

Pengantar Fisiologi Hewan

Dr. Maman Rumanta, M.Si.



PENDAHULUAN

Modul pertama ini bertujuan memberikan pengetahuan dasar mengenai proses fisiologi pada hewan. Dengan demikian, modul ini akan memberikan landasan pengetahuan bagi Anda untuk mempelajari modul-modul selanjutnya. Dalam modul ini, Anda akan memperoleh pengetahuan tentang pengertian fisiologi (ilmu faal), tujuan dan ruang lingkup fisiologi, sel sebagai unit dasar fisiologi makhluk hidup, struktur, dan fungsi fisiologi membran sel.

Ada dua kegiatan belajar dalam modul ini, yaitu:

Kegiatan Belajar 1: Pengantar Fisiologi Hewan.

Kegiatan Belajar 2: Membran Sel dan Fungsinya.

Setelah mempelajari modul ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan pengertian, tujuan dan ruang lingkup fisiologi, sel sebagai unit dasar fisiologi makhluk hidup, serta struktur membran sel dan fungsi fisiologisnya.

Secara lebih perinci, setelah mempelajari modul ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan

1. pengertian fisiologi;
2. tujuan dan ruang lingkup fisiologi;
3. struktur sel;
4. fungsi fisiologis sel sebagai unit dasar fisiologi makhluk hidup;
5. struktur membran sel;
6. fungsi fisiologis membran sel.

Agar semua kompetensi di atas dapat Anda capai, hendaknya Anda mempelajari materi tersebut dengan saksama dan mengerjakan setiap kegiatan, latihan, serta tes formatif yang tersedia. Catatlah konsep-konsep

penting yang perlu diingat dalam buku kerja Anda. Hal tersebut akan membantu Anda untuk mempersiapkan diri dalam menghadapi ujian di kemudian hari.

Selamat belajar.

KEGIATAN BELAJAR 1

Pengertian, Tujuan, Ruang Lingkup, serta Sel sebagai Unit Dasar Fisiologi Makhluk Hidup

Sebelum kita memulai membahas materi tersebut, marilah kita amati setiap makhluk hidup yang ada di sekitar kita, baik hewan maupun tumbuhan. Apakah mereka dapat bergerak, perlu makan, bereproduksi, dan mempunyai ciri makhluk hidup lainnya? Bagaimana semua itu dapat terjadi? Tentunya, pergerakan, reproduksi, dan lainnya tidak terjadi begitu saja, melainkan karena adanya proses-proses fisiologi yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup tersebut.

Untuk mengawali bahasan kita kali ini, mari kita bahas terlebih dahulu pengertian fisiologi.

A. PENGERTIAN FISILOGI

Seperti telah dikemukakan, fisiologi membahas fungsi dari organisme hidup. Bagaimana mereka makan, bernapas, dan bergerak? Segala yang mereka lakukan tidak lain dalam rangka mempertahankan hidupnya. Dengan kata lain, fisiologi membahas makanan, proses memakan, pencernaan makanan, respirasi, sirkulasi dan fungsi jantung, ekskresi, fungsi ginjal, otot dan pergerakan, dan sebagainya.

Fisiologi juga membahas bagaimana organisme hidup mengatasi pengaruh lingkungan tempat hidupnya, seperti bagaimana makhluk hidup tersebut mendapatkan cukup air, dan menghindari terlalu banyak air yang dapat menghambat kehidupannya. Menghindari suhu terlalu dingin atau terlalu panas yang dapat mematikan, bergerak menuju kehidupan yang baik, dan bagaimana ia mendapat informasi tentang lingkungan yang ada di sekitarnya. Fisiologi juga mempelajari bagaimana mereka berhubungan dan berinteraksi satu sama lain.

Kajian fisiologi tidak hanya membahas fungsi, melainkan juga membahas mengapa dan bagaimana makhluk hidup melakukan aktivitasnya. Untuk mengetahui bagaimana makhluk hidup tersebut melakukan fungsinya, kita juga perlu mengetahui struktur makhluk hidup tersebut serta proses fisika

dan kimia yang mendasarinya. Misalnya, untuk mengerti proses pernapasan, kita perlu mengetahui struktur alat pernapasan tersebut serta mengetahui sifat-sifat fisika dan kimia dari gas-gas pernapasan. Sejak dulu orang sudah mengetahui bahwa untuk bernapas diperlukan udara, tetapi arti sebenarnya dari pernapasan itu belum dipahami hingga para ahli kimia menemukan gas oksigen yang diperlukan oleh proses pernapasan. Untuk memahami bagaimana makhluk hidup melakukan fungsi fisiologisnya, pendekatan komparatif merupakan salah satu cara yang banyak membantu.

Dengan membandingkan proses-proses fisiologi dari berbagai jenis makhluk hidup dalam menghadapi berbagai pengaruh yang datang dari lingkungannya, pemahaman kita tentang arti fisiologi yang sesungguhnya dapat ditingkatkan. Dapat kita simpulkan bahwa fisiologi merupakan suatu bidang ilmu yang secara khusus mempelajari aktivitas-aktivitas fungsional yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup dalam rangka mempertahankan kelangsungan hidupnya.

B. TUJUAN DAN RUANG LINGKUP FISIOLOGI

Seperti telah dibahas bahwa fisiologi dapat didefinisikan sebagai suatu bidang ilmu yang secara khusus mempelajari pengetahuan tentang aktivitas-aktivitas fungsional yang terjadi pada makhluk hidup. Dengan demikian, tujuan fisiologi adalah menganalisis, memahami, dan memperoleh pengetahuan yang lebih mendalam tentang proses-proses yang terjadi pada tubuh makhluk hidup. Karena makhluk hidup yang ada di bumi ini sangat kompleks, mulai dari uniseluler sampai multiseluler dengan berbagai variasinya (tidak kurang dari 1 juta spesies), yaitu setiap spesies mempunyai kekhasan tersendiri. Keanekaragaman itu terjadi pula dalam berbagai tingkatan organisasinya, mulai dari tingkatan populasi, individu, organ, jaringan, sel, organel, dan tingkat atom. Semuanya mempunyai aktivitas tersendiri dengan metode tersendiri pula untuk dapat memahaminya. Dengan demikian, jelaslah bahwa fisiologi merupakan ilmu yang sangat kompleks. Pandangan dan metode fisiologi sendiri mengalami perubahan dari waktu ke waktu sesuai dengan perkembangan zaman.

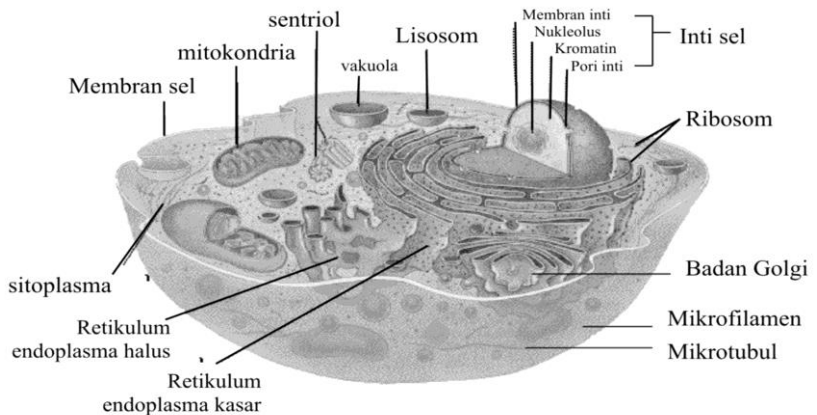
Kini, fisiologi berubah dengan cepat seperti kebanyakan ilmu lainnya seiring dengan cepatnya perkembangan teknologi dan peralatan yang dibuat manusia sejak tahun 1940-an. Dari kemajuan-kemajuan tersebut, telah dapat dilakukan isolasi, observasi, identifikasi, dan percobaan dengan

menggunakan sel tunggal, bagian-bagian dari sel, ataupun makromolekul. Dengan demikian, penjelasan mengenai dasar-dasar proses fisiologi saat ini jauh lebih maju dibanding sebelumnya. Kemajuan dalam analisis dan desain rekayasa dalam sistem komunikasi, komputer, dan alat-alat matematis lainnya telah meningkatkan kemampuan manusia untuk mempelajari sistem-sistem yang ada pada tubuh hewan.

C. SEL SEBAGAI UNIT DASAR FISILOGI MAKHLUK HIDUP

Masih ingatkah Anda mengenai teori sel? Salah satu teori sel mengungkapkan bahwa sel merupakan unit struktural dan fungsional dari makhluk hidup. Ini mengandung makna bahwa sel merupakan unit dasar kehidupan karena di dalamnya terdapat struktur dan fungsi-fungsi fisiologis yang mendasar bagi kehidupan, seperti respirasi, ekskresi, dan metabolisme.

Baiklah, kita akan membahas struktur sel. Sel makhluk hidup, khususnya hewan tingkat tinggi, mempunyai berbagai bentuk dan fungsi yang khas, seperti sel otot, saraf, darah, telur, sperma, sel batang, dan sel rambut. Walaupun mempunyai bentuk, tipe, dan fungsi yang berbeda, pada dasarnya sel hewan memiliki bagian-bagian yang sama, yaitu terdiri atas membran sel, sitoplasma beserta organel sel, dan inti sel. Untuk lebih jelasnya, silakan Anda cermati Gambar 1.1.



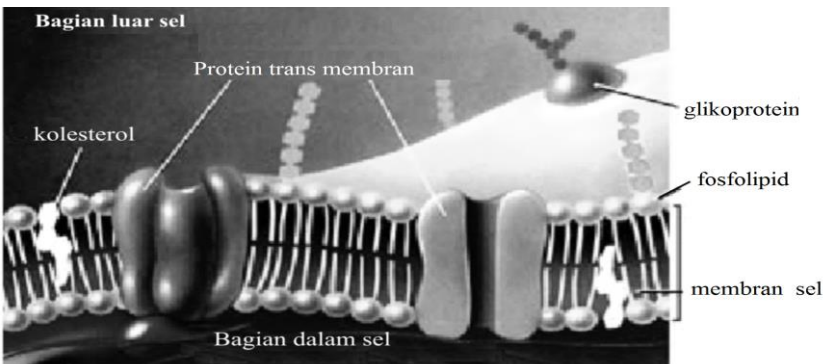
Gambar 1.1
Struktur Sel Hewan (Anonim, 2005)

1. Membran Sel

Membran sel secara umum dibangun oleh dua komponen utama, yaitu protein ($\pm 60\%$) dan lemak atau lipida ($\pm 40\%$). Membran sel berfungsi sebagai berikut.

- Barrier* selektif yang memisahkan sel dengan lingkungannya. Hal ini terjadi karena membran sel tersusun atas lipida bilayer dengan molekul protein globular yang tertanam di dalamnya. Membran sel memiliki ketebalan antara 6—10 nm (perhatikan Gambar 1.2).
- Transportasi trans membran merupakan proses transportasi zat dari dan ke luar sel melalui membran sel. Di bagian mana transportasi trans membran tersebut terjadi? Transportasi trans membran terjadi melalui pori-pori yang terbentuk di antara molekul protein integral (yang sering disebut protein trans membran) yang menembus lapisan ganda lipida (lipida bilayer) pembentuk membran sel. Sementara itu, zat yang larut dalam lemak dapat menembus membran sel melalui bagian lipid.
- Komunikasi lewat reseptor yang ada di permukaan membran sel. Protein integral yang muncul di permukaan membran sel, dan berikatan dengan karbohidrat dapat membentuk reseptor yang menerima pesan kimia dari sel lain, seperti kelenjar hormon.

Itulah beberapa fungsi membran sel secara umum. Untuk lebih memahami fungsi membran sel tersebut, ada baiknya Anda perhatikan struktur membran sel pada Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.2
Membran Sel (Anonim, 2005)

2. Sitoplasma

Sitoplasma terdiri atas plasma sel yang mengandung mikrotubul, mikrofilamen, dan filamen antara (sebagai sitoskeleton) dan organel sel. Coba Anda ingat kembali apa fungsi sitoskeleton bagi sel? Silakan Anda diskusikan dengan teman atau tutor Anda. Jika Anda sudah memperoleh jawabannya, silakan Anda tuangkan pada kolom berikut.

Fungsi sitoskeleton adalah
--

Bagus! Anda telah melakukannya dengan baik. Sekarang, mari kita bahas bersama. Sitoskeleton berperan utama dalam memelihara dan memperkokoh bentuk sel serta pergerakan organel dan komponen yang terdapat di dalam sel. Dengan demikian, peran sitoskeleton sangat penting bagi sel. Tanpa adanya sitoskeleton, variasi bentuk sel dan proses pergerakan komponen-komponen dalam sel tidak dapat berlangsung dengan baik.

Secara lebih detail, fungsi dari komponen-komponen sitoskeleton sebagai berikut.

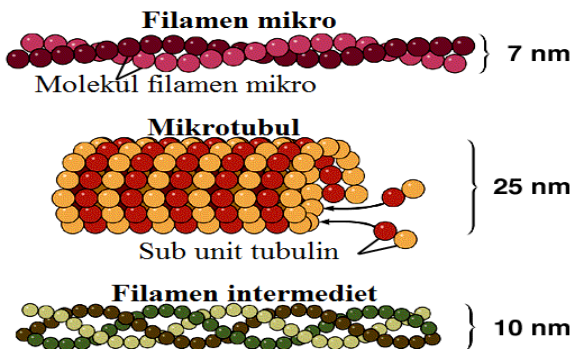
- a. Mikrotubul berfungsi untuk
 - 1) membantu pembelahan sel dengan mengendalikan gerakan kromosom dari daerah ekuator ke kutub masing-masing pada anafase dalam pembelahan sel;
 - 2) komponen penyusun sentriol, flagel, dan silia;
 - 3) membantu pergerakan komponen-komponen sel; serta
 - 4) mempertahankan bentuk sel dan sebagai “rangka sel”.
- b. Mikrofilamen berfungsi untuk
 - 1) motilitas dan perubahan bentuk sel serta sitokinesis;
 - 2) membantu pergerakan seperti pada proses kontraksi sel-sel otot dan pembelahan sel;
 - 3) mendukung proses pergerakan sel, seperti mikrovili.

- c. Filamen intermediet berfungsi penting untuk
- 1) penyokong sel dan inti sel,
 - 2) menahan tekanan dari luar dengan membentuk jejaring pada sitoplasma.

Itulah fungsi dari setiap komponen sitoskeleton. Bagaimana struktur dari setiap komponen sitoskeleton tersebut? Mari kita bahas lebih lanjut.

- 1) **Mikrotubul** merupakan rantai protein tubulin yang berbentuk bola-bola molekul yang tersusun seperti spiral berlubang. Diameter mikrotubul lebih kurang 25 nm.
- 2) **Filamen mikro** tersusun atas protein aktin rantai ganda yang saling bertaut dan tipis. Filamen mikro berdiameter lebih kurang 7 nm.
- 3) **Filamen intermediet** tersusun atas rantai molekul protein fibrosa (seperti vimentin) yang berbentuk untaian yang saling melilit dan padat. Filamen ini berdiameter lebih kurang 10 nm. Disebut filamen intermediet atau filamen antara karena berukuran di antara ukuran mikrotubulus dan mikrofilamen.

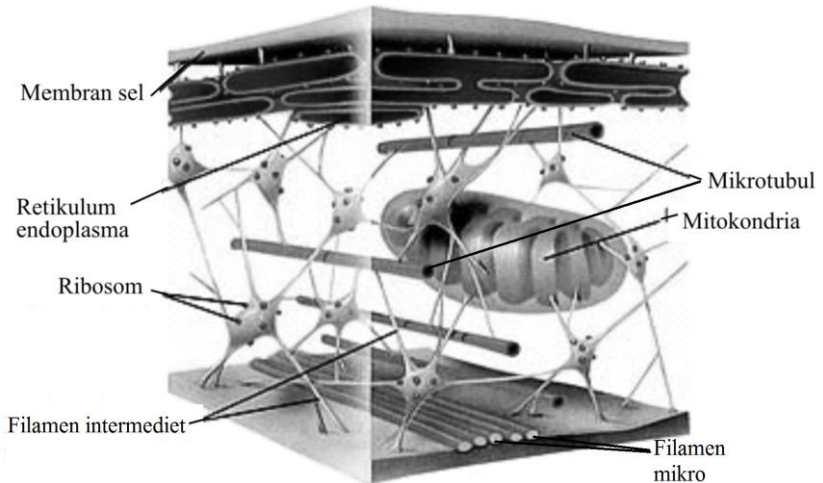
Untuk lebih memahami struktur dari komponen-komponen sitoskeleton tersebut, silakan Anda perhatikan Gambar 1.3 berikut.



Gambar 1.3

Tiga Jenis Filamen Sitoskeleton (Peavler, 2014)

Itulah fungsi utama dan struktur komponen-komponen sitoskeleton. Di mana komponen-komponen sitoskeleton itu berada? Untuk lebih memahaminya, silakan Anda cermati Gambar 1.4 berikut.



Gambar 1.4
Sitoskeleton
(Modifikasi Anonim, 2005, dan Hammaker, 2010)

Pada Gambar 1.4, tampak jelas bagaimana jalinan filamen mikro, filamen intermediet, dan mikrotubul dalam sitoplasma sel. Filamen intermediet tampak menjadi kerangka utama sel yang menahan agar organel-organel sel tetap pada posisinya dan menahan tekanan dari luar sel. Mikrotubul tampak lebih besar dan berperan, dalam berbagai pergerakan komponen sel, seperti membantu mengendalikan pergerakan kromosom. Sementara itu, filamen mikro tampak di bagian dasar sel yang berperan antara lain dalam kontraksi sel-sel otot dan kontraksi sel pada saat terjadi sitokinesis.

3. Organel Sel

Organel sel hewan terdiri atas retikulum endoplasma, badan golgi, lisosom, mitokondria, ribosom, flagella, silia, badan mikro, dan vakuola. Untuk lebih jelasnya, mari kita bahas bersama.

a. *Retikulum endoplasma (RE)*

Retikulum endoplasma terdiri atas dua jenis, yaitu RE-kasar (REK) yang permukaannya banyak mengandung ribosom dan RE-halus (REH) yang permukaannya tidak mengandung ribosom. Karena banyak mengandung ribosom, REK berperan penting dalam sintesis protein serta mengumpulkan

dan mengangkut protein yang dihasilkan oleh ribosom. Berbeda dengan REK, REH berperan dalam sintesis lipida, glikogen, dan senyawa steroid.

b. Badan golgi

Badan golgi ini terbentuk dari sekumpulan kantong-kantong pipih (sisterna), tubulus, dan vesikula. Sisterna dari badan golgi membentuk pembuluh-pembuluh halus (tubulus). Dari tubulus-tubulus tersebut, dilepaskan kantong-kantong kecil (vesikula) yang berisi bahan yang diperlukan sel, seperti enzim dan pembentuk membran sel. Fungsi badan golgi, antara lain dalam sintesis fosfolipid, membungkus zat-zat yang akan ditransfer (dalam vesikula), membentuk lisosom, dan membentuk akrosom pada spermatozoa.

c. Lisosom

Lisosom merupakan organel berbentuk bulat yang berisi enzim-enzim yang dapat mencerna protein, karbohidrat, lemak, dan asam nukleat. Oleh karena itulah, lisosom berperan dalam proses pencernaan intrasel, yaitu mencerna zat-zat yang terfagosit, seperti bakteri oleh sel-sel makrofag. Dengan adanya organel tersebut, sel-sel yang rusak dapat hancur dengan sendirinya. Karena itulah, organel ini sering disebut kantong bunuh diri (*suicide bags*).

d. Mitokondria

Mitokondria (tunggal mitokondrion) berbentuk batang pendek atau bundar. Organel ini bermembran ganda, yaitu membran luar dan membran dalam. Membran dalam memperluas permukaannya dengan cara melipat-lipat membentuk krista. Pada krista ini, terdapat enzim-enzim yang berperan dalam sintesis ATP. Fungsi utama mitokondria adalah tempat terjadinya proses respirasi sel yang berguna dalam menghasilkan energi (ATP).

e. Ribosom

Ribosom tersusun atas r-RNA dan protein. Organel ini dapat tersebar dalam sitoplasma secara acak atau terikat pada permukaan REK. Pada bakteri, organel ini tersebar bebas di dalam sitoplasma, sedangkan pada sel eukariotik umumnya terdapat pada REK. Apa fungsi ribosom ini? Tentunya, Anda sudah mengetahuinya, bukan? Ya, fungsi ribosom adalah tempat terjadinya sintesis protein. Pada saat terjadinya sintesis protein, organel ini

sering kali membentuk suatu rantai yang disebut polisom. Bagaimana sintesis protein ini terjadi? Materi ini akan dibahas tuntas pada mata kuliah biokimia.

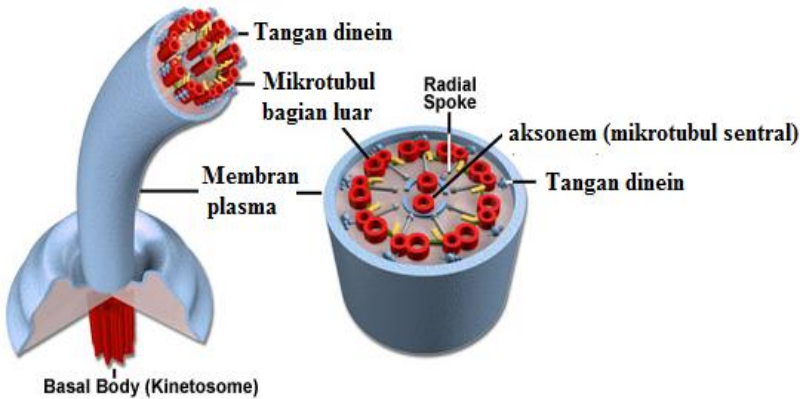
f. Sentriol

Sentriol merupakan pasangan struktur yang berbentuk silindris dan berlokasi di dekat inti sel. Organel ini terdapat pada sel hewan. Sentriol berfungsi untuk pembelahan sel. Apa yang dilakukan sentriol dalam proses pembelahan sel? Tentunya, dalam proses pergerakan kromosom, bukan? Ya, sentriol ini akan membentuk benang-benang gelendong yang berfungsi dalam menggerakkan kromatid menuju kutub-kutub yang berlawanan sehingga materi inti akan terbagi secara merata kepada sel-sel anak hasil pembelahan.

g. Silia dan flagella

Silia merupakan kumpulan-kumpulan sitoplasma sel yang berbentuk rambut. Secara struktur, silia dibangun oleh sekumpulan mikrotubul yang membentuk bangunan seperti rambut (Gambar 1.5). Karena umumnya silia dapat bergerak, silia sering disebut rambut getar. Anda ingat silia pada *paramecium*? Ya, itulah silia yang merupakan alat gerak pada hewan tersebut. Pada hewan tinggi, bentuk sel-sel yang bersilia sering dijumpai pada selaput luar trakea.

Flagella merupakan bangunan yang keluar dari membran sel dengan ukuran yang relatif panjang dan biasanya hanya satu buah. Secara struktur, flagella juga dibangun oleh sekumpulan mikrotubul yang membentuk bangunan seperti cambuk. Flagella umumnya dijumpai pada hewan dari kelas Flagellata yang berfungsi sebagai alat gerak. Pada hewan tinggi, termasuk pada manusia, flagella dijumpai pada sperma. Jadi, ekor sperma merupakan salah satu jenis flagella.



Gambar 1.5
Struktur Silia dan Flagella (Davidson, 2004)

h. Villi

Villi merupakan tonjolan membran sel yang berfungsi meningkatkan luas permukaan sel yang bersangkutan. Keadaan ini sangat penting, misalnya dalam usus halus yang dapat memperbanyak kontak dengan zat-zat yang akan diserap ke dalam sel.

i. Badan mikro

Badan mikro berbentuk oval, dibatasi oleh membran, dan berdiameter lebih kurang 0,3—1,5 mikrometer. Terdapat dua jenis badan mikro yang telah kita ketahui, yaitu glioksisom (pada tumbuhan) dan peroksisom (pada hewan dan tumbuhan). Pada sel-sel hewan, oksidasi asam amino dan asam urat menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang sangat beracun bagi sel. Oleh karena itu, peroksisom menghasilkan enzim katalase yang dapat menguraikan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

j. Vakuola

Vakuola merupakan rongga yang terdapat di dalam sel. Pada sel hewan, vakuola ini jauh lebih kecil dibandingkan vakuola yang terdapat pada sel tumbuhan. Pada protozoa, dikenal berbagai jenis vakuola, antara lain pinosom, fagosom, dan vakuola kontraktile. Pinosom merupakan vakuola yang terbentuk dari invaginasi membran sel sehingga cairan yang ada di sekitarnya tertelan masuk ke dalam sel tersebut. Fagosom terbentuk dari invaginasi membran sel yang cukup besar sehingga dapat menelan zat-zat

makanan atau organisme yang ada di lingkungannya. Vakuola kontraktil pada Protozoa berfungsi mengatur cairan yang ada di dalam sel sehingga hewan tersebut tidak binasa karena masuknya air dari lingkungan tempat hidupnya.

4. Inti Sel

Inti sel terbentuk dari membran inti dan materi inti (kromatin dan nukleolus). Membran inti bersifat ganda dan mengandung pori-pori inti. Nah, coba Anda ingat kembali apa fungsi dari inti sel? Silakan Anda diskusikan dengan teman atau tutor Anda. Tulislah hasilnya pada kolom berikut!

Fungsi inti sel:

Bagus! Anda telah melakukannya dengan baik. Dalam uraian ini, hanya akan dibahas garis besar dari fungsi inti sel, yaitu sebagai pengontrol sintesis protein yang penting untuk mengatur fungsi-fungsi fisiologis lainnya. Inti sel ini mengandung materi genetika yang sangat penting dan sentral bagi kehidupan sel. Semua fenotip dari makhluk hidup diatur oleh gen-gen dalam kromosom yang terdapat dalam inti sel. Dengan demikian, inti sel berperan sangat sentral dalam fisiologi makhluk hidup.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan apa yang Anda ketahui tentang fisiologi dan ruang lingkupnya!
- 2) Jelaskan struktur sel hewan secara garis besar!
- 3) Jelaskan fungsi mitokondria dan hubungannya dengan proses fisiologi pada vertebrata!
- 4) Jelaskan bagian sel yang sangat penting dalam mengontrol seluruh aktivitas sel guna mempertahankan kelangsungan hidupnya!
- 5) Jelaskan organel sel yang mendasari proses pencernaan makanan pada organisme multiseluler!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk menjawab pengertian fisiologi, silakan Anda kaji kembali mengenai pengertian fisiologi di bagian awal kegiatan belajar ini. Untuk menjawab ruang lingkup fisiologi, silakan Anda kaji kembali apa yang dibahas dalam fisiologi. Dengan demikian, Anda dapat menjawabnya dengan benar.
- 2) Struktur sel secara garis besar tersusun atas tiga komponen utama. Jika Anda belum dapat menjawabnya, coba Anda kaji kembali tentang struktur sel. Dengan demikian, kami yakin Anda dapat menjawab pertanyaan tersebut dengan mudah dan benar.
- 3) Apa yang Anda ketahui tentang fungsi mitokondria? Jika Anda belum paham, cobalah kaji kembali tentang fungsi fisiologis mitokondria. Sudah dapat jawabannya? Ya, benar, mitokondria berperan dalam respirasi sel. Jadi, apa hubungannya dengan proses pernapasan eksternal pada vertebrata? Dengan demikian, kami yakin, Anda akan dapat menjawabnya dengan baik dan benar.
- 4) Jika Anda masih kesulitan dalam menjawabnya, silakan Anda kaji kembali materi tentang struktur sel. Komponen sel mana yang mengode pembentukan protein pembentuk enzim, hormon, fenotip, dan sebagainya? Kami yakin Anda dengan mudah dapat menjawabnya.
- 5) Cobalah Anda kaji kembali materi tentang organel sel dan fungsinya. Dengan cara seperti itu, Anda dengan mudah mendapatkan jawaban atas pertanyaan tersebut.

**RANGKUMAN**

Fisiologi merupakan bidang ilmu yang secara khusus mempelajari berbagai aktivitas fungsional yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup guna mempertahankan kelangsungan hidupnya. Dengan demikian, ruang lingkup fisiologi sangat kompleks karena mencakup segala aktivitas fungsional makhluk hidup dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya, seperti respirasi, metabolisme, pencernaan, regulasi, koordinasi, reproduksi, adaptasi, evolusi, dan sebagainya.

Sel merupakan unit dasar fisiologi makhluk hidup karena di dalam sel terjadi proses-proses fisiologi yang mendasari proses-proses fisiologi makhluk hidup secara keseluruhan. Secara struktural, sel tersusun atas tiga komponen utama, yaitu membran sel, sitoplasma beserta organel sel, dan inti sel.

**TES FORMATIF 1** _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Fisiologi merupakan bidang ilmu yang mempelajari
 - A. proses reproduksi makhluk hidup
 - B. proses metabolisme sel
 - C. aktivitas fungsional yang terjadi pada tubuh makhluk hidup
 - D. struktur tubuh makhluk hidup secara utuh

- 2) Cakupan bahasan berikut termasuk dalam ruang lingkup fisiologi, *kecuali*
 - A. reproduksi makhluk hidup
 - B. metabolisme sel
 - C. reaksi imunitas
 - D. klasifikasi hewan

- 3) Bagian sel yang berperan penting dalam transportasi zat-zat makanan keluar masuknya sel adalah
 - A. membran sel
 - B. sitoplasma
 - C. organel sel
 - D. inti sel

- 4) Organel sel yang mendasari proses respirasi makhluk hidup adalah
 - A. ribosom
 - B. mitokondria
 - C. badan golgi
 - D. lisosom

- 5) Organel sel yang mendasari proses pencernaan makanan pada hewan adalah
 - A. ribosom
 - B. mitokondria
 - C. badan golgi
 - D. lisosom

- 6) Peran sitoskeleton bagi sel antara lain untuk
 - A. memberi bentuk khas pada sel
 - B. membentuk membran sel
 - C. memperlancar proses difusi melalui membran sel
 - D. melakukan pencernaan intrasel

- 7) Ekor spermatozoa manusia merupakan salah satu contoh nyata dari
- A. silia
 - B. silium
 - C. flagella
 - D. flagellum
- 8) Alat gerak pada *Paramecium caudatum* merupakan salah satu contoh dari
- A. silia
 - B. silium
 - C. flagella
 - D. flagellum
- 9) Peroxisom merupakan sejenis badan mikro yang berperan dalam
- A. menghasilkan hidrogen peroksida
 - B. menghasilkan enzim katalase
 - C. mencerna makanan secara intrasel
 - D. menghancurkan asam urat yang berbahaya bagi tubuh
- 10) Jenis vakuola pada protozoa yang berfungsi mengatur cairan tubuhnya adalah
- A. pinosom
 - B. fagosom
 - C. vakuola kontraktil
 - D. vakuola makanan

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

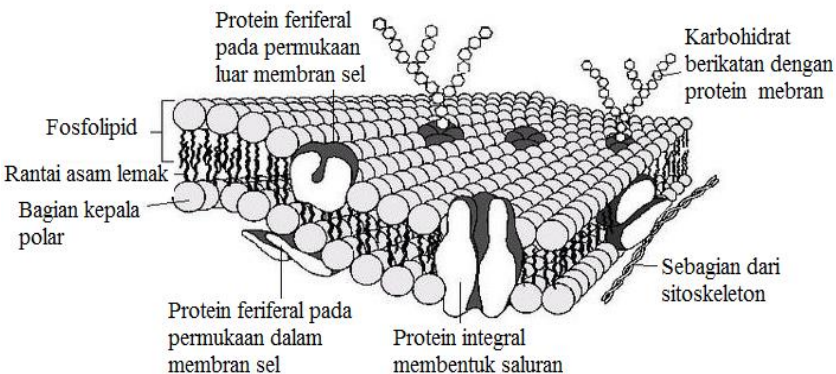
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Membran Sel dan Fungsinya

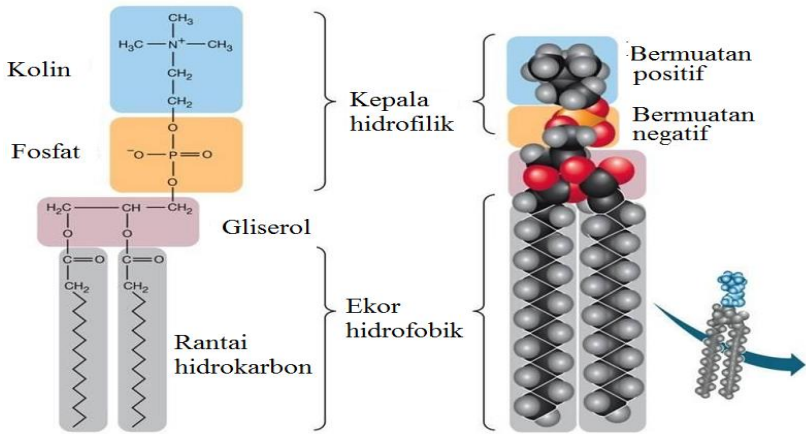
A. STRUKTUR MEMBRAN SEL

Membran sel berperan sebagai *barrier* terhadap kebanyakan molekul yang ada di sekitar sel yang bersangkutan. Membran sel merupakan selaput yang semipermeabel yang memisahkan lingkungan sel bagian dalam dan bagian luar. Seperti telah kita bahas sebelumnya, membran sel tersusun atas dua komponen utama, yaitu protein dan lipida berlapis ganda (*lipida bilayer*). Untuk lebih jelasnya, coba Anda perhatikan Gambar 1.6 berikut.



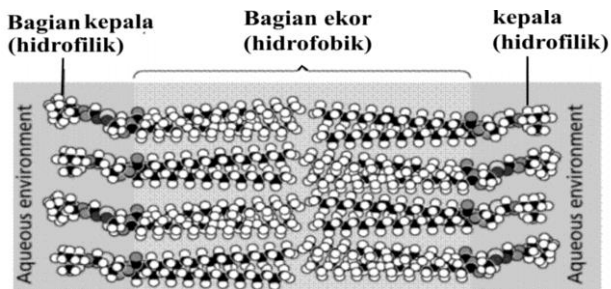
Gambar 1.6
Struktur Membran Sel (MHS, 2014)

Pada Gambar 1.6, tampak jelas bahwa lipida bilayer terutama dibentuk oleh fosfolipid yang tersusun atas dua bagian utama, yaitu bagian kepala (bersifat hidrofilik) dan ekor (hidrofobik). Terdapat dua macam fosfolipid, yaitu fosfogliserida dan sfingomielin. Fosfogliserida banyak tersebar di setiap sel jaringan tubuh, sedangkan spingomielin banyak dijumpai pada otak dan sel saraf. Fosfogliserida terdiri atas beberapa jenis, di antaranya asam fosfatidat, fosfatidilkolin, fosfatidiletanolamin, fosfatidilinositol, dan fosfatidilserin. Gambar 1.7 berikut memperlihatkan salah satu struktur fosfolipid yang banyak dijumpai pada membran sel, yaitu fosfatidilkolin.



Gambar 1.7
Struktur Fosfolipid (Fosfatidilkolin) (Khe, 2011)

Pada Gambar 1.7, tampak bahwa fosfolipid penyusun membran sel terbangun atas bagian kepala yang pada fosfatidilkolin berupa senyawa fosfat dan kolin (dalam beberapa literatur, gliserol termasuk bagian kepala) yang bersifat hidrofilik. Sementara itu, bagian ekor terdiri atas molekul asam lemak yang bersifat hidrofobik. Oleh karena itu, bagian kepala fosfolipid berada bebas di lingkungan berair, sedangkan bagian ekor tersembunyi di tengah-tengah lapisan lipida bilayer tersebut. Untuk melihat gambaran yang jelas mengenai lipida bilayer tersebut, silakan Anda perhatikan Gambar 1.8.



Gambar 1.8
Susunan Fosfolipid pada Membran (Farabee, 2001)

Pada Gambar 1.8, terlihat jelas bagaimana struktur lipida bilayer dan posisi lipida yang masing-masing bagian kepalanya terbuka di lingkungan berair (*aqueus environment*).

Selain fosfolipid, pada membran sel, terdapat komponen penyusun penting lainnya, yaitu kolesterol. Senyawa kolesterol terletak di daerah hidrofobik membran sel. Protein merupakan komponen penting pada membran sel yang tersuspensi di dalam lapisan dalam (yang bersifat hidrofobik) meskipun daerah hidrofobik dari protein tersebut dapat berada di bagian luar membran sel. Protein tersebut sering disebut protein integral yang sering membentuk pori pada membran sel. Protein membran dapat berfungsi sebagai tempat perlekatan (*binding site*) untuk zat-zat yang akan diangkut ke dalam sel melalui transportasi pasif dan transportasi aktif.

Permukaan membran luar sel cenderung kaya akan glikolipid (molekul lipida yang berikatan dengan karbohidrat). Bagian ekor (bersifat hidrofobik) tertanam dalam daerah hidrofobik membran sel, sedangkan bagian kepala (yang bersifat hidrofilik) dari molekul tersebut menyembul ke luar sel. Karbohidrat juga dapat berikatan dengan protein integral yang berfungsi sebagai reseptor yang sangat penting dalam pengenalan materi asing bagi sel yang bersangkutan. Kebanyakan hewan memiliki sistem imun sehingga fungsi pengenalan tersebut sangat penting sebagai dasar reaksi imunitas, alergi, dan autoimun. Pada proses transplantasi organ tubuh, perlu dilakukan penekanan terhadap fungsi reseptor yang ada pada sel-sel jaringan penerima. Dengan demikian, reaksi imun yang dapat melawan organ transplantasi tersebut dapat dicegah untuk menghindari terjadinya kegagalan proses transplantasi organ tersebut.

B. FUNGSI MEMBRAN SEL

Fungsi membran sel secara umum dapat diperinci sebagai berikut:

1. kompartemenisasi,
2. interaksi antarsel,
3. perubahan energi,
4. transfer informasi,
5. penyedia enzim,
6. tempat transportasi zat dari dan ke dalam sel (trans membran).

Untuk lebih jelasnya, mari kita ikuti terus bahasan berikut.

1. Kompartemenisasi

Membran sel atau sering disebut membran plasma merupakan suatu selaput yang membatasi suatu ruangan (kompartemen). Dengan kata lain, membran tersebut menyelubungi seluruh isi sel. Selain membran sel, terdapat pula membran yang membatasi nukleus dan ruang-ruang (organel) di dalam sitoplasma. Ibarat ruang-ruang yang ada di dalam gedung, ruang-ruang tersebut perlu dibatasi oleh partisi atau tembok sehingga kegiatan di masing-masing ruangan dapat berlangsung sendiri-sendiri, tanpa saling mengganggu antara kegiatan di satu ruangan dan ruangan yang lain. Di dalam sel, kompartemenisasi mutlak diperlukan karena ruang-ruang di dalam sel berisi cairan dan adanya percampuran cairan dari ruang-ruang tersebut dapat menyebabkan kehancuran bagi sel yang bersangkutan.

2. Interaksi Antarsel

Pada organisme multiseluler, membran sel berperan penting dalam proses interaksi antara sel satu dan yang lainnya. Organ tubuh manusia pada umumnya tersusun atas berbagai jenis sel yang harus bekerja sama untuk melaksanakan fungsi keseluruhan. Membran sel berperan dalam memfasilitasi sel untuk saling mengenal, kemudian saling bertukar substansi dan informasi.

Pada membran sel, terdapat reseptor yang berperan penting dalam komunikasi antarsel. Misalnya, reseptor khusus untuk menerima pesan hormonal dari kelenjar endokrin tertentu. Seperti kita ketahui, sel-sel kelenjar endokrin berperan menghasilkan hormon tertentu. Hormon tersebut akan dilepaskan ke dalam aliran darah dan reseptor yang terdapat pada sel target dapat menerima pesan dari hormon tersebut untuk melaksanakan fungsinya. Misalnya, *luteinizing hormone* (LH) yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis dapat merangsang sel leydig untuk memproduksi testosteron karena pada permukaan sel leydig tersebut terdapat reseptor penerima LH. Hal serupa terjadi pada sel sertoli. Sel tersebut memiliki reseptor khusus untuk FSH. Dengan demikian, sel sertoli terpicu untuk membentuk inhibin dan *androgen binding protein* (ABP). Ternyata, reseptor tersebut terdapat pada sel-sel yang menjadi sel target bagi hormon tertentu. Dari kedua contoh tersebut, terbukti bahwa LH tidak memengaruhi kerja sel sertoli karena sel sertoli tidak memiliki reseptor untuk hormon tersebut. Sebaliknya, sel leydig tidak

dipengaruhi oleh FSH karena sel Leydig tidak memiliki reseptor untuk FSH tersebut.

Itulah fungsi dan keunikan reseptor pada membran sel yang memungkinkan terjadinya komunikasi antarsel. Keunikan tersebut menyebabkan terjadinya pembagian fungsi sel dan organ yang spesifik.

3. Perubahan Energi

Perubahan satu bentuk energi menjadi bentuk energi lain merupakan hal yang sangat penting dalam proses hidup dan membran sel sangat berperan dalam proses ini. Hal yang sangat mendasar bagi semua kehidupan adalah kemampuan sel tumbuhan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia yang terkandung dalam karbohidrat. Sel hewan ataupun tumbuhan mampu mengubah energi kimia dari karbohidrat tersebut menjadi ATP atau senyawa lain berenergi tinggi. Proses pengikatan energi ini terjadi dalam membran dari mitokondria dan kloroplas. Energi cahaya, panas, dan energi mekanik dapat diubah oleh reseptor pada sistem saraf menjadi impuls saraf yang merupakan cara komunikasi efektif dalam sistem saraf tersebut. Meskipun mekanisme perubahan tersebut belum diketahui secara pasti, membran sel berperan penting dalam proses tersebut.

4. Transfer Informasi

Membran mempunyai peranan mentransfer informasi dari satu sel ke sel lain. Di dalam membran, terdapat reseptor yang mampu berkombinasi dengan molekul tertentu dengan bentuk yang sesuai, seperti yang selalu berkombinasi dengan suatu substrat yang sesuai. Sel yang berbeda mempunyai membran yang memiliki reseptor yang juga berbeda sehingga bermacam-macam reseptor akan berkombinasi dengan bermacam-macam **ligand**.

Ligand adalah molekul atau ion yang dapat berkombinasi dengan reseptor yang terdapat dalam membran. **Ligand** yang paling banyak dipelajari adalah hormon, faktor tumbuh, dan neurotransmitter. Semuanya terikat pada membran sel tanpa menembusnya. Interaksi antara reseptor yang terdapat di membran sel dan **ligand** yang terdapat di luar sel dapat menimbulkan stimulus baru yang terlibat dalam pengaturan bermacam-macam kejadian dalam sel. Contohnya, sinyal yang ditimbulkan oleh membran dapat bersifat pemberitahuan untuk membelah atau melakukan

diferensiasi atau pada bakteri pemberitahuan itu agar bergerak mendekati makanan.

5. Penyediaan Enzim

Banyak enzim yang merupakan bagian dari membran. Sebagai contoh, enzim sitokrom yang terlibat dalam respirasi sel merupakan bagian dari membran mitokondria. Enzim monoamin oksidase yang menyebabkan katekolamin tidak aktif terdapat di bagian luar membran mitokondria. Sejumlah protein dan glikoprotein banyak terdapat dalam membran sel; bertindak sebagai reseptor dari hormon dan benda penolak atau terlibat dalam pengangkutan substansi ke dalam sel. Ditematkannya enzim di dalam membran sel mempunyai beberapa tujuan. Pada proses fosforilasi oksidatif yang terjadi di mitokondria, transportasi elektron yang paling efisien tercapai apabila enzim berada saling berdekatan. Bagian dalam membran menyediakan bantuan fisik dan orientasi yang diperlukan. Protein membran yang bertindak sebagai tempat pengikat bagi bermacam-macam ion, asam amino, dan gula dikenal sebagai *carrier* dalam proses transportasi aktif.

Sistem enzim dalam membran pada umumnya disebut adenilsiklase yang terdapat pada hampir semua jaringan mamalia, kecuali sel darah merah. Aktivasi adenilsiklase menimbulkan perubahan ATP menjadi adenosin monofosfat siklik (cAMP) di dalam sel. Meningkatnya jumlah cAMP di dalam sel selanjutnya membawa pengaruh terhadap respons fisiologik dari sel, misalnya sistem enzim menjadi aktif; terjadi perubahan permeabilitas membran terhadap substansi tertentu; terjadi sintesis atau sekresi hormon; serta terjadi sintesis protein.

6. Transportasi Zat dari dan ke dalam Sel

Membran sel secara umum berfungsi sebagai *barrier* yang memisahkan sel dengan lingkungannya. Tentu saja, hal itu tidak harus mengisolasi sel dari lingkungannya, melainkan dapat berfungsi mengatur keluar masuk zat yang diperlukan ataupun yang tidak diperlukan oleh sel itu sendiri. Dengan demikian, membran sel berperan dalam transportasi zat-zat keluar masuk sel. Bagaimana zat-zat dapat keluar masuk sel? Tentu, Anda masih ingat dengan istilah difusi, osmosis, dan transpor aktif, bukan? Untuk lebih jelasnya, mari kita lanjutkan pembahasan kita mengenai transportasi trans membran.

a. *Transportasi pasif*

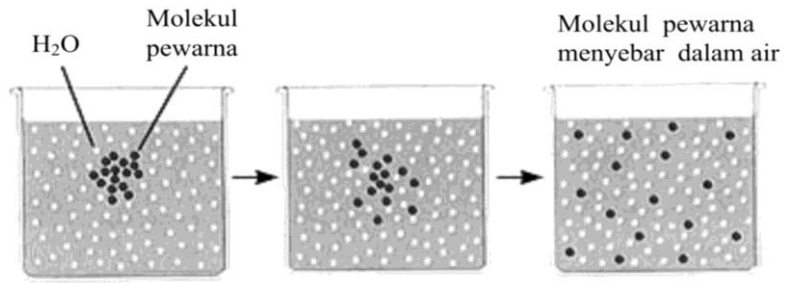
Transportasi pasif adalah proses perpindahan zat melalui suatu membran dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, tanpa memerlukan energi. Ada beberapa jenis transpor pasif yang mungkin sudah Anda kenal. Untuk lebih jelasnya, mari kita bahas bersama.

Difusi

Air, karbondioksida, dan oksigen merupakan molekul yang dapat melalui membran sel dengan cara difusi. Membran sel bersifat permeabel terhadap molekul-molekul tersebut. Apa yang Anda ketahui tentang difusi? Coba Anda ingat-ingat kembali! Anda mengetahuinya, bukan? Baiklah, difusi merupakan salah satu proses pergerakan molekul atau ion melalui membran sel, yaitu molekul atau ion tersebut bergerak dari daerah yang mempunyai konsentrasi tinggi ke daerah yang mempunyai konsentrasi rendah dan tidak memerlukan energi. Pertukaran gas O_2 dengan CO_2 melalui membran sel yang merupakan dasar fisiologi pernapasan terjadi melalui proses difusi. Karbon dioksida diproduksi di dalam sel melalui proses respirasi sel sehingga konsentrasinya di dalam sel jauh lebih tinggi dibandingkan dengan di luar sel. Dengan demikian, CO_2 akan bergerak ke luar melalui membran sel secara difusi. Keadaan sebaliknya terjadi pada pergerakan molekul O_2 , yaitu O_2 dibutuhkan dalam proses pernapasan sel. Dengan demikian, konsentrasi O_2 di dalam sel jauh lebih rendah dibandingkan di lingkungannya sehingga O_2 akan bergerak masuk melalui membran sel juga secara difusi.

Arti difusi secara umum tidak terbatas pada pergerakan molekul atau ion melalui membran yang permeabel, melainkan setiap pergerakan molekul atau ion dari daerah yang mempunyai konsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah. Sebut saja pergerakan molekul kristal zat warna yang dimasukkan dalam gelas berisi air. Mula-mula molekul-molekul zat warna tersebut terkonsentrasi di sekitar kristal zat warna yang melarut dalam air, selanjutnya penyebaran molekul zat warna tersebut akan terus berlangsung hingga zat warna tersebut tersebar merata di seluruh bagian air yang terdapat di dalam gelas tersebut. Setelah seluruh zat warna tersebut tersebar merata, dapat dikatakan proses difusi telah berakhir, tetapi pergerakan zat warna tidak pernah berhenti. Bedanya, setelah berakhirnya proses difusi, pergerakan molekul-molekul tersebut terjadi secara seimbang sehingga larutan tetap homogen.

Untuk lebih memahami proses difusi, silakan Anda cermati Gambar 1.9.



Gambar 1.9
Difusi Molekul Zat Pewarna dalam Air (Farabee, 2001)

b. *Osmosis*

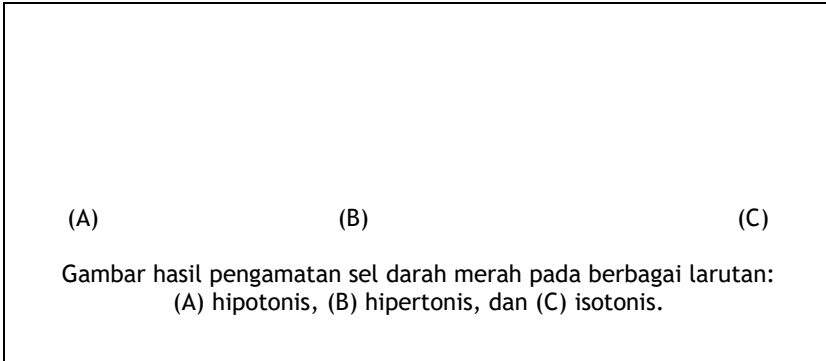
Osmosis adalah difusi air melalui membran semipermeabel (selektif permeabel). Dalam sebuah sel yang banyak mengandung organel dan molekul-molekul besar, air dari lingkungan pasti akan bergerak masuk ke dalam sel. Dalam hal ini, air termasuk larutan yang hipotonis. Tentu, selain larutan hipotonis, Anda juga mengenal larutan isotonis dan larutan hipertonis. Cobalah Anda kemukakan sendiri apa yang dimaksud isotonis dan hipertonis.

Untuk lebih memahami proses osmosis, sebaiknya Anda melakukan kegiatan sendiri. Untuk itu, silakan Anda kerjakan Tugas 1 berikut.

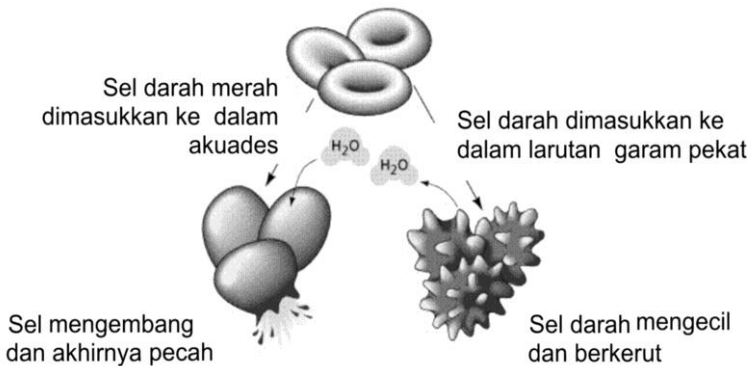
Tugas 1

Rencanakan dan lakukan pengamatan terhadap morfologi sel darah merah yang berada pada larutan hipertonis (larutan NaCl pekat), isotonis (NaCl 0,9%), dan hipotonis (akuabides).

Amatilah di bawah mikroskop bentuk sel darah merah tersebut. Apa yang akan terjadi pada sel darah merah yang berada dalam larutan hipotonis? Bagaimana pula jika sel darah merah tersebut berada dalam larutan hipertonis atau isotonis? Gambarkan hasil pengamatan Anda dan tuangkan hasilnya pada kolom berikut.



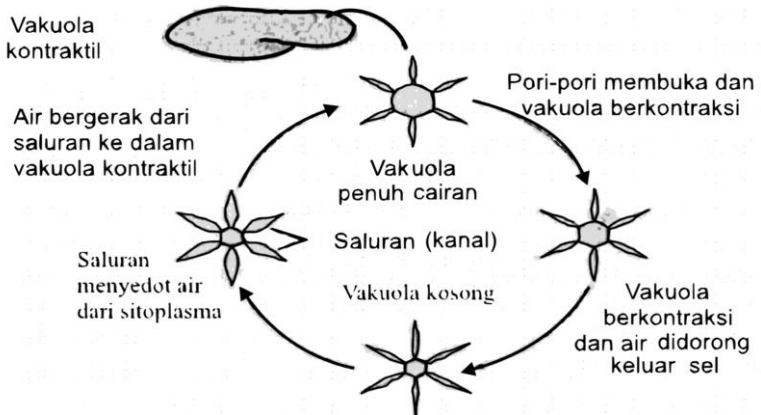
Bagus! Anda telah melakukannya dengan baik. Selanjutnya, silakan Anda bandingkan hasilnya dengan Gambar 1.10 berikut.



Gambar 1.10
Hubungan antara Bentuk Sel Darah Merah dan Kondisi
Cairan yang Ada di Sekitarnya (Farabee, 2001)

Paramecium merupakan hewan bersel satu yang hidup di air tawar yang bersifat hipotonis terhadap cairan sel. Dengan demikian, air yang ada di lingkungan tempat hidupnya akan masuk ke dalam tubuh hewan tersebut secara osmosis. Bagaimana hewan ini mengatasi serbuan air dari lingkungan yang masuk ke dalam tubuhnya? Masih ingatkah Anda bahwa hewan tersebut mempunyai vakuola kontraktil? Ya, vakuola inilah yang menjadi penyelamat hidupnya. Dengan vakuola kontraktil tersebut, kelebihan cairan yang masuk

lewat membran sel akan dipompa kembali keluar sehingga tubuh *Paramecium* tetap stabil (Gambar 1.11).



Gambar 1.11
Paramecium dan Osmoregulasinya (Farabee, 2001)

Bagaimana jika hewan tersebut tidak mempunyai vakuola kontraktif? Tentu saja, hewan tersebut akan hancur berantakan, bukan? Mengapa? Silakan Anda renungkan sendiri.

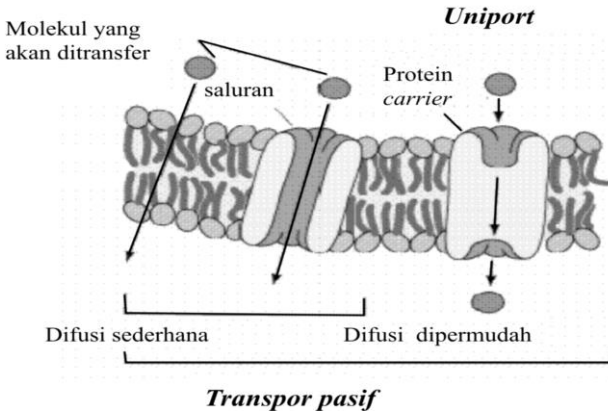
c. *Difusi dipermudah (facilitated diffusion)*

Pergerakan molekul dalam proses ini dibantu oleh suatu protein *carrier* yang bertindak sebagai pengangkut. Meskipun molekul yang akan diangkut cukup besar, dengan bantuan protein pengangkut, molekul tersebut dapat menembus membran sel. Contohnya adalah pengangkutan glukosa oleh protein pengangkut melalui membran sel dengan berikatan pada protein tersebut sehingga glukosa menjadi larut dalam lipida. Dengan demikian, molekul tersebut akan mudah dapat bergerak melewati molekul **lipida bilayer**. Kecepatan bergerak molekul difusi dipermudah ini lebih cepat daripada difusi biasa, tetapi kecepatan gerak tersebut tergantung pada beberapa faktor, antara lain

- 1) gradien konsentrasi;
- 2) tersedianya protein pengangkut;
- 3) kecepatan protein pengangkut dalam mengikat zat yang akan diangkutnya.

Selain itu, difusi jenis ini dipercepat oleh hadirnya hormon insulin. Dengan adanya insulin, penyerapan gula darah oleh jaringan melalui proses difusi dipermudah dan akan menjadi lebih cepat.

Untuk lebih memahami proses difusi melalui membran sel, coba Anda perhatikan Gambar 1.12 berikut.



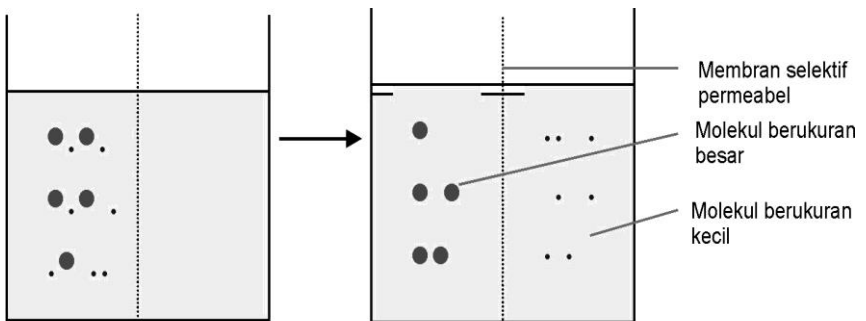
Gambar 1.12
Difusi Melalui Membran Sel (Farabee, 2001)

d. Filtrasi

Apakah Anda pernah mendengar istilah filtrasi dalam proses fisiologi makhluk hidup? Coba Anda ingat sejenak. Benar, istilah ini kita kenal dalam proses terbentuknya urine di dalam ginjal. Filtrasi merupakan jenis transportasi pasif yang melibatkan pergerakan molekul atau ion keluar masuk sel. Proses ini disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan hidrostatik, yaitu molekul atau ion akan bergerak dari daerah yang mempunyai tekanan hidrostatik tinggi ke daerah yang tekanannya lebih rendah. Contohnya adalah proses filtrasi di dalam ginjal, yaitu tekanan hidrostatik pada glomerulus lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan hidrostatik pada kapsula bowman. Dengan demikian, cairan dan molekul atau ion yang terdapat di dalamnya akan bergerak dari glomerulus menuju kapsula Bowman. Proses sejenis terjadi pula pada kapiler, yaitu cairan darah beserta molekul dan ion yang terlarut di dalamnya akan keluar melintasi endotelium kapiler tersebut menuju jaringan.

e. *Dialisis*

Istilah dialisis atau dialisa sering kita dengar dalam usaha penanganan pasien yang menderita penyakit gagal ginjal. Apa istilah dari proses penanganan tersebut? Ya, hemodialisa. Dialisis merupakan salah satu jenis transportasi pasif, yaitu molekul-molekul zat terlarut akan bergerak melalui membran selektif permeabel yang memperlihatkan adanya pemisahan molekul-molekul kecil dari molekul besar. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Gambar 1.13 berikut.



Gambar 1.13

Dialisis: (A) keadaan mula-mula, (B) keadaan setelah terjadi proses dialisis.

Pada Gambar 1.13, mula-mula larutan di sebelah kiri membran mengandung dua jenis molekul yang berbeda ukurannya. Pada proses dialisis, molekul-molekul kecil akan bergerak melalui membran yang bersifat selektif permeabel, sedangkan molekul yang berukuran besar tidak dapat melintasi membran tersebut. Pada akhir proses dialisis, molekul-molekul kecil akan terpisah dari molekul yang berukuran besar. Prinsip ini dipakai dalam proses hemodialisis untuk membuang zat-zat yang tak berguna dari dalam cairan darah dan sering disebut dengan istilah cuci darah.

7. Proses Aktif

Yang termasuk proses aktif antara lain adalah transportasi aktif, fagositosis, dan pinositosis. Pada proses aktif ini, terjadi perpindahan zat dari konsentrasi rendah menuju konsentrasi yang lebih tinggi dan memerlukan energi.

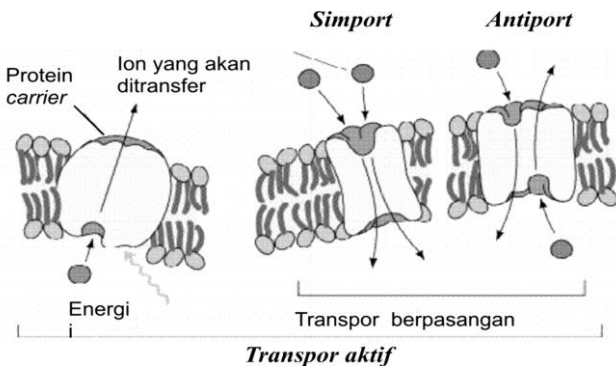
a. *Transportasi aktif*

Pada peristiwa transportasi aktif, terjadi perpindahan zat molekul melawan gradien konsentrasi dan memerlukan energi. Contohnya antara lain pompa sodium-potassium dalam sel saraf. Konsentrasi Na^+ selalu dijaga agar konsentrasinya di bagian dalam sel saraf lebih rendah dan K^+ lebih tinggi dibandingkan konsentrasinya di luar sel saraf. Ketika sel saraf menerima sebuah impuls, ion-ion tersebut akan menyeberangi membran sel. Dengan cara seperti ini, impuls saraf akan diantarkan. Setelah melakukan pengiriman pesan, ion-ion tersebut harus dikembalikan ke kondisi semula dengan cara transportasi aktif.

Contoh lain dari transportasi aktif ialah pengangkutan glukosa dari lumen saluran pencernaan menuju pembuluh darah meskipun gula darah mempunyai konsentrasi lebih tinggi daripada konsentrasi glukosa dalam lumen saluran pencernaan. Transportasi aktif ini melibatkan protein integral pada membran sel.

Apabila molekul glukosa menempel pada bagian protein integral, energi dari ATP akan mempengaruhi perubahan pada protein membran sehingga molekul glukosa akan ditransfer ke sisi lain dari membran. Mekanisme ini juga terjadi pada proses reabsorpsi glukosa di tubulus ginjal.

Ada dua jenis transportasi aktif, yaitu transportasi aktif tunggal (*uniport*) dan transportasi aktif berpasangan (*coupled transport*). Transportasi aktif berpasangan terdiri atas *simport* dan *antiport*. Disebut *simport* jika zat yang ditransportasi diikuti oleh transportasi zat lain dengan arah yang sama; sedangkan *antiport* jika transportasi zat diikuti oleh transportasi zat lain dengan arah yang berlawanan (Gambar 1.14).

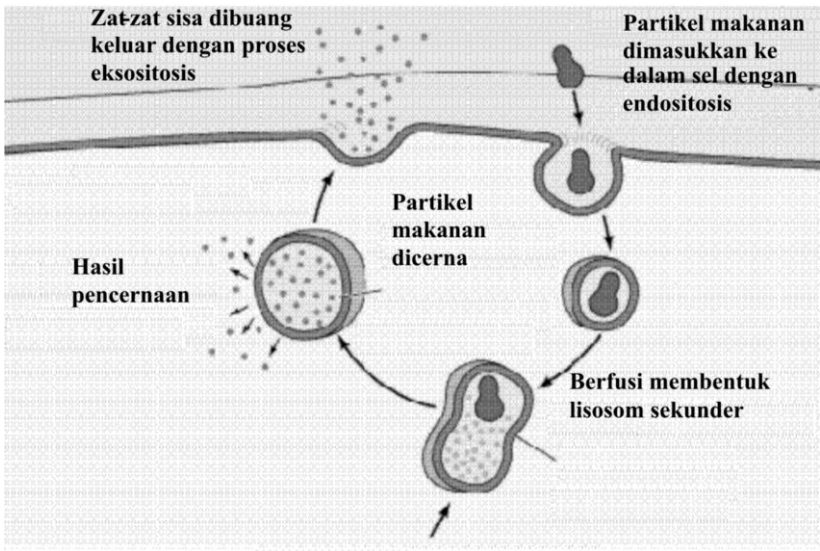


Gambar 1.14
Jenis Transpor Aktif (Farabee, 2001)

b. Transpor zat yang diperantarai vesikula

Vesikula atau vakuola dapat bergabung dengan membran sel dan digunakan untuk transpor zat-zat kimia ke luar atau ke dalam sel. Disebut ekositosis jika transpor menuju ke luar sel; sedangkan jika memasukkan zat ke dalam sel disebut endositosis. Fagositosis merupakan jenis endositosis, yaitu sel memasukkan zat makanan melintasi membran sel. Proses ini sangat umum terjadi pada sel-sel makrofag yang memakan bakteri atau benda asing lainnya. Pinositosis terjadi jika sel memasukkan cairan melalui membran sel. Kebanyakan sel dapat melakukan pinositosis.

Untuk mendapatkan gambaran mengenai eksositosis dan endositosis, coba Anda simak Gambar 1.15.



Gambar 1.15
Eksositosis dan Endositosis (Farabee, 2001)



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Membran sel bersifat semipermeabel. Apa artinya? Apa kegunaan sifat membran sel seperti itu? Jelaskan!
- 2) Perhatikan susunan fosfolipid pada Gambar 1.6. Coba Anda gambarkan susunan fosfolipid jika bagian kepala dari molekul tersebut bersifat hidrofobik dan bagian ekornya bersifat hidrofilik!
- 3) Jelaskan perbedaan fungsi membran sel secara garis besar!
- 4) Jelaskan perbedaan antara proses aktif dengan transpor pasif!
- 5) Jelaskan perbedaan antara difusi, osmosis, dan transpor aktif!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Soal ini cukup mudah dijawab, bukan? Jika Anda belum mendapatkan jawabannya, cobalah kaji kembali uraian tentang sifat membran sel. Apa kegunaan sifat membran demikian? Coba Anda bayangkan bagaimana jika membran sel bersifat permeabel terhadap semua jenis molekul atau ion yang ada di sekitarnya. Apa yang akan terjadi? Semua molekul yang ada di lingkungan sel tersebut akan sangat mudah keluar masuk sel. Akibatnya? Kami yakin Anda dapat menjawab pertanyaan tersebut dengan baik dan benar.
- 2) Coba Anda bayangkan kalau bagian kepala fosfolipid bersifat hidrofobik dan bagian ekor bersifat hidrofilik. Maka itu, bagian kepala fosfolipid akan berada di bagian dalam membran dan bagian ekor di sebelah luar membran, bukan? Ya, selanjutnya, cobalah susun bangunan membran dengan sifat fosfolipid yang seperti itu.
- 3) Membran sel mempunyai berbagai fungsi yang mendasar. Jika Anda belum dapat menjawabnya, silakan Anda kaji kembali bahasan tentang fungsi membran sel secara garis besar. Dengan begitu, kami yakin Anda akan dapat menjawabnya dengan baik dan benar.
- 4) Coba Anda pahami kembali apa yang dimaksud dengan proses aktif dan transpor pasif. Selanjutnya, cobalah Anda analisis persamaan dan perbedaan antarkeduanya. Dengan begitu, kami yakin Anda akan dapat menjawab pertanyaan tersebut dengan baik dan benar.

- 5) Coba Anda pahami apa yang dimaksud dengan difusi, osmosis, dan transpor aktif. Selanjutnya, cobalah analisis persamaan dan perbedaan dari ketiganya. Kami yakin Anda pasti dapat menjawabnya dengan baik dan benar. Untuk mempermudah Anda dalam mengungkapkan perbedaan antara ketiga jenis transpor trans membran tersebut, buatlah dalam bentuk tabel seperti berikut.

No.	Perihal	Difusi	Osmosis	Transpor aktif
1	Pergerakan molekul	Dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi lebih rendah
2 dst



RANGKUMAN

Membran sel tersusun atas dua komponen utama, yaitu lipida **bilayer** dan protein. Lipida **bilayer** terutama tersusun atas fosfolipid, yaitu bagian kepala molekul ini bersifat hidrofilik, sedangkan bagian ekornya bersifat hidrofobik. Protein membran tersuspensi di dalam lapisan hidrofobik.

Membran sel berfungsi untuk kompartemenisasi, interaksi antarsel, perubahan energi, transfer informasi, penyedia enzim, dan tempat terjadinya transpor trans membran. Transpor trans membran terdiri atas transpor pasif dan proses aktif. Transpor pasif terdiri atas difusi, osmosis, difusi dipermudah, filtrasi, dan dialisis; sedangkan proses aktif terdiri atas transpor aktif dan transpor yang diperantarai vesikula (eksositosis dan endositosis).



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Fosfolipid pembentuk membran sel tersusun atas bagian kepala dan ekor. Bagian kepala dari fosfolipid bersifat
- hidrofobik
 - hidrofilik
 - netral
 - hidrofilik atau hidrofobik tergantung kondisi lingkungannya

- 2) Untuk mencegah agar transplantasi organ dapat berjalan dengan baik dan tidak terjadi penolakan oleh jaringan penerima, yang perlu dilakukan adalah
 - A. menekan fungsi reseptor pada membran
 - B. mengaktifkan fungsi reseptor pada membran
 - C. menekan fungsi pori membran
 - D. mengaktifkan fungsi pori membran

- 3) Kompartemenisasi di dalam sel mutlak diperlukan agar
 - A. tidak terjadi percampuran plasma antarruang
 - B. terjadi hubungan yang bebas antarruang
 - C. sel saling mengenal dan berinteraksi satu sama lainnya
 - D. membatasi interaksi antarsel

- 4) Fungsi membran sel antara lain sebagai penyedia enzim. Enzim berikut yang terdapat pada membran dalam mitokondria adalah
 - A. ATP-ase
 - B. monoamin oksidase
 - C. katalase
 - D. fosfatase

- 5) Perbedaan antara difusi dan osmosis adalah
 - A. pergerakan molekul atau ion pada proses difusi dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi yang lebih rendah, sedangkan pada osmosis pergerakan molekul dari konsentrasi rendah menuju konsentrasi yang lebih tinggi
 - B. difusi tidak memerlukan energi, sedangkan osmosis memerlukan energi
 - C. pada proses difusi, yang berpindah adalah molekul terlarut, sedangkan pada proses osmosis, yang berpindah adalah molekul pelarut (air)
 - D. difusi memerlukan protein *carrier*, sedangkan osmosis tidak

- 6) Perbedaan antara difusi dan transpor aktif antara lain adalah
 - A. difusi memerlukan energi, sedangkan transpor aktif tidak
 - B. pergerakan molekul pada proses difusi terjadi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah, sedangkan transpor aktif dari konsentrasi rendah menuju konsentrasi yang lebih tinggi
 - C. difusi memerlukan protein *carrier*, sedangkan transpor aktif tidak
 - D. difusi terjadi pada membran sel, sedangkan transpor aktif terjadi pada membran mitokondria

- 7) Si Amir mencoba memasukkan garam dapur ke dalam usus ayam yang baru dibersihkannya, kemudian usus tersebut diisi air seperlunya, dan diikat di kedua ujungnya. Selanjutnya, usus ayam berisi larutan garam tersebut diletakkan di atas wadah berisi air. Amir terheran-heran ketika melihat usus yang tadinya berisi air garam secukupnya ternyata, setelah direndam lama air, usus jadi mengembang seperti kemasukan banyak air. Proses menggelembungnya usus ayam tersebut terjadi karena adanya proses
- difusi
 - osmosis
 - transpor aktif
 - filtrasi
- 8) Si Amat mencoba menghisap sebatang rokok, selanjutnya ia mengeluarkan asap rokok dengan cara tertentu sehingga membentuk lingkaran asap. Namun, setiap kali membentuk lingkaran asap, asap rokok tersebut akan menyebar dan menghilang. Proses pergerakan partikel asap rokok di udara merupakan salah satu contoh nyata dari proses
- difusi
 - osmosis
 - transpor aktif
 - difusi dipermudah
- 9) Proses pengembalian molekul Na^+ dan K^+ ke kondisi awal setelah membran sel saraf mengantarkan impuls saraf dilakukan dengan menggunakan prinsip dari
- difusi
 - transpor aktif
 - difusi dipermudah
 - filtrasi
- 10) Proses masuknya zat yang cukup besar ke dalam sel karena terjadinya invaginasi membran sel yang cukup lebar disebut
- pinositosis
 - fagositosis
 - eksositosis
 - endositosis

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) C. Sudah jelas.
- 2) D. Klasifikasi hewan bukan bidang bahasan fisiologi, melainkan bidang bahasan zoologi atau taksonomi.
- 3) A. Membran sel, sudah jelas.
- 4) B. Mitokondria merupakan organel sel yang berperan dalam respirasi sel yang mendasari proses pernapasan makhluk hidup.
- 5) D. Lisosom merupakan organel sel yang berisi enzim pencernaan yang berperan dalam pencernaan intra sel sebagai dasar pencernaan pada tubuh hewan tingkat tinggi.
- 6) A. Sitoskeleton terbentuk dari mikrotubul dan mikrofilamen yang berperan, antara lain dalam proses sitokinesis, kariokinesis, dan memberi bentuk khas pada sel.
- 7) D. Flagellum karena ekor spermatozoa manusia berjumlah tunggal; kalau lebih dari satu, disebut flagella.
- 8) A. Silia karena alat gerak pada *Paramecium* terdiri atas rambut-rambut getar yang jumlahnya sangat banyak menyelaputi seluruh permukaan tubuhnya. Kalau silia pada hewan tersebut hanya satu, ia disebut silium.
- 9) B. Peroxisom menghasilkan enzim katalase yang berperan sebagai katalisator dalam perubahan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.
- 10) C. Vakuola kontraktil, sudah jelas.

Tes Formatif 2

- 1) A. Hidrofilik, sudah jelas.
- 2) A. Fungsi reseptor ditekan agar sel dari jaringan penerima tidak mengenal jaringan yang ditransplantasikan sebagai jaringan asing.
- 3) A. Fungsi kompartemenisasi adalah memisahkan ruang-ruang di dalam sel sehingga cairan sel antarruang tidak saling menyatu.
- 4) A. ATP-ase terdapat pada membran dalam mitokondria dan berperan penting dalam sintesis ATP pada proses respirasi sel.
- 5) C. Sudah jelas.
- 6) B. Sudah jelas.

- 7) B. Dalam peristiwa tersebut, transpor air ke dalam lumen usus ayam yang berisi larutan garam dilakukan dengan prinsip osmosis.
- 8) A. Penyebaran partikel asap rokok terjadi secara difusi.
- 9) B. Transpor aktif, sudah jelas.
- 10) B. Sudah jelas.

Glosarium

- Antiport : pengangkutan zat terlarut oleh protein transpor dengan arah yang berlawanan. Misalnya, pemompaan Na^+ ke luar dari sel dan K^+ ke dalam sel dalam waktu yang bersamaan.
- Barrier* : penghalang atau rintangan.
- Carrier* : pembawa.
- Fagosit : sel darah putih yang melindungi tubuh dengan cara menelan partikel asing berbahaya, bakteri, dan sel-sel mati.
- Hidrofilik : menyenangi air, bagian molekul yang bersifat hidrofilik akan berusaha mencari daerah yang kaya air.
- Hidrofobik : tidak menyukai keberadaan air, bagian molekul yang bersifat hidrofobik akan berusaha menjauh dari daerah yang banyak mengandung air.
- Katalisator : suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Dalam tubuh makhluk hidup, kita kenal enzim yang berperan sebagai *katalisator* (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi.
- Lipida bilayer : lipida berlapis ganda dan merupakan ciri khas lipida penyusun membran sel.
- Multiseluler : bersel banyak. Organisme multiseluler artinya organisme tersebut tersusun atas banyak sel.
- Osmoregulasi : proses mengatur konsentrasi cairan dan menyeimbangkan pemasukan serta pengeluaran cairan tubuh oleh sel atau organisme hidup.
- Prokariotik : sel makhluk hidup yang tidak memiliki membran inti sehingga materi genetiknya tidak dilindungi oleh membran. Umumnya, ini terdapat pada organisme tingkat rendah, seperti bakteri dan alga biru.
- Proses fisiologi : proses-proses yang terjadi pada tubuh makhluk hidup, seperti respirasi, osmosis, difusi, aliran darah dan limfe, serta sebagainya.

- Protein integral : protein pada membran sel yang letaknya membentang dari luar sel hingga sitoplasma. Biasanya, protein ini berperan dalam transpor zat dari dan ke luar sitoplasma sel dengan membentuk pori.
- Reseptor : suatu daerah atau bagian pada sel yang berfungsi mengenal benda asing. Dengan adanya reseptor ini, tubuh kita dapat membedakan mana benda asing dan mana yang bukan.
- Sel eukariotik : sel makhluk hidup yang mengandung selaput inti sehingga materi genetiknya terlindung oleh membran inti. Ini terdapat pada sel-sel tumbuhan dan hewan tingkat tinggi.
- Simport : pengangkutan zat terlarut secara bersama-sama yang difasilitasi oleh protein transpor secara searah. Misalnya, pada sel hewan, beberapa gula atau asam amino diangkut bersama ion-ion Na^+ ke dalam sel.
- Sitoskeleton : kerangka sel.
- Transplantasi organ tubuh: pemindahan seluruh atau sebagian organ dari satu tubuh ke tubuh yang lain atau dari suatu tempat ke tempat yang lain pada tubuh yang sama.
- Transpor : asal kata dari transpor, yaitu suatu proses pergerakan molekul-molekul pada suatu medium dengan atau tanpa melalui membran sel.
- Uniseluler : bersel tunggal. Organisme uniseluler artinya organisme bersel tunggal, seperti protozoa dan bakteri.
- Vesikula : disebut juga vesikel, asal kata dari *vesicle* yang berarti kantong.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2005. "Human Physiology," [http:// www. Biology. Eku.edu/RITCHISO/301 notes1.html](http://www.Biology.Eku.edu/RITCHISO/301%20notes1.html), diunduh pada 5 Maret 2005.
- Davidson, M.W. 2004. "Cillia and Flagella," [http://www. Micro. Magnet.fsu.edu/cells/cilliaandflagella/cilliaandflagella.html](http://www.Micro.Magnet.fsu.edu/cells/cilliaandflagella/cilliaandflagella.html), diunduh pada 20 Mei 2014.
- Farabee, M.J. 2001. "Transport in and out of Cells," [http://www.emc.maricopa. Edu/faculty/farabee/BIOBK/Biobooktransp. html](http://www.emc.maricopa.Edu/faculty/farabee/BIOBK/Biobooktransp.html), diunduh pada 5 Maret 2005.
- Giese, A.C. 1979. *Cell Physiology*. Edisi kelima. Tokyo: W.B. Saunder Co.
- Hammaker, D.L. 2010. "Anatomy: Cytoskeleton 2," <http://agi.seaford.k12.de.us/sites/dhammaker/anatomy/pics/form/DispFrm.aspx?ID=32.>, diunduh pada 2 Juni 2014.
- Khe, M. 2011. "Cell Membran," <http://www.studyblue.com/notes/note/n/chapter-6/deck/1208453>, diunduh pada 22 Juli 2014.
- MHS. 2014. "Cell Wall and Cell Membrane," [https://middletownhigh school.wikispaces.com/Cell+Wall+and+Cell+Membrane](https://middletownhigh.school.wikispaces.com/Cell+Wall+and+Cell+Membrane), diunduh pada 22 Juli 2014.
- Nielsen, K.S. 1994. *Animal Physiology: Adaptation and Environment*. Edisi keempat. New York: Cambridge University Press.
- Peavler, C. 2014. "Macronutrien-Lipids," [http://transformational wellnessproject.blogspot.com/](http://transformationalwellnessproject.blogspot.com/), diunduh pada 1 Juni 2014.
- Wilson, J.A. 1979. *Principles of Animal Physiology*. New York: Macmillan Publ. Co, Inc.

Winatasasmita, Dj. 1994. *Fisiologi Hewan dan Tumbuhan*. Jakarta: Universitas Terbuka.

Wulangi, K.S. 1993. *Prinsip-prinsip Fisiologi Hewan*. Jakarta: Depdikbud.