

Konsep Dasar Sel

Dr. S.M. Issoegianti, R.
Drs. Abdul Rahman, M.Si.
Zuliyati Rohmah, S.Si., M.Si.



PENDAHULUAN

Sejak tercetusnya teori sel yang menyatakan bahwa semua organisme terdiri atas sel, dan bahwa sel yang ada sekarang berasal dari sel yang ada sebelumnya, bidang Biologi Sel berkembang dengan pesat.

Sel merupakan kesatuan kecil berselaput tipis, yang di dalamnya berisi larutan kental senyawa kimia. Sel memiliki sifat istimewa, yaitu dapat membuat duplikatnya sendiri dengan jalan membelah. Bentuk kehidupan yang paling sederhana berupa sel-sel tunggal. Organisme yang lebih berkembang, misalnya diri kita, merupakan komunitas sel-sel yang berasal dari pertumbuhan dan perkembangan hasil pembelahan sel induk.

Walaupun sel dapat menjadi komponen organisme yang lebih besar, tiada yang dapat dinyatakan hidup selain sel, virus pun tidak. Oleh karena itu, sel dinyatakan sebagai dasar kesatuan hidup.

Di dalam modul Konsep Dasar Sel ini akan diuraikan dan dibahas tentang urutan proses tercetusnya teori sel, bahan penyusun sel, struktur dan keanekaragaman sel.

Setelah mempelajari Modul 1 ini, diharapkan Anda mampu menguraikan konsep dasar sel, dan secara khusus mampu:

1. menerangkan arti batasan sel;
2. menerangkan teori sel;
3. menjelaskan bahan penyusun sel;
4. menerangkan arti keanekaan dan keragaman sel; dan
5. menyebutkan cara dan alat untuk melihat struktur sel.

KEGIATAN BELAJAR 1

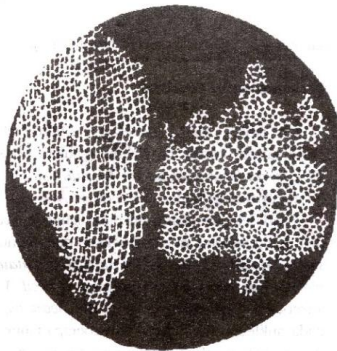
Teori Sel, Protoplasma, dan Senyawa Penyusunnya

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.

A. PERKEMBANGAN TEORI SEL

Istilah sel pertama kali dikemukakan oleh Robert Hooke (1665), pada saat mengamati sayatan gabus menggunakan mikroskop. Ia melihat adanya ruangan kecil yang disebut **cella** yang berarti kamar kecil (Gambar 1.1). Kemudian Purkinje tahun 1839 melihat bahwa di dalam *cella* terdapat zahir (zat mengalir=*fluid*) yang memiliki tanda-tanda hidup. Dujardin pada tahun 1855 menemukan bahwa di dalam *cella* tersebut, terdapat cairan kental. Senyawa inilah yang dikenal dengan nama **protoplasma**. Lebih kurang 15 tahun kemudian Dutrochet, Mathias von Schleiden, dan Schwan menemukan hal yang serupa.



Gambar 1.1.
Struktur mikroskopis gabus

Teori sel dikembangkan oleh Schwann dan Mathias von Schleiden. Hasil kerja dua orang peneliti ini membuahkan dua di antara tiga postulat teori sel, yaitu: 1. *semua makhluk hidup terdiri atas sebuah atau lebih, sel yang bernukleus*; 2. *sel merupakan kesatuan fungsi yang terkecil*. Laporan Schwann dan Schleiden tersebut, kecuali memberi formulasi teori sel, juga memberi perhatian khusus pada nukleus yang ditemukan beberapa tahun sebelumnya oleh Robert Brown, sebagai struktur yang mempunyai peranan penting dalam hubungannya dengan fungsi sel.

Postulat mereka segera dilengkapi oleh postulat ke-3, sehingga lengkaplah teori tersebut. Postulat terakhir ini dicetuskan pada tahun 1855 oleh Rudolf Virchow, seorang ahli patologi berkebangsaan Jerman. Virchow menyatakan bahwa *semua sel berasal dari sel yang ada sebelumnya dengan jalan pembelahan*. Pernyataan ini berbunyi: *Omnie cellula e cellula*.

B. PROTOPLASMA

Protoplasma yang ditemukan oleh Purkinje dan Dujardin merupakan zahir pertama yang memiliki tanda-tanda hidup. Zahir ini tidak berwarna, kental dan terdapat di semua sel. Dari segi morfologi, protoplasma merupakan substansi kental seperti agar-agar berwarna kehijauan. Protoplasma dapat berada dalam dua keadaan yaitu **sol** (encer) dan **gel** (kental). Kekentalan protoplasma sangat beraneka sesuai selnya, serta keadaan fisiologis sel tersebut. Kekentalan protoplasma sangat dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik, panas, dan muatan listrik. Sifat-sifat ini sangat berpengaruh pada proses-proses kehidupan.

Protoplasma terus menerus bergerak. Gerakan protoplasma ini ditentukan oleh ukuran molekul dan tenaga di dalamnya. Gerakan itu disebut gerakan brown dan gerakan amuboid.

1. Gerakan Brown

Gerakan ini ditemukan oleh Robert Brown (1828). Beliau melihat gerakan yang sangat cepat dari molekul-molekul di dalam protoplasma akibat dari saling bentur. Gerakan ini ditentukan oleh ukuran molekul dan tenaga kinetiknya. Selama profase gerakan brown bertambah cepat sesuai dengan kenaikan suhu (temperatur). Bersamaan dengan ini kekentalan protoplasma menurun.

2. Gerakan Amuboid

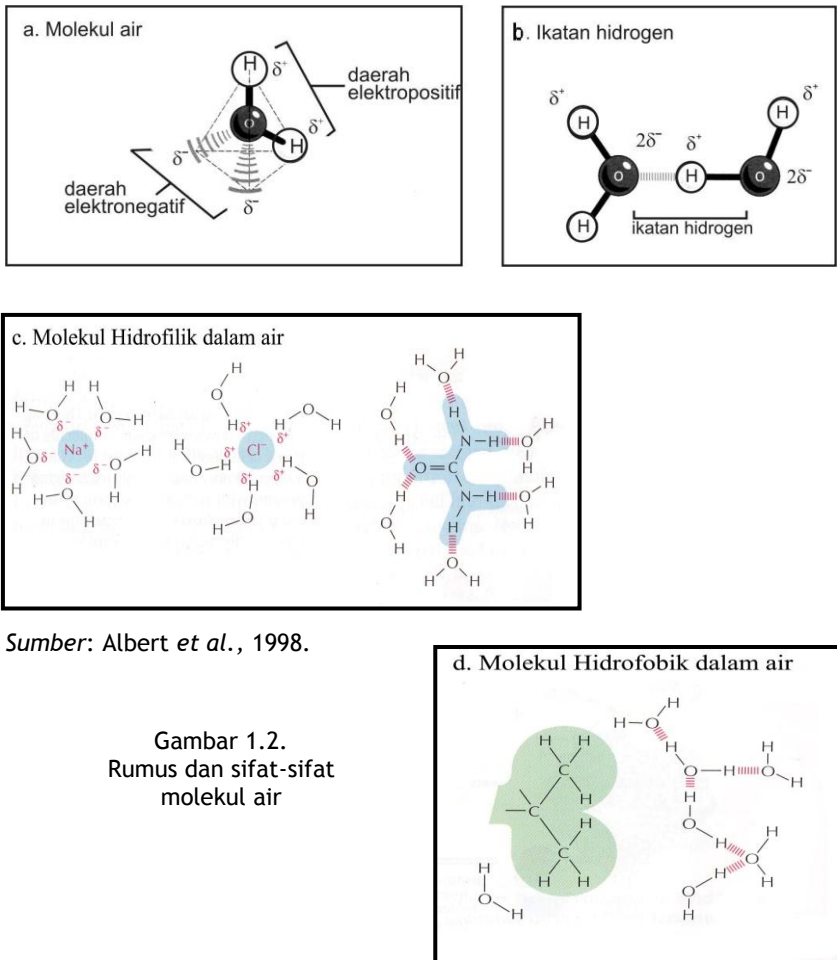
Gerakan ini merupakan gerakan massa protoplasma yang berlangsung dengan teratur. Gerakan ini akibat perubahan terus menerus dari keadaan gel ke sol dan sebaliknya dari sol ke gel.

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.

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. 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 1.2). Apabila bagian muatan positif sebuah molekul air berdekatan dengan muatan negatif molekul air yang lain, daya tarik listrik mereka menimbulkan ikatan hidrogen. Ikatan ini lebih lemah daripada ikatan kovalen dan mudah putus oleh gerakan termal akibat tenaga panas molekul-molekul tersebut.



Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.2.
Rumus dan sifat-sifat
molekul air

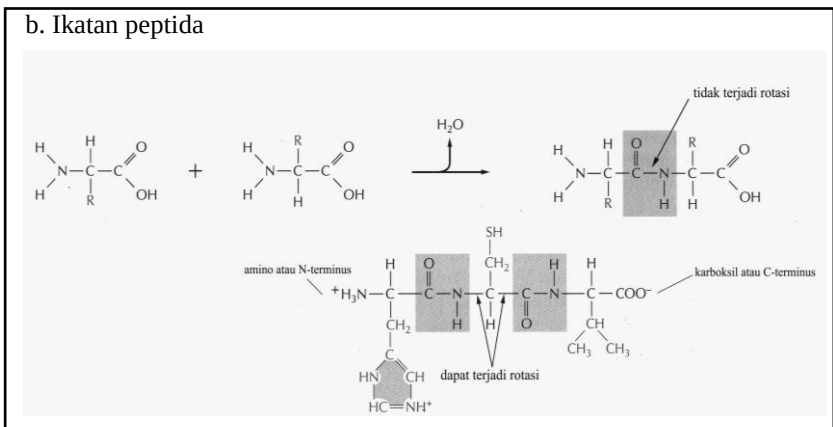
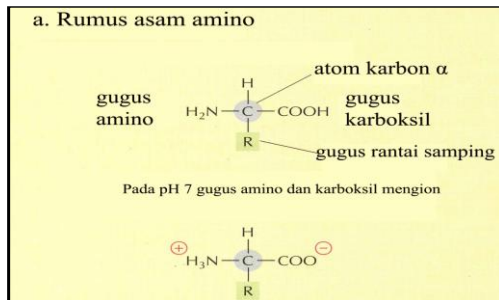
Molekul-molekul misalnya alkohol mudah larut di dalam air. Hal ini disebabkan alkohol merupakan molekul polar. Molekul yang mudah larut dalam air disebut **hidrofilik**. Gula, DNA, RNA, dan beberapa protein merupakan molekul hidrofilik. Molekul-molekul yang tidak mudah larut dalam air disebut **hidrofobik**. Molekul-molekul ini nonpolar sehingga tidak dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air, contohnya hidrokarbon.

b. Protein

Hampir sepuluh persen dari protoplasma merupakan protein. Protein merupakan kelompok molekul dengan berat molekul tinggi. Protein terdiri atas unsur-unsur C, O, H, dan N, namun sering kali terdapat pula unsur S dan P. Protein tersebut merupakan polimer asam amino, ikatan antara dua buah asam amino disebut ikatan peptida (Gambar 1.3). 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. Terdapat 20 macam asam amino, seperti tertera di Tabel 1.1. Kombinasi 20 asam amino dengan berbagai urutannya, menghasilkan berbagai macam molekul protein.

Tabel 1.1.
Beberapa Macam Asam Amino

Asam Amino	Singkatan	Asam Amino	Singkatan
Alanin	Ala	Leucin	Leu
Arginin	Arg	Lysin	Lys
Asam asparat	Asp	Methionin	Met
Asparagin	Asn atau asp-NH ₂	Phenylalanin	Phe
Cystein	Cys	Prolin	Pro
Asam glutamat	Glu	Serin	Ser
Glutamin	Gln atau glu-NH ₂	Threonin	Thr
Glycine	Gly	Tryptophan	Try
Histidin	His	Tyrosin	Tyr
Isoleucin	Ileu	Valin	Val



Sumber: Albert *et al.*, 1998

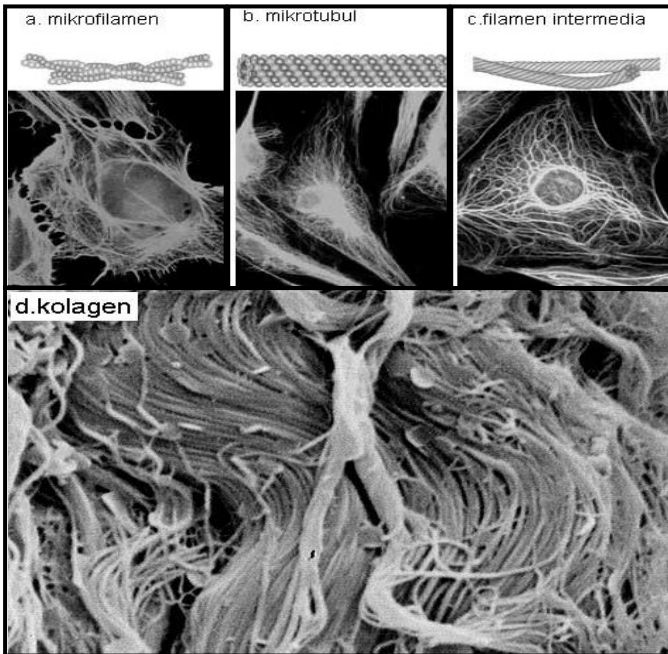
Gambar 1.3.
Rumus umum asam amino dan ikatan peptida

Berdasarkan hasil hidrolisis, molekul protein dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu **protein sederhana** dan **protein majemuk**. Albumin dan globulin yang merupakan penyusun penting sitoplasma adalah contoh dari protein sederhana. Contoh protein sederhana lain, yaitu glutinin, *oryzein*, *zein*, dan lainnya yang berasal dari tumbuhan, sedangkan yang berasal dari hewan antara lain keratin, elastin dan kolagen.

Protein majemuk adalah protein yang berkaitan dengan molekul organik lain. Contoh: glikoprotein, lipoprotein, kromoprotein, dan nukleoprotein, yang disebut terakhir terutama dijumpai di nukleus.

Protein juga diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor. Pembagian berdasarkan susunan molekulnya terdapat:

- 1) protein fibrosa, molekul penyusunnya teruntai membentuk suatu serabut. Contoh: kolagen, fibrin, aktin, dan *myosine*.
- 2) protein globular, molekul penyusunnya teruntai kemudian terlipat-lipat, sehingga membentuk sesuatu mirip bola. Contoh: hemoglobin, mioglobin, dan enzim-enzim.



Gambar 1.4.
Contoh-contoh protein fibrosa

Berdasarkan perannya protein terbagi dalam kelompok:

- 1) protein struktural, terdiri atas protein struktural intrasel dan ekstrasel. Beberapa contoh protein struktural ekstrasel: kolagen pada jaringan ikat, tulang rawan, dan tulang. Demikian pula keratin pada kuku dan rambut. Protein struktural intrasel antara lain aktin, *myosin*, dan mikrotubulus (Gambar 1.4).

- 2) protein dinamis, merupakan protein yang terlibat langsung dalam proses metabolisme, mudah terurai dan terakit kembali. Contoh: beberapa enzim, hormon, dan pigmen darah.

Senyawa protein merupakan molekul pekerja. Mereka berperan dalam berbagai kegiatan sel, yaitu:

- 1) sebagai katalisator berbagai reaksi kimia;
- 2) memberi kekuatan struktural;
- 3) memantau permeabilitas selaput dan kegiatan gen;
- 4) mengatur kadar metabolit yang diperlukan dan menyebabkan terjadinya gerakan.

c. *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. Gugus fosfat terdapat pula dalam molekul ini (Gambar 1.5). 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 *guanine* (G) dan *adenine* (A); sedangkan **pirimidin** mencakup *cytosine* (C), *thymine* (T), dan *uracil* (U).

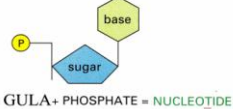
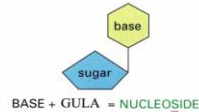
Nukleotida dapat berperan sebagai pembawa tenaga kimia yang disebut adenosin trifosfat (ATP) (Gambar 1.6). Senyawa ini berperan serta dalam pemindahan tenaga pada reaksi-reaksi kimia seluler. Pembentukan ATP dipicu oleh tenaga hasil oksidasi makanan.

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 sedangkan yang berada di **RNA** adalah A, G, C, dan U. RNA di dalam sel berupa untaian tunggal nukleotida, DNA merupakan untaian ganda yang tersusun sejajar (paralel).

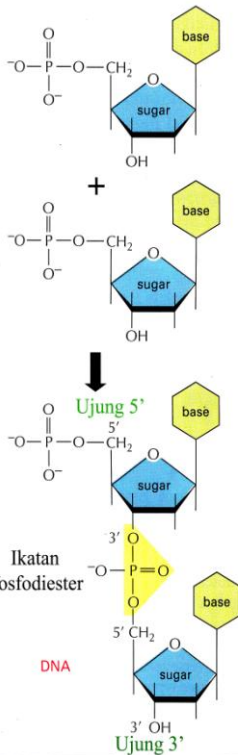
a. nomenklatur

BASE	NUCLEOSIDE	ABBR.
adenine	adenosine	A
guanine	guanosine	G
cytosine	cytidine	C
uracil	uridine	U
thymine	thymidine	T

AMP = adenosine monophosphate
 dAMP = deoxyadenosine monophosphate
 UDP = uridine diphosphate
 ATP = adenosine triphosphate

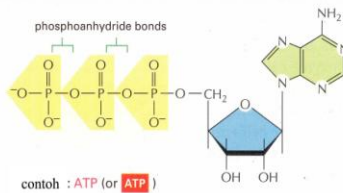


b. Asam Nukleat (DNA)

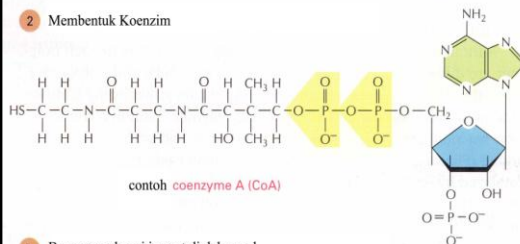


C. Fungsi-fungsi nukleotid

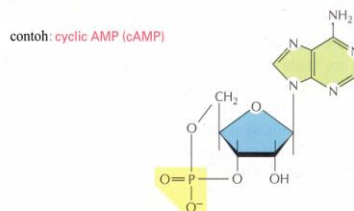
1. Pembawa tenaga kimia



2. Membentuk Koenzim

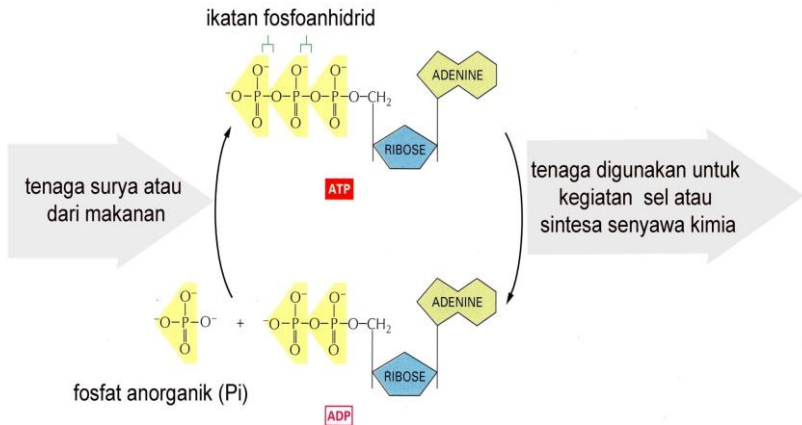


3. Berperan sebagai isyarat di dalam sel



Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.5.
 Rumus molekul dan fungsi nukleotida



Gambar 1.6
Molekul ATP sebagai pembawa tenaga dalam sel

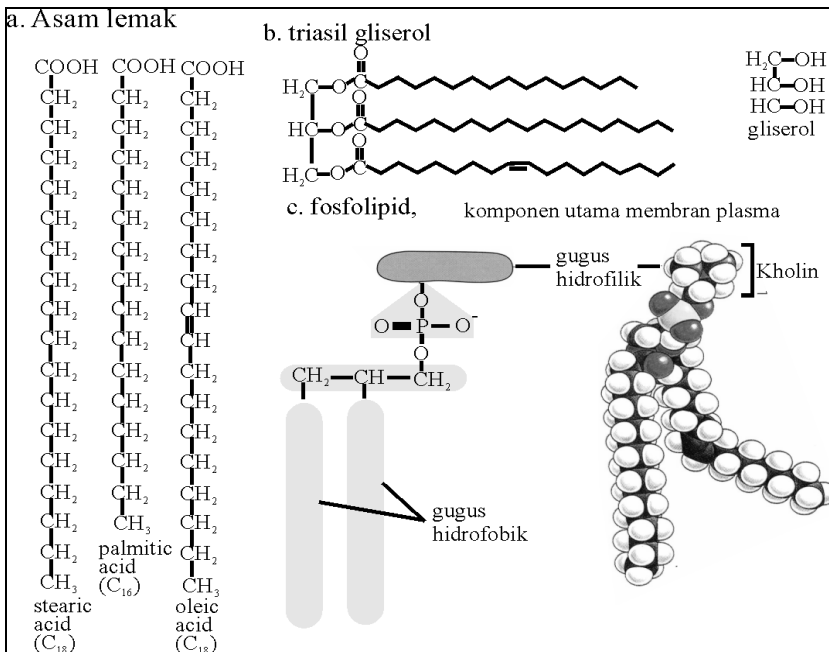
d. Lipid

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.

Lemak, lilin, dan steroid bersama-sama berperan dalam mempertahankan keberadaan air di dalam tubuh. Lemak merupakan molekul kaya tenaga. Lemak dapat diubah menjadi karbohidrat dan sebaliknya karbohidrat dapat diubah menjadi lemak. Lemak juga merupakan senyawa penyimpan cadangan makanan.

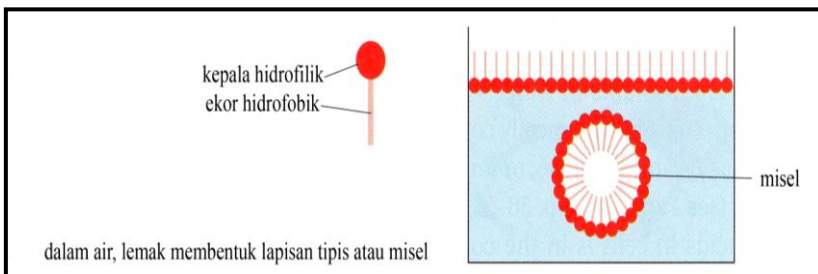
Asam lemak memiliki dua daerah: (Gambar 1.7.)

- 1) rantai hidrokarbon yang bersifat hidrofobik, tidak terlarut di dalam air dan kurang reaktif.
- 2) gugus asam karboksilat yang bersifat hidrofilik, terlarut di dalam air, mengion di dalam larutan dan mudah bereaksi membentuk ester. Gliserol, asam lemak dan ion fosfat dapat berikatan membentuk fosfolipid yang merupakan struktur dasar selaput plasma.



Gambar 1.7.
Rumus asam lemak dan derivatnya

Kemampuan fosfolipid membentuk membran merupakan akibat sifat amfipatik (mengikat air dan lemak) yang dimiliki. Pada permukaan air, fosfolipid akan meluas membentuk selapis molekul-molekul fosfolipid dengan kepala hidrofilik berikatan dengan air dan ekor hidrofobik menjauhi air (Gambar 1.8.).



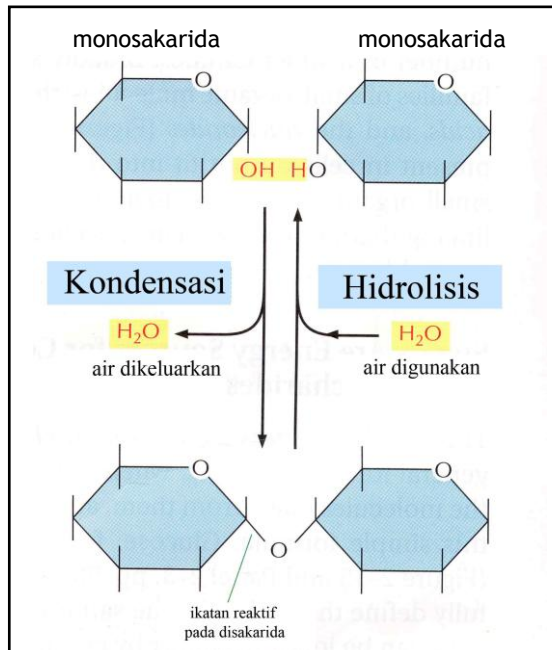
Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.8.
Sifat asam lemak

e. *Karbohidrat*

Senyawa ini disebut **sakarida**. Molekul terkecil sakarida disebut **monosakarida**. Berdasarkan jumlah monosakarida yang menyusun sakarida tersebut dikenal adanya: disakarida, oligosakarida, dan polisakarida. Proses polimerisasi monosakarida yang merupakan pembentukan disakarida dapat dilihat pada Gambar 1.9. Polisakarida dapat dikelompokkan menjadi:

- 1) polisakarida struktural, beberapa contoh sakarida struktural, yaitu: selulosa, pembentuk dinding sel tumbuhan; asam hialuronat, yang merupakan salah satu komponen substansi antarsel jaringan ikat.
- 2) polisakarida nutrien, contoh: amilum, glikogen, dan paramilum. Karbohidrat yang berikatan dengan protein disebut **glikoprotein** dan **proteoglikan** sedangkan yang berikatan dengan lipid disebut **glikolipid**.



Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.9.
Pembentukan disakarida

Berdasarkan ciri dan sifat setiap komponen penyusun protoplasma, terutama lipid, segumpal protoplasma tersekat-sekat menjadi beberapa bentukan disebut **organel**. Protoplasma semula dinyatakan sebagai suatu cairan kental yang homogen ternyata merupakan cairan kental yang berstruktur sangat rumit. Berdasarkan kerumitan struktur protoplasma, terdapat 2 kelompok sel yaitu prokaryota dan eukaryota.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi yang telah diuraikan, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebutkan hipotesis (postulat) utama yang merupakan bagian dari teori sel!
- 2) Mengapa hipotesis pertama dan kedua dipisahkan ?
- 3) Berikan penjelasan mengenai arti hidrofobik dan hidrofilik!
- 4) Berikan penjelasan apa sebab fosfolipid memiliki kelarutan rangkap!
- 5) Jelaskan apa peran protein di dalam sel!
- 6) Apakah yang Anda ketahui mengenai glikoprotein dan lipoprotein?
- 7) Sebutkan beberapa perbedaan antara DNA dengan RNA!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab latihan-latihan di atas, Anda dapat mempelajari kembali Kegiatan Belajar 1 mengenai perkembangan teori sel, protoplasma dan komponen penyusunnya. Bila perlu diskusikan dengan teman-teman atau tutor Anda.



RANGKUMAN

Pengertian sel yang kita ikuti sekarang, bukanlah pengertian sel yang disajikan oleh Robert Hooke di tahun 1665. Sel yang ditemukan pada abad 17 oleh Robert Hooke ternyata berisi zat kental yang merupakan campuran berbagai macam senyawa. Zat ini disebut **protoplasma**, yaitu zat pertama yang memiliki tanda-tanda hidup ditemukan oleh Purkinje pada tahun 1839.

Bagian terluar protoplasma membentuk lapisan tipis yang merupakan pembatas antara protoplasma dengan lingkungan tempat beradanya. Selaput tipis itu pulalah yang menyebabkan protoplasma berbentuk. Unsur penyusun protoplasma adalah karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen. Unsur-unsur tersebut membentuk air, protein, asam nukleat, lipid, dan karbohidrat. Selain unsur-unsur tersebut dijumpai pula kalsium, kalium, natrium, dan sulfur.

Protoplasma berupa substansi yang dapat berada pada dua keadaan yaitu **sol** dan **gel**, serta dapat melakukan gerakan-gerakan yang ditentukan oleh molekul dan tenaga yang ada. Gerakan tersebut adalah gerakan brown dan amuboid.

Saat ini terdapat beberapa batasan mengenai sel, *pertama*: sel adalah segumpal protoplasma yang memiliki bentuk; dan *kedua*: sel adalah kesatuan (unit) terkecil dari suatu struktur, fungsi, dan pewarisan.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) *Omnie cellula e cellula* dicetuskan pertama kali oleh
 - A. Robert Hooke
 - B. Dujardin
 - C. Schwann
 - D. Virchow
- 2) Postulat pertama dari teori sel berbunyi
 - A. semua organisme hidup terdiri atas sel
 - B. semua sel yang ada sekarang berasal dari sel sebelumnya
 - C. sel merupakan kesatuan fungsi yang terkecil
 - D. semua sel ber dinding
- 3) Istilah sel pertama kali dikemukakan pada
 - A. abad 16 oleh Robert Brown
 - B. abad 17 oleh Robert Hooke
 - C. abad 17 oleh Rudolf Virchow
 - D. abad 16 oleh Theodor Schwann
- 4) Perkembangan sel selanjutnya dengan mengamati protozoa, darah, dan sperma dilakukan oleh
 - A. Robert Hooke
 - B. Theodor Schwann

- C. Antoni van Leeuwenhoek
 - D. Robert Brown
- 5) Pernyataan berikut berhubungan dengan protoplasma, *kecuali*
- A. pertama dikenal sebagai zahir, yang memiliki tanda-tanda hidup
 - B. dibangun oleh senyawa-senyawa air, protein, karbohidrat, lipid, dan asam nukleat
 - C. mengandung organel
 - D. berstruktur sangat sederhana
- 6) Berdasarkan teori sel yang dicetuskan oleh Schleiden dan Schwann, dikenal definisi sel sebagai
- A. sel merupakan kesatuan fungsional suatu kehidupan
 - B. sel merupakan kesatuan dasar struktur, fungsi, dan pewarisan
 - C. sel merupakan kesatuan fungsi yang terkecil
 - D. semua makhluk hidup terdiri atas 1 atau lebih sel bernukleus
- 7) Pernyataan “Bahwa semua sel berasal dari sel sebelumnya dengan cara pembelahan” dinyatakan oleh
- A. Robert Brown
 - B. Rudolf Virchow
 - C. Robert Hooke
 - D. Antoni van Leeuwenhoek
- 8) Di antara protoplasma sel satu dengan sel lainnya dibedakan oleh
- A. struktur
 - B. komponen penyusun
 - C. sifat kimia
 - D. fisiko-kimia protoplasma
- 9) Unsur kimia yang terdapat pada protoplasma dalam jumlah sedikit adalah
- A. hidrogen
 - B. oksigen
 - C. nitrogen
 - D. kalsium
- 10) Garam-garam mineral, senyawa organik, dan gas dalam protoplasma dapat dijumpai terlarut dalam
- A. air intramolekul
 - B. air antarmolekul

- C. air bebas
 - D. air terikat
- 11) Tubulin aktin dan myosin merupakan
- A. protein struktural intrasel
 - B. protein struktural ekstrasel
 - C. protein dinamis terurai
 - D. protein dinamis intrasel
- 12) Gugus basa dari sebuah nukleotida dapat berasal dari kelompok purin, yaitu
- A. guanin dan sitosin
 - B. sitosin, timin, dan urasil
 - C. guanin dan adenin
 - D. adenin, timin, dan guanin
- 13) Proteoglikan senyawa karbohidrat penyusun protoplasma yang dikelompokkan sebagai senyawa
- A. polisakarida nutrien
 - B. polisakarida struktural
 - C. disakarida nutrien
 - D. disakarida struktural
- 14) Dari pernyataan berikut yang berkaitan dengan gerakan protoplasma adalah
- A. gerakan brown, akibat perubahan keadaan gel ke sol dan sebaliknya
 - B. gerakan brown menurun dengan mengentalnya protoplasma
 - C. gerakan amuboid yang ditentukan oleh ukuran molekul dan tenaga kinetik
 - D. gerakan amuboid yang meningkat dengan naiknya suhu

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

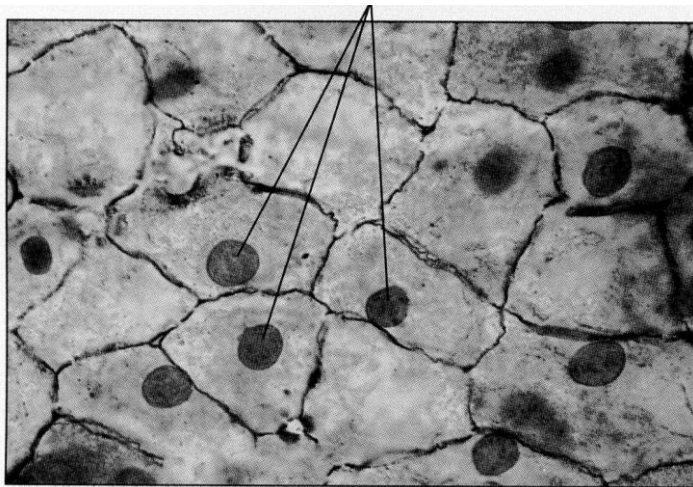
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

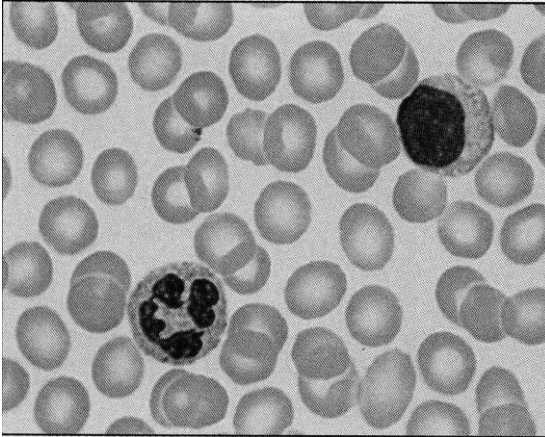
Struktur Sel dan Virus serta Keaneka-an dalam Keragaman

Dengan berkembangnya mikroskop cahaya, terlebih setelah dikembangkan mikroskop elektron, pengkajian terhadap sel semakin tumbuh berkembang pula.

Sayatan organ hewan maupun tumbuhan bila diamati dengan mikroskop terlihat bahwa terdiri atas sejumlah sel. Sel-sel tersebut ada yang terkemas rapat satu dengan lainnya, ada pula yang terpisahkan oleh senyawa yang disebut **substansi antarsel** atau **matriks ekstrasel (MES)** Gambar 1.10. Umumnya setiap sel memiliki garis tengah antara 5–20 mikrometer. Struktur internal sebuah sel sulit diamati.



A

**B**

Gambar 1.10.

A. Sel rapat satu dengan yang lain, B. Sel-sel dipisahkan oleh MES

Berdasarkan indeks biasanya dapat diketahui bahwa sel terdiri atas dua daerah, yaitu:

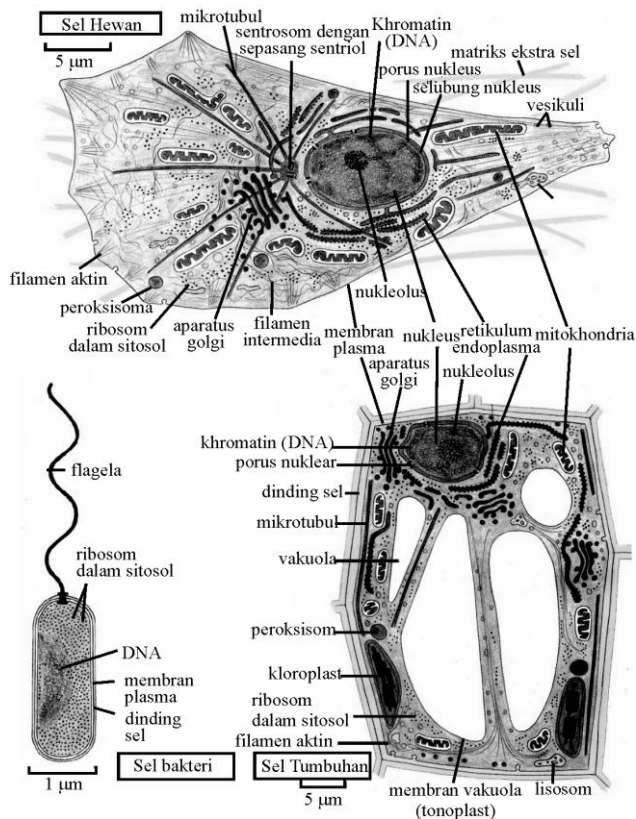
1. Suatu pembatas antara sel dengan lingkungannya disebut **membran** (selaput) **sel**.
2. Di sebelah dalam membran plasma terdapat substansi jernih disebut **sitoplasma**. Di bagian tengah sitoplasma terdapat bentukan bulat disebut **nukleus**. Dengan perbesaran kuat, tampak bahwa di dalam sitoplasma terdapat komponen yang berbeda. Setiap komponen dibatasi oleh suatu membran. Komponen-komponen ini bersama-sama dengan nukleus disebut **organel**.

Membran pembatas sel disebut membran sel, sedangkan membran pembatas komponen-komponen di dalam sitoplasma disebut **membran interna** atau **membran sitoplasmik**. Tidak semua sel memiliki organel maupun nukleus. Sel yang tidak memiliki nukleus maupun organel digolongkan ke dalam prokaryota. Selebihnya digolongkan ke dalam eukaryota.

A. STRUKTUR SEL

1. Prokaryota

Prokaryota: (*pro*=sebelum, *caryo*=nukleus), mencakup dua gugus besar yaitu bakteri dan sianobakteri (ganggang biru). Pada prokaryota, selaput plasma hanya merupakan selaput sel yaitu bagian terluar sel. Bahan pembawa warisan (informasi genetik = sifat menurun) kelompok prokaryota berbaaur dengan sitoplasma. Pada prokaryota yang sudah cukup berkembang, bahan pembawa warisan, terkumpul di suatu daerah yang disebut **nukleoid**. Walaupun tidak berbaaur dengan sitoplasma, daerah ini tidak memiliki pembatas yang berupa selaput (Gambar 1.11).



Gambar 1.11.

Perbandingan sel prokaryota; sel hewan dengan sel tumbuhan

Ukuran sel-sel prokaryota pada umumnya kecil, dengan panjang hanya beberapa mikrometer, sedangkan diameternya satu mikrometer atau kurang. Hampir semua sel prokaryota memiliki dinding sel dan kapsula. Dinding sel bersifat kaku berada di permukaan luar selaput sel. Kapsula berupa cairan sangat kental dan bersifat kenyal. Dinding sel dan kapsula berperan sebagai pelindung sel.

Selaput sel prokaryota memiliki beragam peran. Peran yang terpenting adalah mengatur lalu-lintas senyawa yang melewatinya. Selain itu, sebagian besar sistem molekuler yang memecah bahan bakar untuk menjadi tenaga, juga berada di selaput sel. Pada bakteri fotosintetis dan sianobakteri, molekul-molekul penyerap dan pengubah cahaya menjadi tenaga kimia, berada pula di selaput sel beserta turunannya yang berupa lipatan-lipatan disebut **mesosom**. Pada selaput sel terdapat protein-protein yang berperan sebagai reseptor dan pengikat molekul-molekul khas yang berada di sekitarnya. Pengikatan molekul-molekul tersebut memicu terjadinya reaksi-reaksi interna yang memungkinkan sel memberi tanggapan pada lingkungannya. Selaput sel prokaryota, berperan pula pada proses replikasi dan pembelahan senyawa pembawa warisan.

Nukleoid prokaryota, berada di sitoplasma tanpa dibatasi oleh suatu selaput. 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 1360 mikrometer, sedangkan pada beberapa bakteri lainnya berkisar antara 250–1500 mikrometer. Molekul DNA sepanjang ini terkemas di dalam sebuah sel yang berukuran antara 1–2 mikrometer.

Sitoplasma yang memiliki nukleoid, pada umumnya terlihat berwarna pekat di elektromikrograf. Kenampakan tersebut disebabkan oleh kehadiran ribosom dalam jumlah besar. Ribosom merupakan zarah kecil berbentuk membulat dengan diameter 20–30 nanometer. Pada bakteri, ribosom terdiri atas 50 macam protein dan beberapa macam RNA. Badan-badan kecil yang rumit tersebut merupakan tempat perakitan asam amino menjadi protein. Pada beberapa prokaryota yang lebih berkembang, selain ribosom terdapat pula vesikuli atau vakuola. Isi vakuola bervariasi sesuai jenisnya.

Kesederhanaan struktur sel-sel prokaryota merupakan kesederhanaan semu. Sebagian bakteri dari sianobakteri mempunyai sistem molekuler yang rumit. Sistem tersebut mampu menggunakan berbagai macam senyawa untuk

sumber tenaga dan mensintesis semua molekul-molekul organik yang diperlukan, dari senyawa anorganik yang sederhana, misalnya: air, karbon dioksida, sumber nitrogen anorganik, fosfor, dan sulfur. Pada dasarnya kegiatan biokimiawi sel-sel prokaryota lebih bervariasi daripada sel-sel eukaryota.

2. Eukaryota

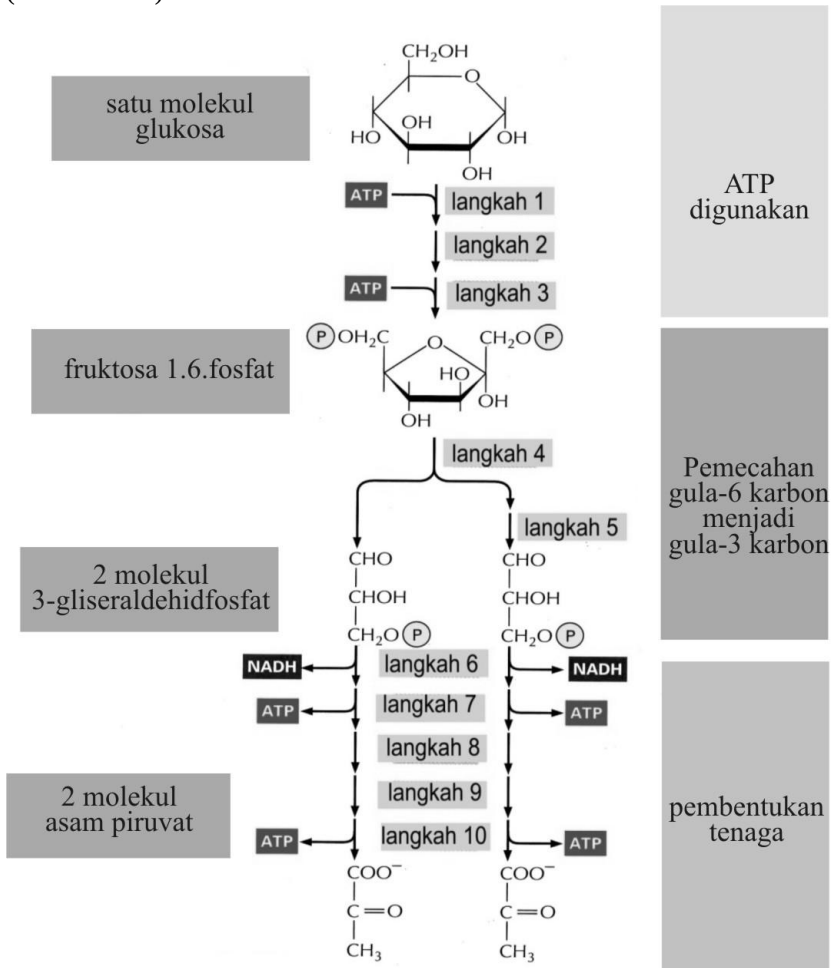
Sebelumnya telah diuraikan bahwa sel memiliki membran pembatas disebut membran sel dan membran sitoplasmik yang membagi sitoplasma menjadi organel-organel. Cairan yang berada di sekeliling organel disebut **sitosol**.

a. Sitosol

Berupa cairan yang penuh berisi molekul-molekul besar maupun kecil. Hal ini menyebabkan sitosol berupa cairan kental. Sitosol merupakan zatir yang tidak berbentuk, terdiri atas campuran berbagai macam molekul dan polimer. Beribu-ribu jenis enzim terlibat dalam proses metabolisme intermedia terlarut di dalamnya. Salah satu contoh metabolisme intermedia adalah **proses glikolisis** dan **glikoneogenesis** (Gambar 1.12). Selain itu, cairan tersebut dipenuhi oleh ribosom, mRNA maupun tRNA, yang aktif mensintesis protein. Sekitar 50% protein hasil sintesis yang dilakukan ribosom, ditentukan tetap berada di dalam sitosol.

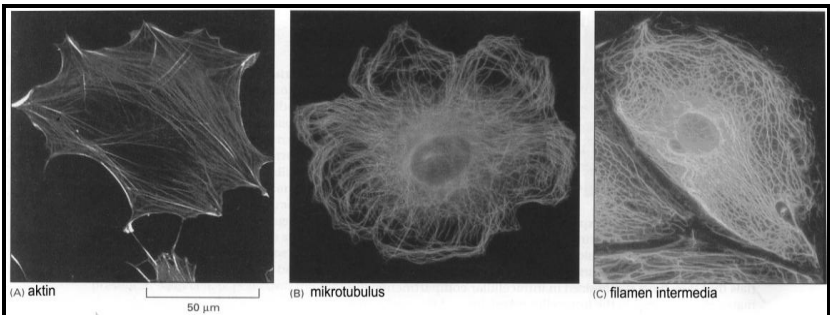
Sebagian dari protein yang berada di sitosol, berbentuk benang-benang halus disebut **filamen**. Filamen-filamen ini teranyam membentuk rerangka, diberi nama **rerangka sel** atau **sitoskelet**. Rerangka sel memberi bentuk pada sel, mengatur dan menimbulkan gerakan sitoplasmik yang beruntun dan berkaitan, serta membentuk jaring-jaring kerja yang membantu mengatur reaksi-reaksi enzimatik. Filamen terhalus penyusun sitoskelet adalah **aktin**. Filamen ini berada di dalam semua sel eukaryota terutama sel otot. Di dalam sel ini aktin berperan sebagai penggerak kontraksi. Filamen paling tebal adalah **mikrotubulus**, disebut demikian sebab berupa tabung halus. Mikrotubulus tampak jelas pada saat sel membelah, pada saat itu mikrotubulus membentuk gelendong mitosis. Filamen yang ukurannya berada di antara mikrofilamen dengan mikrotubulus adalah **filamen intermedia**. Filamen ini pemberi kekuatan mekanis kepada sel. Tiga tipe filamen tersebut bersama-sama dengan protein terkait membentuk sistem

yang memberi kekuatan mekanis, mengatur gerakan sel dan bentuk sel (Gambar 1.13).



Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.12.
Bagan alir Glikolisis



Gambar 1.13.
Filamen-filamen pembentuk sitoskelet

b. *Organel*

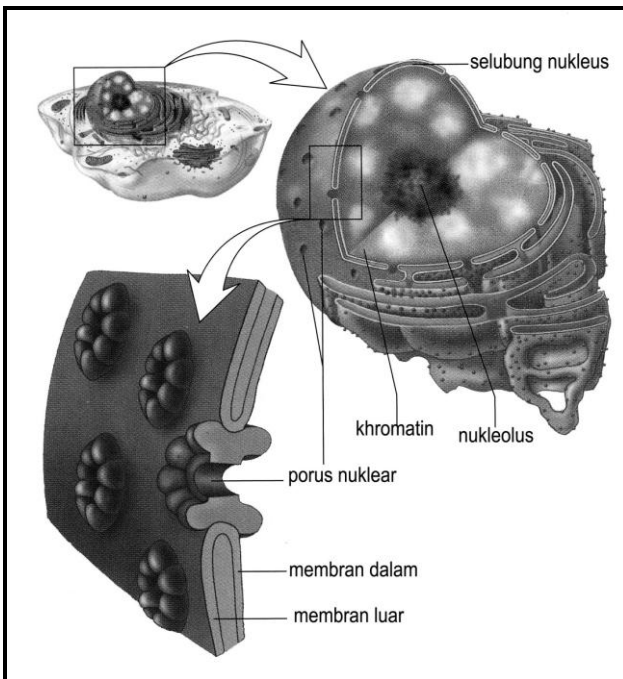
Terdiri atas nukleus, mitokondria, kloroplas, retikulum endoplasma, aparatus Golgi dan vesikuli, lisosom serta peroksisom. Di dalam sel eukaryota, terdapat 2 kelompok organel berdasarkan membran yang dimilikinya. Nukleus, mitokondria, dan kloroplas adalah organel yang termasuk dalam kelompok organel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

1) **Nukleus**

Nukleus merupakan organel yang paling tampak jelas di dalam sel eukaryota (Gambar 1.14). Nukleus dibatasi membran rangkap yang diberi nama **selubung nukleus**. Zalir yang dikelilingi oleh selubung nukleus disebut **nukleoplasma**, atau **matriks nukleus**. Zalir ini terdiri atas beberapa macam senyawa. Di dalam matriks terdapat serabut halus yang terlipat-lipat secara tidak teratur. Serabut yang berdiameter antara 10–30 nanometer ini terdiri atas DNA dan dua macam protein, yaitu **histon** dan **nonhiston**. Pada eukaryota, perbandingan berat protein: DNA, mendekati 2 : 1, sedangkan pada prokaryota, protein: DNA kurang dari satu. *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 berperan sebagai pembawa informasi genetik.

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 kemasan gen lengkap.

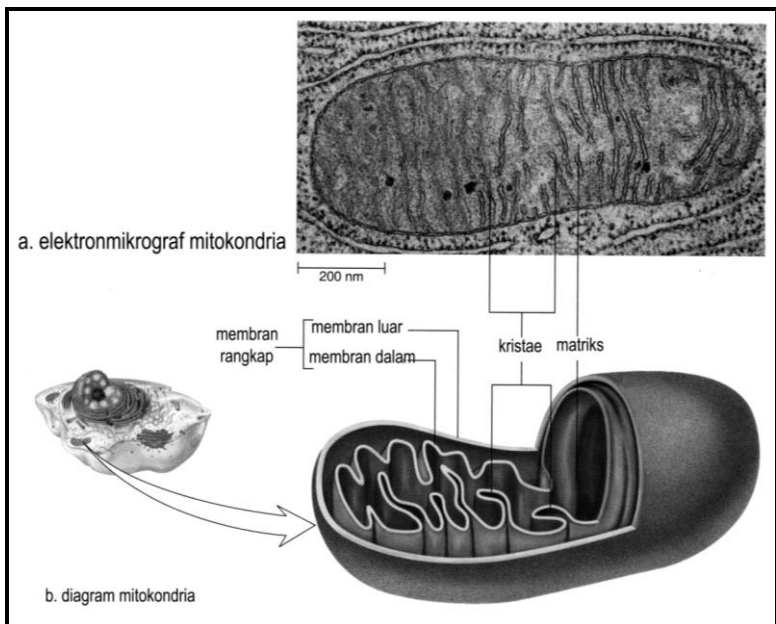


Sumber: Albert et al., 1998.

Gambar 1.14.
Diagram nukleus

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(e)** (Gambar 1.15.).



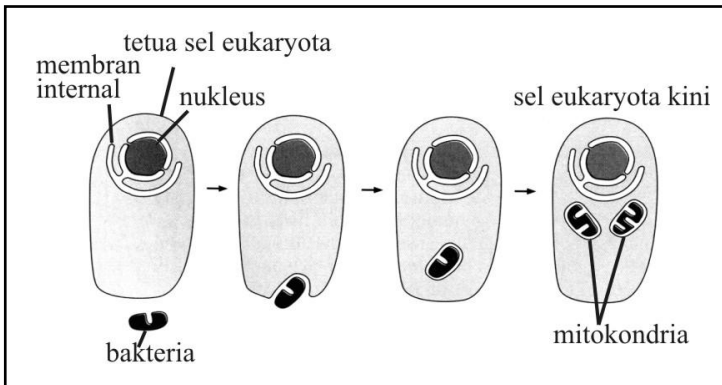
Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.15.
Struktur mitokondria

Analisis secara biokimia memberikan hasil bahwa mitokondria 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. Organisme yang menggunakan oksigen untuk pengubahan tenaga disebut **organisme aerobik**, sedangkan organisme yang tidak dapat hidup di lingkungan beroksigen disebut **anaerobik**.

Keistimewaan lain mitokondria adalah memiliki DNA, dan dapat memperbanyak diri dengan jalan membelah. Mengingat bahwa mitokondria memiliki banyak persamaan dengan bakteri, banyak ahli mengatakan mitokondria berasal dari bakteri yang ditelan oleh tetua sel eukaryota yang ada sekarang (Gambar 1.16).

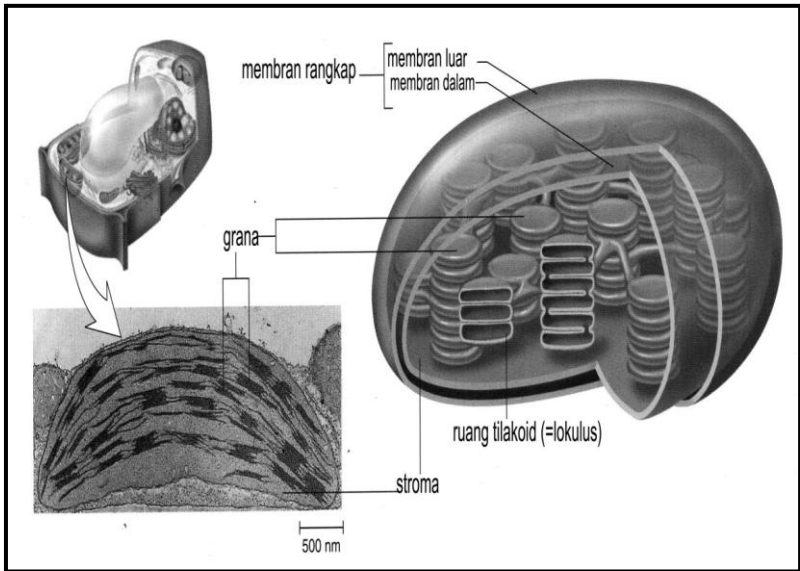


Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.16.
Asal terbentuknya mitokondria

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 1.17). Pada membran tilakoid terdapat pigmen berwarna hijau disebut klorofil.



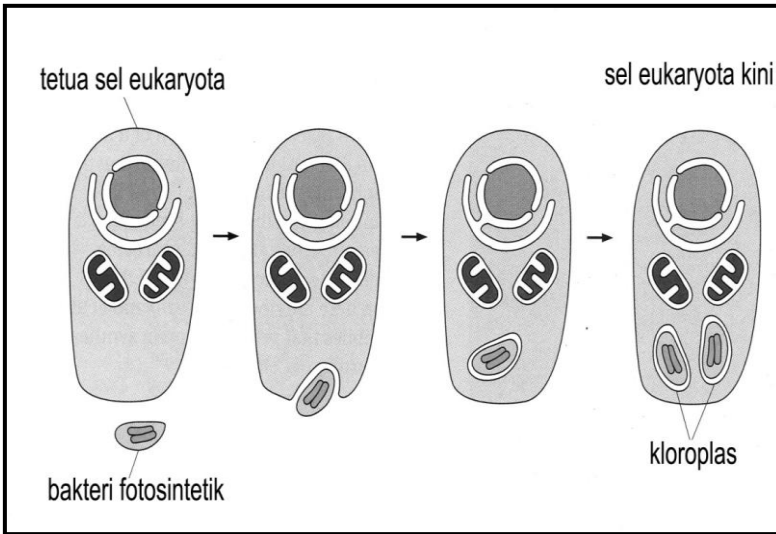
Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.17.

Struktur kloroplas a: Elektro mikrograf kloroplas; b: Diagram kloroplas

Hewan maupun tumbuhan dua-duanya memerlukan tenaga untuk hidup, tumbuh dan berkembang biak. Hewan dapat memperoleh tenaga hanya dari makanan yang berasal dari organisme lain. Tumbuhan dapat memperoleh tenaga langsung dari matahari. Kloroplaslah organel yang memungkinkan tumbuhan dapat melaksanakan hal tersebut. Kloroplas, seperti halnya mitokondria memiliki tugas penting. Kloroplas melakukan fotosintesis, yaitu menggunakan cahaya matahari (foton) untuk pembentukan molekul gula. Proses pembentukan tersebut dilakukan dengan bantuan klorofil. Hasil proses selain gula juga oksigen dan limbah. Seperti halnya sel hewan, sel tumbuhan juga mampu mengubah tenaga kimia tersimpan ini dengan jalan oksidasi menggunakan mitokondria.

Di dalam stroma kloroplas juga dijumpai DNA. Hal ini menyebabkan kloroplas dapat memperbanyak diri dengan jalan membelah. Kloroplas diduga berasal dari bakteri fotosintetik yang ditelan oleh sel eukaryota awal (Gambar 1.18).



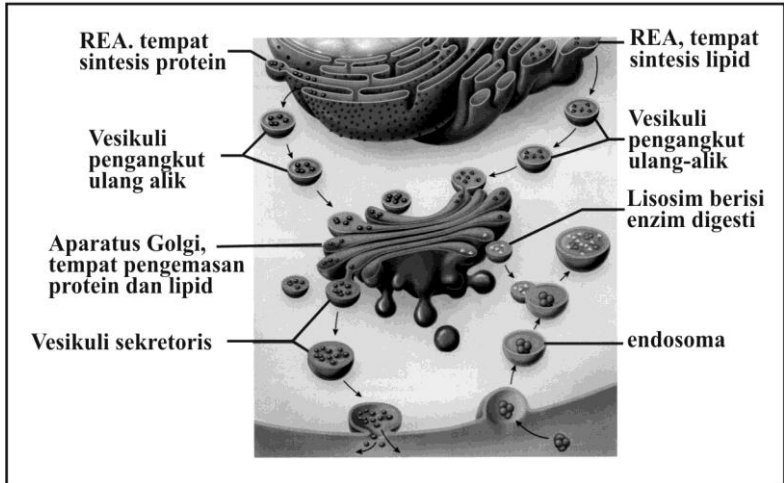
Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.18.
Asal terbentuknya kloroplas

4) **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 1.19).



Sumber: Albert et al., 1998.

Gambar 1.19.
Sistem membran sitoplasmik

Retikulum endoplasma bukan organel statis, melainkan merupakan komponen dari suatu sistem selaput yang dinamis. Sistem membran ini mencakup semua membran organel yang berada di dalam sel. Lima puluh persen dari semua membran yang terdapat dalam sebuah sel adalah selaput RE (Tabel 1.2).

Tabel 1.2.
Selaput sitoplasmik dua jenis sel hewan (dalam %)

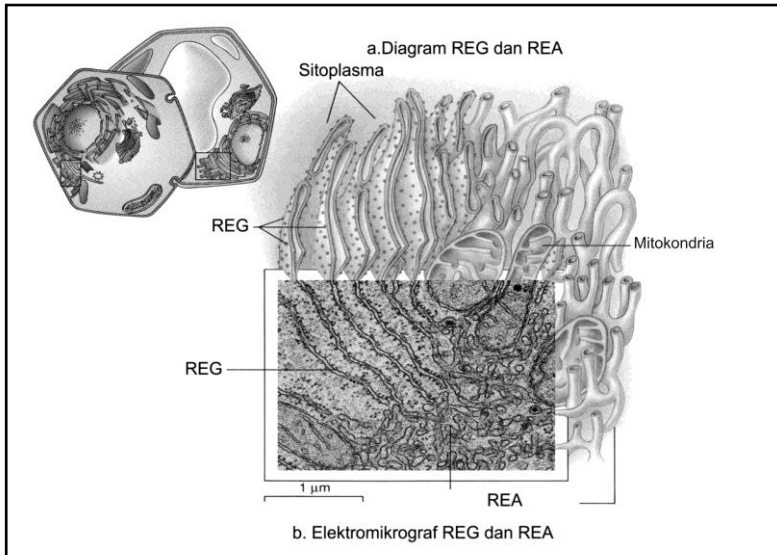
Jenis selaput	Hepatosit	Asinus Pankreas
Membran sel	2	5
REG	35	60
REA	16	<1
Aparatus Golgi	7	10
Mitokondria		
• Selaput luar	7	4
• Selaput dalam	32	17
Nukleus		
• Selaput dalam	0,2	0,7
Lisosom	0,4	-
Peroxisom	0,4	-

Membran RE, merupakan lembaran utuh yang sangat terlipat-lipat mengelilingi suatu ruangan disebut **lumen RE** atau **sisterna RE** yang berbentuk labirintin. Volume sisterna RE hampir 10% volume sel (Tabel 1.3).

Tabel 1.3.
Volume beberapa organel hepatosit (dalam %)
dan jumlahnya di dalam sebuah sel

Organel/ruangan intrasel	Volume	Jumlah per sel
Sitosol	54	1
Mitokondria	22	1700
REG	9	1
REA + Golgi	6	1
Nukleus	6	1
Lisosom	1	400
Peroksisom	1	300

Dari mikrograf elektron terlihat bahwa, terdapat dua daerah RE yang berbeda secara fungsional. Daerah ini diberi nama retikulum endoplasma granular (**REG**) yaitu daerah yang permukaan sitosolik selaputnya ditemplei ribosom, sedangkan 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 (Gambar 1.20).



Sumber: Albert *et al.*, 1998.

Gambar 1.20.
Struktur Retikulum Endoplasma

Ribosom tidak pernah dijumpai pada permukaan lumenal selaput RE. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi selaput RE tidak simetris. Perlu diingat, bahwa tidak simetrisnya selaput RE bukan karena ada tidaknya ribosom.

Selain itu, terlihat bahwa membran RE lebih tipis daripada membran sel. Hal ini disebabkan komposisi molekulnya. Perbandingan protein dengan lipida membran RE lebih tinggi daripada selaput sel, sedangkan kadar kolesterolnya lebih rendah. Hal ini menyebabkan sifat selaput RE lebih stabil dan kental. Namun, perlu diingat bahwa rantai asam lemak fosfolipid membran RE lebih pendek dan banyak yang tidak jenuh. Hal ini menyebabkan perpindahan molekul ke arah lateral lebih mudah daripada selaput sel, sehingga selaput RE dinyatakan lebih dinamis daripada selaput sel. RE merupakan tempat sintesis sebagian besar komponen membran plasma maupun senyawa, terutama protein, yang dikeluarkan dari sel.

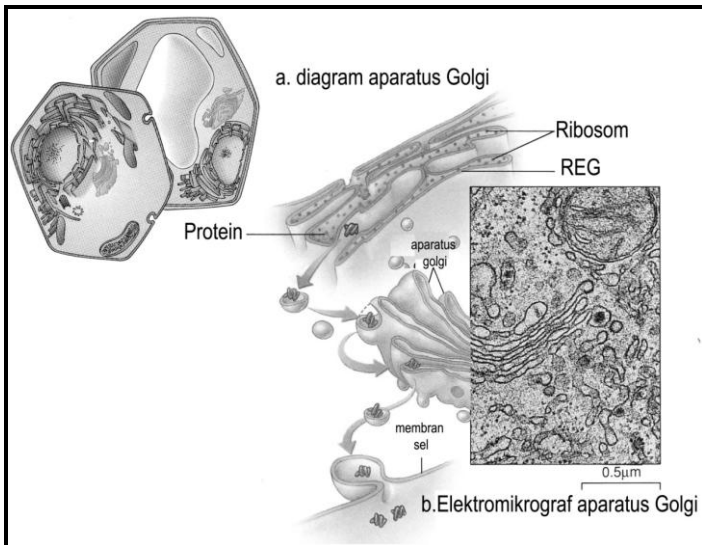
Analisis kimia selaput RE yang diisolasi dari hepatosit memberikan hasil bahwa sebagian besar protein selaput RE berupa glikoprotein. Analisis lebih lanjut menyatakan bahwa protein-protein tersebut berupa enzim-enzim dan rantai molekul-molekul pembawa elektron. Semua enzim selaput ini sangat bervariasi, antara lain: hidrolase, terutama glukosa-6-fosfatase dan nukleosida-fosfatase; enzim-enzim yang berperan dalam metabolisme asam lemak, sintesis fosfolipid, dan steroid; glikosil-transferase yang berperan sebagai katalisator dalam proses sintesis glikolipid dan glikoprotein. Dua rantai pengangkut elektron masing-masing diwakili oleh sitokrom P₄₅₀ dan sitokrom b₅, keduanya adalah suatu hemoprotein.

RE merupakan pusat biosintesis sel. Protein transmembran dan lipid dari selaput RE, aparatus Golgi, lisosom, selaput sel, dan selaput organel yang lain, awal sintesisnya berada di RE. Begitu juga, protein yang disintesis dan direncanakan untuk berada di lumen RE, sisterna Golgi, lumen lisosom, maupun yang akan disekresikan, berasal dari RE. Beberapa proses yang terjadi di RE adalah:

- a) biosintesis protein, fosfolipid, kolesterol, proses glikosilasi, dan
- b) detoksifikasi.

5) 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 1.21).



Gambar 1.21.
Struktur Aparatus Golgi

Di sekitar diktiosom terdapat dua kelompok vesikuli (bola-bola kecil). Kelompok pertama terdiri atas vesikuli kecil yang berdiameter sekitar $200\text{\AA}$. Vesikuli ini terdapat di antara daerah cis dan RE, disebut **vesikuli peralihan**. Kelompok kedua terdiri atas vesikuli berukuran antara $400\text{--}800\text{\AA}$ terletak di tepi daerah trans, disebut **vesikuli sekretoris**. Dalam sistem ini, aparatus Golgi berperan sebagai pabrik pengemas. Di Golgi ini senyawa yang disintesis di RE diubah secara kimia.

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.

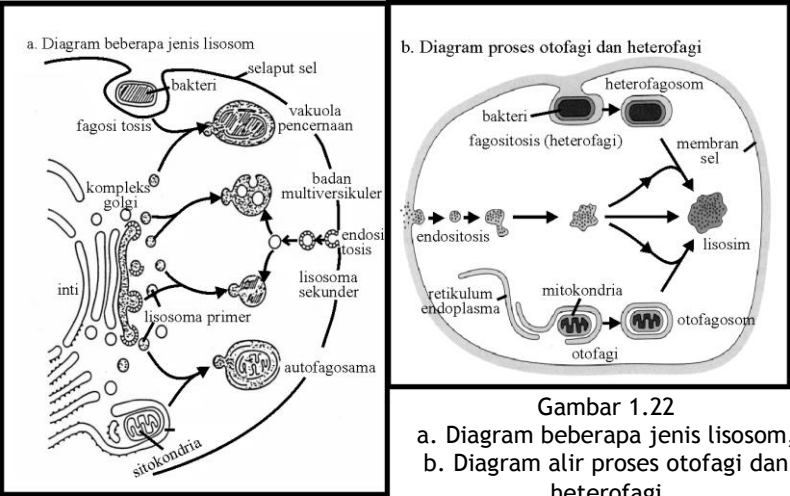
Pengamatan morfologis dan sitokimia *insitu*, serta kajian biokimiawi menunjukkan bahwa, aparatus Golgi terlibat dalam sejumlah besar kegiatan sel antara lain: perakitan protein dan lipida berkarbohidrat tinggi atau lebih dikenal dengan proses glikosilasi, pemulihan selaput sel, sekresi, dan sebagainya.

6) 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. Tabel 1.4. menunjukkan beberapa jenis enzim yang terdapat di lisosom. Lisosom dijumpai pada semua sel eukaryota 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. Lisosom primer merupakan vesikuli dengan diameter berkisar antara $250\text{\AA}$ –0,1 mikrometer. Termasuk ke dalam lisosom sekunder adalah vakuola pencernaan yang terbentuk dari peleburan fagosom atau endosom dengan lisosom primer (Gambar 1.22).

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 1.22
a. Diagram beberapa jenis lisosom,
b. Diagram alir proses otofagi dan heterofagi

Sumber: Albert *et.al.*, 1998

Tabel 1.4.
Beberapa jenis enzim lisosom

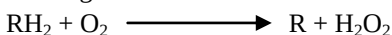
Jenis enzim	Substrat	Asal lisosom
Fosfatase - Fosfatase asam	sebagian besar ester mono-fosfat	Jaringan-jaringan hewan, tumbuhan maupun protista
- Fosfodiesterase asam	oligonukleotida dan diester fosfat	----- sda -----
Nuklease RNA ase DNA ase	RNA DNA	----- sda ----- ----- sda -----
Hidrolase β -galaktosidase α -glukosidase α -manosidase β -glukuronidase	galaktosida glikogen manosida polisakarida dan mukopolisakarida	----- sda ----- jaringan hewan jaringan hewan jaringan hewan
lisosome	dinding bakteri dan mukopolisakarida	ginjal

Jenis enzim	Substrat	Asal lisosom
hialuronidase	asam hialuronat, kondroitin	hati
arilsulfatase	sulfat sulfat-sulfat organik	hati, tumbuhan
Protease katepsin kalagenase peptidase	protein kolagen peptida	sel hewan sel tulang jaringan hewan, tumbuhan, dan protista
Enzim prombak lipida esterase	ester asam lemak	jaringan hewan, tumbuhan, dan protista
fosfolipase	fosfolipid	tumbuhan?

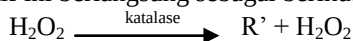
7) Peroksisom

Organel berbentuk kantung dengan diameter sekitar 0,5 mikrometer (mikron), bersalutkan selaput tunggal (Gambar 1.23). Lumen vesikuli berisi enzim-enzim oksidase, yang pada hepatosit terdiri atas oksidase D-asam amino, oksidase asam urat, dan katalase. Dengan pewarnaan 3,3'-diaminobenzidin (DAB) akan tampak peroksisom memberikan endapan pada elektron sehingga terlihat hitam pada mikrograf elektron.

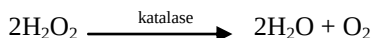
Pada sel tumbuhan, peroksisom selalu terdapat berdampingan dengan kloroplas. Di dalam peroksisom terdapat enzim yang menggunakan oksigen untuk menghilangkan atom hidrogen dari suatu substrat dengan reaksi oksidatif sebagai berikut.

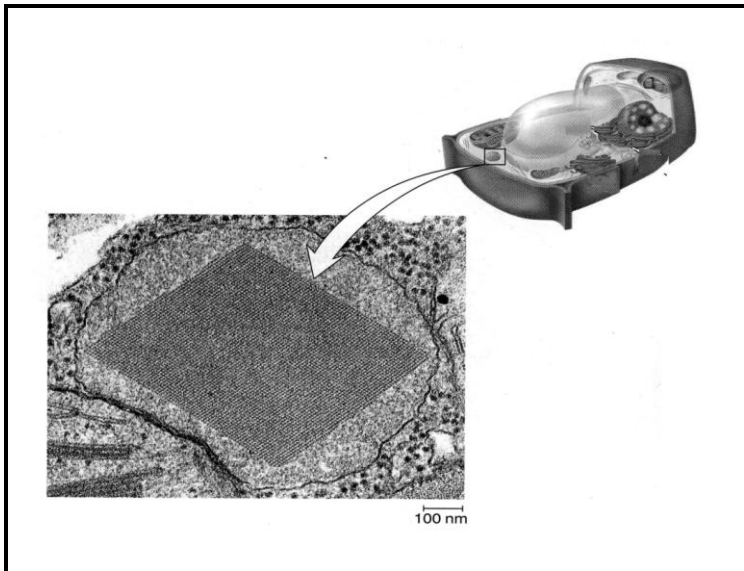


Katalase menggunakan H_2O_2 yang timbul untuk mengoksidasi berbagai jenis substrat, misalnya fenol, asam formiat, formaldehida, dan alkohol. Reaksi peroksidatif ini berlangsung sebagai berikut.



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





Gambar 1.23.
Peroksisom

Reaksi terakhir ini digunakan sebagai pelindung untuk mencegah tertimbunya 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. Begitu juga, protein luminal maupun membran peroksisom berasal dari sitosol.

Peroksisom merupakan organel yang sangat beragam. Kandungan enzimnya juga sangat bervariasi, walaupun peroksisom tersebut berada di dalam satu jenis sel. Selain itu peroksisom merupakan organel yang sangat adaptif. Contoh: sel ragi, yang tumbuh pada media bergula memiliki peroksisom kecil-kecil, sedangkan yang tumbuh di media bermetanol atau berasam lemak, memiliki peroksisom besar.

Pada tumbuhan, peroksisom memegang peran penting. 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

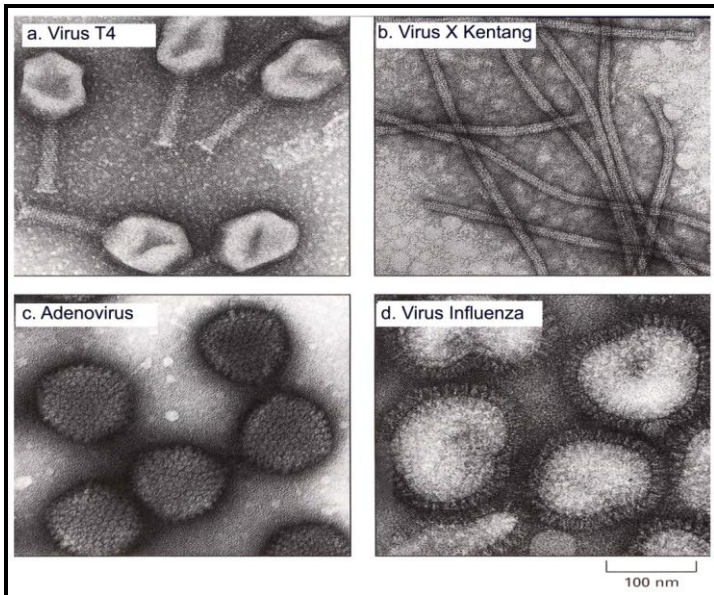
tersimpan di dalam biji menjadi gula yang diperlukan untuk tumbuh. Mengingat bahwa pengubahan lemak menjadi gula melibatkan serangkaian reaksi disebut **siklus glioksilat**, maka nama peroksisom diganti menjadi **glioksisom**. Siklus glioksilat tidak terjadi pada sel-sel hewan. Oleh sebab itu, hewan 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. Nama “glioksisom” lebih diutamakan daripada “peroksisom”, bila enzim daur glioksilat terdapat dalam badan mikro.

3. Virus

Virus, merupakan “perbatasan” antara makhluk hidup dan tidak hidup. Virus bukanlah sel seperti mikroba-mikroba yang lain. Walaupun virus tidak dapat digolongkan ke dalam sel, struktur virus akan dibahas juga dalam modul ini. Bila dibandingkan dengan bakteri, virus mempunyai ukuran lebih kecil, yaitu 20–30 nanometer (nm) dan mempunyai struktur lebih sederhana pula. Selain itu virus dapat menanamkan dirinya melalui materi genetik suatu sel dan mampu menimbulkan kerusakan parah sel tersebut. AIDS disebabkan oleh *virus human immunodeficiency* (HIV). Penyakit flu, herpes, polio, dan hepatitis merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus. Pada tumbuhan, virus menyebabkan penyakit *tobacco mosaic*. Tidak seperti sel, virus hanya memiliki satu jenis asam nukleat, yaitu RNA atau DNA yang bersalutan selubung protein. Karena virus miskin akan komponen-komponen yang penting untuk melakukan metabolisme dan reproduksi maka virus dapat “memperbanyak” diri hanya pada sel hidup.

Setelah virus memasuki suatu sel, baik tumbuhan, hewan, ataupun mikroorganisme, virus memiliki kemampuan untuk memaksa “mesin genetik” sel inang membuat banyak salinan virus tersebut. Bentuk virus terlihat pada Gambar 1.24.



Gambar 1.24.
Virus

B. KEANEKAAN DAN KERAGAMAN

Para ahli biologi sel menyebut sel tanpa dengan spesialisasinya, contoh sel hati, sel darah, dan lain sebagainya, seakan-akan semua sel itu seperti sama. Pada hal kenyataannya tidak demikian. Misalnya: bakteri, sel-sel tubuh anggrek, belalang dalam hal apa mereka sama dan dalam hal apa pula mereka berbeda?

1. Keanekaian

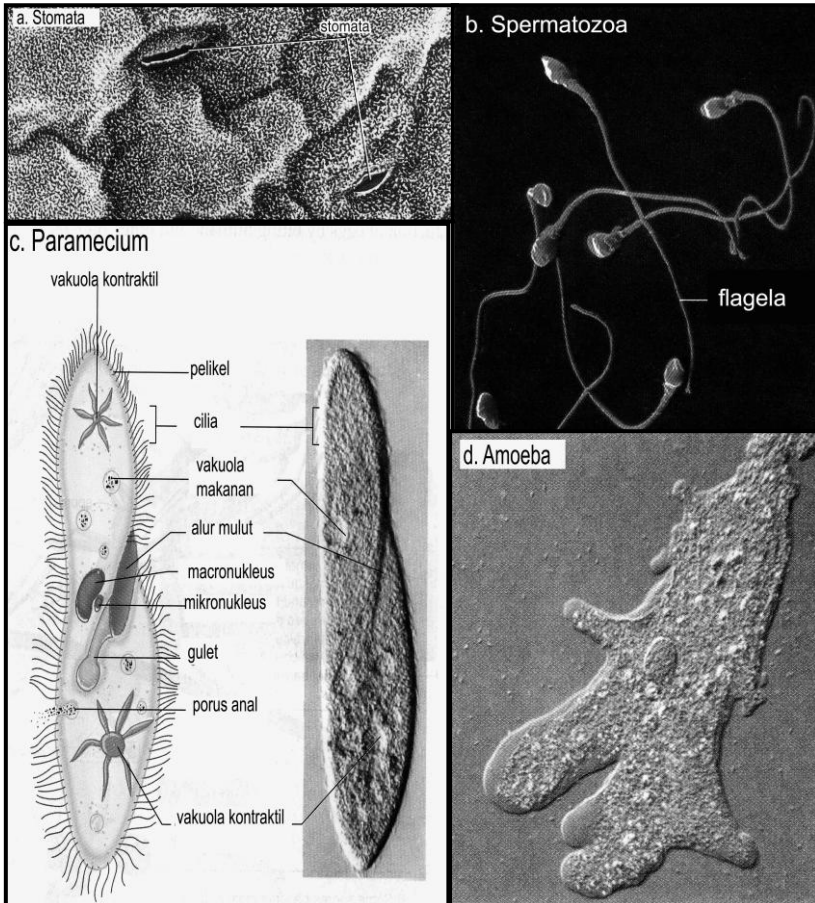
Sel memiliki keanekaian dalam kenampakan dan fungsinya. Variasi kenampakan sel dapat terlihat dari antara lain dari ukuran dan bentuknya.

a. Ukuran

Bakteri berukuran beberapa mikrometer, telur ayam yang juga sel tunggal berukuran panjang sekitar 6 cm dan diameter sekitar 4 cm.

b. *Bentuk*

Bentuk sel juga sangat beraneka ragam, misalnya: sel saraf dengan akson dan dendritnya, epidermis daun, spermatozoa dengan flagelanya dan masih banyak lagi. Selain itu, gerakan sel pun juga sangat bervariasi seperti *Paramecium* dengan menggunakan silianya bergerak seperti baling-baling, sedang *Macrophagus* bergerak dengan membentuk kaki semu (*pseudopodia*).



Gambar 1.25.
Berbagai macam bentuk sel

Beberapa sel hanya bersalutkan membran plasma, sedangkan beberapa yang lain membentuk pembungkus berupa lendir dan ada pula yang membuat dinding kaku, atau berada di substansi bermineral.

Sel juga membutuhkan zat-zat kimia yang sangat berbeda, demikian pula kegiatannya. Beberapa sel memerlukan oksigen untuk hidup, sedangkan untuk beberapa sel yang lain, oksigen merupakan racun. Selain itu, beberapa sel memerlukan bahan baku berupa udara, sinar matahari dan air; dan sel yang lain memerlukan campuran molekul-molekul yang dihasilkan sel lain. Beberapa sel berperan sebagai pabrik untuk menghasilkan zat-zat khusus, misalnya: hormon, pati, lateks atau pigmen. Ada pula sel yang berperan sebagai mesin, misalnya sel otot.

Beberapa spesialisasi begitu banyak mengubah sel sehingga tidak mirip lagi dengan sel induknya. Spesialisasi seperti itu tidak berguna bagi organisme bersel tunggal. Pada organisme multisel terdapat pembagian tugas antara sel-sel penyusun tubuhnya. Salah satu di antaranya adalah tugas menurunkan informasi genetik dari generasi ke generasi berikutnya. Sel pengemban tugas ini adalah sel telur (*ovum*) dan *spermatozoon*.

2. Keragaman

Walaupun terdapat begitu banyak variasi dalam tumbuhan maupun hewan, organisme ini tetap memiliki persamaan sehingga mereka dapat dikatakan hidup. Dengan adanya mikroskop, secara jelas mudah diketahui bahwa tumbuhan maupun hewan merupakan kumpulan sel-sel. Sel dapat berdiri sendiri sebagai organisme. Walaupun mudah mengetahui bahwa sesuatu itu hidup, tetap sulit untuk menyatakan bahwa yang hidup itu sama. Sudah cukup lama diketahui bahwa semua yang hidup itu dapat tumbuh, berkembang biak, mengubah tenaga dari bentuk yang satu ke bentuk lainnya, dan sebagainya. Di antara semua itu yang utama adalah bahwa materi pembawa sifat menurun yang disebut **gen** tersimpan di DNA. Materi tersebut tertulis sebagai kata-kata sandi (kode) sama, yang terdiri atas senyawa-senyawa kimia sama, disalin dan diterjemahkan dengan cara yang sama pula. DNA mengatur pembuatan molekul-molekul protein menjadi sangat bervariasi. Protein-protein tersebut ada yang berperan sebagai protein struktural, katalisator, motor, dan sebagainya. Di dalam sel terdapat 20 macam asam amino yang dapat dirangkai menjadi berbagai macam

protein. Urutan asam amino dalam rangkaian sangat bervariasi sehingga protein yang terbentuk pun berbeda-beda.

Sel berkembang biak dengan jalan menggandakan DNA lebih dulu sebelum membelah menjadi dua. Materi pembawa informasi genetik yang berada di DNA dibagikan sama rata ke dua sel anakan yang terbentuk. Namun demikian, pembuatan salinan tidak selalu sempurna, begitu pula perintah kadang-kadang tidak diteruskan semua. Hal ini mengakibatkan sel anakan tidak selalu sama dengan sel induk. Peristiwa ini dikenal dengan istilah **mutasi**. Perubahan dalam DNA dapat mengakibatkan turunan menjadi kurang baik, atau menjadi lebih baik, dalam arti kurang mampu menyesuaikan diri atau lebih mampu menyesuaikan diri. Selain itu, ada turunan yang tidak kurang baik dan tidak lebih baik. Turunan yang kurang baik akan punah, sedang yang lebih baik dapat berkembang sedangkan yang di tengah-tengah dapat hidup pada batas-batas tertentu.

Sel tubuh organisme multisel dapat sangat berbeda, misalnya sel darah, sel saraf, sel otot, dan sebagainya terlihat sangat berbeda. Sel-sel ini terdiferensiasi selama perkembangan embrional. Sel-sel tersebut berasal dari sebuah *zygote* yaitu sebuah sel telur yang dibuahi. Semua sel-sel ini memiliki kopi DNA identik. Dari satu sudut pandang sel-sel tersebut sangat berbeda, dari sudut pandang yang lain mereka sama. Hal ini disebabkan setiap sel melaksanakan perintah genetik mereka masing-masing. Sel-sel yang berbeda mengekspresikan gen-gen mereka berbeda-beda pula ditentukan oleh pengaruh lingkungan terhadap sel-sel induknya.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi yang telah diuraikan, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Berikan penjelasan mengenai struktur nukleoid dan bandingkan dengan struktur nukleus!
- 2) Berikan penjelasan mengenai perbedaan utama antara DNA prokaryota dengan DNA eukaryota!
- 3) Berikan penjelasan mengenai struktur dan fungsi utama mitokondria, retikulum endoplasma, aparatus Golgi, lisosom, dan peroksisom!
- 4) Berikan penjelasan mengenai mikrotubulus dan mikrofilamen!

- 5) Struktur seluler dan ekstraseluler apa yang terdapat hanya di tumbuhan? Berikan penjelasan mengenai fungsi masing-masing bahan tersebut di atas!
- 6) Pada organisme multisel, sel-sel tubuhnya sangat bervariasi struktur maupun fungsinya. Apa sebabnya? Jelaskan!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab latihan-latihan di atas, Anda dapat mempelajari kembali Kegiatan Belajar 2 mengenai: Struktur umum sel, keanekaan dan keragaman.



RANGKUMAN

Prokaryota, mencakup: bakteri dan mikoplasma, dengan bentuk: umumnya bola dan batang, dan memiliki matra (dimensi): berkisar antara 0,01 sampai 2 mikrometer.

Struktur morfologi prokaryota secara berurutan dari luar ke dalam meliputi dinding sel, selaput sel, yang berlipat-lipat di beberapa daerah. Lipatan itu disebut **mesosom**. Di dalam sitoplasma terdapat nukleoid dan ribosom.

Komponen-komponen penyusun sel prokaryota berperan, di antaranya pertama, dinding sel untuk pelindung; kedua, selaput sel untuk mengatur ke luar masuknya senyawa. Mesosom digunakan untuk mengatur pembelahan, tempat pertukaran gas, oleh karena itu disebut pula **kondroid**. Bagi bakteri fotosintetik, mesosom merupakan tempat terjadinya fotosintesis. Ribosom untuk sintesis protein. Terakhir, nukleoid merupakan kumpulan bahan informasi genetik.

Eukaryota, berbeda dengan kelompok prokaryota, sel-sel eukaryota memiliki nukleus sejati. Eukaryota, mencakup: sel tumbuhan dan sel hewan, dengan bentuk bervariasi, dan mempunyai ukuran berkisar antara 6 mikrometer sampai dengan 1 meter.

Struktur morfologi eukaryota secara berturutan dari luar ke dalam adalah membran sel, sitoplasma yang terdiri atas organel-organel dan sitosol. Organel terdiri atas nukleus, mitokondria, RE, aparatus Golgi, lisosom, dan peroksisom. Pada sel tumbuhan terdapat dinding sel dan kloroplas.

Struktur sel hewan dan sel tumbuhan sangat mirip. Perbedaannya terletak pada sel tumbuhan memiliki kloroplas, dinding sel serta vakuola besar, tetapi tidak memiliki sentriola.

Sel bervariasi berdasarkan bentuk, ukuran, struktur maupun fungsi. Sel-sel tersebut sama dalam hal materi pembawa informasi genetik.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Sel prokaryota tidak seperti halnya sel eukaryota memiliki
 - A. selaput plasma
 - B. sitoplasma
 - C. selubung nukleus
 - D. DNA
- 2) Bakteri mampu mengubah tenaga cahaya menjadi tenaga kimia memiliki molekul penyerap cahaya yang terdapat di
 - A. sitoplasma
 - B. selaput plasma
 - C. nukleoid
 - D. ribosom
- 3) Berbeda dari bakteri, DNA yang terdapat di sel eukaryota berbentuk dan merupakan
 - A. untaian rangkap sejajar linear
 - B. untaian tunggal sirkuler
 - C. untaian rangkap sirkuler
 - D. untaian rangkap linear berpilin
- 4) Sintesis protein sel eukaryota terjadi di
 - A. nukleus
 - B. sitoplasma saja
 - C. sitosol dan selaput RE
 - D. selaput RE saja
- 5) Sel hewan berbeda dari sel tumbuhan karena tidak memiliki
 - A. selaput plasma
 - B. mitokondria
 - C. kloroplas
 - D. mikrotubula

- 6) Penyebab adanya organel di dalam eukaryota adalah
 - A. ukuran sel
 - B. selaput plasma
 - C. kegiatan sel
 - D. perbedaan fungsi
- 7) Di dalam sitoplasma terdapat retikulum endoplasma
 - A. 100 buah
 - B. 125 buah
 - C. 10 buah
 - D. 1 buah
- 8) Selaput RE lebih stabil dan kental daripada selaput sel. Hal ini disebabkan oleh
 - A. perbandingan protein: lipid tinggi
 - B. perbandingan protein: lipid rendah
 - C. rantai asam lemak fosfolipid panjang
 - D. rantai asam lemak fosfolipid pendek
- 9) Enzim terbanyak yang terdapat di selaput RE adalah
 - A. nukleosida-fosfatase
 - B. glikosil-transferase
 - C. P450 reduktase
 - D. glukosa-6-fosfatase
- 10) Kompleks Golgi disebut kompleks karena merupakan kumpulan
 - A. senyawa kimia
 - B. sakulus
 - C. vesikulus
 - D. berbagai bentukan
- 11) Fungsi kompleks Golgi sangat beraneka, yang terpenting yaitu
 - A. proses glikosilasi
 - B. pembentukan enzim
 - C. sintesis protein
 - D. sintesis lipid
- 12) Lisosom dapat dikenali karena endapan hitam yang merupakan hasil reaksi antara enzim
 - A. glukosa-6-fosfatase dengan substrat
 - B. glikosil transferase dengan substrat

- C. fosfatase alkali dengan substrat
- D. fosfatase asam dengan substrat

- 13) Organel yang memiliki selaput rangkap dan krista adalah
- A. kloroplas
 - B. mitokondria
 - C. badan makro
 - D. glioksisom

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) D
- 2) A
- 3) B
- 4) C
- 5) D
- 6) A
- 7) B
- 8) B
- 9) D
- 10) C
- 11) A
- 12) C
- 13) A
- 14) B

Tes Formatif 2

- 1) C
- 2) B
- 3) D
- 4) C
- 5) C
- 6) B
- 7) D
- 8) A
- 9) D
- 10) D
- 11) A
- 12) D
- 13) B

Daftar Pustaka

- 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.
- Berkaloff, A.J. Bourguet, P. Favard, and J.C. Lacroie. (1997). *Biologic et Physiologie Cellulaires*. Paris: Herman.
- Darnel, J., Lodish, H., Baltimore, D. (1986). *Molecular Cell Biology*. New York: Sciencetific American Inc.
- Issoegianti R, S.M. (2002). *Biologi sel*. Jakarta: Penerbit UT, Depdiknas.
- Salomo, E.P., and Linda R. Berg. (1995). *The World of Biology*. Saunders College Pub.
- Smith, C.A. and E.J. World. (1993). *Cell Biology*. New York: Chapman & Hall.
- Sylvia S. Mader. (2004). *Biology*. McGraw Hill.
- Wolfe, S.L. (1993). *Molecular and Cellular, Biology*. Belmont California: Wodsworth Pub. Company.