

Biologi dan Reproduksi Sel

Dr. Ir. Muhammad Jusuf



PENDAHULUAN

Makhluk hidup dicirikan oleh kemampuan melakukan metabolisme yang sempurna dan kemampuan bereproduksi. Metabolisme ialah suatu rangkaian reaksi kimia yang berfungsi membentuk senyawa-senyawa yang diperlukan untuk mendukung kehidupan. Reaksi ini juga dapat dipandang sebagai proses penimbunan energi dan proses pemanfaatannya dalam proses pertumbuhan. Reproduksi ialah pembentukan makhluk baru yang sama dengan dirinya atau perbanyakannya. Reproduksi akan dimulai dengan memperbanyak bahan genetik, yang mengendalikan sifat makhluk hidup tersebut, yang kemudian diikuti dengan perbanyakannya organel-organel yang lainnya.

Proses kehidupan berlangsung pada berbagai tingkat. Sel merupakan unit terkecil kehidupan. Metabolisme dan reproduksi dapat berlangsung hanya di dalam sel. Dalam proses metabolisme melibatkan berbagai jenis enzim, yang berfungsi mengkatalisis setiap tahapan reaksi tersebut. Pada eukariot proses reaksi tersebut berlangsung dalam organel-organel yang mempunyai tugas yang khas. Dalam sel terdapat bahan genetik yang disebut dengan kromosom. Pada kromosom ini terdapat gen yang mengendalikan pembentukan enzim yang berperan dalam mengkatalisis proses metabolisme. Kromosom ini akan bereplikasi menggandakan diri pada awal produksi sel, dan setelah penggandaan kromosom akan terjadi pembelahan sel memisahkan dua kelompok kromosom yang telah digunakan tersebut.

Dalam modul ini akan dijelaskan mengenai struktur dan fungsi sel, serta proses reproduksinya. Setelah selesai mempelajari modul ini diharapkan Anda dapat mengetahui struktur dan fungsi sel, serta proses reproduksinya, yang ditunjukkan dengan kemampuan berikut:

1. dapat menjelaskan pengertian kontinuitas kehidupan;
2. dapat menjelaskan perbedaan prokariot, eukariot, dan virus;
3. dapat menggambarkan sel prokariot dengan komponennya;

4. dapat menggambarkan sel eukariot dengan komponen-komponennya;
5. dapat menjelaskan fungsi organel yang terdapat di dalam sel eukariot;
6. dapat menggambarkan struktur tubuh virus;
7. dapat menggambarkan skema reproduksi sel prokariot;
8. dapat menjelaskan proses reproduksi sel prokariot;
9. dapat menggambarkan skema dan menjelaskan proses reproduksi litik dan lisogenik pada virus;
10. dapat menggambar skema dan menjelaskan tahapan siklus hidup sel eukariot;
11. dapat menjelaskan proses mitosis;
12. dapat menjelaskan proses meiosis, dan menunjukkan persamaan dan perbedaannya dengan proses mitosis;
13. dapat menjelaskan pengertian siklus haplobion dan diplobion;
14. dapat menggambarkan siklus hidup *Saccharomyces cereviceae*;
15. dapat menggambarkan siklus hidup *Neurospora crassa*;
16. dapat menggambarkan siklus hidup tumbuhan;
17. dapat menggambarkan hidup hewan.

KEGIATAN BELAJAR 1

Struktur Sel

A. KONTINUITAS KEHIDUPAN TINGKAT SEL

Makhluk hidup dicirikan oleh kemampuannya melakukan metabolisme dan bereproduksi. Metabolisme merupakan rangkaian reaksi kimia dalam rangka memanen energi, membentuk senyawa-senyawa kimia atau membentuk komponen sel. Metabolisme merupakan kegiatan rutin sel untuk menunjang kehidupannya atau pertumbuhannya. Reproduksi ialah proses membentuk individu baru yang sama dengan dirinya. Dengan reproduksi individu tersebut akan mampu mempertahankan kehidupan spesiesnya setelah individu tersebut mati. Jadi, metabolisme dan reproduksi merupakan kegiatan organisme untuk mempertahankan kontinuitas kehidupan.

Apakah yang menentukan atau mengendalikan proses metabolisme dan reproduksi? Metabolisme merupakan rangkaian reaksi biokimia, dan pada setiap tahap reaksi berperan enzim sebagai katalisatornya. Setiap enzim yang berperan tersebut pembentukannya dikendalikan oleh suatu gen yang khas; enzim yang berbeda dikendalikan oleh gen yang berbeda pula. Keseluruhan dari gen-gen tersebut terdapat pada bahan genetik yang disebut kromosom. Secara kimia bahan genetik ini tersusun atas asam nukleat DNA (**deoxyribonucleic acid**). Bahan genetik ini ternyata berperan juga dalam proses reproduksi. Bila suatu sel akan bereproduksi menghasilkan dua sel anak yang baru maka yang pertama harus digandakan adalah bahan genetiknya atau kromosomnya. Kromosom yang telah digandakan akan berpisah menuju dua kutub sel yang berbeda dan kemudian disusul dengan pembelahan sel.

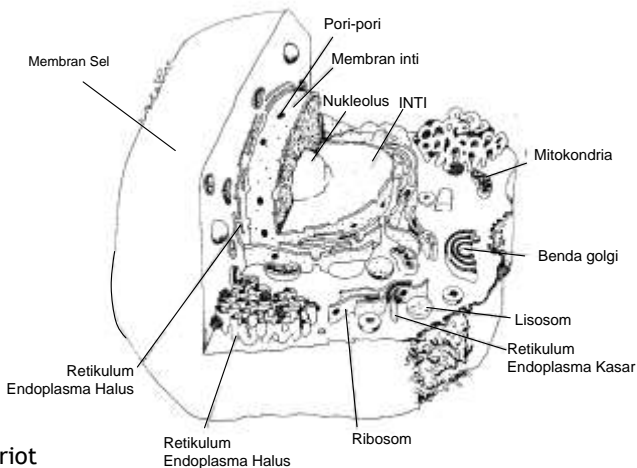
Oleh karena metabolisme dan reproduksi merupakan ciri kehidupan dan bahan genetik menentukan kedua proses ini maka dapat disimpulkan bahwa bahan genetik merupakan penentu pola dan kontinuitas kehidupan. Gen-gen yang terdapat pada kromosom merupakan program ke arah mana proses metabolisme akan bergerak. Gen-gen ini yang menentukan munculnya perbedaan antara suatu varietas tanaman terhadap varietas yang lain. Gen ini pula yang menentukan perbedaan suatu spesies dari spesies yang lain.

B. STRUKTUR SEL MAKHLUK HIDUP

Untuk membantu menggambarkan proses yang terjadi dalam metabolisme dan reproduksi berikut ini akan dijelaskan mengenai struktur sel, beserta komponen-komponennya. Makhluk selular terbagi atas eukariot (yang berinti-sel) dan prokariot (yang tidak berinti-sel). Bakteri dan ganggang biru termasuk ke dalam prokariot, sedangkan sisa makhluk hidup yang lain termasuk dalam kelompok eukariot. Di luar kedua kelompok makhluk selular tersebut terdapat kelompok lain, yaitu virus, yang struktur tubuhnya tidak memenuhi syarat untuk disebut sebagai sel. Virus karena kesederhanaannya tidak dapat melakukan metabolisme sendiri, namun masih disebut sebagai makhluk hidup karena dapat bereproduksi.

Struktur Sel Eukariot

Sel eukariot merupakan sel yang paling modern, dengan bagian-bagian dan organel-organel yang terspesialisasi. Ruang sel terbagi menjadi dua bagian, yang dipisahkan oleh membran, menjadi inti dan sitoplasma (Gambar 1.1). Kedua ruang tersebut dihubungkan oleh pori-pori yang ada pada membran. Di dalam inti terdapat sebagian besar bahan genetik, yaitu kromosom inti, dan pada sitoplasma terdapat organel-organel yang berperan dalam sintesis metabolisme serta transpor hasil-hasil metabolisme. Pada sitoplasma juga terdapat bahan genetik, dengan jumlah lebih kecil dibanding kromosom inti, yaitu pada mitokondria atau pada kloroplas.



Gambar 1.1.
Struktur Sel Eukariot

Pemisahan inti dengan sitoplasma menunjukkan pemisahan pusat pengendali dengan tempat pelaksanaan program. Dalam inti terdapat sebagian besar material genetik yang berisi semua program yang akan dilakukan dalam proses metabolisme sel, sedangkan proses metabolismenya berjalan di dalam sitoplasma. Proses pengendalian metabolisme dilakukan melalui proses ekspresi gen. Tahap awal dari ekspresi, yaitu transkripsi akan berjalan di dalam inti, dan tahap akhir, yaitu translasi berjalan di dalam sitoplasma. Proses translasi, yang merupakan sintesis protein, akan berlangsung pada ribosom yang menempel pada retikulum endoplasma kasar. Selanjutnya protein ini akan berperan dalam metabolisme sel yang berlangsung pada berbagai organel yang terdapat di dalam sel. Berikut ini akan diuraikan komponen yang terdapat di dalam sel beserta fungsinya.

a. Inti sel

Di dalam inti sel terdapat dua komponen, yaitu **nukleolus** dan **kromosom**. **Nukleolus** merupakan butiran yang nampak pada sel yang aktif (tidak sedang membelah), sedangkan kromosom sebaliknya akan nampak di bawah mikroskop cahaya pada saat pembelahan sel atau tidak nampak pada sel aktif. **Nukleolus** merupakan kondensasi rRNA yang merupakan bahan baku atau komponen penyusun kromosom. Nukleolus dianggap sebagai cadangan rRNA untuk pembentukan ribosom baru saat pembelahan sel. Pada awal pembelahan sel, rRNA dari nukleolus tersebut akan tersebar ke seluruh sel dan digunakan untuk menyusun ribosom baru. Perlu diingat bahwa ribosom-ribosom baru perlu dibentuk secepatnya untuk memenuhi keperluan sel-sel baru untuk mendukung aktivitas translasinya.

Kromosom merupakan bagian penting dalam sel, yaitu sebagai bahan genetik yang menentukan metabolisme dan reproduksi. Istilah kromosom mula-mula diberikan kepada suatu komponen sel eukariot yang tampak di bawah mikroskop, saat sel berada dalam fase pembelahan. Sekarang istilah tersebut digunakan untuk semua komponen genetik utama pada semua makhluk hidup. Kromosom inti tersusun atas dua komponen, yaitu DNA dan protein yang disebut histon. Dari kedua unsur tersebut DNA-lah yang merupakan bahan genetik, sedangkan protein histon berfungsi untuk melindungi DNA dari kerusakan terutama dalam proses pembelahan sel.

Kromosom yang tampak pada saat pembelahan sel, merupakan kondensasi DNA dengan penggulangan DNA pada histon. Dalam sel yang aktif DNA akan berada dalam keadaan tidak tergulung, seperti serat dan

disebut kromatin. Kromatin ini tidak tampak di bawah mikroskop cahaya, dan membuat inti sel tampak keruh pada awal proses pembelahan sel (**interfase**). Pada sel eukariot terdapat lebih dari satu kromosom, dan pada setiap kromosom terdapat satu molekul DNA yang bentuknya linear. Banyaknya kromosom pada satu inti sel eukariot berbeda dari satu spesies ke spesies yang lain.

b. Sitoplasma

Sitoplasma merupakan tempat berlangsungnya proses metabolisme. Dalam sitoplasma eukariot terdapat sejumlah organel serta jaringan saluran yang kompleks (Gambar 1.1). Berikut ini akan dijelaskan Organel-organel tersebut beserta fungsinya.

1) Ribosom

Ribosom merupakan organel penting dalam sel, yaitu tempat berlangsungnya ekspresi gen dalam sitoplasma, yaitu translasi atau sintesis protein. Ribosom tersusun dari protein dan rRNA, dan semua organisme selain virus mengandung ribosom. Pada eukariot terdapat dua jenis ribosom, yaitu yang terdapat di dalam cairan sitoplasma dan yang berada di dalam organel, seperti mitokondria dan kloroplas. Ribosom sitoplasma berukuran 80 S, sedangkan ribosom mitokondria mirip dengan ribosom prokariot mempunyai ukuran 70 S. Ribosom sitoplasma berada dalam keadaan menempel pada retikulum endoplasma kasar, protein hasil translasi akan langsung masuk ke dalam retikulum endoplasma.

2) Retikulum Endoplasma (RE)

Retikulum endoplasma (RE) merupakan jaringan bermembran yang membentuk kantung pipih yang saling berhubungan. RE merupakan kelanjutan dari membran luar inti. Terdapat dua jenis retikulum endoplasma (RE), yaitu RE kasar, yang ditemplei ribosom, dan RE halus, yang bebas ribosom. Pada RE kasar protein yang disintesis pada ribosom akan dimasukkan melalui membran ke dalam retikulum dan kemudian disebarkan ke seluruh atau disekresikan ke luar sel. RE halus merupakan kelanjutan dari RE kasar, bebas dari ribosom. Fungsi utama dari RE halus ialah untuk sintesis lemak, termasuk asam lemak, fosfolipid, dan steroid.

3) Benda Golgi

Benda Golgi merupakan kantung-kantung bermembran yang berbentuk pipih. Berbeda dari RE, kantung-kantung benda golgi tidak saling berhubungan. Mempunyai fungsi yang berhubungan dengan RE; menampung dan memodifikasi senyawa-senyawa yang dihasilkan oleh RE. Sebagaimana RE dapat membentuk vesikula transpor yang membawa produk ke membran sel atau ke organel lain, seperti lisosom atau dimasukkan ke dalam plasma sel.

4) Lisosom

Lisosom merupakan kantung bermembran yang berisi enzim-enzim untuk mendegradasikan makromolekul, seperti protein, lemak, dan polisakarida. Lisosom mempunyai kondisi khusus, seperti ber-pH rendah karena enzim-enzim tersebut membutuhkan kondisi asam untuk bekerja dengan baik.

5) Mitokondria

Mitokondria mempunyai ukuran dan struktur mirip dengan sel bakteri. Mempunyai dua lapis membran, dengan membran dalam membentuk lipatan yang disebut sista, dan berfungsi sebagai tempat berlangsungnya respirasi, pembentukan ATP. Mitokondria merupakan organel semiotonom di dalam sel eukariot, yaitu mempunyai DNA (bahan genetik) serta ribosom sendiri. Adanya DNA dan ribosom menyebabkan mitokondria mampu melakukan sintesis enzim untuk kepentingan proses yang berlangsung di dalam organel tersebut.

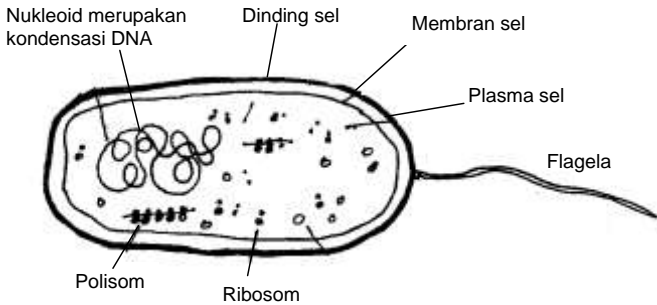
6) Kloroplas

Kloroplas terdapat pada sel tanaman dan berfungsi untuk proses fotosintesis. Klorofil adalah senyawa khas yang terdapat pada organel ini yang berfungsi mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam proses fotosintesis. Seperti halnya mitokondria, kloroplas juga merupakan organel semiotonom yang mengandung DNA dan ribosom. Enzim-enzim yang diperlukan untuk mendukung reaksi fotosintesis diproduksi oleh gen-gen yang terdapat pada DNA kloroplas.

C. STRUKTUR SEL PROKARIOT

Prokariot mempunyai struktur sel yang lebih sederhana dibandingkan eukariot. Berukuran jauh lebih kecil daripada sel eukariot, kira-kira lebih besar dari mitokondria, salah satu organel sel eukariot. Kesederhanaan yang

pertama terlihat dari tidak adanya pembagian ruang sel menjadi inti dan sitoplasma (Gambar 1.2). Sel prokariot tidak mengandung inti sehingga tidak ada pemisahan antara tempat material genetik sebagai pengendali, dengan tempat berlangsungnya proses metabolisme. Karena ukurannya yang kecil maka tidak diperlukan adanya perangkat pengangkut atau organel-organel, seperti pada eukariot. Pada eukariot respirasi berlangsung pada mitokondria, sedangkan pada bakteri berlangsung pada membran plasma sel.



Gambar 1.2.
Struktur Sel Bakteri

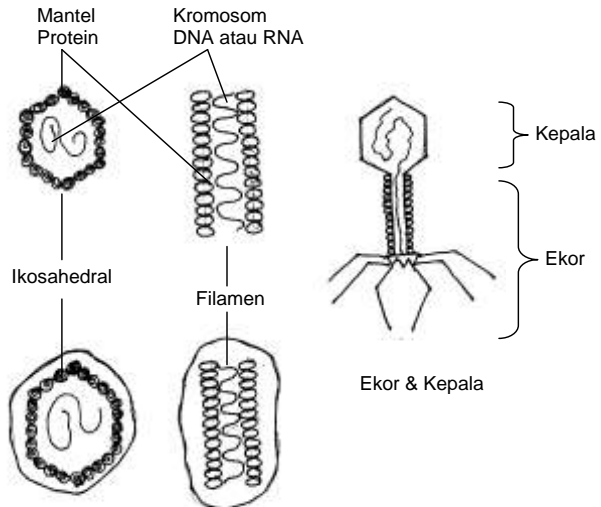
Bahan genetik dari sebagian besar prokariot terdiri dari satu **kromosom** yang tersusun atas satu molekul DNA yang berbentuk sirkular. Pada bakteri tertentu, seperti *Rhodobacter*, ditemukan adanya dua kromosom sebagai bahan genetiknya. Apabila pada eukariot dikenal adanya gen atau bahan genetik di luar kromosom inti maka pada eukariot juga terdapat bahan genetik di luar kromosom, yaitu pada molekul DNA yang disebut dengan **plasmid**. Plasmid berukuran lebih kecil dibandingkan kromosom, dan keberadaannya dalam sel tidak mutlak; artinya sel akan tetap hidup dengan sempurna tanpa kehadiran plasmid, namun dengan adanya plasmid sel menjadi mempunyai sifat tambahan.

Oleh karena tidak adanya pemisahan sel menjadi inti dan sitoplasma maka bahan genetik berada pada satu ruangan yang sama dengan tempat proses metabolisme. Proses ekspresi gen, yang terbagi atas transkripsi dan translasi berlangsung pada ruang yang sama dan dapat berlangsung bersama-sama. Ketika transkripsi (sintesis RNA) masih berjalan, ribosom sudah dapat membaca RNA untuk mensintesis protein.

D. STRUKTUR VIRUS

Virus mempunyai tubuh yang sangat sederhana sehingga tidak dapat dikelaskan sebagai sel. Tubuhnya hanya tersusun atas dua unsur, yaitu bahan genetik dengan mantel pembungkusnya (Gambar 1.3). Terdapat dua jenis virus berdasarkan jenis bahan genetiknya, yaitu virus DNA dan virus RNA. Ukuran bahan genetik virus sangat kecil bila dibandingkan dengan bahan genetik bakteri, yaitu sekitar ukuran plasmid.

Mantel virus tersusun atas protein. Berdasarkan bentuk mantelnya virus dibagi menjadi bentuk batang, ikosahedral, bentuk kepala, dan ekor. Bentuk kepala dan ekor merupakan gabungan antara bentuk ekosahedral dengan bentuk batang (Gambar 1.3). Hal yang paling lengkap pada bentuk kepala dan ekor juga terdapat bentuk kaki. Pada sebagian virus yang menyerang hewan di luar protein mantel terdapat membran yang membungkus keseluruhan tubuhnya. Diduga membran ini berasal dari sel inangnya.



Gambar 1.3.
Struktur tubuh virus



LATIHAN

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

- 1) Sebutkan ciri makhluk hidup!
- 2) Apakah virus memenuhi ciri umum makhluk hidup (pertanyaan 1), dan bila tidak mengapa virus masih dikelaskan sebagai makhluk hidup?
- 3) Jelaskan yang disebut dengan bahan genetik!
- 4) Apakah perbedaan sel prokariot dari sel eukariot?
- 5) Buat gambar skema sel prokariot, dan jelaskan komponen yang terdapat di dalam sel tersebut beserta fungsinya!
- 6) Buat gambar sel eukariot dengan komponen-komponennya, dan jelaskan fungsi-fungsinya!
- 7) Sebutkan di mana letak bahan genetik eukariot!
- 8) Gambarkan struktur tubuh virus, dan jelaskan bagaimana perbedaan utama dengan sel eukariot dan prokariot!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab soal-soal dalam latihan 1 ini, Anda harus mempelajari Kegiatan Belajar 1 yang mencakup:

- 1) Makhluk hidup dicirikan oleh kemampuan bermetabolisme dan bereproduksi (lihat bahasan: Kontinuitas kehidupan Tingkat Sel).
- 2) Virus tidak dapat melakukan metabolisme kecuali ketika berada di dalam sel inang, namun virus dapat bereproduksi sehingga dapat dianggap sebagai makhluk hidup.
- 3) Lihat bahasan: Kontinuitas kehidupan.
- 4) Lihat bahasan "Struktur sel eukariot", dan "Struktur sel prokariot"; perhatikan juga Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.
- 5) Lihat bahasan struktur sel prokariot dan Gambar 1.2.
- 6) Lihat bahasan struktur sel eukariot dan Gambar 1.1.
- 7) Dalam inti dan mitokondria.
- 8) Lihat bahasan struktur virus dan Gambar 1.3.

**RANGKUMAN**

Makhluk hidup dicirikan oleh kemampuan bermetabolisme dan bereproduksi. Sel merupakan unit terkecil tempat berlangsungnya proses metabolisme dan reproduksi. Kedua proses ini dikendalikan oleh bahan genetik, yaitu DNA yang menyusun keseluruhan gen. Bahan genetik akan mengendalikan pembentukan enzim yang menjalankan metabolisme, dan mampu bereplikasi memperbanyak diri dalam proses reproduksi.

Dari jenis selnya makhluk selular dibagi menjadi prokariot dan eukariot. Pada sel eukariot terdapat pembagian ruang menjadi inti dan sitoplasma; pada inti terdapat bahan genetik (kromosom), sedangkan pada sitoplasma terdapat organel-organel tempat berlangsungnya proses metabolisme. Sel prokariot tidak terdapat pembagian sel menjadi inti dan sitoplasma sehingga material genetik dapat langsung kontak dengan organel. Tubuh virus tidak memenuhi syarat untuk disebut sel, hanya terdiri dari bahan genetik yang dibungkus mantel. Oleh karena itu, virus tidak dapat melakukan metabolisme, kecuali kalau berada di dalam sel inang.

**TES FORMATIF 1**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Hal yang terdapat pada semua makhluk (prokariot, eukariot, dan virus)
 - A. bahan genetik
 - B. inti sel
 - C. membran plasma sel
 - D. ribosom

- 2) Hal yang *tidak* terdapat pada sel prokariot ialah
 - A. membran plasma sel
 - B. inti sel
 - C. kromosom
 - D. ribosom

- 3) Pada inti sel eukariot terdapat
 - A. kromosom
 - B. ribosom

- C. kloroplas
 - D. retikulum endoplasma
- 4) Virus masih dikelompokkan sebagai makhluk hidup karena kemampuannya untuk
- A. bermetabolisme sendiri
 - B. bereproduksi
 - C. menimbulkan penyakit
 - D. bergerak

Petunjuk soal nomor 5) – 8)

Pilihlah:

- A. Jika (1) dan (2) benar.
 - B. Jika (1) dan (3) benar.
 - C. Jika (2) dan (3) benar.
 - D. Jika (1), (2), dan (3) benar.
- 5) Makhluk hidup dicirikan oleh kemampuannya melakukan
- (1) metabolisme
 - (2) reproduksi
 - (3) pergerakan
- 6) Di luar inti sel bahan genetik terdapat pada
- (1) benda golgi
 - (2) kloroplas
 - (3) mitokondria
- 7) Ribosom dipunyai oleh
- (1) prokariot
 - (2) eukariot
 - (3) virus
- 8) Virus mempunyai tubuh yang sangat sederhana yaitu tersusun atas....
- (1) bahan genetik (kromosom)
 - (2) dinding sel
 - (3) mantel protein

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**Reproduksi Sel**

Di samping metabolisme, reproduksi merupakan ciri makhluk hidup, yaitu memproduksi individu baru yang sama dengan individu terdahulu. Reproduksi tingkat sel merupakan dasar dari reproduksi makhluk hidup, bahkan bagi makhluk uniselular dengan reproduksi sel sudah menyempurnakan proses siklus hidupnya. Pada eukariot sel terbagi menjadi sel vegetatif dan sel generatif, dan siklus hidupnya juga dapat dilaksanakan melalui siklus vegetatif (**aseksual**) atau secara generatif (**seksual**). Kedua siklus tersebut memerlukan sistem reproduksi sel yang berbeda, yaitu reproduksi vegetatif dan reproduksi seksual (generatif). Pada prokariot walaupun ada proses mirip seksual, namun reproduksi selnya hanya satu jenis, yaitu reproduksi vegetatif.

A. REPRODUKSI PROKARIOT DENGAN PEMBELAHAN BINER

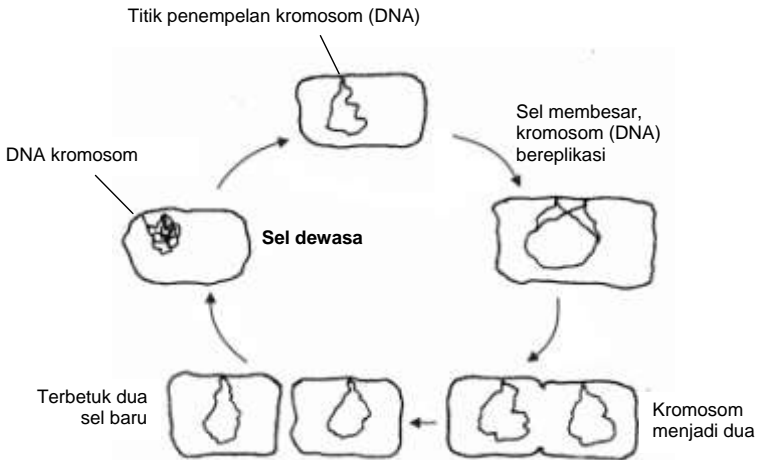
Bakteri memperbanyak diri melalui pembelahan sel secara biner, di mana satu sel akan memperbanyak diri menjadi dua sel. Oleh karena bakteri merupakan makhluk bersel tunggal maka sel baru yang terbentuk dari pembelahan tersebut sudah merupakan makhluk hidup baru. Jadi, panjang daur hidup bakteri sama dengan panjang daur hidup sel (Gambar 1.4).

Sebelum melakukan pembelahan, sel dewasa akan melakukan sintesis bahan-bahan yang diperlukan untuk membuat sel baru. Kromosom yang tadinya terdapat bebas di dalam plasma, pada awal pembelahan sel akan menempel pada membran sel, dan kemudian bersamaan dengan pembesaran ukuran sel berlangsung sintesis DNA atau penggandaan kromosom. Setelah dua kromosom baru selesai dibentuk, dan sel telah mencapai pembesaran maksimum maka akan terjadi pembelahan sel dan terbentuklah dua sel baru.

B. REPRODUKSI VIRUS MEMERLUKAN SEL INANG

Virus karena keterbatasan perangkat yang ada pada tubuhnya, mengharuskan dirinya menjadi parasit (atau parasit obligat) agar dapat bermetabolisme dan berkembang biak. Virus akan menyuntikkan bahan genetiknya ke dalam sel inang, kemudian bahan genetik tersebut akan mengambil alih peran bahan genetik sel inang dalam mengendalikan

metabolisme sel. Dengan diambilnya kendali maka metabolisme di dalam sel akan berubah menjadi proses yang mendukung perkembangbiakan virus.

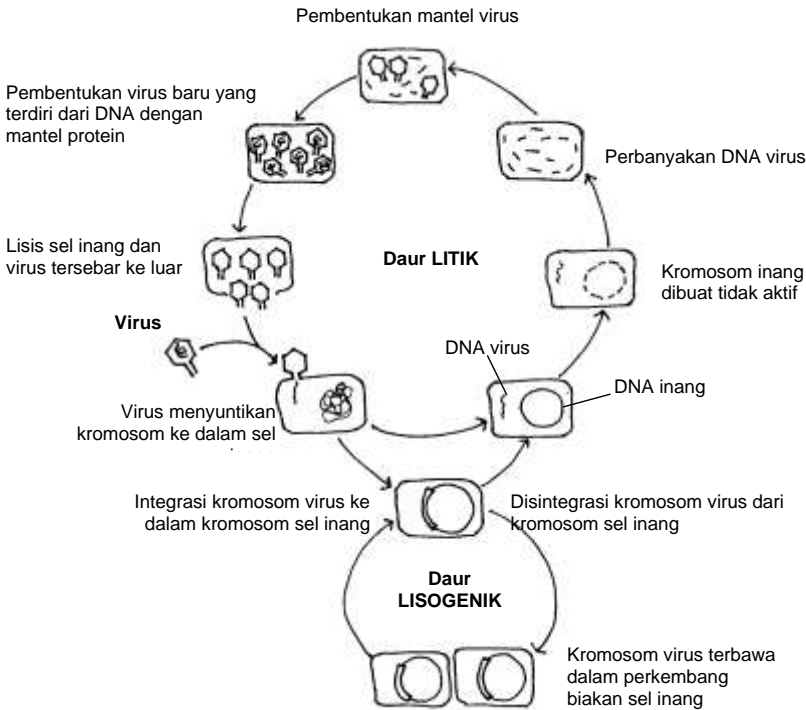


Gambar 1.4.
Daur Hidup Bakteri melalui Pembelahan Biner

Untuk mempelajari proses reproduksi virus kita bahas, sebagai model siklus yang berlangsung pada bakteriofage. Bakteriofage (sering dipanggil fage) ialah virus yang menyerang bakteri sebagai sel inangnya. Terdapat dua jenis siklus hidup bakteriofage, yaitu daur litik dan daur lisogenik (Gambar 1.5). Pada daur litik virus akan menginfeksi bahan genetiknya, dan kemudian langsung memperbanyak diri dalam sel inang dan selanjutnya virus-virus baru itu akan keluar dari sel inang dan menginfeksi sel baru. Sedangkan pada daur lisogenik virus setelah menginfeksi sel inang tidak langsung berkembang biak, melainkan berintegrasikan bahan genetiknya dengan kromosom inang. Selanjutnya, virus yang telah terinfeksi tersebut akan terbawa dalam proses reproduksi sel inang.

Pada daur litik, fage akan menyuntikkan asam nukleat ke dalam sel, kemudian asam nukleat virus akan memproduksi enzim yang akan merusak DNA sel inang. Selanjutnya, kromosom virus akan mengambil alih peranan kromosom sel inang, dalam mengendalikan proses metabolisme sel. Dengan memanfaatkan perangkat yang dipunyai sel inang (seperti sistem enzimatik,

ribosom), bahan genetik serta mantel protein virus kemudian diperbanyak. Selanjutnya, dilakukan penyusunan virus utuh dari komponen-komponennya yang baru disintesis. Pada tahap akhir, virus-virus akan merusak dinding sel inang (dengan cara lisis) dan virus-virus baru akan terhambur keluar siap untuk menginfeksi sel berikutnya.



Gambar 1.5.
Virus Virulan Bereproduksi dengan Daur Litik,
sedangkan yang Temperat dengan Daur Lisogenik dan Litik
(pada Kondisi Tertentu)

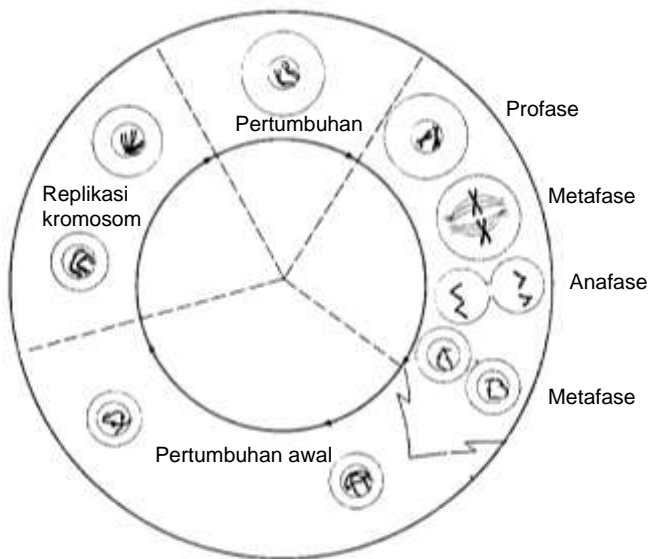
Pada daur lisogenik virus tidak mematikan sel inang, bahkan sebaliknya virus tersebut berkembang biak dengan memanfaatkan proses perkembangan bakteri inang. Pada daur ini, setelah infeksi DNA virus akan berintegrasi dengan DNA bakteri inang. Dengan terintegrasinya DNA virus ke dalam DNA bakteri maka ketika kromosom bakteri bereplikasi, DNA

viruspun akan ikut terbawa bereplikasi sehingga ketika bakteri berkembang biak membentuk sel baru maka DNA virus akan ikut terwariskan dan muncul pada sel-sel inang yang baru terbentuk. Apabila keadaan lingkungan tidak menguntungkan bagi sel inang, virus akan melakukan desintegrasi DNANYA dari kromosom bakteri. Selanjutnya virus akan melakukan perkembangbiakan dengan menggunakan proses daur litik.

C. REPRODUKSI SEL EUKARIOT

1. Siklus Sel Eukariot

Eukariot mencakup kelompok terbesar dari makhluk hidup; meliputi makhluk bersel tunggal dan bersel ganda. Pada eukariot bersel tunggal seperti khamir, sebagaimana pada bakteri, reproduksi sel sudah merupakan reproduksi sel makhluk hidup. Pada eukariot bersel ganda, seperti tumbuhan, reproduksi sel merupakan satu bagian dari proses pertumbuhan dan perkembangan. Pada titik tumbuh, seperti pada ujung akar atau pucuk, akan terjadi pembelahan sel secara berkelanjutan. Siklus reproduksi sel eukariot terbagi ke dalam empat tahap sebagai berikut $G1 \rightarrow S \rightarrow G2 \rightarrow M$ (Gambar 1.6)



Gambar 1.6.
Siklus Reproduksi Sel Eukariot

Tahap awal ketika sel akan melakukan pembelahan (periode G1) dia akan tumbuh memperbesar diri dan aktif melakukan sintesis bahan-bahan yang diperlukan untuk pembelahan sel. Selanjutnya sel akan mensintesis atau menggandakan bahan genetiknya (periode S) sehingga setiap kromosom menjadi dua kali lipat. Persiapan akhir pembelahan (periode G2) sel akan tumbuh kembali mencapai ukuran maksimum dan mensintesis perangkat-perangkat mitosis. Setelah seluruh perangkat telah disiapkan sel kemudian akan membelah (periode M) menghasilkan sel-sel baru.

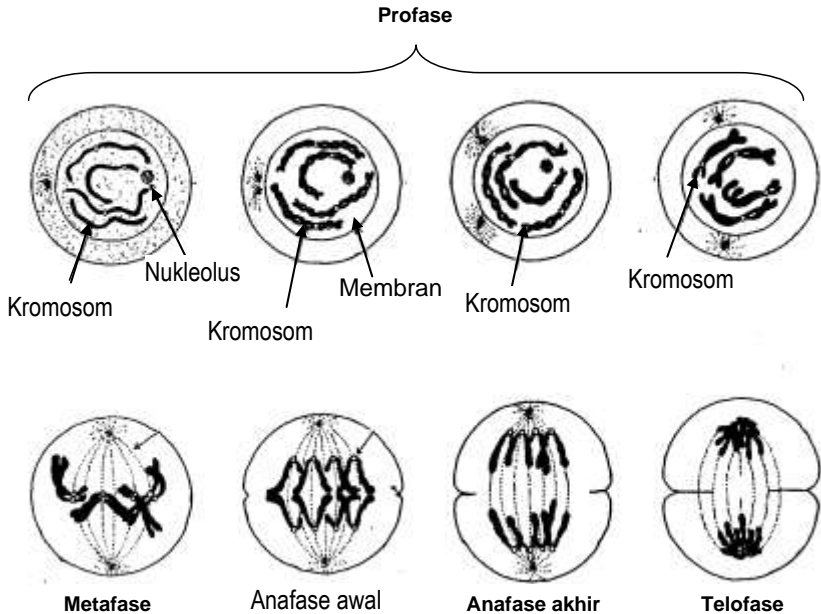
Pada periode M terdapat dua cara pembelahan, yaitu mitosis dan meiosis yang satu dengan yang lain mempunyai tujuan yang berbeda. Mitosis merupakan cara untuk memperbanyak sel, pembelahan suatu sel menghasilkan dua sel anak yang sama dengan sel induknya. Sedangkan meiosis merupakan cara untuk menghasilkan sel gamet dari sel induk gamet. Sel-sel gamet yang dihasilkan dapat berbeda satu dari yang lain dan juga berbeda dari sel induk gamet.

Pada makhluk bersel ganda terdapat dua jenis sel, yaitu sel badan (sel somatik), dan sel nutfah (sel generatif). Sel nutfah merupakan sel penyusun jaringan induk yang akan menghasilkan sel-sel gamet. Sel nutfah terdapat pada organ-organ penghasil gamet, seperti anter dan putik. Sel somatik ialah sel yang menyusun semua jaringan di luar jaringan nutfah. Reproduksi pada sel somatik berlangsung pada proses pertumbuhan, dan dilakukan dengan cara mitosis. Reproduksi pada sel nutfah berlangsung pada saat produksi sel gamet, dilakukan dengan cara meiosis. Mitosis juga terjadi pada proses pembentukan gamet yaitu bila diperlukan untuk memperbanyak sel-sel gamet hasil meiosis.

2. Reproduksi Vegetatif melalui Mitosis

Secara garis besar mitosis dapat dibagi ke dalam 4 tahap, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase (Gambar 1.7). **Interfase** merupakan tahapan antara dua pembelahan sel; periode ini mencakup tahapan G1, S, dan G2. Tahapan ini sering dianggap sebagai tahap istirahat, tetapi hal ini merupakan anggapan yang salah karena dalam tahap ini justru sel berada dalam keadaan aktif melakukan metabolisme, termasuk mempersiapkan diri sebelum melakukan pembelahan. Pada tahap ini sel ditandai oleh hadirnya membran yang membungkus inti. Kromosom tidak tampak karena pada tahap ini kromosom terdapat dalam bentuk molekul DNA yang tidak menggulung sehingga terlalu halus untuk dapat dilihat di bawah mikroskop cahaya.

Apabila sel akan membelah diri maka sel akan melakukan sintesis DNA atau reproduksi kromosom, periode S, dan melakukan pembesaran ukuran sel periode G2 yang selanjutnya sel akan masuk ke dalam periode pembelahan sel.

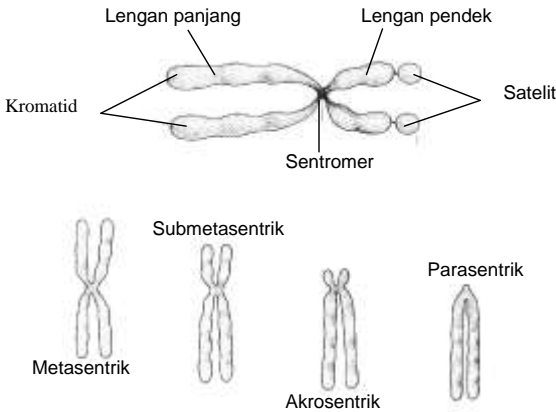


Gambar 1.7.
Tahapan Mitosis

a. *Profase*

Pada tahap ini terjadi kondensasi kromosom yang sebelumnya telah digandakan pada interfase atau periode S. Kondensasi kromosom berlangsung melalui proses penggulungan DNA sehingga terjadi penebalan dan pemendekan ukuran kromosom sehingga pada akhir proses penggulungan kromosom menjadi lebih pendek dan tebal; tiap kromosom terpisah satu sama lain. Bentuk seperti ini akan mempermudah pergerakan kromosom dalam pembelahan sel. Profase dapat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu awal, tengah, dan akhir. Profase awal ditandai dengan mulai tampaknya serat-serat kromatin. Pada profase tengah sudah terlihat pemisahan kromosom yang satu dengan yang lain, kromosom sudah mempunyai bentuk

yang tebal dan pendek. Proses penggulangan DNA akan berjalan terus dan pada tahap profase akhir, kromosom akan mempunyai ketebalan serta pemendekan maksimum. Oleh karena kromosom telah digandakan pada periode S maka pada profase akhir terlihat semua kromosom sudah menjadi dua kali lipat. Namun, masing-masing kromosom anak masih disatukan pada satu titik yang disebut **sentromer**. Kedua kromosom anakan yang masih disatukan oleh sentromer disebut **kromatid** (lihat Gambar 1.8).



Gambar 1.8.
Morfologi Kromosom pada Saat Pembelahan Sel

Letak sentromer merupakan ciri khas dari setiap kromosom. Berdasarkan posisi sentromernya, kromosom dikelompokkan menjadi metasentrik (sentromer terletak di tengah kromosom); parasentrik (sentromer terletak di ujung kromosom); submetasentrik (sentromer dekat pada salah satu ujung kromosom). Pada kromosom tertentu terdapat penyempitan sekunder, (penyempitan primer ialah sentromer) sehingga terdapat bentuk bulat bola pada ujung kromosom yang disebut sebagai satelit. Satelit digunakan sebagai salah satu ciri kromosom.

b. *Metafase*

Didandai dengan lenyapnya membran inti, kemudian muncul serat-serat halus dari dua kutub yang berlawanan. Serat tersebut akan menempel pada sentromer dan menarik kromosom ke arah dua kutub yang berlawanan. Daya

tarik yang seimbang menyebabkan kromosom akan terletak pada bidang yang terdapat di tengah sel. Bidang imajinasi tersebut dinamakan bidang ekuator dan posisi kromosom pada bidang ekuator merupakan ciri tahap metafase. Metafase merupakan tahap yang paling cocok untuk studi kromosom karena akibat posisinya yang terbesar menyebabkan jumlah kromosom dapat dihitung dengan tepat, dan bentuk kromosom dapat dipelajari dengan seksama.

c. Anafase

Daya tarik benang-benang akan menyebabkan kedua kromatid anak akan terlepas dari ikatan sentromer, menjadi dua kromosom baru. Kedua kromosom baru itu akan bermigrasi ke dua kutub yang berlawanan.

d. Telofase

Pada tahap akhir ini, kromosom-kromosom baru sudah terpisah dan berkumpul pada kutub yang berbeda. Kemudian, membran inti akan muncul membungkus dua kelompok kromosom yang sudah terpisah itu dalam dua inti baru. Setelah terbentuk dua inti, kemudian akan terjadi pemisahan sitoplasma, dengan pembentukan dinding yang memisahkan kedua inti menjadi dua sel baru.

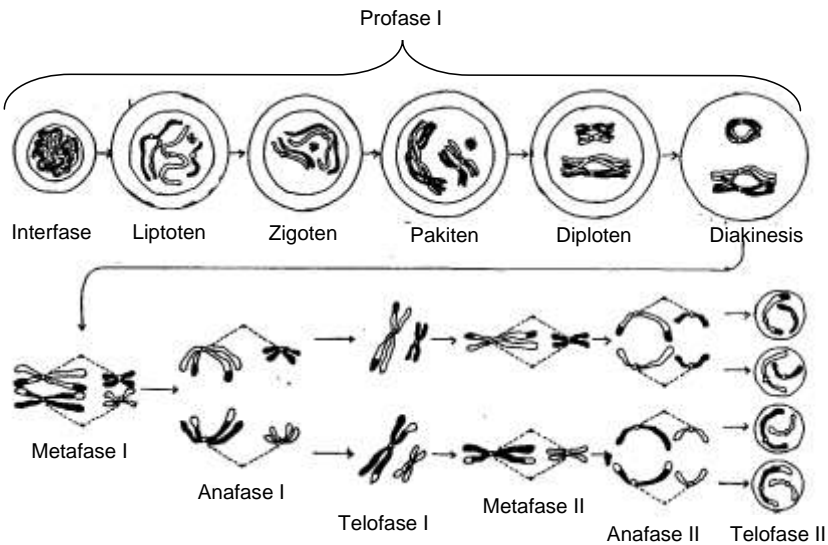
Dengan terbentuknya dua sel baru maka berakhirilah periode mitosis dan sel kembali ke tahap interfase atau lebih tepatnya masuk ke periode G1. Pada periode ini sel akan membesar sampai mencapai ukuran sel dewasa.

3. Reproduksi Generatif melalui Meiosis

Meiosis berlangsung pada sel atau jaringan nutfah, pada saat pembentukan sel gamet. Proses meiosis pada dasarnya mirip dengan mitosis, kecuali pada meiosis, sebelum terjadinya pemisahan kromatid telah terjadi pemisahan pasangan kromosom homolog. Pada sel somatik diploid setiap kromosom mempunyai pasangannya, yang disebut pasangan homolog. Setiap kromosom mempunyai struktur yang sama dengan pasangan homolognya. Adanya pasangan kromosom homolog ini berasal dari perkawinan atau penggabungan gamet dari kedua tetuanya. Kebalikannya pada saat pembentukan gamet, melalui meiosis, pasangan kromosom homolog dipisahkan lagi. Secara garis besar meiosis dapat dibagi ke dalam dua periode pembelahan sel; pembelahan I dan pembelahan II atau sering disebut meiosis I dan meiosis II. Pada setiap periode pembelahan tersebut terdapat tahap yang lebih

kecil yang mirip tahapan yang ada pada mitosis; yaitu Profase I; metafase I; anafase I; telofase I; untuk meiosis I, serta profase II, metafase II, anafase II, dan tolefase II untuk meiosis II. Sebelum profase II atau setelah telofase I, kadang-kadang sel berada dalam tahapan interfase tetapi sering juga tanpa adanya fase antara tersebut (Gambar 1.9).

Profase I. Seperti pada mitosis, tahap ini merupakan periode kondensasi DNA atau kromosom untuk mendapatkan struktur yang pendek. Profase I dapat dibagi menjadi tahapan leptonema; zigonema; pakinema; diplonema, dan diakinesis. Pada periode **leptonema** kondensasi DNA berjalan, menghasilkan benang yang tebal. Proses penebalan berjalan terus dan kromosom mulai berpasangan dengan homolognya. Adanya perpasangan kromosom homolog menunjukkan bahwa meiosis sudah memasuki tahap **zigonema**. Pada periode **pakinema**, semua kromosom yang telah mempunyai pasangan akan terus memendek sehingga setiap pasangan kromosom terlihat terpisah dari pasangan yang baru. Pasangan dua kromosom homolog disebut **bivalen**.



Gambar 1.9.
Tahapan-tahapan Meiosis

Penggulungan kromosom akan berjalan terus sampai akhirnya tiap kromosom nampak dalam bentuk kromatid yang disatukan oleh sentromer. Penampakan dua kromatid merupakan tanda tahapan **diplonema**. Pada perpasangan bivalen akan terlihat ada empat kromatid yang berpasangan, setiap dua kromatid disatukan oleh satu sentromer, dan disebut kromatid. Dua kromatid lainnya yang tidak disatukan oleh sentromer disebut kromatid tidak bertetangga. Dalam satu bivalen, dua kromatid bertetangga dapat saling melilit dan bertukar ruas satu dengan yang lain. Pertukaran ruas kromatid dari dua kromosom homolog disebut pindah silang. Pindah silang ini sangat bermanfaat bagi organisme, yaitu dalam bentuk kombinasi baru (rekombinan) pada saat pembentukan turunan-turunan persilangan sehingga diperoleh keragaman genetik.

Metafase I. Serat gelendong keluar dari kutub yang berlawanan dan mengait pada sentromer dari kromosom homolog yang telah berpasangan. Akibat daya tarik dari kedua kutub maka semua bivalen terletak pada bagian tengah sel, yaitu pada bidang ekuatorial. Perpasangan kromosom homolog ini tidak terjadi pada mitosis.

Anafase I: Dimulai dengan Bergeraknya kromosom yang homolog ke dua kutub yang berlawanan akibat tarikan benang gelendong. Berbeda dengan yang terjadi pada mitosis, pada tahap ini yang berpisah adalah pasangan kromosom homolog, dengan dua kromatid bersaudara masih tetap terikat pada sentromernya. Pada mitosis yang berpisah adalah kromatidnya. Jadi, pada fase ini terjadi pemisahan gugus ploidi kromosom sehingga pada kedua kutub akan berkumpul masing-masing satu ploidi kromosom.

Telofase I: Tahapan ini ditandai dengan tibanya kromosom yang bermigrasi di dua kutub yang berbeda. Pada setiap kutub akan berkumpul satu gugus ploidi kromosom, yang merupakan separuh jumlah gugus ploidi kromosom sel induk. Setiap kromosom pada saat ini berada dalam bentuk dua kromatid bersaudara yang terikat pada sentromernya. Pengumpulan gugus kromosom pada kedua kutub merupakan ciri berakhirnya tahap meiosis I. Proses yang terjadi antara meiosis I dan meiosis II berbeda-beda untuk setiap organisme (tergantung spesiesnya). Pada spesies tertentu, misalnya pada manusia, setelah telofase I terdapat interfase yang ditandai dengan munculnya inti sel yang membungkus dua kelompok kromosom, sedangkan pada spesies lain setelah telofase I langsung terjadi meiosis II.

Tahapan **profase II** kadang-kadang tidak ditemukan, dimana setelah telofase I dilanjutkan pembelahan kedua yang terlihat dengan munculnya

benang gelendong yang menarik kromatid pada sentromernya ke dua kutub yang berbeda. Akibat tarikan serat yang seimbang kromosom akan terletak pada bidang ekuator (**metafase II**), dan tarikan yang berlawanan itu kemudian akan menyebabkan dua kromatid bersaudara berpisah dan bergerak ke arah yang berlawanan, hal ini merupakan **anafase II**.

Pada tahap akhir, yaitu **telofase II**, kromosom berkumpul pada kutub-kutub yang berbeda, dan membran inti muncul membungkus kelompok kromosom tersebut. Pada saat ini kromosom yang terdapat pada setiap kelompok sudah bukan gabungan kromatid lagi. Setelah melewati dua kali pembelahan maka dari satu sel akan dihasilkan empat sel dengan masing-masing sel mengandung kromosom separuh jumlah sel awal. Kelompok empat sel yang dihasilkan dari satu sel melalui meiosis disebut tetrad.



LATIHAN

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

- 1) Buat skema yang menggambarkan proses reproduksi sel bakteri, dan jelaskan proses yang berlangsung pada setiap tahapnya!
- 2) Jelaskan pengertian siklus litik dan siklus lisogenik pada proses reproduksi virus!
- 3) Buat skema siklus reproduksi sel eukariot, jelaskan pula fungsi dari masing-masing tahapannya!
- 4) Buat skema yang menggambarkan tahapan mitosis, jelaskan apa yang terjadi pada setiap tahapan tersebut!
- 5) Buat gambar yang menunjukkan berbagai keragaman morfologi kromosom eukariot!
- 6) Buat skema yang menggambarkan tahapan meiosis, jelaskan apa yang terjadi pada setiap tahapan tersebut!
- 7) Jelaskan perbedaan dan persamaan antara mitosis dan meiosis!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab soal-soal dalam latihan 2 ini, Anda harus mempelajari Kegiatan Belajar 2 yang mencakup berikut ini.

- 1) Lihat Gambar 1.4 dan pembahasan: Reproduksi prokariot.

- 2) Lihat Gambar 1.5 dan pembahasan: Reproduksi virus.
- 3) Lihat Gambar 1.6 dan pembahasan: Siklus sel eukariot.
- 4) Lihat Gambar 1.7 dan pembahasan: Reproduksi vegetatif melalui mitosis
- 5) Lihat Gambar 1.8.
- 6) Lihat Gambar 1.9 dan pembahasan: Reproduksi generatif melalui meiosis.
- 7) Persamaannya baik pada mitosis maupun meiosis terdapat penggandaan jumlah kromosom dan pemisahan kromatid bersaudara. Perbedaannya pada meiosis terjadi pemisahan pasangan kromosom homolog, pada mitosis tidak ada hal tersebut sehingga dari mitosis dihasilkan dua sel anak yang sama, sedangkan dari meiosis dihasilkan empat sel anak yang berbeda.



RANGKUMAN

Bakteri bereproduksi melalui pembelahan biner, satu sel membelah menjadi dua, yang dimulai dengan replikasi kromosom bersamaan dengan pembesaran sel yang diikuti dengan pembelahan sel. Virus akan bereproduksi di dalam sel inang melalui dua siklus, siklus litik dan siklus lisogenik. Pada siklus litik virus setelah menginfeksi inang langsung akan menggandakan bahan genetiknya yang kemudian disusul dengan pembentukan virus-virus utuh. Pada siklus lisogenik bahan genetik virus akan berintegrasi dengan kromosom inang, dan ikut bereproduksi bersamaan reproduksi sel inang.

Siklus reproduksi sel eukariot mempunyai tahapan $G1 \rightarrow S \rightarrow G2 \rightarrow M$. Pada tahapan S dilakukan replikasi kromosom dan pada tahapan M terjadi pembelahan sel, yaitu melalui proses mitosis atau proses meiosis. Proses mitosis berlangsung terutama pada perbanyakan vegetatif, yaitu pembelahan sel untuk membentuk dua sel baru yang sama. Pada mitosis setiap kromosom akan membentuk kromatid bersaudara, yang selanjutnya kedua kromatid tersebut akan berpisah menjadi dua kromosom, yang kemudian masing-masing akan bermigrasi ke dua kutub yang berbeda dan akhirnya menjadi dua sel yang berbeda. Pada meiosis selain masing-masing kromosom membentuk dua kromatid juga terjadi perpasangan kromosom homolog. Pada meiosis I akan terjadi pemisahan kromosom homolog, kemudian pada meiosis II terjadi pemisahan kromatid bersaudara. Pada akhir meiosis akan terbentuk empat sel dengan jumlah kromosom separuh dari kromosom tetua, dan antarsel terdapat perbedaan genetik.

**TES FORMATIF 2**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Bakteri akan memperbanyak diri melalui
 - A. daur litik
 - B. pembelahan mitosis
 - C. pembelahan meiosis
 - D. pembelahan biner

- 2) Pada sel eukariot perbanyakan bahan genetik akan berlangsung
 - A. tahap G1
 - B. tahap S
 - C. tahap G2
 - D. tahap M

- 3) Pada kromosom parasentrik sentromer terletak
 - A. di tengah kromosom
 - B. mendekati tengah kromosom
 - C. mendekati ujung kromosom
 - D. di ujung kromosom

- 4) Pergerakan kromosom kedua kutub dimulai pada
 - A. profase
 - B. anafase
 - C. metafase
 - D. telofase

- 5) Metafase ditandai oleh
 - A. penebalan dan pemendekan kromosom
 - B. perpasangan kromosom homolog
 - C. semua kromosom terletak pada bidang ekuator
 - D. berkumpulnya kromosom pada dua kutub baru

Petunjuk soal nomor 6) – 8)**Pilihlah:**

- A. Jika (1) dan (2) benar.
 - B. Jika (1) dan (3) benar.
 - C. Jika (2) dan (3) benar.
 - D. Jika (1), (2), dan (3) benar.
- 6) Pada siklus lisogenik
- (1) virus tidak mematikan inang
 - (2) DNA virus akan berintegrasi dengan kromosom inang
 - (3) Akan terjadi proses lisis sel inang
- 7) Pada proses mitosis ...
- (1) pada akhir profase kromosom telah menjadi dua kromatid
 - (2) pada akhir profase terjadi perpasangan kromosom homolog
 - (3) akan dihasilkan dua sel yang sama satu dengan yang lain, dan juga sama dengan sel induk
- 8) Melalui proses meiosis berlangsung
- (1) pembentukan gamet
 - (2) pemisahan kromatid bersaudara
 - (3) pemisahan kromosom homolog

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 Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3

Daur Hidup dan Penentuan Jenis Seks

A. DAUR HIDUP

Eukariot mempunyai dua sistem reproduksi, yaitu seksual dan aseksual. Reproduksi seksual ialah reproduksi yang melibatkan proses penggabungan dua gamet, jantan dan betina, menghasilkan zigot yang selanjutnya akan berkembang menghasilkan individu-individu baru. Pada reproduksi aseksual tidak terdapat proses penggabungan gamet, perbanyakan individu dilakukan melalui pembelahan vegetatif, yaitu hanya melalui proses mitosis yang menghasilkan sel-sel yang serupa.

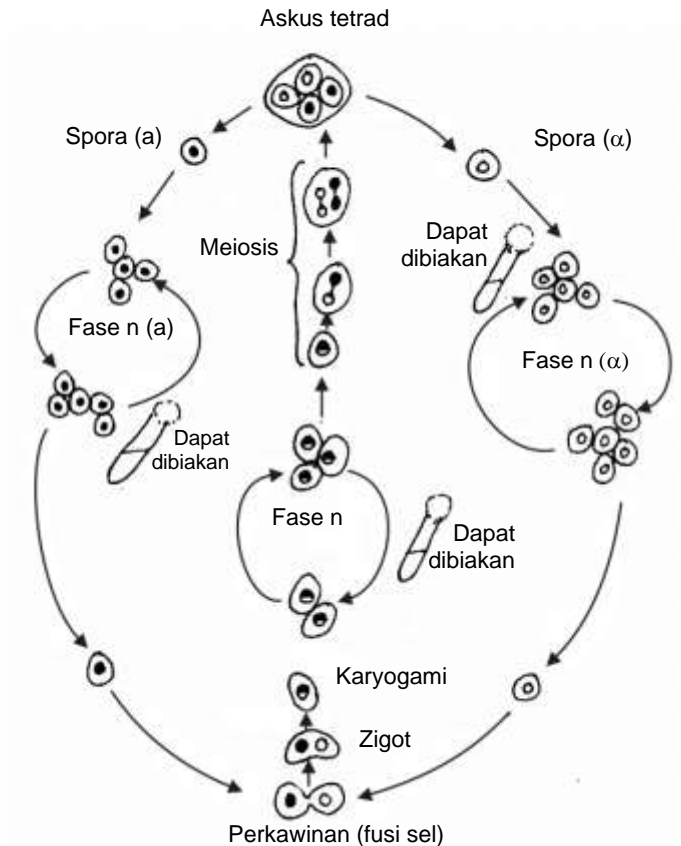
Dilihat dari segi daur hidupnya eukariot dapat dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu haplobion dan diplobion. Organisme haploid mempunyai daur haplobion, sedangkan organisme diploid menggunakan daur diplobion. Pada daur hidup haplobion hampir keseluruhan masa hidup organisme uniselular, seperti kapang dan organisme multiselular, seperti cendawan, jamur serta paku-pakuan. Daur diplobion dipunyai oleh organisme diploid, seperti tumbuhan (**Gymnosperma** dan **Angiosperma**) dan hewan.

Sebagai contoh daur hidup dan reproduksi eukariot, di bawah ini kami sajikan contoh empat organisme, yaitu khamir (*S. cerevisiae*), dan jamur, oncom (*Neurospora crassa*) untuk organisme haploid (daur haplobion), serta jagung (*Zea mays*) dan lalat buah (*Drosophila melanogaster*) untuk makhluk diploid (daur diplobion).

1. Daur Hidup Khamir (*Saccharomyces Cereviceae*)

Khamir merupakan kapang yang banyak dimanfaatkan manusia dalam proses fermentasi, seperti transformasi pati menjadi gula atau alkohol. Kapang ini merupakan Ascomycetes bersel tunggal yang dapat hidup dengan daur haplobion dan diplobion. Di alam, sel khamir dapat berada baik dalam keadaan haploid maupun diploid (Gambar 1.10). Sel diploid dan haploid dapat berkembang biak dengan melakukan reproduksi aseksual, membuat dua daur hidup haplobion dan diplobion yang bebas satu dari yang lain. Kedua daur ini terdapat di alam dalam keadaan yang seimbang. Kedua daur ini dihubungkan satu dari yang lainnya melalui proses reproduksi seksual. Sel haploid (n) dapat berubah menjadi diploid (2n) melalui proses perkawinan

atau fusi sel. Sel diploid dapat berubah menjadi haploid melalui proses meiosis.



Gambar 1.10.
 Daur Hidup *Sacharomyces Cerevisiae* yang Terdiri Dari
 Fase Haploid (n) dan Fase Diploid (2n)

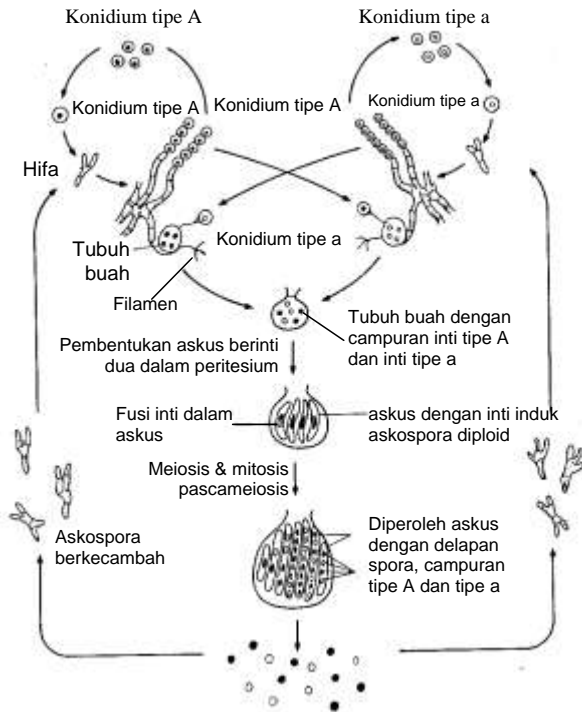
Pada khamir diketahui ada satu gen yang menentukan jenis penanda kawin, dan hanya sel-sel yang mempunyai penanda yang dapat melakukan fusi. Dikenal dua alel yang membedakan jenis penanda, yaitu alel (+) dan alel (-). Dalam reproduksi seksual dua sel haploid yang mempunyai dua jenis penanda kawin yang berbeda dapat bergabung atau berfusi membentuk zigot dengan dua inti (dikarion), yang selanjutnya dengan melalui karyogami atau penggabungan inti berkembang menjadi sel dengan inti diploid.

Sel diploid dapat berkembang biak di alam dengan proses mitosis membentuk khamir diploid, dan dapat diperbanyak dalam kultur di laboratorium. Fase ini merupakan fase diploid ($2n$). Dalam keadaan tertentu, biasanya dalam keadaan kekurangan hara, sel diploid akan menjalani proses meiosis dan akan membentuk spora haploid (n). Melalui proses meiosis akan dihasilkan askus dengan empat spora (tetrad). Spora-spora tersebut kemudian akan tumbuh menghasilkan sel haploid dewasa, membentuk daur fase haploid (n).

2. Daur Hidup *Neurospora Crassa*

N. crassa banyak digunakan dalam laboratorium sebagai bahan untuk studi genetik. Cendawan ini merupakan askomicetes bersel ganda yang berbentuk filamen (hifa). Hifanya merupakan suatu tabung panjang yang dibagi ke dalam ruang-ruang dengan sekat yang disebut septa. Dalam setiap ruangan terdapat banyak inti haploid dengan jumlah kromosom tiap inti (n) = 7. Di dalam biakan, cendawan ini tampak dalam bentuk masa hifa yang disebut miselium.

Pada Gambar 1.11 diperlihatkan bahwa cendawan dewasa dapat menghasilkan konidium, suatu organ berinti tunggal yang dibentuk pada ujung hifa. Konidium berfungsi dalam proses pembiakan baik untuk reproduksi seksual maupun aseksual. Dalam pembiakan aseksual konidium terlepas dari hifa dan kemudian dalam kondisi yang menguntungkan akan berkecambah membentuk hifa baru dan miselium. Semua inti yang terdapat pada miselium baru akan merupakan inti haploid.



Gambar 1.11.
Daur Hidup *Neurospora crassa* dengan Cara Aseksual dan Seksual

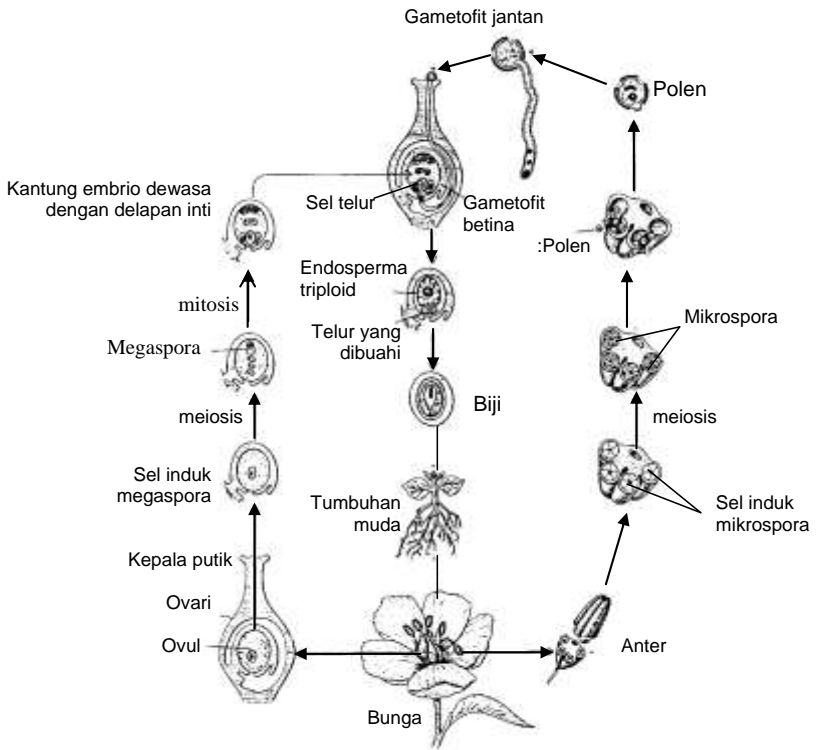
Dalam reproduksi parasexual, konidium akan berfungsi sebagai gamet jantan yang akan membuahi organ lain yang terbentuk pada miselium, disebut askogonium dan berfungsi, seperti gamet betina. Seperti halnya pada khamir, pada *N. crassa* juga dikenal adanya gen penentu jenis kawin. Hanya konidium dan askogonium yang mempunyai alel penentu jenis kawin yang berbeda yang dapat melakukan fusi. Dalam reproduksi parasexual, konidium dan askogonium akan menyatu membentuk zigot diploid. Melalui proses meiosis yang diikuti oleh mitosis, dari setiap sel zigot akan dihasilkan delapan askospora (n) yang tersusun secara linear dalam suatu askus. Askus-askus tersebut tersusun dalam suatu organ yang disebut peritesium. Askospora-askospora dewasa akan terlepas dari askus dan tumbuh menjadi hifa dengan inti-inti haploid.

Berbeda dengan daur khamir, *N. crassa* tidak mempunyai periode diploid yang terpisah dari haploid. Tidak terdapat sel diploid yang dapat berkembang biak atau dibiakkan secara buatan. Fase yang dimulai dari zigot sampai terbentuk spora ini berjalan dengan singkat, dan tidak terpisah dari miselium yang haploid.

3. Daur Hidup Tumbuhan Tingkat Tinggi

Tumbuhan tingkat tinggi merupakan makhluk diploid dan di alam daur hidupnya dapat dilengkapi baik melalui reproduksi aseksual (vegetatif) maupun reproduksi seksual (generatif). Bunga merupakan organ untuk reproduksi seksual yang di dalamnya terdapat organ jantan dan organ betina. Dilihat dari bentuk bunganya terdapat tiga kelompok tumbuhan. Kelompok pertama, yaitu tumbuhan dengan bunga hermaphrodit, yaitu dalam satu bunga terdapat organ jantan (benang sari) dan organ betina (putik); contoh tanaman dengan bunga hermaphrodit ialah padi dan kedelai. Kelompok yang kedua, yaitu tanaman yang di dalam satu pohon terdapat dua jenis bunga, jantan dan betina, seperti jagung. Kelompok yang ketiga, yaitu tanaman yang di dalam satu pohon hanya mempunyai satu jenis bunga, jantan saja atau betina saja; contohnya adalah pepaya dan salak.

Di dalam bunga, organ jantan terdiri dari benang sari dan kotak sari. Di dalam kotak sari dibentuk polen (atau tepung sari) yang dikembangkan dari sel induk mikrospora ($2n$). Melalui proses meiosis akan dihasilkan empat sel haploid (mikrospora), dan kemudian mengalami serangkaian mitosis untuk dikembangkan menjadi ribuan sel mikrospora. Pada tahap akhir, setiap mikrospora akan bermitosis menghasilkan satu butir polen dengan dua inti, yaitu inti generatif dan inti vegetatif. Pada saat bunga sudah siap untuk melakukan perkawinan, kotak sari dan polen akan ke luar dan jatuh pada putik.



Gambar 1.12.
Daur Hidup Tumbuhan (Contoh Bunga Hermaphrodit)

Gamet betina atau telur dibentuk di dalam organ betina yang disebut ovarium (putik). Di dalam satu ovarium terdapat satu atau lebih ovulum, yang di dalamnya terdapat sel induk megaspora ($2n$). Sel induk megaspora akan bermeiosis menghasilkan empat sel (tetrad). Dari keempat sel tersebut hanya satu yang hidup menjadi sel megaspora. Sel megaspora kemudian mengalami serangkaian mitosis menghasilkan delapan inti yang terdapat dalam satu sel yang disebut kantung embrio. Enam inti akan berkembang membentuk enam sel haploid yang terbagi rata di dalam dua kutub, dan dua inti yang lain terletak di bagian tengah kantung embrio membentuk satu sel polar diploid. Tiga sel yang terdapat pada kutub dekat mulut ovulum menjadi sel telur yang siap dibuahi, dan hanya satu yang akan berfusi dengan inti generatif dari polen.

Dalam proses pembuahan polen setelah jatuh pada kepala putik, inti generatif akan bermeiosis membentuk dua inti generatif. Inti vegetatif akan membentuk tabung polen bergerak sepanjang tangkai putik, dan kedua inti generatif bergerak mengikuti di belakangnya. Satu dari inti generatif akan membuahi dari salah satu sel telur membentuk zigot ($2n$), dan inti generatif yang lain, akan membuahi sel polar membentuk sel triploid. Zigot berkembang menjadi embrio, dan sel polar berkembang membentuk jaringan endosperm yang merupakan cadangan makanan buat embrio dalam proses perkecambahan ketika biji tumbuhan menjadi tanaman muda. Pada tumbuhan dikotil, embrio akan berkembang dan endosperm diserap oleh embrio, sedangkan cadangan makanan akan disimpan pada kedua kotiledonnya.

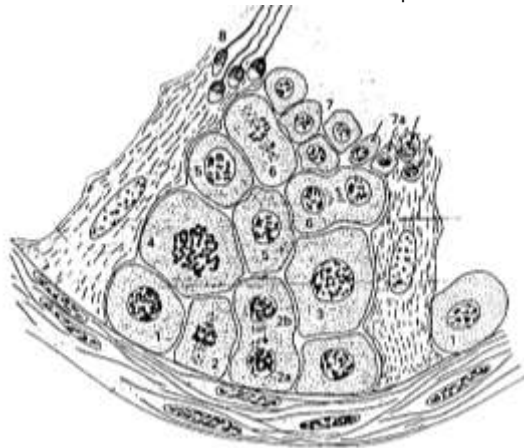
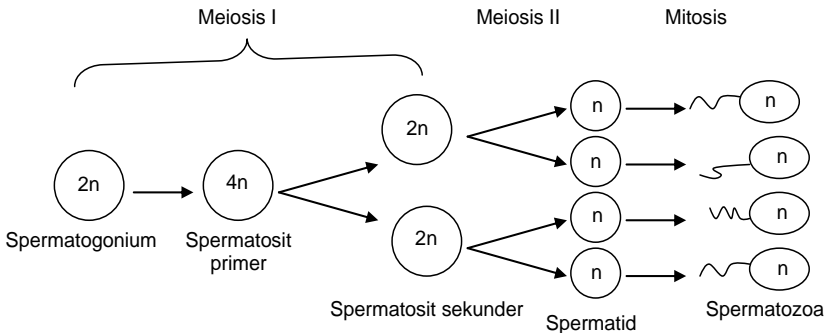
Pada tumbuhan di alam, reproduksi vegetatif atau aseksual merupakan pelengkap dari reproduksi seksual, terutama kalau tanaman mendapat kesulitan untuk melaksanakan reproduksi seksual. Rhizom merupakan salah satu alat yang digunakan tumbuhan untuk memperbanyak diri di alam, contoh untuk tumbuhan seperti ini adalah alang-alang, kelompok famili Zingiberaceae, dan pisang. Di dalam praktik pertanian para petani telah berhasil mengembangkan teknik pembiakan vegetatif, seperti pada tebu, teh, dan singkong.

4. Daur Hidup Hewan Tingkat Tinggi

Pada hewan tingkat tinggi tidak dikenal adanya reproduksi aseksual, dan pada sebagian besar hewan terdapat pemisahan jenis seks, jantan dan betina atau pada satu individu hanya terdapat satu jenis organ seks. Terdapat juga hewan yang termasuk hermaprodit seperti pada moluska.

Proses pembentukan gamet jantan (spermatogenesis) telah banyak dipelajari pada mamalia. Gamet jantan dibentuk dalam kelenjar yang disebut testes, selain berfungsi dalam membentuk sperma juga berfungsi untuk membentuk androgen yang merupakan hormon jantan. Sperma dibentuk pada epitelium nutfah yang terdapat di dalam testes. Jaringan epitelium nutfah disusun oleh lapisan-lapisan sel yang memproduksi sperma, yang tersusun berdasarkan urutan perkembangan spermatogenesis, mulai spermatogonium pada lapisan dasar sampai sperma pada lumen tubuh (Gambar 1.13). Tidak seperti pada tanaman, pada hewan spermatogonium tidak langsung bermeiosis membentuk gamet melainkan bermitosis memperbanyak jumlah spermatogonium. Kemudian, spermatogonium-spermatogonium tersebut berkembang menjadi spermatosit primer yang melalui meiosis I dan

meiosis II berkembang menjadi spermatosit sekunder dan spermatid. Selanjutnya, spermatid tersebut berkembang menjadi sperma atau spermatozoa. Dalam proses ini spermatid akan kehilangan hampir seluruh sitoplasma, dan sperma memperoleh organ berupa ekor yang berfungsi untuk bergerak dalam proses pembuahan.



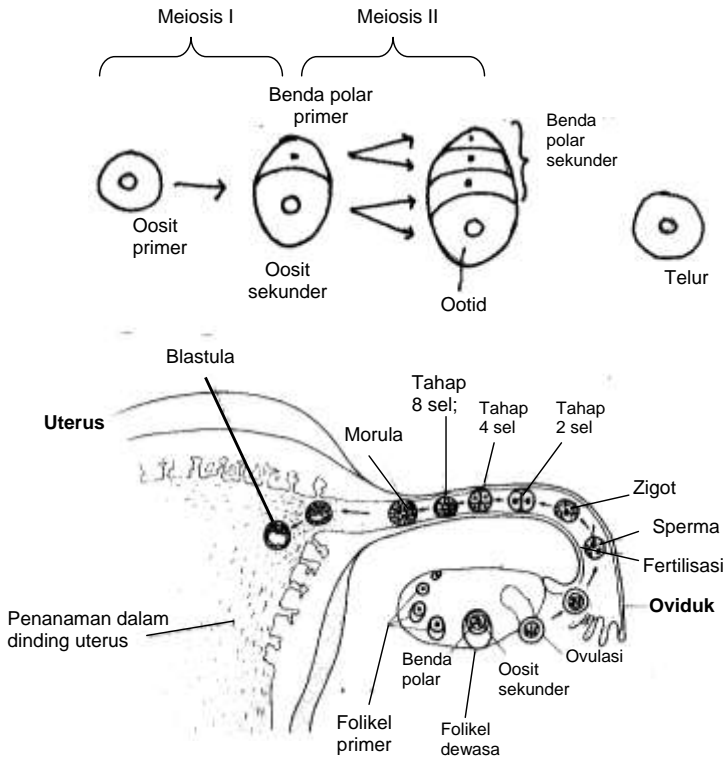
Sumber: Elseth dan Baumgardner, (1984).

Gambar 1.13.

Dinding seminiferous yang aktif membentuk sperma. Satu spermatogonium (1) bermitosis (2) membentuk banyak spermatogonium (2a, 2b). Satu spermatogonium berkembang menjadi spermatosit primer (3) dan melalui meiosis I dihasilkan dua spermatosit sekunder (5) dan dengan meiosis II (6) diperoleh empat spermatid (7). Spermatid dalam bagian atas sertoli (7a) berkembang menjadi sperma dewasa (8).

Proses perkembangan dari spermatogonium sampai menjadi sperma dewasa berlangsung cukup lama, beberapa minggu atau bulan (pada manusia berlangsung 74 hari), tetapi karena proses tersebut berlangsung secara berkesinambungan maka sperma selalu tersedia setiap saat. Mani atau semen yang dikeluarkan oleh jantan merupakan campuran dari sperma dengan hasil sekresi dari berbagai kelenjar, yang diperlukan sebagai energi oleh sperma.

Oogenesis atau pembentukan gamet betina pada hewan sebagian besar juga dipelajari pada mamalia. Gamet betina atau telur dibentuk di dalam satu paket sel yang disebut folikel yang terdapat di dalam ovarium. Folikel disusun oleh satu sel yang dapat bermeiosis yang disebut oogonium ($2n$) yang dikelilingi satu lapis sel folikel yang akan melindungi dan memberikan nutrisi pada sel telur dewasa. Oogonium akan berkembang menjadi sel siap bermeiosis yang disebut oosit primer. Pada akhir meiosis I akan dihasilkan oosit sekunder dan benda polar primer. Pada akhir meiosis II dari oosit sekunder dihasilkan satu sel ootid dan satu sel polar sekunder, sedangkan dari polar primer dihasilkan dua benda polar sekunder. Ootid akan berkembang menjadi sel telur.



Gambar 1.14.

Dalam proses oogenesis dari satu sel oosit melalui meiosis akan dihasilkan empat inti, tetapi hanya satu inti yang akan berkembang menjadi telur. Telur diproduksi dalam ovarium, dan selanjutnya akan keluar dari ovarium masuk ke dalam oviduk. Di dalam oviduk, telur akan bertemu dengan sperma yang masuk melewati uterus. Telur yang telah dibuahi akan berkembang menjadi blastula dan tertanam dalam dinding uterus yang selanjutnya berkembang menjadi embrio.

Berbeda dengan yang terjadi dalam spermatogenesis, proses meiosis pada oogenesis tidak berlangsung secara bersinambungan, tetapi terbagi dalam beberapa tahap yang terpisah. Dalam ovarium, oosit primer akan tetap berada pada tahap profase-I sampai betina mencapai umur dewasa untuk membentuk gamet. Bersamaan dengan perkembangan folikel, oosit membesar, jumlah sel folikel meningkat, dan cairan di sekitar oosit akan mengisi ruang folikel sampai kapasitas maksimum, membentuk folikel

primer. Selanjutnya folikel mencapai tingkat kematangan, dan oosit telah menyelesaikan meiosis I. Oosit sekunder akan mengambil seluruh sitoplasma, dan benda polar kadang-kadang terderegenerasi, tetapi kadang-kadang juga dapat mencapai akhir meiosis II. Folikel kemudian melepaskan oosit sekunder keluar dari ovarium dan masuk ke dalam oviduk, dan proses ini disebut ovulasi (Gambar 1.14).

Di dalam oviduk, oosit dapat bertemu dengan sperma yang masuk lewat uterus. Sperma akan menembus dinding telur, dan oosit sekunder menyempurnakan meiosis II menghasilkan ootid (n) dan benda polar sekunder. Ootid akan mengambil hampir seluruh sitoplasma membentuk sel telur, sedangkan benda polar terderegenerasi. Inti sperma dan sel telur kemudian berfusi (melebur) menghasilkan zigot ($2n$), dan proses ini disebut fertilisasi. Oosit yang tidak mengalami fertilisasi akan terderegenerasi. Zigot akan bergerak sepanjang oviduk masuk ke dalam uterus dan tertanam dalam dinding uterus dan berkembang menjadi embrio.

Pada hewan dari kelompok unggas, serangga, dan reptil, embrionya tidak berkembang di dalam uterus atau hewan betina, tetapi berlangsung di luar tubuh induknya. Sel telur yang telah terbuahi ($2n$) akan dilepas sebagai telur (dalam bahasa sehari-hari), dan hewan muda akan berkembang setelah proses inkubasi di alam. Pada ikan proses fertilisasi atau perpaduan antara sperma dengan telur berlangsung di dalam air atau di luar tubuh induknya, yang selanjutnya zigot akan berkembang menjadi hewan muda di dalam air.

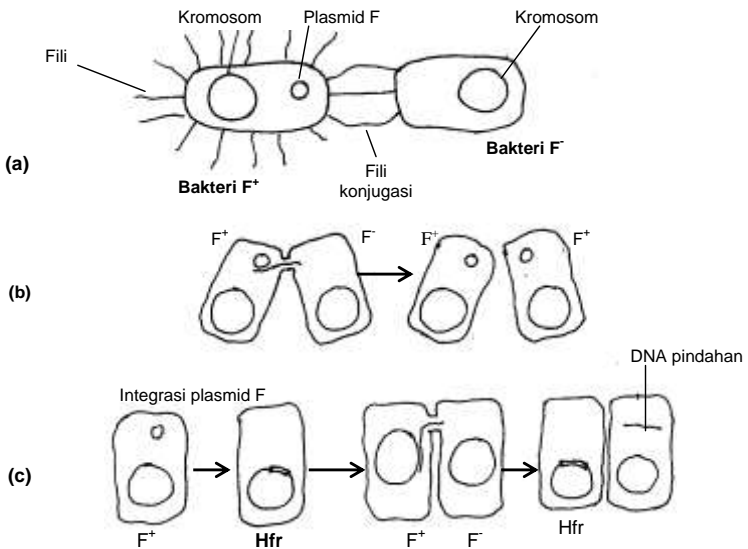
B. PENENTUAN JENIS SEKS

Pada hewan tingkat tinggi kita temukan adanya pembagian jantan dan betina; hewan jantan dan betina masing-masing hanya menghasilkan gamet jantan atau betina saja. Pada moluska kedua jenis organ seks terdapat pada satu hewan, keadaan seperti ini disebut hermafrodit. Sebagian besar tumbuhan memiliki bunga hermafrodit, yang dapat menghasilkan gamet jantan dan betina, jadi tidak dapat dibedakan antara individu jantan dan betina. Namun, kita juga dapat melihat adanya tumbuhan yang mempunyai dua jenis bunga, jantan dan betina yang terpisah dalam satu pohon; sebagai contoh jagung. Terdapat juga tumbuhan berumah dua, yaitu mempunyai bunga jantan dan betina yang terpisah pada pohon yang berbeda, contohnya pepaya dan kelapa sawit. Bagaimanakah penentuan jenis seks ini? Ternyata

jenis seks ini diatur dengan sistem yang berbeda-beda pada berbagai organisme.

1. Penentuan Jenis Seks pada Bakteri

Telah dijelaskan pada bagian terdahulu bahwa daur hidup bakteri berdasarkan reproduksi aseksual. Namun, pada bakteri dikenal juga proses yang setara dengan proses perkawinan eukariot, yaitu proses **konjugasi**. Dalam proses ini terjadi pemindahan bahan genetik dari satu bakteri ke bakteri yang lain. Satu bakteri berperan sebagai donor dan bakteri lain sebagai penerima. Bakteri donor dapat disetarakan dengan bakteri jantan dan bakteri penerima sebagai betina. Pada dasarnya semua sel bakteri adalah sama; kemampuan untuk menjadi donor ditentukan oleh adanya faktor F.



Gambar 1.15.

(a) Bakteri F⁺ mengandung plasmid F dan fili yang dapat digunakan untuk proses konjugasi. (b) Transfer plasmid F dari bakteri F⁺ ke bakteri F⁻ pada proses konjugasi. (c) Integrasi Plasmid F ke dalam kromosom membentuk bakteri Hfr; konjugasi dengan Hfr dapat mentransfer sebagian kromosom bakteri.

Pada plasmid F terdapat gen yang memberikan kemampuan pada bakteri untuk membentuk fili, organ seperti rambut yang di dalamnya terdapat rongga seperti saluran. Bakteri yang mengandung plasmid F disebut bakteri F+, sedangkan yang tidak membawa plasmid tersebut dinamakan bakteri F-. Bakteri F+ dapat disetarakan dengan bakteri jantan, dan bakteri F- setara dengan bakteri betina. Fili dapat digunakan oleh bakteri F+ untuk menangkap bakteri F-, dan juga berfungsi sebagai saluran untuk memindahkan DNA dari F+ menuju F-. Pemindahan plasmid F ini didahului oleh replikasi plasmid F dan molekul F yang baru pindah ke bakteri F-, sedangkan faktor yang lain masih tetap pada bakteri F+ lama.

2. Penentuan Jenis Seks pada Eukariot

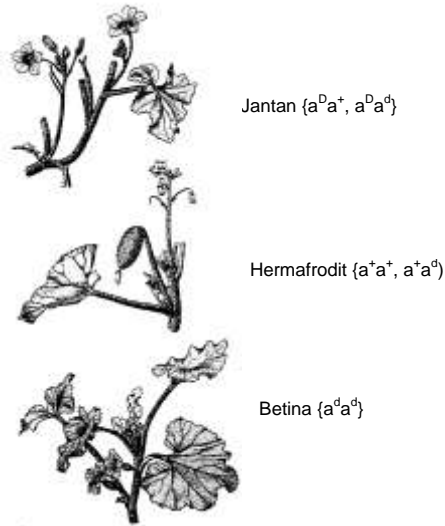
Penentuan jenis seks pada eukariot dapat dibagi atas empat kelompok, yaitu ditentukan oleh:

- a. satu atau dua lokus;
- b. jenis kromosom;
- c. perbedaan tingkat ploidi;
- d. lingkungan.

a. Penentuan jenis seks oleh satu atau dua lokus

Pada spesies tumbuhan tertentu dikenal adanya pemisahan jenis seks, menjadi tumbuhan jantan atau betina. Pada pepaya (*Carica papaya*) atau mentimun dikenal adanya pemisahan jenis (bunga jantan dan betina) pada tanaman yang berbeda. Perbedaan jenis seks pada tumbuhan tersebut ditentukan oleh satu atau dua lokus. Pada satu jenis mentimun (*Ecballium elaterium*), jenis seks ditentukan oleh satu gen dengan tiga jenis alel, yaitu (D) untuk jantan; (+) untuk hermaphrodit; dan (d) untuk betina. Alel D dominan terhadap + dan d, sedangkan + dominan terhadap d.

Tumbuhan dengan genotipe D+ dan Dd akan mempunyai seks jantan; tumbuhan ++ dan +d merupakan hermaphrodit, sedangkan individu betina akan mempunyai genotipe dd (Gambar 1.16). Dengan sistem penentuan seks semacam ini tidak akan ada tumbuhan yang bergenotipe DD karena genotipe semacam ini hanya mungkin muncul dari persilangan jantan dengan jantan.



Gambar 1.16.

Pada *Ecballium elaterium* terdapat tiga jenis seks yang ditentukan oleh genotipe gen penentu jenis seks. Alel D menentukan seks jantan, alel + menentukan seks hermaphrodit, dan alel d menentukan seks betina. D dominan terhadap + dan d; sedangkan alel + dominan terhadap d.

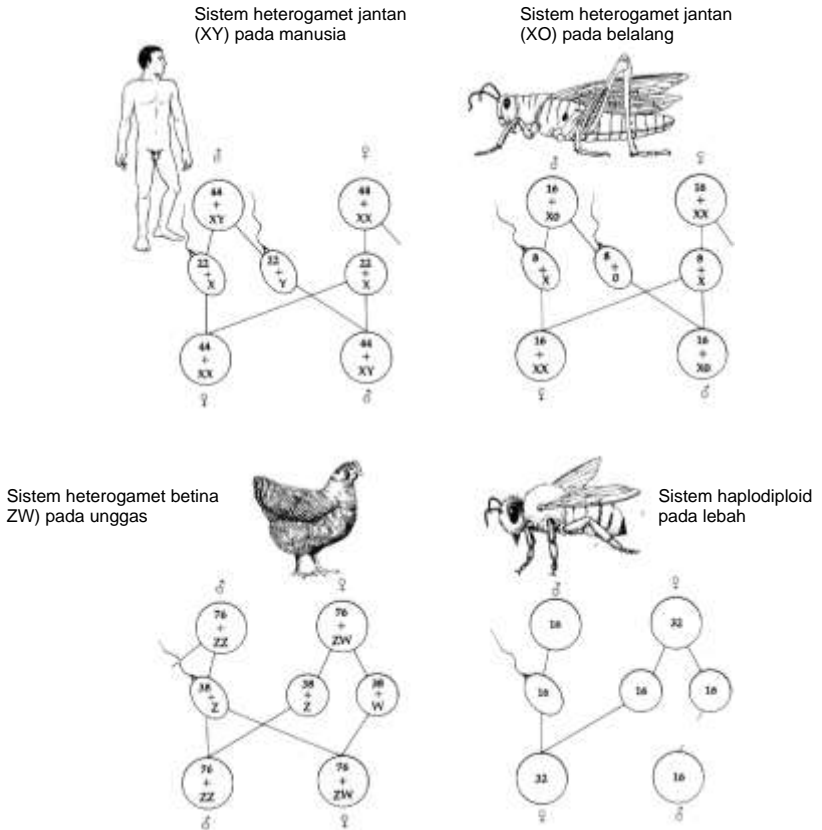
Pada jagung terdapat lebih dari satu lokus gen yang berpengaruh dalam penentuan seks. Umumnya jagung merupakan tumbuhan yang berumah satu dengan bunga jantan terpisah dari bunga betina. Pemunculan bunga jantan dan bunga betina dikendalikan oleh dua gen yang berbeda, dan pada setiap gen ditemukan dua alel. Setiap pasang gen mempunyai hubungan alel yang dominan resesif. Bunga jantan dikendalikan oleh alel Ba dan ba; bunga betina oleh alel Ts dan ts. Tanaman dengan genotipe (Ba⁻, Ts⁻) akan mempunyai tongkol maupun bulir. Tanaman yang homozigot untuk alel ba tidak akan mampu membentuk tongkol normal, dan tanaman yang homozigot alel ts tidak mampu membentuk bulir normal. Tanaman dengan genotipe (Ba⁻ ts/ts) akan mempunyai tongkol, tetapi bulirnya berubah menjadi struktur yang menghasilkan putik. Tanaman dengan genotipe ba/ba Ts⁻ tidak mempunyai tongkol, tetapi bulirnya akan mempunyai struktur putik dan mampu membuat gamet betina.

b. Penentuan seks berdasarkan kromosom

Pada hewan, jenis seks ditentukan oleh adanya kromosom khusus yang disebut kromosom seks. Kromosom lain yang tidak berhubungan dengan penentuan jenis seks dinamakan autosom. Sebagian besar kasus kromosom seks terdiri dari sepasang kromosom, yang biasa diberi nama kromosom X dan kromosom Y. Berbeda dengan pasangan kromosom homolog autosom yang mempunyai struktur yang sama, Kromosom X dan kromosom Y tidak mempunyai struktur yang sama.

Perbedaan antara individu jantan dan betina ditentukan oleh pasangan kromosom seks yang dikandungnya. Sebagai contoh pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*) individu jantan mengandung pasangan kromosom XY, sedangkan yang betina membawa pasangan XX. Sistem penentuan seperti itu disebut sistem **heterogamet jantan** atau **homogamet betina**, artinya yang jantan membawa dua kromosom seks yang berbeda (XY), sedangkan betina membawa kromosom seks yang sama (XX). Pada ayam terdapat sistem yang berbeda dari yang terdapat pada *D. melanogaster*, yaitu sistem **heterogamet betina** atau **homo-gamet jantan**. Jadi, pada ayam individu betina membawa dua kromosom seks yang berbeda (ZW), sedangkan yang jantan membawa kromosom seks yang sama (ZZ) (Gambar 1.17).

Pada belalang hanya terdapat satu jenis kromosom seks, yaitu kromosom X. Perbedaan jenis seks jantan dan betina ditentukan oleh jumlah kromosom seks yang dibawa oleh individu tersebut. Belalang betina membawa dua kromosom seks (XX), sedangkan belalang jantan hanya membawa satu kromosom seks (XO) (Gambar 1.17).



Gambar 1.17.

Sistem penentuan jenis seks berdasarkan kromosom. Manusia dan belalang mempunyai sistem heterogamet jantan sedangkan unggas bersistem heterogamet betina. Jenis seks lebah ditentukan oleh perbedaan tingkat ploidi; lebah jantan haploid dan lebah betina diploid.

Pada tumbuhan juga dikenal adanya spesies berumah dua yang jenis seksnya ditentukan oleh kromosom seks. Contoh tumbuhan seperti ini adalah campion liar *Lychnis dioica* (mula-mula termasuk genus *Melandrium*). Pada tumbuhan ini dikenal pemisahan seks yang dikendalikan oleh kromosom seks dengan sistem heterogamet jantan, yaitu XX betina dan XY jantan (Watergaard, 1948).

c. *Penentuan seks berdasarkan tingkat ploidi*

Pada insekta Ordo Hymenoptera termasuk di dalamnya lebah, semut, serangga (sawfly) dan tawon. Perbedaan jantan dan betina tidak ditentukan oleh perbedaan jenis kromosom seks, melainkan oleh perbedaan tingkat ploidi (Whiting, 1939). Pada sistem ini antara jantan dan betina terdapat perbedaan tingkat ploidi, yaitu lebah jantan haploid dan yang betina diploid. Lebah betina berasal dari sel telur yang dibuahi, sedangkan sel telur yang tidak dibuahi akan berkembang menjadi lebah jantan (Gambar 1.17). Lebah jantan membentuk gamet melalui proses mitosis, sedangkan yang betina melalui meiosis.

Dalam masyarakat lebah atau semut hanya akan ada satu betina yang akan menghasilkan telur, yaitu yang disebut ratu. Lebah-lebah betina, yang berasal dari telur yang dibuahi, akan berkembang menjadi satu betina fertil (ratu), sedangkan yang lainnya menjadi betina steril (pekerja). Perkembangan tersebut tergantung dari makanan yang diberikan pekerja kepada larva. Apabila dari larva berkembang lebih dari satu betina fertil maka akan terjadi pertarungan untuk memilih pemenang yang selanjutnya akan menjadi ratu.

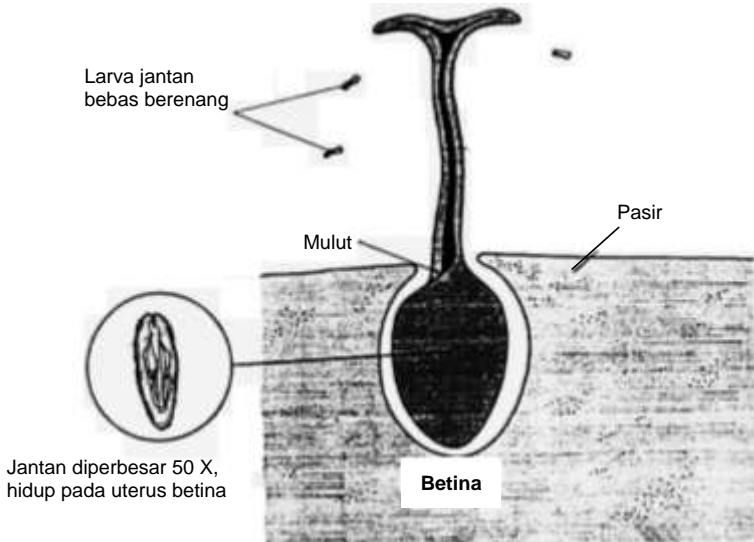
d. *Penentuan seks oleh lingkungan*

Banyak organisme sangat luwes dalam kemampuan penentuan jenis seksnya. Suatu individu dapat berkembang baik menjadi jantan maupun menjadi betina tergantung pada keadaan lingkungannya. Oleh karena jenis seks dari individu-individu tersebut tidak ditentukan secara genetik maka seluruh organisme mempunyai semua gen yang diperlukan untuk membentuk sistem reproduksi jantan maupun betina.

Satu contoh tentang keluwesan perkembangan seks ini terdapat pada cacing laut *Bonellia viridis*. *Bonellia* betina mempunyai badan, seperti kacang dengan proboscis yang ramping dengan panjang sekitar satu inci. Cacing jantan bertubuh lebih kecil sebesar protozoa, hidup sebagai parasit pada saluran reproduksi cacing betina.

Pada saat reproduksi, telur yang telah dibuahi dilepas ke air dan berkembang menjadi larva yang dapat berenang dengan bebas. Larva-larva yang berbeda di sekitar *Bonellia* dewasa dirangsang untuk menempel pada proboscis betina terdekat. Larva-larva yang bersentuhan dengan proboscis berkembang menjadi cacing jantan dan kemudian bergerak masuk ke dalam uterus betina, sedangkan larva-larva yang lainnya akan membenamkan diri dalam pasir dan berkembang menjadi cacing betina dewasa. Pada saat

persentuhan larva dengan proboscis diduga terjadi produksi hormon yang akan menentukan pembentukan seks jantan dari cacing muda.



Gambar 1.18.

Jantan (kiri) dan betina (kanan) *Bonellia*, suatu cacing laut yang memperlihatkan keluwesan dalam perkembangan seksual. Jantan hidup sebagai parasit pada saluran reproduksi betina.

Contoh lain mengenai pengaruh lingkungan dalam penentuan jenis seks ialah pada ikan laut *Labroides dimidiatus*. Ikan ini hidup di daerah berkarang membentuk kelompok yang disusun oleh satu jantan dan beberapa betina. Bila sang jantan mati, betina yang paling kuat akan mencegah ikan jantan dari kelompok lain mendekati kelompoknya, dan apabila berhasil dia akan berperilaku sebagai jantan menggauli betina-betina yang lain. Dalam waktu dua minggu dia akan berubah menjadi jantan, dalam arti mampu menghasilkan sperma yang fertil.



LATIHAN

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

- 1) Jelaskan pengertian daur seksual dan daur aseksual!
- 2) Jelaskan pengertian daur haplobion dan diplobion!
- 3) Gambarkan siklus hidup khamir!
- 4) Gambarkan siklus hidup *N. crassa*!
- 5) Gambarkan siklus hidup tumbuhan!
- 6) Gambarkan siklus hidup hewan!
- 7) Bagaimanakah penentuan jenis seks pada bakteri?
- 8) Jelaskan penentuan jenis seks oleh satu lokus pada eukariot!
- 9) Jelaskan penentuan jenis seks oleh perbedaan kromosom!
- 10) Jelaskan penentuan jenis seks oleh perbedaan tingkat ploidi!
- 11) Jelaskan penentuan jenis seks oleh lingkungan!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab soal-soal dalam latihan 3 ini, Anda harus mempelajari Kegiatan Belajar 3 yang mencakup berikut ini.

- 1) Lihat pengantar bahasan Daur Hidup.
- 2) Lihat pengantar bahasan Daur Hidup.
- 3) Lihat bahasan Siklus Hidup *S. cerevisiae* dan Gambar 1.10.
- 4) Lihat bahasan Siklus Hidup *N. crassa* dan Gambar 1.11.
- 5) Lihat bahasan Siklus Hidup Tumbuhan Tingkat Tinggi dan Gambar 1.12.
- 6) Lihat bahasan Siklus Hidup Hewan dan Gambar 1.13 dan Gambar 1.14.
- 7) Lihat bahasan Penentuan Jenis Seks pada Bakteri.
- 8) Lihat bahasan Penentuan Jenis Seks oleh Satu atau Dua lokus.
- 9) Lihat bahasan Penentuan Jenis Seks berdasarkan kromosom.
- 10) Lihat bahasan Penentuan Jenis Seks berdasarkan tingkat ploidi.
- 11) Lihat bahasan Penentuan Seks oleh lingkungan.



Daur hidup eukariot dapat dipenuhi dengan reproduksi vegetatif (siklus aseksual) atau reproduksi generatif (siklus seksual). Pada reproduksi vegetatif tidak melibatkan proses pembentukan gamet dan perkawinan, sedangkan pada reproduksi generatif terdapat proses pembentukan gamet dan perkawinan. Adanya pembentukan gamet dan perkawinan menyebabkan adanya fase haploid dan fase diploid dalam siklus hidup. Makhluk yang sebagian besar dari siklus hidupnya berada pada fase haploid disebut haplobion, sedangkan yang fase diploidnya yang lebih panjang disebut diplobion. Cendawan merupakan makhluk haplobion, sedangkan tumbuhan dan hewan merupakan diplobion.

Khamir merupakan cendawan uniselular, dapat berkembang secara aseksual maupun seksual. Dua sel dengan tipe perjumpahan yang berbeda dapat melakukan perkawinan membentuk sel diploid, selanjutnya bermeiosis membentuk sel haploid yang selanjutnya dapat berkembang menjadi cendawan baru. Sel diploid juga dapat bertahan, berkembang secara vegetatif menghasilkan cendawan diploid.

Neurospora crassa merupakan cendawan multiselular, mempunyai siklus seksual dan siklus aseksual. Pada siklus aseksual konidium akan berkecambah membentuk hifa, yang kemudian dapat berkembang menghasilkan konidium. Konidium ini juga dapat digunakan sebagai sarana untuk perkawinan. Konidium apabila jatuh ke dalam askogonium dengan tipe perjumpahan yang berbeda akan berkembang menjadi sel induk spora diploid. Melalui proses meiosis akan dihasilkan spora yang tersusun dan askus. Askospora ini akan berkecambah menjadi individu baru.

Tumbuhan dan hewan merupakan eukariot multiselular diplobion. Tumbuhan dewasa diploid akan menghasilkan bunga yang mengandung anter dan putik. Pada anter terdapat sel induk mikrospora yang melalui proses meiosis akan menghasilkan polen haploid. Sedangkan pada putik terdapat sel induk megaspora, yang melalui proses meiosis akan dihasilkan sel telur haploid. Melalui proses perkawinan akan terjadi penggabungan inti polen dengan sel telur, menghasilkan zigot diploid. Zigot ini akan berkembang menjadi biji, yang selanjutnya akan berkembang menjadi individu dewasa. Hewan mempunyai siklus yang sama dengan tumbuhan, dengan keistimewaan bahwa sebagian terbesar hewan ada pemisahan seks menjadi individu jantan dan individu betina.

Jenis seks organisme diatur dengan berbagai sistem. Pada bakteri jenis seks diatur dengan adanya plasmid F, yang membedakan bakteri menjadi F^+ dan F^- . Adanya perbedaan tersebut memungkinkan suatu

bakteri melakukan konjugasi, setara dengan perkawinan. Pada cendawan dan tumbuhan jenis seks ditentukan oleh satu atau beberapa lokus (gen). Perbedaan alel pada lokus-lokus tersebut menyebabkan organisme menjadi jantan atau betina.

Pada hewan jenis seks ditentukan oleh jenis kromosom seks. Komposisi kromosom seks tertentu menentukan jenis seks betina, sedangkan komposisi yang lain menjadi jantan. Pada lebah jenis seks ditentukan oleh perbedaan tingkat ploidi. Jantan berasal dari telur yang tidak dibuahi (haploid), dan betina berasal dari telur yang dibuahi (diploid). Pada ikan dan cacing laut tertentu jenis seks ditentukan oleh lingkungan, seperti hormon yang dikeluarkan induknya.



TES FORMATIF 3

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Daur seksual ditunjukkan oleh adanya
 - A. proses meiosis
 - B. proses mitosis
 - C. perpaduan gamet
 - D. perpisahan gamet

- 2) Makhluk haplobion memperbanyak diri dengan daur
 - A. seksual
 - B. aseksual
 - C. seksual dan aseksual
 - D. seksual atau daur aseksual

- 3) Khamir (*Saccharomyces cereviceae*) melakukan pembiakan seksual dengan pembentukan ...
 - A. spora
 - B. tetrad
 - C. sel dikarion
 - D. sel haploid

- 4) Gamet jantan pada *N. crassa* adalah
 - A. konidium
 - B. askospora
 - C. askogonium
 - D. nifa

- 5) Pada siklus hidup tumbuhan tinggi, fase vegetatif adalah dalam bentuk....
- tepung sari
 - akar
 - daun
 - embrio
- 6) Peristiwa meiosis pada sel telur mamalia terjadi pada tahap
- oosit primer
 - ootid
 - sel polar sekunder
 - folikel
- 7) Penentuan tipe perjodohan cendawan dikendalikan oleh
- jenis alel pada satu lokus
 - komposisi kromosom seks
 - tingkat ploidi sel
 - keadaan lingkungan
- 8) Jenis seks hewan dan manusia ditentukan oleh
- jenis alel pada satu lokus
 - komposisi kromosom seks
 - tingkat ploidi sel
 - keadaan lingkungan
- 9) Jenis seks pada lebah jantan ditentukan oleh
- komposisi kromosom XX
 - komposisi kromosom XY
 - tingkat haploid
 - tingkat diploid

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

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

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 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A
- 2) B
- 3) A
- 4) B
- 5) A
- 6) C
- 7) A
- 8) B

Tes Formatif 2

- 1) D
- 2) B
- 3) D
- 4) B
- 5) C
- 6) A
- 7) B
- 8) D

Tes Formatif 3

- 1) C
- 2) C
- 3) C
- 4) A
- 5) A
- 6) A
- 7) A
- 8) B
- 9) C

Daftar Pustaka

- Ayala FJ, Kiger J. (1984). *Modern Genetics. Second Edition*. Menlo Park California: Benjamin Cummings Publishing Company Inc.
- Davern CI (Ed). (1981). *Genetics Reading From Scientific America*. San Francisco: W.H.Freeman Company.
- Elseth GD, Baumgardner KD, (1984). *Genetics*. Menlo Park California/London/ Amsterdam/Don Mills Ontario/Sydney: Addison-Wesley Publishing Company. Reading Massachusetts.
- Hayes WH (1953) *Observation on a Transmissible Agent Determining Sexual Differentiation in Bact coli*. J. Gen. Microbiology 8:72–88.
- Hughes A. (1959). *History of Cytology*. London and New York: Abelard-Schuman.
- Janssen, PA. (1909). *La Theorie De la Chiasma Typie, Nouvelle Interpretation des Cinesis de Maturation*. La cellule 25:387–406.
- Levine, L (Ed) (1971). *Papers on Genetics*. Tokyo: A book of Reading. The CV Mosby Company, Saint Louis. Toppan Company.
- Russel, PJ. (1996). *Genetics*. Fourth Edition. Harper Collin College Publishers.
- Sutton, WS. (1902). *On the Morphology of the Chromosom Group in Bracystolla magna*. Biol. Bull. 4: 1–2.
- Watergaard, M. (1948). *The Relation Between Chromosome Constitution of Triploid Melandrimu*. Hereditas 34:257–279.
- Whiting, PW. (1939). *Multiple Alleles in Sex Determination of Habrobracon*. J. Morphol 66: 323–355.