrogen adalah daya tarik yang lemah di antara atom H yang agak positif dari satu molekul dan atom H yang agak negatif dari molekul lain atau molekul yang sama.



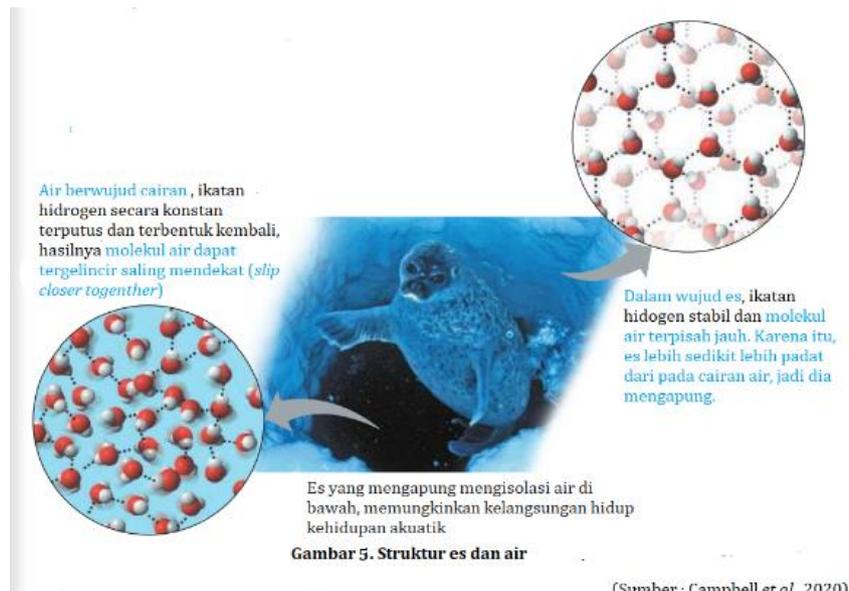
Gambar 4. Rumus dan sifat-sifat molkul air

(Sumber: Albert *et al.*, 1998 dan Campbell *et al.*, 2020)

Air adalah satu dari sedikit zat yang mempunyai densitas (kerapatan) lebih rendah saat berwujud padatan daripada saat berwujud cairan. Dengan kata lain, es mengembang di air berwujud cairan. Materi lain mengerut ketika memadat, namun air justru mengembang. Penyebab perilaku janggal ini adalah ikatan hidrogen.

Pada suhu di atas 4°C, air berperilaku seperti cairan lain, memuai ketika suhunya naik dan mengerut ketika mendingin. Air mulai membeku ketika molekulnya tidak bergerak cukup gesit untuk memutus ikatan hidrogennya. Ketika suhu turun ke 0°C air terkunci dalam kristalin, setiap molekul air berikatan hidrogen dengan empat molekul air lainnya (**Gambar 5**).

Ketika es menyerap panas yang cukup sehingga suhunya naik di atas 0°C, ikatan hidrogen diantara molekul-molekul terganggu. Ketika kristal runtuh, es akan mencair dan molekul-molekul menjadi bebas untuk saling mendekat. Air mencapai densitas tertingginya pada 4°C dan kemudian mulai memuai ketika molekul bergerak lebih cepat. Bahkan dalam air berwujud cairan, banyak molekul air yang saling terhubung oleh ikatan hidrogen walaupun hanya untuk sementara. Ikatan hidrogen terus-menerus putus terbentuk kembali. (Campbell, *et al.*, 2010)



b. Protein

Protein berasal dari kata protos atau *proteos* yang berarti utama. Hampir sepuluh persen dari protoplasma merupakan protein. Protein merupakan kelompok molekul dengan berat molekul tinggi dan merupakan salah satu dari 4 makromolekul komponen utama penyusun kehidupan di dunia, baik manusia, hewan, tumbuhan serta mikroorganisme seperti bakteri, jamur, virus dan parasit.

Protein terdiri atas unsur-unsur C, O, H, dan N, namun sering kali terdapat pula unsur S dan P, merupakan polimer dari asam-asam amino di mana asam amino satu dengan asam amino lain dihubungkan dengan suatu ikatan yang disebut sebagai ikatan peptida. Protein mempunyai banyak ikatan peptida sehingga protein sering disebut pula sebagai polipeptida. Ikatan peptida terbentuk antara gugus karboksil dari satu asam amino dengan gugus amina dari asam amino yang lain. Apabila ada dua asam amino dihubungkan oleh satu ikatan peptida maka disebut sebagai dipeptida, dan akan terbentuk adanya N terminal atau ujung N (NH_2) disalah satu ujung dan C terminal atau ujung C (COOH) di ujung yang lain, serta dibebaskannya molekul H_2O (air).

Pada dasarnya perbedaan setiap organisme terletak pada protein-protein yang mereka miliki. Molekul protein bersifat amfoter, yaitu dapat mengion sebagai



basa dan asam. Ciri utama yang dimiliki molekul protein adalah urutan asam aminonya. Ada lebih dari 300 jenis asam amino yang dapat ditemukan di alam, tetapi hanya 20 jenis asam amino yang menyusun protein. Manusia dan hewan tingkat tinggi hanya bisa mensintesis 10 dari 20 jenis asam amino tersebut sehingga membutuhkan tambahan nutrisi yang mengandung asam amino dari sumber makanannya. Asam amino yang tidak dapat disintesis oleh tubuh disebut dengan asam amino esensial, sehingga harus diperoleh dari makanan yang dikonsumsi. Asam amino yang dapat disintesis oleh tubuh disebut asam amino nonesensial. Selain itu terdapat 5 macam asam amino spesial (**Tabel 7**).

Tabel 7 Klasifikasi Asam Amino

Asam amino esensial	Asam amino nonesensial	Asam amino khusus
Lisin	Sistein	GABA
Metionin	Tirosin	DOPA
Valin	Serin	sitrulin
Triptofan	Alanin	Ornitin
Isoleusin	Asparagin	Taurin
Histidin	Asam aspartat	
Fenilalanin	asam glutamat	
Treonin	Glisin	
Leusin	hidroksilisin	
Arginin	Prolin	

(Sumber: Akram *et al.*, 2011)

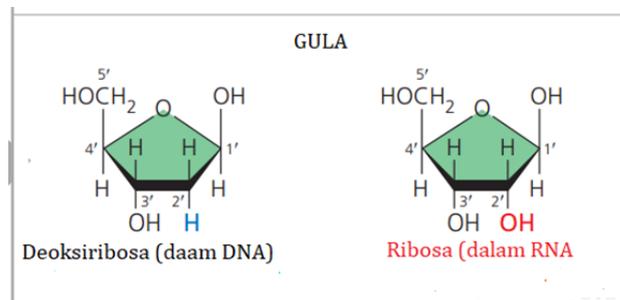
Sel dapat memproduksi protein dengan susunan dan fungsi yang berbeda menggunakan kombinasi dari 20 jenis asam amino. Oleh karena *building blocks* yang berbeda, organisme dapat menghasilkan protein dengan banyak fungsi seperti enzim, hormon, antibodi, transpor, jaringan otot, protein pembentuk lensa mata, bulu, jaring laba-laba, tanduk badak, antibiotik, protein susu, bisa ular dan aktivitas biologi lainnya.

Asam Nukleat

Asam nukleat merupakan untaian atau polimer **nukleotida**. Molekul nukleotida terdiri atas cincin bernitrogen yang berikatan dengan gula beratom C lima buah. Gula ini dapat berupa **ribosa** atau **deoksiribosa** (**Gambar 6**). Gugus fosfat terdapat pula dalam molekul ini. Nukleotida dengan gula ribosa disebut ribonukleotida, sedangkan yang memiliki gula deoksiribosa disebut deoksiribonukleotida. Cincin bernitrogen umumnya disebut basa nitrogen.

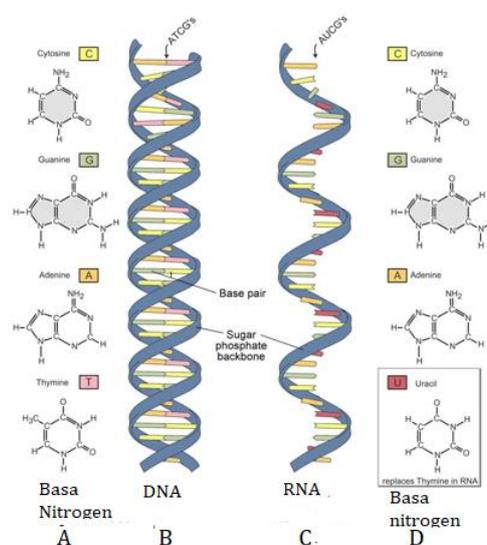


Senyawa tersebut dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok **purin** mencakup guanin (G) dan adenin (A); sedangkan **pirimidin** mencakup sitosin (C), timin (T), dan urasil (U).



Gambar 6. Deoksiribosa dan Ribosa
(Sumber: Campbell *et al.* 2020)

Nukleotida dapat berperan sebagai pembawa tenaga kimia yang disebut **adenosin trifosfat (ATP)**. Peran utama nukleotida adalah sebagai bahan baku pembentukan asam nukleat. Senyawa tersebut merupakan polimer nukleotida dan berperan sebagai penyimpan informasi genetik. Jenis asam nukleat ada dua, yaitu DNA (asam deoksiribosa nukleat) dan RNA (asam ribosa nukleat). Basa N yang berada di DNA adalah A, G, C, dan T (**Gambar 7A**) sedangkan yang berada di RNA adalah A, G, C, dan U (**Gambar 7D**). RNA di dalam sel berupa untai tunggal nukleotida (**Gambar 7C**) Dan DNA merupakan untai ganda yang tersusun sejajar (paralel) (**Gambar 7B**).



Gambar 7. Model struktur basa nitrogen, DNA, dan RNA

(Sumber: National Human Genome Research Institute)



c. Karbohidrat

Karbohidrat merupakan makromolekul yang penting bagi makhluk hidup. Senyawa karbohidrat menyumbangkan 70 – 80% sumber energi untuk aktivitas manusia. Konsumsi rata-rata karbohidrat dalam makanan sekitar 65% dan energi yang dihasilkan dari metabolisme selular karbohidrat tersebut akan digunakan untuk metabolisme biomolekul lainnya seperti protein, lemak dan asam nukleat. Selain itu, lebih dari 90% komponen penyusun tumbuhan kering adalah karbohidrat.

Pada tumbuhan, glukosa disintesis dari karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) melalui proses fotosintesis dan disimpan dalam bentuk pati atau selulosa. Binatang menyintesis karbohidrat dari lipid gliserol dan asam amino, akan tetapi derivat karbohidrat yang digunakan oleh binatang diambil dari tanaman. Glukosa bisa diabsorpsi langsung dalam aliran darah dan gula bentuk lain akan diubah menjadi glukosa dalam hati sehingga glukosa merupakan jenis karbohidrat yang penting. Sebagai sumber utama energi pada mamalia, glukosa dapat disintesis menjadi **glikogen** sebagai cadangan makanan, ribosa dan deoksiribosa pada asam nukleat, galaktosa pada laktosa susu, glikolipid dan kombinasi dengan protein (**glikoprotein dan proteoglikan**).

Berdasarkan jumlah monomer gulanya karbohidrat dibagi menjadi 3 golongan yaitu:

1. Monosakarida

Monosakarida adalah jenis karbohidrat yang tidak dapat dihidrolisis menjadi gula yang lebih sederhana. Berdasarkan gugus fungsinya, jenis monosakarida ada dua yaitu aldosa yang memiliki gugus fungsi aldehid dan ketosa yang memiliki gugus fungsi keton. Berdasarkan jumlah atom karbonnya, monosakarida terdiri dari triosa, tetrosa, pentosa, dan heksosa.

2. Oligosakarida

Oligosakarida adalah hasil kondensasi dari dua sampai sepuluh monosakarida. Oligosakarida dapat berupa disakarida, trisakarida dan tetrasakarida. Disakarida merupakan hasil kondensasi dua unit monosakarida.



Contohnya adalah laktosa, maltosa dan sukrosa. Trisakarida merupakan hasil kondensasi tiga unit monosakarida dan tetrasakarida terdiri dari empat unit monosakarida.

3. Polisakarida

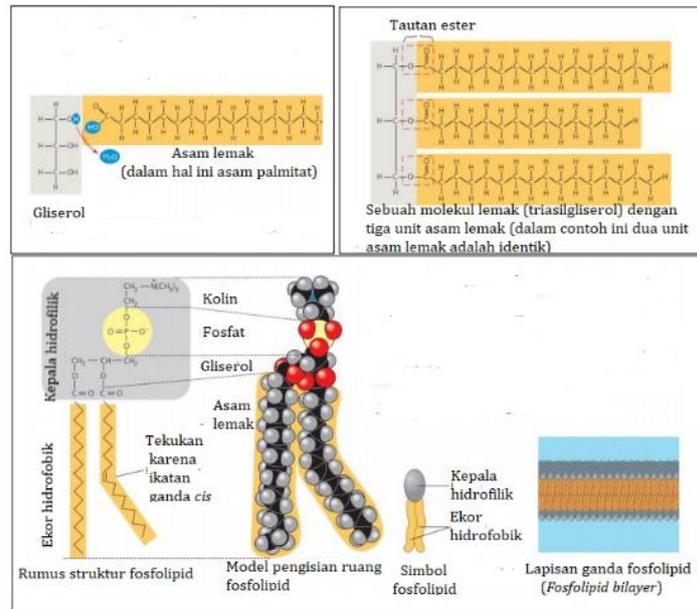
Polisakarida merupakan hasil kondensasi dari lebih dari dua puluh unit monosakarida. Polisakarida terdiri dari homopolisakarida dan heteropolisakarida. Homopolisakarida adalah polisakarida yang terdiri dari unit monosakarida yang sama sedangkan heteropolisakarida terdiri dari unit monosakarida yang berbeda.

d. Lipid

Lipid mencakup lemak netral, asam lemak, minyak, fosfolipid, lilin, dan steroid. Lipid di dalam protoplasma sangat bervariasi. Unsur utama penyusun lipid adalah C, H, dan O. Padanya dapat terikat unsur-unsur K, Na, Ca, Mg, dan ion klorida, bikarbonat, fosfat, dan sulfat. Lipid penyusun protoplasma pada umumnya berupa gliserida. Lipid terdiri atas gliserol dan asam lemak. Gliserol merupakan alkohol dengan tiga karbon, yang masing-masing berikatan dengan suatu gugus hidroksil.

Asam lemak (*fatty acid*) memiliki rangka karbon panjang biasanya sepanjang 16 sampai 18 atom karbon. Karbon salah satu ujung asam lemak merupakan bagian gugus hidroksil, gugus fungsional yang menjadi sumber nama asam lemak. Pada gugus karboksil melekat rantai hidrokarbon yang panjang. Ikatan C–H yang relatif nonpolar dalam rantai hidrokarbon asam lemak merupakan penyebab lemak bersifat **hidrofobik**. Lemak terpisah dari air karena molekul-molekul air saling membentuk ikatan hidrogen dan tidak mengikatkan lemak. Inilah alasan minyak sayur (sejenis lemak cair) terpisah dari larutan cuka berpelarut air dalam sebotol saus salad (*salad dressing*).

Sel sel tidak mungkin ada tanpa suatu tipe lipid lain yaitu **fosfolipid**. Fosfolipid bersifat esensial bagi sel karena merupakan komponen membran sel. Struktur fosfolipid merupakan contoh klasik bagaimana bentuk sesuai fungsi pada tingkat molekuler. Fosfolipid mirip dengan dengan molekul lemak namun hanya memiliki dua asam lemak yang melekat pada gliserol, bukan tiga (**Gambar 8**).



Gambar 8. Lemak dan derivatnya

(Sumber : Campbell *et al.*, 2020)

Gugus hidroksil ketiga pada gliserol bergabung dalam suatu gugus fosfat, yang memiliki muatan listrik negatif. Molekul-molekul kecil tambahan, yang biasanya bermuatan atau polar, bisa ditautkan ke gugus fosfat untuk membentuk berbagai macam fosfolipid. Kedua ujung fosfolipid menunjukkan perilaku yang berbeda terhadap air. Ekor hidrokarbon bersifat hidrofobik dan dijauhkan dari air. Akan tetapi gugus fosfat dan molekul yang melekat pada gugus ini membentuk kepala hidofilik yang memiliki afinitas terhadap air.

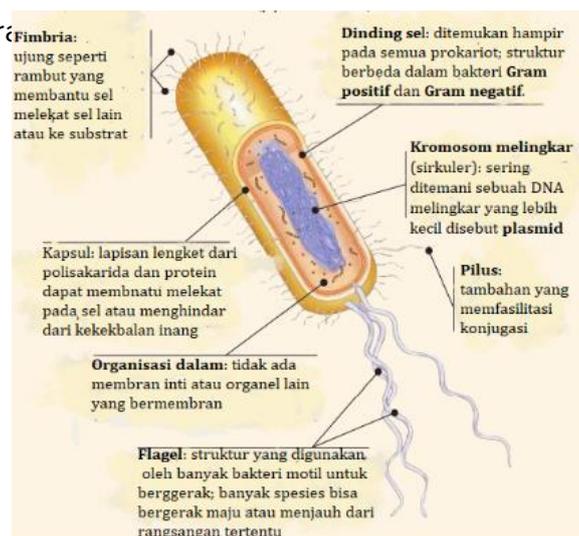
Steroid merupakan lipid yang dicirikan oleh rangka karbon yang tersusun atas empat cincin yang menyatu. **Hormon** dan kolesterol merupakan steroid dalam tubuh kita. **Kolesterol** adalah komponen umum membran sel hewan dan juga merupakan prekursor untuk sintesis steroid-steroid lain. Pada vertebrata kolesterol disintesis dalam hati. Banyak hormon, termasuk hormon seks vertebrata merupakan steroid yang diproduksi dari kolesterol. Dengan demikian kolesterol merupakan molekul yang sangat penting dalam tubuh hewan, walaupun kadar kolesterol yang tinggi dalam darah dapat berkontribusi bagi munculnya aterosklerosis. (Campbell, *et al.*, 2010)



4. Struktur Sel

Prokariota

Prokariota: (*pro*=sebelum, *caryo*=nukleus), mencakup dua gugus besar yaitu bakteri dan sianobakteri (ganggang biru). Untuk mempelajari struktur dan fungsi pada sel prokariota, sel bakteri merupakan contoh yang cukup mewakili dari berbagai tipe sel prokariota. Ukuran sel-sel prokariota pada umumnya kecil, dengan panjang hanya beberapa mikrometer, sedangkan diameternya satu mikrometer atau kurang.



Gambar 9. Prokariot (bakteri)

(Sumber : Campbell *et al.*, 2020)

Struktur sel bakteri dapat dilihat pada terdiri dari bagian luar sebagai penutup sel dan sitoplasma. Bagian luar sel bakteri terdiri dari kapsula, dinding sel, dan membran plasma (**Gambar 9**). Hampir semua sel prokariota memiliki dinding sel dan kapsula. Dinding sel bersifat kaku berada di permukaan luar selaput sel dan tersusun dari berbagai bahan seperti karbohidrat, protein, dan beberapa garam anorganik serta berbagai asam amino.

Membran plasma bakteri mengandung enzim oksida dan respirasi. Fungsinya serupa dengan fungsi mitokondria pada sel eukariotik karena sebagian besar sistem molekuler yang memecah bahan bakar untuk menjadi tenaga, berada di selaput sel ini. Peran yang terpenting membran plasma adalah mengatur lalu-lintas senyawa yang melewatinya. Pada selaput sel terdapat protein-protein yang



berperan sebagai reseptor dan pengikat molekul-molekul khas yang berada di sekitarnya. Beberapa bakteri memiliki alat gerak berupa flagel. Beberapa bakteri lainnya mengandung pili yang berfungsi untuk konjugasi.

Nukleoid prokariota, berada di sitoplasma tanpa dibatasi oleh suatu selaput inti. Bentuk nukleoid tidak teratur. Nukleoid berisi sejumlah serabut yang sangat halus. Ketebalan serabut tersebut berkisar antara 3 sampai 5 nanometer. Nukleoid berisi sebuah molekul DNA besar yang berbentuk lingkaran. Pada *Escherichia coli* panjang DNA adalah 1.360 mikrometer, sedangkan pada beberapa bakteri lainnya berkisar antara 250–1.500 mikrometer. Molekul DNA sepanjang ini terkemas di dalam sebuah sel yang berukuran antara 1–2 mikrometer.

Sitoplasma berbentuk koloid yang agak padat dan mengandung butiran-butiran protein, glikogen, lemak dan berbagai jenis bahan lainnya. Sitoplasma yang memiliki nukleoid, pada umumnya terlihat berwarna pekat di elektromikrograf. Kenampakan tersebut disebabkan oleh kehadiran ribosom dalam jumlah besar. Pada beberapa prokariota yang lebih berkembang, selain ribosom terdapat pula vakuola. Isi vakuola bervariasi sesuai jenisnya. Pada sitoplasma sel bakteri tidak ditemukan organel-organel yang memiliki sistem endomembran seperti badan Golgi, retikulum endoplasma, kloroplas, mitokondria, badan mikro dan lisosom.

Eukariota

Sel eukariota merupakan sel yang memiliki sistem endomembran. Sel tipe ini secara struktural memiliki sejumlah organel pada sitoplasmanya. Organel tersebut memiliki fungsi yang sangat khas yang berkaitan satu dengan lainnya dan berperan penting untuk menyokong fungsi sel. Organisme yang memiliki tipe ini antara lain hewan, tumbuhan, jamur dan protista baik multiseluler maupun yang uniseluler.

Tipe sel eukariota pada hewan sedikit berbeda dengan pada tumbuhan dan jamur. Pada sel hewan, bagian luar sel tidak ditemukan adanya dinding sel, sebaliknya pada tumbuhan dan jamur ditemukan dinding sel walaupun dengan komposisi kimia yang berbeda. Pada tumbuhan dinding sel tersusun dari selulosa



sedangkan pada jamur didominasi oleh zat kitin. Pada tumbuhan ditemukan organel kloroplas, sedangkan pada hewan tidak. Selain perbedaan tersebut pada dasarnya baik sel hewan, tumbuhan, dan jamur memiliki struktur serupa. Bagian utama sel eukariotik dibagi menjadi 2 yaitu sitosol dan organel sel.

a. Sitosol

Sitosol (*cytosol*) merupakan zat serupa jeli yang semi cair, tempat organel dan komponen-komponen lain berada (Campbell, *et al.*, 2010). Sitosol terdiri atas campuran berbagai macam molekul dan polimer. Beribu-ribu jenis enzim terlibat dalam proses metabolisme terlarut di dalamnya.

Selain itu, cairan tersebut dipenuhi oleh ribosom, **mRNA** maupun **tRNA**, yang aktif menyintesis protein. Sekitar 50% protein hasil sintesis yang dilakukan ribosom, ditentukan tetap berada di dalam sitosol. Sebagian dari protein yang berada di sitosol, berbentuk benang-benang halus disebut filamen. Filamen-filamen ini teranyam membentuk sitoskeleton.

Organel sel

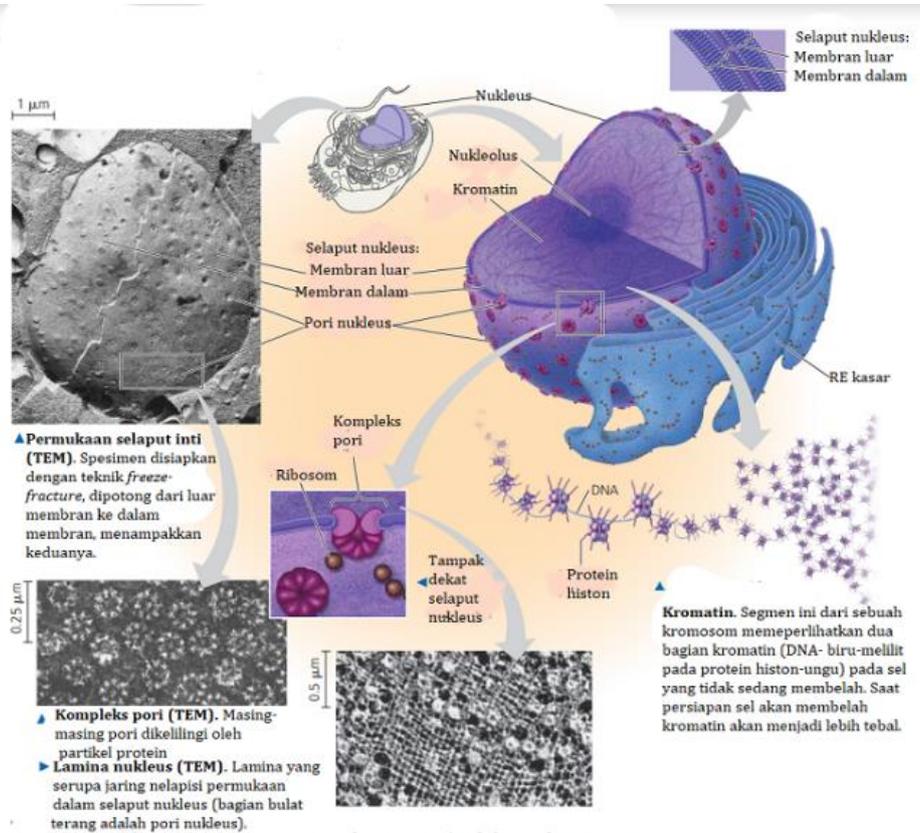
Di dalam sel eukariota, terdapat 2 kelompok organel berdasarkan membran yang dimilikinya. Nukleus, mitokondria, dan kloroplas adalah organel yang termasuk dalam kelompok organel bermembran ganda. Retikulum endoplasma, aparatus Golgi, vesikuli, lisosom dan peroksisom termasuk dalam kelompok organel bermembran tunggal

1. Nukleus

Nukleus merupakan organel yang paling menonjol dalam sel eukariota, mengandung sebagian besar gen dan diselubungi oleh selaput nukleus yang memisahkan isinya dan sitoplasma (**Gambar 10**). Selaput nukleus merupakan membran ganda. Kedua membran masing-masing merupakan lapisan-lapisan lipid beserta protein-protein terkait dipisahkan oleh ruang selebar 20–40 nm. Selaput nukleus berpori berdiameter sekitar 100 nm (Campbell, *et al.*, 2010)

Nukleus mengandung matriks, rangka serat yang membentang diseluruh interior nukleus. Di dalam matriks terdapat serabut halus yang terlipat-lipat tidak teratur. Serabut yang berdiameter antara 10–30 nanometer ini terdiri atas DNA

dan dua macam protein, yaitu histon dan nonhiston. Histon merupakan protein struktural yang bersama DNA menjadi kromatin. Protein nonhiston berperan sebagai pengatur kegiatan gen. Benang-benang **kromatin** menjadi kromosom pada saat sel akan membelah. DNA, selain menjadi benang-benang kromatin juga berper:



Gambar 10. Inti sel dan selaputnya

(Sumber : Campbell *et al.*, 2020)

Nukleus merupakan pusat pengatur kegiatan-kegiatan sel. Informasi pada kromatin yang diperlukan untuk sintesis protein disandikan ke DNA. Setiap penggalan DNA berisi informasi untuk membuat sebuah molekul protein disebut gen. Informasi yang terdapat di dalam gen disalin menjadi mRNA (RNA duta) yang dikeluarkan ke sitoplasma melewati kompleks celah yang terdapat di selubung nukleus. Di dalam sitoplasma, mRNA digunakan oleh ribosom sebagai pemandu sintesis protein. DNA yang terdapat di nukleus berisi sandi-sandi (kode) untuk



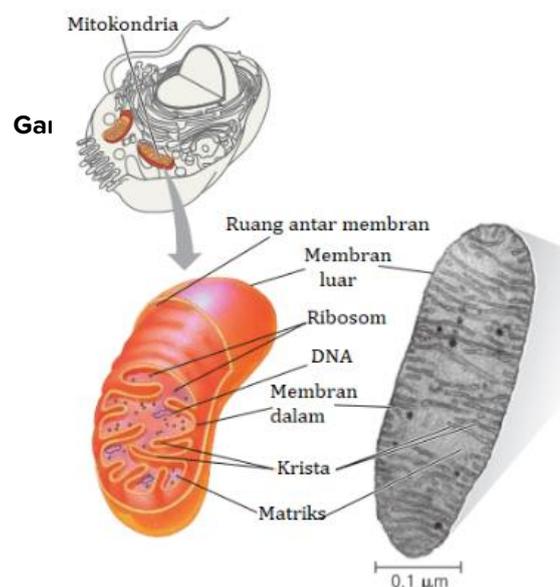
beribu-ribu macam protein. Selain mRNA, DNA juga disalin menjadi **rRNA** dan tRNA.

Fungsi penting lain nukleus adalah tempat proses replikasi yaitu penggandaan kromatin dan DNA. Sesaat sebelum pembelahan sel, semua komponen kromatin digandakan. Selama pembelahan sel, setiap kembaran kromosom dipisahkan dan dibagi ke sel anakan, sehingga sel anakan tersebut menerima 1 kemasin gen lengkap.

Struktur menonjol dalam nukleus yang tidak sedang membelah adalah nukleolus (*nucleolus*). Nukleolus berfungsi sebagai tempat menyintesis RNA ribosom (*ribosomal RNA*, rRNA). Penelitian terbaru menunjukkan nukleolus juga berfungsi dalam regulasi beberapa proses seluler, seperti pembelahan sel.

2. Mitokondria

Selain nukleus, organel yang tampak jelas di dalam sitoplasma adalah mitokondria. Struktur organel ini sangat khas. Pengamatan dengan mikroskop elektron menunjukkan bentuk mitokondria mirip sosis dengan ukuran panjang sekitar 7 mikrometer dan diameter antara 0,5–1 mikrometer. Pada mikrograf elektron tampak bahwa mitokondria memiliki membran rangkap. Di antara membran luar dengan membran dalam terdapat ruangan sempit yang disebut ruang antarmembran. Cairan yang berada di mitokondria disebut **matriks mitokondria**. Membran dalam terlipat-lipat membentuk lekukan ke arah matriks. Lekukan-lekukan ini disebut krista (**Gambar 11**)



Gambar 11. Diagram dan TEM mitokondria

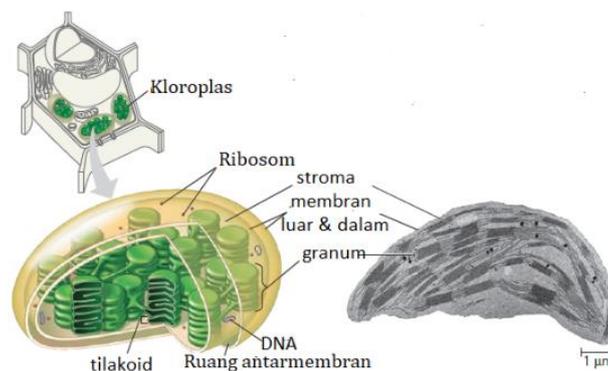
(Sumber : Campbell *et al.*, 2020)

Unit Pembelajaran 7 : Biologi Sel

Mitochondria merupakan pembangkit tenaga kimia untuk sel. Tenaga kimia yang diperoleh, ATP, merupakan hasil oksidasi makanan terutama karbohidrat. Pada kegiatan di atas, mitokondria menggunakan oksigen dan menghasilkan karbondioksida, oleh karena itu proses tersebut diberi nama **respirasi selular**. Tanpa mitokondria, hewan, tumbuhan maupun fungi tidak mampu menggunakan oksigen untuk memperoleh tenaga maksimal dari makanan. Keistimewaan lain mitokondria adalah memiliki DNA, dan dapat memperbanyak diri dengan jalan membelah.

3. Kloroplas

Hanya berada di sel tumbuhan dan alga. Berbentuk lensa dengan diameter 2–6 mikrometer dan tebal 0,5–1 mikrometer. Struktur kloroplas rumit seperti struktur mitokondria. Seperti halnya mitokondria, kloroplas juga bermembran rangkap. Antara membran luar dengan membran dalam terdapat ruang antarmembran. Lumen kloroplas beserta isinya disebut **stroma**. Di dalam stroma terdapat tumpukan-tumpukan kantung pipih. Setiap kantung disebut **tilakoid** (**Gambar 12**). Pada membran tilakoid terdapat pigmen berwarna hijau disebut **klorofil**.



Gambar 12. Diagram dan TEM kloroplas

(Sumber : Campbell *et al.*, 2020)

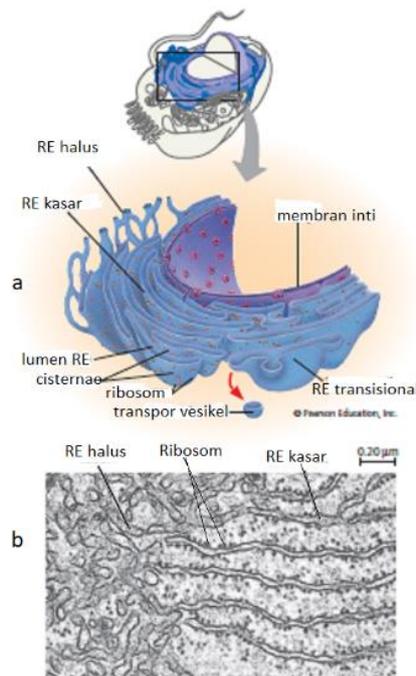
Kloroplas memiliki fungsi penting dalam melakukan fotosintesis, yaitu menangkap cahaya matahari (foton). Di dalam stroma kloroplas juga dijumpai



DNA. Hal ini menyebabkan kloroplas dapat memperbanyak diri dengan jalan membelah.

Retikulum endoplasma

Organel-organel yang memiliki membran tunggal, mempunyai fungsi khas, yaitu memasukkan bahan-bahan baku dan mengeluarkan zat hasil sintesisnya bersama-sama dengan limbah. Organel yang bermembran tunggal ini terbentuk akibat invaginasi membran sel. Di antara organel bermembran tunggal, yang terbesar adalah retikulum endoplasma (RE). RE bersama-sama dengan aparatus Golgi dan lisosom membentuk suatu sistem yang disebut sistem membran sitoplasmik atau sistem membran interna (**Gambar 13**).



Gambar 13. RE (a) diagram; (b) mikrograf

(Sumber : Campbell *et al.*, 2020)

Dari mikrograf elektron terlihat bahwa, terdapat dua daerah RE yang berbeda secara fungsional. Daerah ini diberi nama RE kasar (Retikulum Endoplasma Granular, REG) yaitu daerah yang permukaan sitosolik selaputnya ditemplei ribosom, sedangkan RE halus (Retikulum Endoplasma Agranular, REA) secara fisik merupakan sebagian dari selaput yang sama, tetapi pada permukaan sitosoliknya tidak terdapat ribosom. Kedua daerah ini juga berbeda dalam bentuk susunan. REG merupakan tumpukan kantung-kantung pipih yang disebut sisterna, sedang REA berupa anyaman saluran-saluran halus.



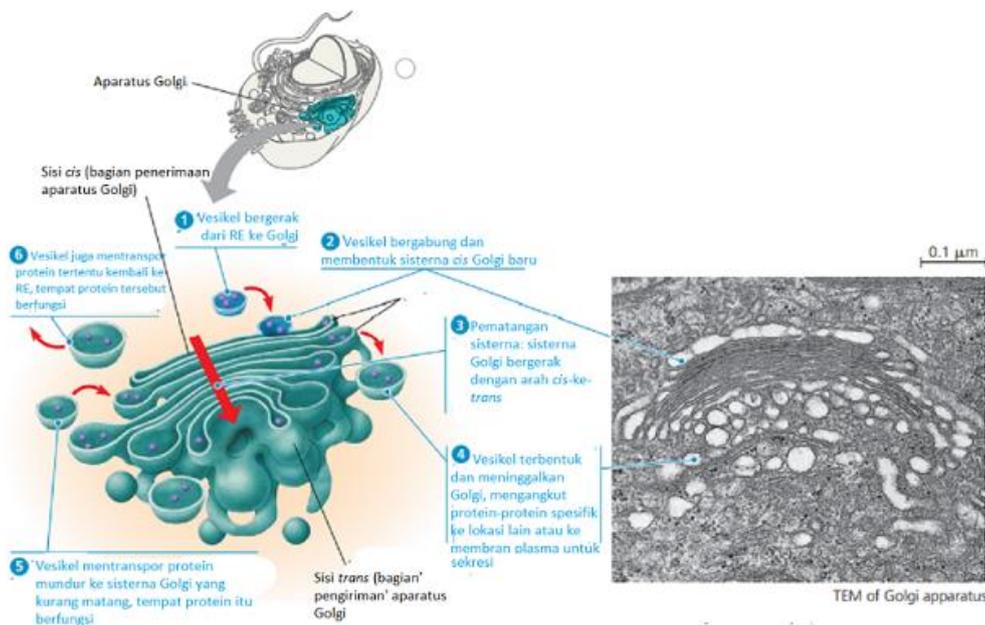
RE halus berfungsi dalam berbagai proses metabolik, diantaranya sintesis lipid, metabolisme karbohidrat, serta detoksifikasi obat-obatan dan racun. Enzim-enzim dalam RE halus penting dalam sintesis lipid termasuk minyak, fosfolipid, dan steroid. Testis dan ovarium pada vertebrata merupakan organ yang sel-sel penyusunnya banyak mengandung RE halus, sehingga struktur ini cocok dengan fungsi dari kedua organ ini yaitu mensintesis dan menyekresikan hormon seks (steroid).

Pada sel-sel hati, RE halus menghasilkan enzim-enzim yang berperan dalam mendetoksifikasi obat-obatan dan racun. RE halus juga menyimpan ion kalsium. Dalam sel-sel otot, membran RE halus yang terspesialisasi memompa ion-ion kalsium dari sitosol ke dalam lumen mitokondria. Ketika suatu sel otot dirangsang oleh sel saraf, ion-ion kalsium membanjir melintasi membran RE kembali ke sitosol dan memicu kontraksi sel otot tersebut. Pada sel jenis yang lain, pelepasan ion kalsium dari RE halus memicu respons yang berbeda-beda.

RE kasar berfungsi membuat protein sekresi dan sebagai pabrik membran untuk sel. Banyak jenis sel menyekresikan protein yang dihasilkan oleh ribosom yang melekat pada RE kasar. Misalnya sel-sel pankreas tertentu yang menyintesis protein insulin di RE dan menyekresikan hormon ini ke aliran darah. Ketika rantai polipeptida tumbuh dari ribosom terikat, rantai tersebut diloloskan dalam lumen RE melalui suatu pori yang dibentuk oleh kompleks protein dalam membran RE. Ketika memasuki lumen RE, protein baru melipat diri menjadi bentuk aslinya.

4. Aparatus Golgi

Aparatus Golgi disebut juga badan Golgi, kompleks Golgi atau diktiosom merupakan setumpuk kantung pipih (sisterna) yang masing-masing bersalut membran agranular. Setiap kantung pipih disebut sakulus. Sebuah diktiosom memiliki dua daerah yaitu daerah *cis* atau pembentukan, yang erat hubungannya dengan daerah peralihan REG, dan daerah *trans* atau pemasakan. Pada sel-sel sekretoris daerah *trans* erat hubungannya dengan membran sel (**Gambar 14**). Aparatus Golgi memodifikasi protein dari RE dan mengirimkannya dengan tepat pada target yang dituju di dalam atau di luar sel.



Gambar 14. Aparatus Golgi

(Sumber : Campbell *et al.*, 2020)

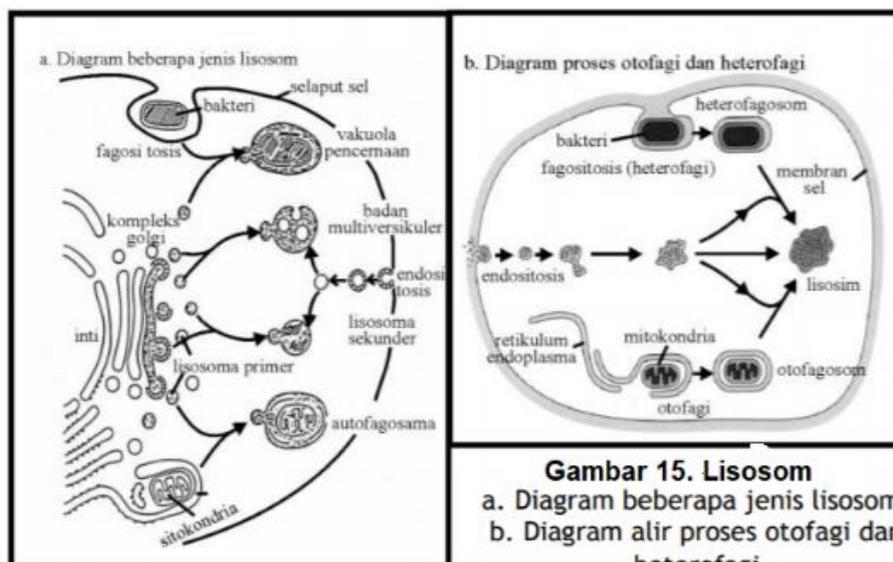
Dari kajian histokimiawi terlihat bahwa, diktiosom merupakan organel polar. Setiap sakuli dari diktiosom merupakan sisterna yang berbeda, dengan masing-masing enzimnya. Molekul-molekul protein dimodifikasi dalam tahapan berturutan pada saat mereka berpindah dari sakulus yang satu ke sakulus yang lain. Aparatus Golgi terlibat dalam sejumlah besar kegiatan sel antara lain: perakitan protein dan lipid berkarbohidrat tinggi atau lebih dikenal dengan proses glikosilasi, pemulihan selaput sel, sekresi, dan sebagainya.

5. Lisosom

Organel berupa kantung berbentuk tidak teratur, bersalutkan membran tunggal. Sekitar 40 jenis enzim hidrolase yang bekerja pada pH rendah (<6) berada di dalam lisosom. Lisosom dijumpai pada semua sel eukariota hewan maupun tumbuhan. Ditinjau dari segi fisiologis terdapat dua kategori lisosom, yaitu lisosom primer yang hanya berisi enzim-enzim hidrolase dan lisosom sekunder yang berisi selain enzim hidrolase, juga substrat yang sedang dicerna. Termasuk ke dalam lisosom sekunder adalah vakuola pencernaan yang terbentuk dari peleburan fagosom atau endosom dengan lisosom primer.



Keanekaragaman kenampakan organel ini mencerminkan betapa bervariasinya pencernaan yang dilakukan oleh enzim-enzim hidrolase tersebut. Pada umumnya pencernaan berlangsung di dalam sel. Bila bahan yang dicerna dari luar sel proses pencernaan disebut proses heterofagi, sedangkan bila berasal dari dalam sel disebut otofagi. Pada proses heterofagi bahan dari luar sel masuk ke dalam sel dengan jalan endositosis sehingga terbentuk endosom. Pada peleburan antara lisosom primer dengan endosom, enzim lisosom tertuang ke vakuola leburan lisosom primer dengan endosom sehingga pencernaan dapat berlangsung. Leburan antara lisosom dengan endosom menjadi lisosom sekunder atau hetero fagosom. Berbeda dengan proses heterofagi bahan yang menjadi substrat bagi hidrolase lisosom berasal dari dalam sel. (**Gambar 15**)



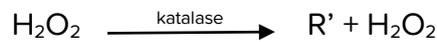
Sumber: Albert *et.al.*, 1998

6. Peroxisom

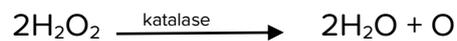
Organel berbentuk kantung dengan diameter sekitar 0,5 mikrometer, bersalutkan selaput tunggal (**Gambar 16**). Peroxisom mengandung enzim-enzim yang mentransfer hidrogen dari berbagai substrat ke O_2 , menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan reaksi oksidatif sebagai berikut:



Katalase menggunakan H_2O_2 yang timbul untuk mengoksidasi berbagai jenis substrat, misalnya fenol, asam formiat, formaldehida, dan alkohol. Reaksi peroksidatif ini berlangsung sebagai berikut



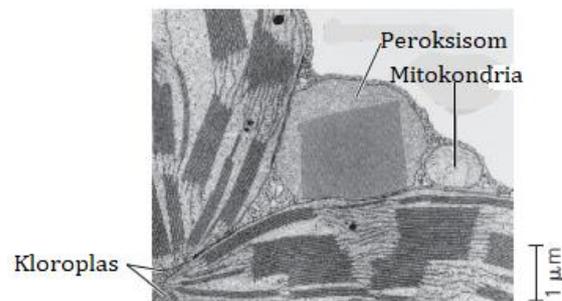
Apabila kadar $R'H_2$ di dalam sel rendah, reaksi berlangsung sebagai berikut.



Reaksi terakhir ini digunakan sebagai pelindung untuk mencegah tertimbunnya H_2O_2 . Membran peroksida bersifat sangat permeabel, sehingga ion-ion anorganik, senyawa berberat molekul rendah sampai ke ukuran sukrosa, dapat dengan bebas masuk ke peroksisom.

Peroksisom merupakan organel yang sangat beragam. Kandungan enzimnya juga sangat bervariasi, walaupun peroksisom tersebut berada di dalam satu jenis sel. Terdapat dua jenis peroksisom. Pertama, terdapat di daun, peroksisom berperan sebagai katalisator dalam oksidasi hasil samping reaksi fiksasi karbondioksida. Proses ini disebut **fotorespirasi**. Kedua, jenis lain peroksisom terdapat di biji yang sedang tumbuh. Dalam hal ini, peroksisom berperan dalam proses perombakan asam lemak yang tersimpan di dalam biji menjadi gula yang diperlukan untuk tumbuh.

Mengingat bahwa perubahan lemak menjadi gula melibatkan serangkaian reaksi disebut siklus glioksilat, maka nama peroksisom diganti menjadi glioksisom. Glioksisom ditemukan pada jaringan penyimpan lemak. Siklus glioksilat tidak terjadi pada sel-sel hewan. Oleh sebab itu, hewan tidak dapat mengubah asam lemak menjadi karbohidrat. Glioksisom tidak hanya berisi enzim spesifik untuk daur glioksilat (yaitu isositrat liase dan malat sintetase) tetapi juga berisi beberapa enzim penting dari siklus Krebs.



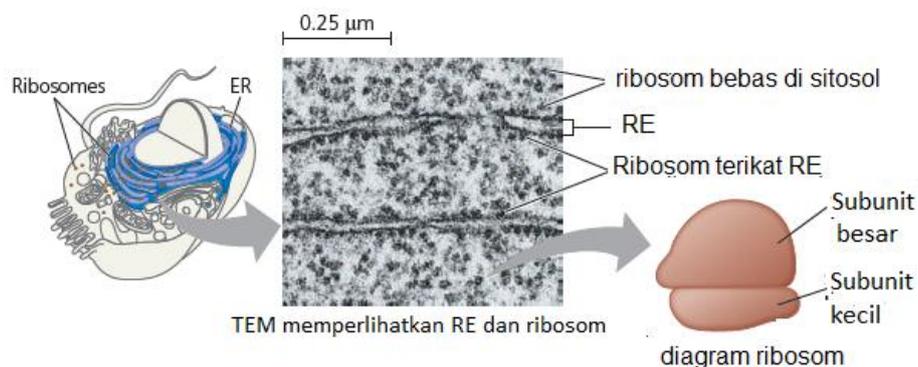
Gambar16 . Peroxisom

(Sumber: (Campbell et al., 2020)

7. Ribosom

Ribosom merupakan komponen penting didalam sel. Ukurannya berkisar 20-25 nm, tersusun dari RNA dan protein, terdiri dari subunit besar dan subunit kecil. Subunit besar dan subunit kecil akan bergabung bila ribosom sedang menjalankan fungsinya yaitu sintesis protein. Bila sintesis protein sudah selesai maka subunit besar dan subunit kecil akan berpisah kembali (**Gambar 17**).

Ribosom ada yang bebas terdapat di dalam sitoplasma dan ada juga yang menempel pada RE. Subunit kecil merupakan tempat menempelnya mRNA yang membawa kode genetik yang akan ditranslasi menjadi polipeptida, sedangkan subunit besar merupakan tempat menempelnya tRNA yang membawa asam amino yang akan dirangkai menjadi polipeptida.

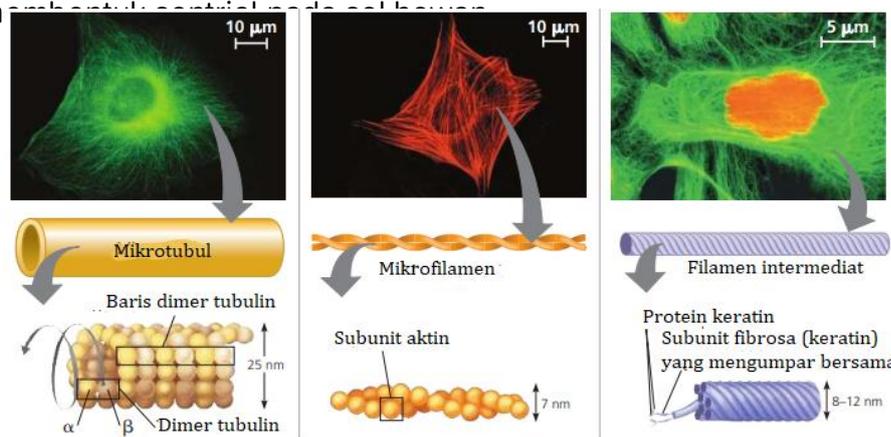


(Sumber: Campbell *et al.*, 2020)

Gambar 17 Ribosom

8. Sitoskeleton

Sitoskeleton merupakan rangka sel, terdiri dari tiga macam yaitu: **mikrotubul**, **mikrofilamen**, dan **filamen intermediat (Gambar 18)**. Mikrotubul tersusun atas dua molekul protein tubulin yang bergabung membentuk tabung, Fungsi mikrotubul memberikan ketahanan terhadap tekanan pada sel, perpindahan sel (pada silia dan flagella), pergerakan kromosom saat pembelahan sel (anafase), pergerakan organel, membuat tubulus sentriol pada sel hewan.



Gambar 18. Sitoskeleton

(Sumber: Campbell *et al.*, 2020)

Mikrofilamen merupakan filamen protein kecil yang tersusun atas dua rantai protein aktin yang terpilin menjadi satu. Mikrofilamen memiliki fungsi memberi tegangan pada sel, mengubah bentuk sel, kontraksi otot, aliran sitoplasma, perpindahan sel (misalnya pseudopodia) dan pembelahan sel.

Filamen intermediat tersusun atas beberapa protein yang membentuk serat seperti kabel. Protein yang menyusunnya bermacam-macam seperti keratin pada protein rambut. Fungsinya memberi tegangan sel, mempertahankan posisi nukleus dan organel tertentu.



E. Aktivitas Pembelajaran

1. Aktivitas Pembelajaran Topik 1: Sejarah perkembangan sel, evolusi sel dan sifat kimia protoplasma

a. Kegiatan *In Service Learning-1* (2 JP)

Aktivitas ini dilakukan secara tatap muka bersama fasilitator dan teman sejawat untuk mengkaji materi dan melakukan kegiatan pembelajaran.

Langkah-langkah Kegiatan:

- 1) Membaca bagian pendahuluan modul untuk memahami tujuan pembelajaran dan target kompetensi guru dan peserta didik.
- 2) Peserta dibagi menjadi beberapa kelompok.
- 3) Setiap kelompok diberikan tanggungjawab untuk menelaah contoh aktivitas peserta didik dalam pembelajaran yang akan dilakukan dalam aktivitas on disesuaikan dengan daya dukung dan karakteristik peserta didik, menelaah LKPD, dan membuat instrumen penilaian HOTS.
- 4) Jika diperlukan, peserta dapat melakukan simulasi pembelajaran atau mengerjakan/mempraktikkan LKPD.
- 5) Setiap kelompok mempresentasikan hasil telaahnya.

b. Kegiatan *On the Job Learning* (6 JP)

Pada kegiatan ini, setiap guru mempraktikkan pembelajaran terhadap peserta didik di madrasah masing-masing sesuai dengan perangkat pembelajaran yang telah disempurnakan pada kegiatan in-1. Contoh model pembelajaran yang dapat digunakan adalah model *Discovery Learning (DL)* dengan sintak:

- 1) Pemberian stimulus (*Stimulation*)
- 2) Mengidentifikasi masalah (*Problem Statement*)
- 3) Mengumpulkan data (*Data Collecting*)
- 4) Mengolah data (*Data Processing*)
- 5) Memverifikasi hasil pengolahan data (*Verification*)
- 6) Penarikan Kesimpulan (*Generalization*)



Kegiatan Pembelajaran Pertemuan 1 (2 x 45 menit)

Materi: Sejarah Perkembangan Sel

Tabel 8 Desain Pembelajaran Topik 1 Pertemuan 1

No.	Aktivitas Peserta Didik	Aktivitas Guru	Waktu
1	Melakukan aktivitas pendahuluan: <ul style="list-style-type: none">Menyimak dan merespon guru <ul style="list-style-type: none">Menjawab pertanyaan guru	Melakukan aktivitas pendahuluan: <ul style="list-style-type: none">Megucapkan salamMemperkenalkan diri (Untuk pertemuan pertama kali)Menginformasikan cakupan materi Biologi kelas XI semester ganjilMenjelaskan berbagai aktifitas kegiatan pembelajaran biologi yang akan dilakukan selama satu semestermenggali pengetahuan siswa tentang sel. Apa yang Anda ketahui tentang sel-sel yang menyusun tubuh kita?menyampaikan manfaat belajar sel, yaitu agar kita senantiasa menjaga kesehatan sel-sel tubuh karena berperan penting dalam kelangsungan hidup.Merangsang siswa dengan pertanyaan yang mengarah pada materi selMenjelaskan tujuan pembelajaran tentang Sejarah perkembangan dan teori sel	20 menit
2	Melaksanakan kegiatan Inti <ul style="list-style-type: none">Menyimak dengan seksama tayangan videoMenanyakan hal menarik dari video yang ditayangkan <ul style="list-style-type: none">Berkelompok sesuai dengan pembagianMembaca dengan cermat LKPD yang telah dibagikan oleh guru dan mendengarkan penjelasan guruMelakukan diskusi kelompok tentang teori perkembangan dan evolusi sel dengan panduan LKPDMenyusun simpulan mengenai teori perkembangan dan evolusi sel, menuliskan simpulan dalam LKPDKelompok yang ditunjuk maju ke depan kelas untuk mempresentasikan hasil diskusinya, kelompok yang tidak ditunjuk ikut menyimak dan menanggapi paparan temannya paparan kelompok yang maju.	Melaksanakan kegiatan Inti <ul style="list-style-type: none">Menayangkan video tentang tingkatan organisasi kehidupanMemberi kesempatan siswa untuk bertanya tentang hal hal yang berhubungan dengan sel pada tayangan video tersebutMembagi siswa menjadi 5 kelompokMembagikan LKPD 1 dan menjelaskan teknis kerja kelompok siswa untuk mengerjakan LKPD tersebutMemfasilitasi peserta didik berdiskusi didalam kelompokMendorong peserta didik untuk saling mengungkapkan pendapat.Melakukan penilaian proses pembelajaran terhadap peserta didikMenunjuk salah satu kelompok untuk mempresentasikan hasil diskusi	60 mnt
3	Melakukan aktivitas penutup: <ul style="list-style-type: none">Menyimak dan meresponBertanya jika ada hal hal yang belum jelasMengumpulkan LKPDMencatat tugas yang diberikan untuk pertemuan berikutnya	Melakukan aktivitas penutup: <ul style="list-style-type: none">Melakukan verifikasiMeminta siswa mengumpulkan LKPD yang telah diisiMelakukan umpan balikPenyampaikan penugasan untuk pertemuan berikutnya.	10 menit



Kegiatan Pembelajaran Pertemuan 2 (4 x 45 menit)

Materi: Evolusi Sel

Tabel 9 Desain Pembelajaran Topik 1 Pertemuan 2

No	Aktivitas Peserta Didik	Aktivitas Guru	Waktu
1	Melakukan aktivitas pendahuluan: <ul style="list-style-type: none"> Menjawab salam Menyimak dan merespon guru Menjawab pertanyaan 	Melakukan aktivitas pendahuluan: <ul style="list-style-type: none"> Megucapkan salam Menanyakan kembali beberapa teori sel. Merangsang siswa untuk menjawab pertanyaan tentang evolusi sel, misal siapa yang lebih dulu ada, ayam atau telur? Menjelaskan tujuan pembelajaran tentang evolusi sel 	15 menit
2	Melaksanakan kegiatan Inti <ul style="list-style-type: none"> Berkelompok sesuai dengan pembagian guru Membaca dengan cermat LKPD yang telah dibagikan oleh guru dan mendengarkan penjelasan guru Melakukan diskusi kelompok menjawab pertanyaan pada LKPD Membuat pertanyaan setelah membaca materi yang ada pada LKPD Mencari informasi untuk menjawab pertanyaan yang muncul dengan bekerjasama dan bertukar pendapat dengan teman dalam kelompok Menyusun simpulan mengenai teori perkembangan dan evolusi sel, menuliskan simpulan Kelompok yang ditunjuk maju ke depan kelas untuk mempresentasikan hasil diskusinya, kelompok yang tidak ditunjuk ikut menyimak dan menanggapi paparan temannya paparan kelompok yang maju. 	Melaksanakan kegiatan Inti <ul style="list-style-type: none"> Membagi siswa menjadi 5 kelompok Membagikan LKPD 2 dan menjelaskan teknis kerja kelompok siswa Memfasilitasi peserta didik untuk berdiskusi di dalam kelompok. Mendorong peserta didik untuk saling mengungkapkan pendapat. Melakukan penilaian proses pembelajaran terhadap peserta didik Meminta tiap kelompok meringkas hasil diskusi dan menarik kesimpulan Menunjuk salah satu kelompok untuk mempresentasikan hasil diskusi 	100 menit
3	Melakukan aktivitas penutup: <ul style="list-style-type: none"> Menyimak dan merespon Bertanya jika ada hal hal yang belum jelas Mengumpulkan LKPD Mencatat tugas yang diberikan untuk pertemuan berikutnya 	Melakukan aktivitas penutup: <ul style="list-style-type: none"> Melakukan verifikasi Meminta siswa mengumpulkan LKPD yang telah diisi Melakukan umpan balik Penyampaikan penugasan untuk pertemuan berikutnya. 	20 menit



Kegiatan Pembelajaran Pertemuan 3 (2 x 45 menit)

Materi: Sifat kimia protoplasma

Tabel 10 Desain Pembelajaran Topik 1 Pertemuan 3

No	Aktivitas Peserta Didik	Aktivitas Guru	Waktu
1	Melakukan aktivitas pendahuluan: <ul style="list-style-type: none">o Menjawab salamo Menyimak dan merespon guruo Menjawab pertanyaan	Melakukan aktivitas pendahuluan: <ul style="list-style-type: none">o Megucapkan salamo Menanyakan kembali beberapa teori sel.o Merangsang siswa untuk menjawab pertanyaan tentang sifat kimia protoplasma, misal dalam daging ayam mengandung apa saja?o Menjelaskan tujuan pembelajaran tentang evolusi sel	15 menit
2	Melaksanakan kegiatan Inti <ul style="list-style-type: none">o Berkelompok sesuai dengan pembagiano Membaca dengan cermat LKPD yang telah dibagikan oleh guru dan mendengarkan penjelasan guruo Melakukan diskusi kelompok menjawab pertanyaan pada LKPDo Membuat pertanyaan setelah membaca materi yang ada pada LKPDo Mencari informasi untuk menjawab pertanyaan yang muncul dengan bekerjasama dan bertukar pendapat dengan teman dalam kelompoko Menyusun simpulan mengenai teori perkembangan dan evolusi sel, menuliskan simpulan dalam LKPDo Kelompok yang ditunjuk maju ke depan kelas untuk mempresentasikan hasil diskusinya, kelompok yang tidak ditunjuk ikut menyimak dan menanggapi paparan temannya paparan kelompok yang maju.	Melaksanakan kegiatan Inti <ul style="list-style-type: none">o Membagi siswa menjadi 5 kelompoko Membagikan LKPD 3 dan menjelaskan teknis kerja kelompok siswa untuk mengerjakan LKPD tersebuto Memfasilitasi peserta didik untuk berdiskusi di dalam kelompok.o Mendorong peserta didik untuk saling mengungkapkan pendapat.o Melakukan penilaian proses pembelajaran terhadap peserta didik o Meminta tiap kelompok meringkas hasil diskusi dan menarik kesimpulan o Menunjuk salah satu kelompok untuk mempresentasikan hasil diskusi	100 menit
3	Melakukan aktivitas penutup: <ul style="list-style-type: none">o Menyimak dan merespono Bertanya jika ada hal hal yang belum jelaso Mengumpulkan LKPDo Mencatat tugas yang diberikan untuk pertemuan berikutnya	Melakukan aktivitas penutup: <ul style="list-style-type: none">o Melakukan verifikasio Meminta siswa mengumpulkan LKPD yang telah diisio Melakukan umpan baliko Menyampaikan penugasan untuk pertemuan berikutnya.	20 menit

c. Kegiatan In Service Learning-2 (1 JP)

Kegiatan ini dilakukan secara tatap muka bersama fasilitator dan teman sejawat untuk melaporkan dan mendiskusikan hasil kegiatan *on*. Agar hambatan selama pembelajaran terekam dengan baik, isikan ke dalam lembar berikut:



Tabel 11 Refleksi Pelaksanaan Pembelajaran On the Job Learning Topik 1

No.	Refleksi Aktivitas Peserta Didik	Refleksi Aktivitas Guru	Hambatan Lain
1			
2			
3			
dst			

Diskusikan hambatan pelaksanaan pembelajaran Anda dengan teman sejawat untuk mendapatkan pemecahan masalah guna perbaikan pembelajaran yang akan datang

2. Aktivitas Pembelajaran Topik 2: Struktur sel dan diferensiasi dan spesialisasi sel, Kegiatan In Service Learning-1 (2 JP)

Dalam aktivitas topik 2 ini, kegiatan *In Service Learning-1* sama dengan aktivitas pembelajaran topik 1. Kegiatan dilakukan secara tatap muka bersama fasilitator dan teman sejawat untuk mengkaji materi dan melakukan kegiatan pembelajaran meliputi membaca modul, mendiskusikan materi ajar yang sulit atau berpeluang terjadi miskonsepsi, menyempurnakan rancangan pembelajaran, LKPD, dan menyusun instrumen penilaian proses dan hasil belajar.

a. Kegiatan On the Job Learning (4 JP)

Pada kegiatan ini, Anda mempraktikkan pembelajaran terhadap peserta didik di madrasah masing-masing sesuai dengan perangkat pembelajaran yang telah disempurnakan pada kegiatan in-1. Contoh model pembelajaran yang dapat digunakan adalah model *Inquiry Learning* berbasis praktikum dengan sintak:

- Mengidentifikasi masalah
- Merumuskan masalah
- Menyusun hipotesis
- Melaksanakan eksperimen
- Mengumpulkan data
- Menganalisa data
- Menyimpulkan dan mengkomunikasikan



Kegiatan Pembelajaran Pertemuan 1 (2 x 45 menit)

Materi: Struktur Sel (Sel Prokariotik dan eukariotik)

Tabel 12 Desain Pembelajaran Topik 2 Pertemuan 1

No.	Aktivitas Peserta Didik	Aktivitas Guru	Waktu
1	<p>Kegiatan Pendahuluan</p> <ul style="list-style-type: none">Menjawab salamMenyimak dan merespon guruMenjawab pertanyaan guru	<p>Kegiatan Pendahuluan</p> <ul style="list-style-type: none">Megucapkan salamMenggali komitmen siswa terlibat secara aktif dalam proses pembelajaranMenanyakan kesiapan siswa untuk membawa alat dan bahan yang telah di tugaskan untuk sebelumnya	5 menit
2	<p>Kegiatan Inti</p> <ul style="list-style-type: none">Duduk berkelompok sesuai kelompoknyaMengambil perangkat percobaanMempelajari LKPDMenyimak penjelasan guru dan bertanya jika kurang jelasMelaksanakan praktikum sesuai petunjuk pada LKPDMengumpulkan data hasil praktikumMenganalisa data percobaan, berdiskusi kelompok menjawab pertanyaan yang ada pada LKPD.Menarik kesimpulanMenuliskan laporanMasing masing kelompok mempresentasikan hasil percobaan	<p>Kegiatan Inti</p> <ul style="list-style-type: none">Mempersilakan siswa duduk berkelompok sesuai kelompok yang telah dibuat pada pertemuan sebelumnyaMempersilakan perwakilan kelompok untuk mengambil perangkat percobaanMempersilakan setiap kelompok untuk mempelajari LKPDMenjelaskan secara singkat prosedur kerja bagi siswaMendampingi siswa melakukan kegiatan praktikumMengambil nilai unjuk kerja selama kegiatan praktikumMempersilakan perwakilan masing masing kelompok untuk mempresentasikan hasil percobaanya	75 menit
3	<p>Kegiatan Penutup</p> <ul style="list-style-type: none">Menyimak dan meresponMengumpulkan laporanMembersihkan alat dan bahan praktikumMencatat tugas yang diberikan oleh guru	<p>Kegiatan Penutup</p> <ul style="list-style-type: none">Melakukan verifikasiMenerima laporan praktikum siswaMengecek kebersihan alat alat yang digunakanMenugaskan siswa untuk persiapan pertemuan berikutnya	10 menit



Kegiatan Pembelajaran Topik 2 Pertemuan 2 (2 x 45 menit)

Materi: Struktur Sel (Sel Hewan dan Sel Tumbuhan)

Tabel 13 Desain Pembelajaran Topik 2 Pertemuan 2

No.	Aktivitas Peserta Didik	Aktivitas Guru	Waktu
1	<p>Kegiatan Pendahuluan</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Menjawab salam ○ Menyimak dan merespon guru ○ Menjawab pertanyaan guru 	<p>Kegiatan Pendahuluan</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mengucapkan salam ○ Menggali komitmen siswa terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran ○ Menanyakan kesiapan siswa untuk membawa alat dan bahan yang telah ditugaskan untuk sebelumnya 	5 menit
2	<p>Kegiatan Inti</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Duduk berkelompok sesuai kelompoknya ○ Mengambil perangkat percobaan ○ Mempelajari LKPD ○ Menyimak penjelasan guru dan bertanya jika kurang jelas ○ Melaksanakan praktikum sesuai petunjuk pada LKPD ○ Mengumpulkan data hasil praktikum ○ Menganalisa data percobaan, berdiskusi kelompok menjawab pertanyaan yang ada pada LKPD. ○ Menarik kesimpulan ○ Menuliskan laporan ○ Masing masing kelompok mempresentasikan hasil percobaan 	<p>Kegiatan Inti</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mempersilakan siswa duduk berkelompok sesuai kelompok ○ Mempersilakan perwakilan kelompok untuk mengambil perangkat percobaan ○ Mempersilakan setiap kelompok untuk mempelajari LKPD ○ Menjelaskan secara singkat prosedur kerja bagi siswa ○ Mendampingi siswa melakukan kegiatan praktikum ○ Mengambil nilai unjuk kerja selama kegiatan praktikum ○ Mempersilakan perwakilan masing masing kelompok untuk mempresentasikan hasil percobaannya 	75 menit
3	<p>Kegiatan Penutup</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Menyimak dan merespon ○ Mengumpulkan laporan ○ Membersihkan alat dan bahan praktikum ○ Mencatat tugas yang diberikan oleh guru 	<p>Kegiatan Penutup</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Melakukan verifikasi ○ Menerima laporan praktikum ○ Mengecek kebersihan alat alat yang digunakan ○ Menugaskan siswa untuk persiapan pertemuan berikutnya 	10 menit



b. Kegiatan In Service Learning-2 (1 JP)

Kegiatan ini dilakukan secara tatap muka bersama fasilitator dan teman sejawat untuk melaporkan dan mendiskusikan hasil kegiatan *on*. Agar hambatan selama pembelajaran terekam dengan baik, isikan ke dalam lembar berikut:

Tabel 14 Refleksi Pelaksanaan Pembelajaran On the Job Learning Topik 2

No.	Refleksi Aktivitas Peserta Didik	Refleksi Aktivitas Guru	Hambatan Lain
1			
2			
3			
dst			

Diskusikan hambatan pelaksanaan pembelajaran Anda dengan teman sejawat untuk mendapatkan pemecahan masalah guna perbaikan pembelajaran yang akan datang



F. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)

LKPD 1

TEORI PERKEMBANGAN SEL

A. Tujuan

Memahami teori perkembangan sel

B. Landasan Teori

Biologi sel berkembang tahap demi tahap sejak ditemukan pertama kali pada abad ke-17. Pada periode itu, pengamatan biologi sel sebagian besar hanya mengenai bentuk dan struktur. Penggabungan biologi sel, genetika, fisiologi, dan biokimia terjadi sekitar tahun 1930. Sejak saat itu, pengamatan biologi sel bergeser dari pengamatan bentuk dan struktur ke kajian biokimia dan pendekatan molekuler.

C. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
1. Alat tulis	1. Buku paket siswa
2. Komputer	2. Buku referensi lainnya
3. Jaringan internet	

D. Prosedur Kerja

1. Carilah informasi dari berbagai sumber, internet, buku referensi, maupun referensi yang lainnya tentang teori perkembangan sel.
2. Dari hasil kajian referensi lengkapilah tabel pada lembar pengamatan.



E. Lembar Pengamatan

Nama	Teori sel
Robert Hooke	
Antonie Van Leeuwenhoek	
Johanes Purkinje	
Felix Dujardin	
T. Schwann dan M. Schleiden	
Max Sculze	
Rudolf Virchow	
Gregor Mendel	

F. Diskusi

Kesimpula apa yang dapat kamu ambil dari kegiatan ini?

LKPD 2 EVOLUSI SEL

A. Tujuan

Memahami Teori Evolusi Sel

B. Landasan Teori

Pada masa sekarang ini dapat dikatakan hampir semua ahli biologi dapat menerima teori evolusi biologis atau disingkat teori evolusi, walaupun teori tersebut disusun berdasarkan bukti-bukti tak langsung. Pokok dari teori evolusi itu adalah bahwa hewan, tumbuhan, dan juga manusia dalam berbagai abad yang lalu telah berkembang dari makhluk yang berbentuk lebih sederhana. Beberapa teori tentang sel telah dikemukakan oleh para ahli. Namun kapan dan bagaimana sel-sel hidup pertama kali muncul?

C. Alat dan Bahan

Alat

1. Alat tulis
2. Komputer
3. Jaringan internet

Bahan

1. Buku paket siswa
2. Buku referensi lainnya



D. Prosedur Kerja

1. Carilah informasi dari berbagai sumber, internet, buku referensi, maupun referensi yang lainnya tentang Evolusi Sel
2. Dari hasil kajian referensi jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini.

E. Diskusi

Lakukan diskusi untuk menjawab pertanyaan berikut!

1. Menurut pengamatan dan percobaan kimia, geologi, dan fisika telah menuntun para saintis untuk menyusun suatu hipotesis bahwa proses-proses kimia dan fisika di bumi awal dibantu oleh kekuatan seleksi alam, menghasilkan sel-sel yang sangat sederhana melalui serangkaian dari 4 tahap utama yaitu:
 - a. Sintesis abiotic (tak-hidup) dari molekul-molekul organik yang kecil, seperti asam amino dan nukleotida.
 - b. Penggabungan molekul-molekul kecil ini menjadi makromolekul
 - c. Pengemasan molekul-molekul ini menjadi protobion
 - d. Asal usul molekul yang bereplikasi sendiri, yang akhirnya memunculkan terjadinya pewarisan sifatJelaskan masing masing tahapan tersebut!
2. Jelaskan teori evolusi sel prokariot menjadi sel eukariot!
3. Apa yang kamu ketahui tentang sistem endomembran? Jelaskan jawabanmu!
4. Bagian sel mana saja yang termasuk di dalam sistem endomembran?

A. Kesimpulan

Buatlah kesimpulan dari seluruh kegiatan di atas!



LKPD 3

SIFAT KIMIA PROTOPLASMA

A. Tujuan

Mengidentifikasi komponen-komponen kimiawi penyusun sel

B. Landasan Teori

Air

Air sebagai komponen penting sel. Kehidupan diawali dengan adanya air, sehingga seluruh organisme sebagian besar tersusun oleh air dan hidup dalam lingkungan yang didominasi air. Sel mengandung 75% hingga 90% air yang juga berada pada medium lingkungan air. Air adalah satu-satunya substansi yang dapat ditemukan di alam dalam tiga wujud fisik materi yang berbeda: cair, padat dan gas.

Tiap molekul air dapat membentuk ikatan hidrogen dengan maksimal empat molekul di sekitarnya. Kualitas luar biasa air adalah sifatnya yang muncul sebagai akibat adanya ikatan hidrogen yang dapat menyusun molekul-molekul tersebut ke dalam tingkat pengaturan struktural yang lebih tinggi.

Air merupakan media utama yang sangat penting bagi sel, karena setiap sel pasti akan dikelilingi oleh sitosol (cairan intra sel dengan media utama air) serta cairan ekstra sel yang berisi bahan-bahan yang dibutuhkan oleh sel maupun tempat menampung hasil sekresi sel. Keberadaan air tersebut berperan penting dalam lingkungan hidup dengan empat sifat utamanya yaitu: 1) perilaku kohesi, 2) kemampuan menstabilkan suhu, 3) pemuai saat membeku, dan 4) pentingnya air sebagai pelarut.

Vitamin dan Mineral

Vitamin dan mineral bagi sel merupakan komponen anorganik yang dibutuhkan sel dalam jumlah yang relatif sedikit tetapi harus ada. Fungsi utama vitamin adalah mempertahankan fungsi metabolisme, yaitu pertumbuhan dan penghancur radikal bebas. Contoh vitamin adalah: A, B1-B6, B12, C, D, E, K, dan H.



Komponen organik sel

Empat makromolekul penting dalam kehidupan sel adalah: karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat. Bentuk molekul besar tersebut merupakan molekul yang tersusun berbentuk rantai panjang disebut sebagai polimer, yang tersusun dari banyak molekul kecil yang disebut monomer. Biasanya monomer-monomer tersebut berikatan secara kovalen melalui pelepasan satu molekul air dengan reaksi kondensasi atau reaksi dehidrasi. Sebaliknya polimer akan diuraikan menjadi monomernya melalui mekanisme hidrolisis, yang merupakan proses kebalikan dari reaksi dehidrasi.

Setiap sel akan memiliki keragaman jenis makromolekul yang berbeda dan bervariasi dari satu jenis sel ke jenis sel yang lain dalam organisme yang sama. Variasi polimer terjadi khususnya pada DNA dan protein. Perbedaan yang sangat besar akan terjadi antar individu-individu yang tidak sekerabat, dan menjadi lebih besar lagi pada perbedaan antara spesies-spesies. Dengan demikian keragaman makromolekul dalam kehidupan sangatlah besar dengan potensi keragaman yang sangat tidak terbatas. Hal penting yang menjadi kunci keragaman adalah adanya pengaturan terhadap variasi urutan dari unit-unit penyusun masing-masing makromolekul tersebut.

C. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
1. Alat tulis	1. Buku paket siswa
2. Komputer	2. Buku referensi lainnya
3. Jaringan internet	

D. Prosedur Kerja:

Stimulasi

Amati kandungan gizi buah melon dan daging ayam berikut ini

Kandungan Gizi tiap 100 g Buah Melon dari Bagian yang Dapat Dimakan (Gillivzay, 1961)

No.	Unsur Gizi	Jumlah
1	Energi (kalori)	23
2	Protein (g)	0,6
3	Kalsium (mg)	17
4	Vitamin A (IU)	2,400
5	Vitamin C (mg)	30
6	Thiamin (mg)	0,045
7	Riboflavin (mg)	0,065
8	Niacin (mg)	1,0
9	Karbohidrat (g)	6,0
10	Besi (mg)	0,4
11	Nicotinamida (mg)	0,5
12	Air (ml)	93,0
13	Serat (g)	0,4

Sumber: Nur Tjahjadi, 1987.

Kandungan gizi dalam daging ayam

Setiap 100 gram daging ayam mengandung :

- Air 74 %
- Protein 22 %
- Kalsium (Ca) 13 miligram
- Fosfor (P) 190 miligram
- Zat besi (Fe) 1,5 miligram
- Vitamin A, C dan E
- Lemak



Identifikasi Masalah

Dari gambar dan tabel di atas, timbul pertanyaan:

1. Apakah persamaan dan perbedaan kandungan kandungan bahan kimia pada melon dan daging ayam?
2. Berdasarkan pertanyaan di atas, tuliskan dugaan sementara/ hipotesis terkait pertanyaan!

Berdasarkan pertanyaan di atas, tulislah hipotesis atau dugaan sementara jawaban terkait pertanyaan di atas.

Pengumpulan data

Melalui diskusi kelompok jawablah pertanyaan berikut ini!

1. Apa saja kandungan bahan kimia pada buah melon?
2. Apa saja kandungan bahan kimia pada daging ayam?
3. Diantara bahan-bahan kimia tersebut, manakah yang termasuk makromolekul? Manakah yang termasuk vitamin? Manakah yang termasuk mineral?
4. Apa sajakah 4 makromolekul penyusun tubuh makhluk hidup?
5. Sebutkan fungsi air bagi sel!
6. Karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat merupakan suatu polimer yang terdiri atas monomer-monomer dan memiliki peranan penting dalam kehidupan sel. Sebutkan contoh monomer-monomer dari masing-masing senyawa tersebut dan apa peranan senyawa-senyawa tersebut!



7. Selain terdapat bahan organik, dalam sel terdapat bahan-bahan anorganik. Sebutkan contoh-contoh bahan organik tersebut dan apa peranannya bagi sel!
8. Menurut pendapatmu apakah setiap makhluk hidup bahan kimia penyusun
9. protoplasmanya sama? Jika sama, mengapa muncul variasi pada makhluk hidup

Verifikasi

Periksalah kembali hasil diskusi kalian, cocokkan jawaban kalian dengan literatur yang ada. Perbaiki jika masih ada ketidakcocokan.

Generalisasi

Buatlah kesimpulan dari hasil diskusi kalian!

LKPD 4

SEL PROKARIOTIK DAN EUKARIOTIK

A. Tujuan

1. Mengamati preparat sel prokariotik dan eukariotik.
2. Mengidentifikasi bagian-bagian sel prokariotik dan eukariotik.
3. Menganalisis perbedaan sel prokariotik dan eukariotik berdasarkan hasil pengamatan.

B. Landasan Teori

Sel Prokariotik adalah sebuah sel yang tidak mempunyai membran inti/ tidak mempunyai sistem endomembran, hal ini membuat sel tersebut mempunyai materi inti sehingga tidak dibatasi oleh membran, sel prokariotik juga tidak mempunyai organel yang terbatas oleh sistem membran.

Sel Eukariotik adalah sel yang mempunyai membran inti/mempunyai sistem endomembran. Sel eukariotik dibatasi oleh adanya sistem membran. Protozoa merupakan protista yang tubuhnya terdiri dari satu sel. Protozoa hidup di daerah lembab, misalnya di air tawar, air laut, air payau, dan tanah, bahkan di dalam tubuh organisme lain. Protozoa ada yang hidup bebas, komensal maupun parasit pada



hewan lain. Ada yang hidup individual (soliter) dan ada pula yang membentuk koloni

C. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
1. Mikroskop	1. preparat awetan bakteri <i>E. coli</i>
2. Pipet tetes	2. preparat awetan otot lurik
3. Kaca preparat	3. preparat awetan tulang keras
4. <i>Cover glass</i>	4. preparat daun monokotil
5. Kertas tisu	5. preparat awetan daun dikotil
6. Lembar pengamatan dan alat tulis	6. air rendaman jerami

D. Prosedur Kerja

Pengamatan sel prokariotik:

1. Siapkan preparat awetan bakteri *E. coli*
2. Amati dengan mikroskop. Perhatikan bagaimana bentuk, warna dan penyusun selnya
3. Catat, gambar dan analisislah hasil pengamatanmu (bandingkan dengan gambar pada landasan teori)

2. Pengamatan sel eukariotik:

1. Siapkan preparat otot lurik, tulang keras, daun monokotil dan daun dikotil
2. Amati masing-masing preparat di mikroskop. Perhatikan bagaimana bentuk, warna, dan bagian-bagian penyusun selnya.
3. Catat, gambar dan analisislah hasil pengamatan (bandingkan dengan gambar pada literatur)

3. Pengamatan air rendaman jerami:

1. Siapkan alat dan bahan.
2. Ambillah air rendaman jerami dengan pipet tetes.
3. Teteskan pada kaca preparat yang telah dibersihkan terlebih dahulu. Kemudian tutup dengan *cover glass*.



4. Amatilah di mikroskop dengan pembesaran yang sesuai dan temukan hewan apa saja yang ada.
5. Catat, gambar dan analisislah hasil pengamatan.
6. Setelah selesai, buang dan bersihkan kembali alat yang digunakan.

Lembar Pengamatan

<u>Pengamatan</u>	<u>Gambar</u>	<u>Keterangan</u>
Sel Prokariotik Nama Preparat: Perbesaran:		
Sel Eukariotik Nama Preparat: Perbesaran		
Sel Eukariotik Nama Preparat: Perbesaran:		
Sel Eukariotik Nama Preparat: Perbesaran		
Air rendaman jerami Nama spesies protozoa: Perbesaran		

E. Diskusi

1. Berdasarkan hasil pengamatan, bagian manakah yang paling menjadi pembeda antara sel prokariotik dengan sel eukariotik serta sel eukariotik yang satu dengan sel eukariotik lainnya?
2. Jelaskan perbedaan dan persamaan bakteri dengan protozoa berdasarkan hasil pengamatan.
3. Manakah yang lebih dapat bertahan hidup antara sel prokariotik dengan sel eukariotik, serta sel hewan dengan protozoa? Jelaskan!

F. Kesimpulan



LKPD 5

SEL HEWAN DAN SEL TUMBUHAN

A. Tujuan

1. Mengamati preparat sel hewan dan tumbuhan.
2. Mengidentifikasi bagian-bagian sel hewan dan tumbuhan.
3. Menganalisis perbedaan sel hewan dan sel tumbuhan berdasarkan hasil

B. Landasan Teori

Tipe sel eukariota pada hewan sedikit berbeda dengan pada tumbuhan dan jamur. Pada sel hewan, bagian luar sel tidak ditemukan adanya dinding sel, sebaliknya pada tumbuhan dan jamur ditemukan dinding sel walaupun dengan komposisi kimia yang berbeda. Pada tumbuhan dinding sel tersusun dari selulosa sedangkan pada jamur didominasi oleh zat kitin. Pada tumbuhan ditemukan organel kloroplas, sedangkan pada hewan tidak. Selain perbedaan tersebut pada dasarnya baik sel hewan, tumbuhan, dan jamur memiliki struktur serupa.

C. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
1. Mikroskop	1. Sel epitel rongga mulut bagian pipi
2. Pipet Tetes	2. Bawang merah
3. Kaca Preparat	3. Rhoeco discolor
4. Cover Glass	4. Larutan metilen biru
5. Pinset	5. Larutan gula 10%
6. Cutter	6. Kertas isap
7. Cotton Bud/ Spatula/ Tusuk Gigi	
8. Tissue	

D. Prosedur Kerja

Pengamatan Sel Hewan:

1. Siapkan Alat dan Bahan.
2. Koreklah bagian dalam pipi (kulit rongga mulut bagian pipi sebelah dalam) menggunakan *cotton bud*/ spatula/ tusuk gigi. Lakukan dengan hati-hati.



3. Selanjutnya letakkan hasil korekan di kaca preparat. Perhatian: jika menggunakan *cotton bud*, usahakan serat kapas *cotton bud* tidak sampai ikut terbawa.
4. Teteskan metilen blue sebanyak dua sampai tiga tetes ke kaca preparat yang berisi sampel. Tutup dengan *cover glass*.
5. Amati di mikroskop. Perhatikan bagaimana bentuk, warna dan bagian-bagian penyusun selnya.
6. Catat, gambar dan analisislah hasil pengamatan.

Pengamatan Sel Tumbuhan:

❖ Sel Bawang merah

1. Siapkan Alat dan Bahan. Sediakan kaca preparat bersih dan kemudian tetesi dengan beberapa tetes air dengan pipet.
2. Kupaslah kulit bawang merah yang berwarna ungu menggunakan jari atau cutter, hingga memperoleh kulit tipis (seperti kulit ari). Perhatian: Pilihlah kulit yang masih segar.
3. Segera letakkan kulit bawang merah di kaca preparat yang telah ditetesi air tadi, kemudian tutup dengan *cover glass*. Perhatian: hindari banyak gelembung udara.
4. Amati di Mikroskop. Perhatikan bagaimana bentuk, warna dan bagian-bagian penyusun selnya.
5. Catat, gambar dan analisislah hasil pengamatan.

❖ Sel *Rhoeo discolor*

1. Siapkan Alat dan Bahan. Sediakan kaca preparat bersih dan kemudian tetesi dengan beberapa tetes air dengan pipet.
2. Ambil *Rhoeo discolor* dan kelupaslah bagian bawahnya yang berwarna ungu dengan cutter atau patahkan *Rhoeo discolor* dan kelupaslah dengan kuku, tarik hingga diperoleh satu lapisan, kemudian segera letakkan di kaca preparat yang telah ditetesi air. Perhatian: jangan sampai mengering.
3. Tutup dengan *cover glass*. Perhatian: hindari banyak gelembung udara.



- Amati dengan mikroskop. Perhatikan bagaimana bentuk, warna dan bagian-bagian penyusun selnya.
- Teteskan larutan gula dengan pipet di salah satu tepi bagian *cover glass*, sedangkan di tepi yang lain, segera isap air dengan kertas isap (agar terjadi pergantian medium).
- Amati kembali dengan mikroskop. Perhatikan bagaimana bentuk, warna dan bagianbagian penyusun selnya. Apakah ada perubahan atau tidak.
- Catat, gambar dan analisislah hasil pengamatan.

Lembar Pengamatan

Obyek pengamatan	Gambar	Keterangan
Sel Hewan Preparat: Sel epitel Perbesaran:		
Sel Tumbuhan Preparat: sel epidermis bawang merah Perbesaran :		
Sel Tumbuhan Preparat: sel epidermis <i>Rhoeio discolor</i> Perbesaran :	Sebelum ditetesi larutan gula	
Sel Tumbuhan Preparat: sel epidermis <i>Rhoeio discolor</i> Perbesaran :	Setelah ditetesi larutan gula	

A. Diskusi

- Bagaimanakah perbedaan bentuk dan struktur antara sel hewan dan sel tumbuhan yang telah kalian amati? Jelaskan.
- Apakah benar statment yang menyatakan bahwa “ukuran sel hewan lebih besar dibandingkan sel tumbuhan”. Buktikan berdasarkan hasil percobaan.



3. Jelaskan perbedaan struktur sel bawah merah dengan sel *Rhoeo discolor*, Analisislah jawaban kalian berdasarkan QS. Az-Zumar ayat 21!
4. Bagaimana keadaan vakuola pada *Rhoeo discolor* sebelum dan setelah ditetesi larutan gula?
5. Bagaimana pula struktur vakuola pada sel bawang merah dan sel pip manusia?

B. Pengembangan Penilaian

Bagian ini menyajikan contoh kisi-kisi pengembangan penilaian HOTS sesuai dengan kompetensi, lingkup materi, dan indikator soal. Selanjutnya buatlah kisi-kisi yang lain dan kembangkan menjadi instrumen penilaian dari kisi tersebut dalam aktivitas *In Service Learning-1*.

KISI-KISI SOAL HOTS

Nama Madrasah :
Mata Pelajaran :
Alokasi Waktu :
Jumlah Soal :
Tahun Pelajaran :

Tabel 15. Kisi-Kisi Pengembangan Soal HOTS

Kompetensi Dasar	Lingkup Materi	Indikator KD	Indikator Soal	No. Soal	Level Kognitif	Bentuk soal
3.1 Menjelaskan komponen kimiawi penyusun sel, struktur, fungsi, dan proses yang berlangsung dalam sel sebagai unit terkecil kehidupan	Teori perkembangan sel	Menjelaskan komponen kimiawi penyusun sel, struktur, fungsi, dan proses yang berlangsung dalam sel	Disajikan nama-nama penemu teori sel, peserta didik dapat menentukan penemu salah satu teori sel	1	C1	Pilihan Ganda
	Evolusi Sel	sebagai unit terkecil kehidupan	Disajikan pernyataan berhubungan dengan evolusi sel, peserta didik dapat menentukan pernyataan yang benar tentang evolusi sel	2	C2	Pilihan Ganda
	Komponen kimiawi		Disajikan beberapa pernyataan,	3	C2	Pilihan Ganda



	penyusun sel		peserta didik dapat menentukan pembeda protoplasma satu sel dengan sel lainnya Disajikan penjelasan tentang kondisi suatu bagian sel, peserta didik dapat menentukan penyebab kondisi tersebut Disajikan ciri suatu organel sel, peserta didik dapat menentukan organel yang dimaksud	4	C3	Pilihan Ganda
	Struktur Sel			5	C2	Pilihan Ganda
4.3 Menyusun rancangan pembelajaran yang lengkap baik untuk kegiatan di dalam kelas, laboratorium, maupun lapangan	Rencana Pembelajaran	Menyusun rencana pembelajaran	Menentukan prinsip pengembangan rencana pembelajaran	6	C2	Pilihan Ganda
		Menyusun rencana pengayaan	Merencanakan kegiatan pengayaan bagi siswa yang telah tuntas belajar	7	C3	Pilihan Ganda
		Menyusun rencana pembelajaran	Merumuskan tujuan pembelajaran	8	C3	Pilihan Ganda
8.4 Menyelenggarakan penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar	Penilaian	Melakukan evaluasi proses dan hasil belajar	Menentukan komponen-penting dalam penyusunan evaluasi proses dan hasil belajar	9	C2	Pilihan Ganda
		Mengembangkan instrumen penilaian	Menentukan pedoman penilaian	10	C2	Pilihan Ganda



05 PENILAIAN



Tes Formatif

A. Tes Formatif

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

- Teori sel menunjukkan bahwa sel merupakan kesatuan struktural makhluk hidup. Teori tersebut pertama kali disusun oleh . . .
 - Max Schultz
 - Rudolf Virchow
 - Rene Dutrochet
 - Edmund B Wilson
 - Scheilden dan Schwann
- Perhatikan pernyataan berikut
 - sel eukariot berkembang dari sel prokariot anaerob primitif.
 - sel yang ada sekarang merupakan hasil evolusi dari sel yang lebih kompleks.
 - informasi genetik pertama kali dibawa oleh molekul ADN kemudian beralih ke ARN.
 - sel pertama berkembang dari molekul-molekul organik yang ada pada saat bumi baru terbentuk.
 - munculnya organisme autotrof menimbulkan perubahan cara respirasi dari anaerob menjadi aerob.Pernyataan yang benar tentang evolusi sel ditunjukkan oleh nomor....
 - 1, 2, dan 3
 - 1, 4, dan 5
 - 2, 3, dan 4
 - 2, 4, dan 5
 - 3, 4, dan 5
- Di antara protoplasma sel satu dengan sel lainnya dibedakan oleh
 - struktur
 - sifat kimia
 - ukuran sel
 - komponen penyusun
 - fisiko-kimia protoplasma
- Selaput RE lebih stabil dan kental daripada selaput sel. Hal ini disebabkan oleh
 - perbandingan protein:lipid tinggi
 - perbandingan protein:lemak sama
 - perbandingan protein: lipid rendah
 - rantai asam lemak fosfolipid pendek



- E. rantai asam lemak fosfolipid panjang
5. Organel yang memiliki selaput rangkap dan krista adalah
- A. lisosom
 - B. kloroplas
 - C. glioksisom
 - D. mitokondria
 - E. badan makro
6. Tantangan dalam merancang program pembelajaran yang profesional bukan hanya tersusunnya program pembelajaran yang berkualitas tinggi tetapi juga memiliki dampak pada siswa pada saat pelaksanaan program, dan implementasinya dalam kehidupan siswa. Prinsip dalam pengembangan program pembelajaran yang paling tepat dengan pernyataan diatas adalah....
- A. ilmiah dan relevan
 - B. memadai dan relevan
 - C. aktual dan kontekstual
 - D. memadai dan konsisten
 - E. sistematis dan konsisten
7. Upaya merancang pengayaan bagi peserta didik yang mencapai ketuntasan belajar optimal tampak dalam kegiatan guru sebagai berikut:
- A. memberikan tambahan materi berupa sumber ajar dari pengarang yang berbeda
 - B. memberikan tes tambahan dengan tingkat kesukaran yang lebih tinggi
 - C. memberikan tambahan sumber bacaan yang lebih mendalam dan tingkat variasi yang tinggi berikut instrumen tesnya yang sesuai
 - D. diberikan materi bahan ajar yang lebih tinggi tingkatannya dan pengerjaan soal-soalnya yang memiliki kesulitan tinggi
 - E. memberikan tambahan materi berupa sumber ajar dari penerbit yang berbeda
8. Dalam merumuskan tujuan pembelajaran hal yang perlu diperhatikan adalah....
- A. Alokasi waktu yang dibutuhkan untuk pertemuan yang telah ditetapkan
 - B. SK, KD, dan Indikator yang akan digunakan (terdapat pada silabus yang telah disusun)
 - C. Alat/bahan/ sumber belajar yang digunakan
 - D. Kriteria penilaian, lembar pengamatan, contoh soal, teknik penskoran
 - E. Identifikasi materi ajar berdasarkan materi pokok/ pembelajaran yang terdapat dalam silabus
9. Dalam melakukan evaluasi proses dan hasil belajar, seorang guru perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:
- A. Semua indikator ditagih dengan berbagai teknik penilaian, analisa hasil penilaian, melaksanakan program perbaikan dan pengayaan



- B. Melaksanakan program perbaikan dan pengayaan, analisa hasil penilaian, sebagian indikator ditagih dengan berbagai teknik penilaian
 - C. Analisa hasil penilaian, belum melaksanakan program perbaikan dan pengayaan, semua indikator ditagih dengan berbagai teknik penilaian
 - D. Melaksanakan hasil penilaian dan melaksanakan program perbaikan dan pengayaan
 - E. Semua indikator ditagih dengan berbagai teknik penilaian dan melaksanakan analisa hasil penilaian
10. Penilaian merupakan salah satu proses penting dalam penilaian. Prinsip-prinsip penilaian yang harus dipedomani adalah penilaian harus dilaksanakan secara....
- A. sah (valid), adil, terbuka, bermakna, menyeluruh, terpadu, berkesinambungan, objektif, efisien dan efektif, sistematis, akuntabel
 - B. terbuka, bermakna, adil, sah (valid), efisien dan efektif, menyeluruh, terpadu, akuntabel, menggunakan acuan norma
 - C. sah (valid), adil, terbuka, bermakna, objektif dan efisien, berkesinambungan, terpadu, menyeluruh
 - D. terbuka, adil, bermakna, menyeluruh, objektif, efektif dan efisien, terpadu, berkesinambungan, adil
 - E. sah (valid), adil, objektif, terbuka, bermakna, menyeluruh, berkesinambungan, terpadu, sistematis, menggunakan acuan kriteria, akuntabel



B. Penilaian

1. Penilaian untuk Guru

a. Penilaian Mandiri Guru

Tabel 15 Instrumen penilaian diri bagi guru

Target Kompetensi	Penilaian Diri		Ket.
	Tercapai	Belum	
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Catatan:			

b. Penilaian oleh Asesor/Fasilitator

Tabel 16 Instrumen penilaian guru oleh asesor/fasilitator

Target Kompetensi	Penilaian Oleh Asesor/Fasilitator		Ket.
	Tercapai	Belum	
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Catatan:			



2. Penilaian untuk Peserta Didik

a. Penilaian Mandiri oleh Peserta Didik

Tabel 17 Instrumen penilaian diri bagi peserta didik

Indikator Capaian Kompetensi	Penilaian Diri		Ket.
	Tercapai	Belum	
Menjelaskan perkembangan teori sel			
Menjelaskan teori evolusi sel			
Membedakan sel prokariotik dan eukariotik			
Membedakan struktur sel hewan dan sel tumbuhan			
Menjelaskan komponen kimia yang membentuk struktur sel			
Menjelaskan struktur dan fungsi organel sel			
Mengoperasikan mikroskop			
Menyajikan hasil pengamatan mikroskopis struktur sel			
Membuat preparat basah sel epidermis tumbuhan			
Catatan:			



b. Penilaian oleh Guru

Tabel 18 Instrumen penilaian peserta didik oleh guru

Indikator Capaian Kompetensi	Penilaian Diri		Ket.
	Tercapai	Belum	
Menjelaskan perkembangan teori sel			
Menjelaskan teori evolusi sel			
Membedakan sel prokariotik dan eukariotik			
Membedakan struktur sel hewan dan sel tumbuhan			
Menjelaskan komponen kimia yang membentuk struktur sel			
Menjelaskan struktur dan fungsi organel sel			
Menjelaskan diferensiasi dan Spesialisasi Sel			
Mengoperasikan mikroskop			
Menyajikan hasil pengamatan mikroskopis struktur sel			
Membuat preparat basah sel epidermis tumbuhan			
Catatan:			



06 PENUTUP

Anda telah mempelajari modul ini, selanjutnya Anda dapat menerapkan desain pembelajaran yang telah disusun kepada peserta didik di kelas masing-masing. Semoga Unit Pembelajaran ini dapat menjadi referensi Anda dalam mengembangkan pembelajaran dan penilaian yang berorientasi Higher Order Thinking Skills/HOTS, terintegrasi dengan nilai-nilai keislaman, dan literasi dalam rangka mencapai kecakapan Abad ke-21, membentuk generasi unggul yang moderat, beriman dan bertakwa serta berakhlak mulia.

Aktivitas pembelajaran yang disajikan dalam modul ini perlu Anda sesuaikan dengan kondisi nyata kelas Anda masing-masing. Anda perlu menyusun Rencana Pelaksanaan Pembelajaran sesuai dengan kondisi kelas Anda, sehingga memudahkan mengimplementasikan secara teknis. Selain itu, Anda masih perlu mengembangkan instrumen penilaian lainnya yang berorientasi HOTS dengan mengacu pada contoh kisi penilaian yang disajikan dalam modul. Anda perlu mengaktifkan diri dalam kegiatan MGMP Kimia untuk melakukan hal tersebut serta mengembangkan modul secara bersama rekan sejawat guru kimia lainnya.

Penulis menyadari bahwa modul ini masih banyak kekurangan. Untuk itu, penulis mengharap saran dan masukan yang membangun demi lebih sempurnanya modul ini maupun dalam upaya perbaikan dan pengembangan modul pembelajaran lainnya. Semoga modul pembelajaran ini bermanfaat bagi khasanah ilmu pengetahuan dan pembelajaran secara umum maupun bagi pihak-pihak yang memerlukan.



KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

- | | |
|------|-------|
| 1. E | 6. C |
| 2. B | 7. D |
| 3. D | 8. B |
| 4. A | 9. E |
| 5. D | 10. E |



GLOSARIUM

ATP	:	(<i>Adenosin trifosfat</i>) Nukleosida trifosfat yang mengandung adenin dan melepaskan energi bebas saat ikatan-ikatan fosfatnya dihirolisis. Energi ini digunakan untuk mendorong reaksi-reaksi endergonik dalam sel
Deoksiribosa	:	Komponen gula nukleotida DNA, memiliki satu gugus hidroksil lebih sedikit daripada ribosa.
DNA	:	(<i>Deoksiribonukleid Acid</i>) Molekul asam nukleat berantai ganda dan membentuk heliks yang tersusun atas monomer-monomer nukleotida dengan gula deoksiribosa; mampu bereplikasi dan menentukan struktur terwariskan dari protein-protein suatu sel
Endosimbiosis	:	Proses penelanan sel lain oleh sebuah organisme uniseluler (inang) yang kemudian hidup di dalam sel inang dan akhirnya menjadi organel dalam sel inang; mengacu pada hipotesis bahwa mitokondria dan plastida dahulu merupakan prokariota kecil yang mulai hidup dalam sel yang lebih besar
Endosimbiosis beruntun	:	Hipotesis tentang asal mula eukariota, terdiri atas rangkaian peristiwa endosimbiotik yang memunculkan mitokondria, kloroplas, dan mungkin struktur-struktur sel lain dari prokariota-prokariota kecil yang ditelan oleh sel-sel yang lebih besar
Filamen intermediat	:	Komponen sitoskeleton yang mencakup filamen-filamen berukuran sedang antara mikrotubulus dan mikrofilamen
Fosfolipid	:	Lipid yang tersusun atas gliserol yang tergabung dengan dua asam lemak dan satu gugus fosfat
Fotorespirasi	:	Jalur metabolik yang mengonsumsi oksigen dan ATP, melepaskan karbon dioksida, dan menurunkan keluaran fotosintetik
Fotosintesis	:	Pengubahan energi cahaya menjadi energi kimia yang disimpan dalam gula dan senyawa-senyawa organik lain; terjadi pada tumbuhan, alga, dan prokariota tertentu
Glikogen	:	Polisakarida simpanan yang sangat bercabang-cabang dan tersusun atas glukosa, ditemukan dalam hati, dan otot hewan.
Glikolisis	:	Pemecahan glukosa menjadi piruvat.
Glikoprotein	:	Protein yang dilekati secara kovalen oleh satu atau lebih karbohidrat
Hereditas	:	Perwarisan sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya
Hidrofobik	:	Menjauhi air; cenderung mengumpul dan membentuk tetesan dalam air.
Hidrolisis	:	Proses kimiawi yang melisis atau memecah molekul melalui penambahan air berfungsi dalam pembongkaran polimer menjadi monomer



Histon	:	Protein kecil dengan asam amino bermuatan positif yang berproporsi tinggi dan berikatan dengan DNA yang bermuatan negatif dan memainkan peranan kunci dalam struktur kromatin
Hormon	:	Berbagai tipe zat kimia yang disekresikan oleh dan terbentuk dalam sel-sel terspesialisasi, mengalir bersama cairan tubuh, dan bekerja pada sel target yang spesifik di bagian lain tubuh untuk mengubah fungsi sel tersebut
Ikatan hidrogen	:	Sejenis ikatan kimia lemah yang terbentuk ketika atom hidrogen yang agak lebih positif dari sebuah ikatan kovalen polar dalam sebuah molekul tertarik pada atom yang agak lebih negatif dari sebuah ikatan kovalen polar dalam molekul lain
Ikatan kovalen	:	Sejenis ikatan kimiawi yang kuat yang terjadi ketika dua atom berbagi satu atau lebih pasangan electron valensi.
Klorofil	:	Pigmen hijau yang terletak dalam kloroplas
Kolesterol	:	Steroid yang membentuk komponen esensial dari membran sel hewan dan bertindak sebagai molekul prekursor untuk sintesis steroid-steroid lain yang penting secara biologis, misalnya hormon.
Krista	:	Pelipatan ke dalam membran pada mitokondria yang mawadahi rantai transfor elektron dan molekul yang mengatalisis sintesis ATP
Kromatin	:	Kompleks DNA dan protein yang menyusun kromosom eukariotik
mRNA	:	(RNA duta), sejenis RNA, disintesis dengan menggunakan cetakan DNA yang melekat ke ribosom di sitoplasma dan menspesifikasi struktur primer protein
Matriks mitokondria	:	Kompartemen mitokondria yang terselubungi oleh membran dalam dan mengandung berbagai enzim serta substrat yang diperlukan untuk siklus asam sitrat
Mikrofilamen, Mikrotubul	:	Filamen yang terususun atas protein aktin dalam sitoplasma
	:	Batang berongga yang tersusun atas protein-protein tubulin dalam sitoplasma sel eukariotik, dan dalam silia, flagella, serta sitoskeleton.
Monomer	:	Subunit yang bereran sebagai pembangun polimer
Monosakarida	:	Karbohidrat paling sederhana, aktif dalam kondisi tunggal atau berperan sebagai monomer bagi disakarida dan polisakarida
Nukleotida	:	Bahan pembangun asam nukleat, terdiri atas gula berkarbon lima yang berikatan secara kovalen ke sebuah basa bernitrogen dan gugus fosfat
Pirimidin	:	Satu dari dua tipe basa bernitrogen yang ditemukan dalam nukleotida, dicirikan oleh cincin beranggota enam. Sitosin (C), timun (T), dan urasil (U) adalah pirimidin.
Polimer	:	Molekul panjang yang tersusun atas banyak monomer serupa atau identik yang berhubungan



Polimerisasi	:	Proses pembentukan polimer dari monomernya
Polipeptida	:	Polimer (rantai) dari banyak asam amino yang dihubungkan oleh katan peptide
Polisakarida	:	Polimer yang tersusun atas banyak monosakarida, terbentuk melalui reaksi dehidrasi
Prokariota	:	Organisme yang tidak memiliki membran/selaput inti
Proteoglikan	:	Glikoprotein yang terdiri atas satu protein inti kecil dengan banyak rantai karbohidrat yang melekat, ditemukan dalam matriks ekstraseluler sel hewan
Protobion	:	molekul yang dihasilkan secara abiotik dan dikelilingi oleh membran atau struktur sekumpulan serupa seperti membran.
Purin	:	Salah satu dari dua tipe basa bernitrogen yang ditemukan dalam nukleotida, dicirikan oleh cincin beranggota enam yang menyatu ke cincin beranggota lima. Adenin (A) dan guanin (G) adalah purin.
Respirasi selular	:	Jalur-jalur katabolik respirasi aerobik dan anaerobik, yang menguraikan molekul organik menghasilkan ATP
Retikulum endoplasma	:	Jejaring bermembran ekstensif pada sel eukariotik, bersambungan dengan membran inti luar dan terdiri atas daerah yang kaya dengan ribosom (RE kasar) dan daerah yang bebas ribosom (RE halus)
Ribose	:	Komponen gula dari nukleotida RNA
RNA	:	(<i>Ribonucleid acids</i>) asam nukleat beruntai tunggal yang tersusun atas monomer-monomer nukleotida dengan gula ribosa.
rRNA	:	(RNA ribosom), tipe RNA yang paling melimpah, bersama-sama protein menyusun ribosom
Simbiosis	:	hubungan ekologis diantara organisme-organisme dari dua spesies berbeda yang hidup bersama-sama dan menjalin kontak langsung dan sangat dekat
Sistem endomembran	:	Kumpulan membran di dalam dan di sekeliling sel eukariotik, berhubungan melalui kontak fisik langsung atau melalui transfer vesikel bermembran.
Steroid	:	Sejenis lipid yang dicirikan oleh rangka karbon yang tersusun atas empat cincin yang dilekati oleh berbagai macam gugus kimiawi
Stroma	:	Dalam kloroplas, cairan kental kloroplas yang mengelilingi membran tilakoid, terlibat dalam sintesis molekul organik dari karbondioksida dan air
Tilakoid	:	kantong pipih bermembran di dalam kloroplas.
tRNA	:	(RNA transfer), molekul RNA yang berfungsi sebagai penerjemah antara bahasa asam nukleat dan protein dengan cara mengambil asam amino spesifik dan mengenali kodon-kodon yang sesuai dengan mRNA



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah et al. 2017. *Buku Petunjuk Praktikum Biologi Sel*. Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan. IAIN Jember.
- Akram, M., Asif, H.M., Uzair, M., Akhtar, N., Madni, A., Shah, S.M.A., Hasan, Z., Ullah, A. 2011. Amino acids: A review article. *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 5(17), pp. 3997-4000
- Albert, B., Dennis Broy, Julian Lewis, Martin Roof, Keith Robert, and James D. Watson. (1989). *Molecular Biology of The Cell*. New York: Garland Publishing Inc
- Albert, B., Dennis Broy, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Roof, Keith Roberts, Peter Walter. (1998). *Essential Cell Biology: an Introduction to the Molecular Biology of The Cell*. New York: Garland Pub. Inc.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Chain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2010). *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Campbell, N. A., Urry, L. A., Chain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Campbell biology Twelfth edition*. New York: Pearson.
- G. B. Waite, L.R.W., 2007. *Applied Cell and Melucular Biology for Enggineers*, Mc Graw Hill Companies.
- Hanum, E. L. 2009. *Biologi*. Jakarta : PT. Remaja. Rosdakarya
- Issoegianti, S.M., Rahman,A.,Rohma,Z. *Konsep Dasar Sel*.
<http://repository.ut.ac.id/4287/1/BIOL4115-M1.pdf>
- Lukitasari, M. (2015). *Biologi sel*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Lukman, A. 2008. Evolusi Sel Sebagai Dasar Perkembangan MakhluK Hidup Saat ini. *Biospecies* Volume 1 No 2, hlm 67 – 72
- Maghfirah, N. 2015. *99 Fenomena Menakjubkan dalam Al Quran*. Mizania. Bandung.
- Mader, S. S. 1995. *Biologi Evolusi, Keanekaragaman dan Lingkungan*. Kuala Lumpur: Kucica



- Nurhayati, B., Darwamati, S. 2017. *Biologi Sel Dan Molekuler*. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan Badan Pengembangan dan Pemeberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan. Kementerian Kesehatan RI.
- Robertis, E.D.P., and Robertis, Jr. E.M.F. 1988. *Cell and Molecular Biology*. (Eight Edition). Hongkong: Info-Med
- Shupnik, M.A. (1999). *Introduction to Molecular Biology*. In: Fauser, B.C.J.M., Rutherford, A.J.
- Sulistyowati, Uut. 2010. *Biologi*. Nganjuk: PT. Temprina Media Grafika
- Sutresna, N. 2008. *Kimia*. Bandung: Grafindo Media Pratama.
- Walter. (1998). *Essential Cell Biology: an Introduction to the Molecular Biology of The Cell*. New York: Garland Pub. Inc.
- Yuliani, D. 2018. *Petunjuk Praktikum Biokimia 1*. Malang. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.



Kementerian Agama Republik Indonesia
Direktorat Jenderal Pendidikan Islam
Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Madrasah
Tahun 2020