



MODUL BIOLOGI
(KES 102)

Materi Pertemuan 6
Pembelahan Sel dan Reproduksi

Disusun Oleh:
Reza Fadhillah, S.TP., M.Si

UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2018

Biologi dan Reproduksi Sel

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 memperbanyak dirinya. Reproduksi akan dimulai dengan memperbanyak bahan genetik, yang mengendalikan sifat makhluk hidup tersebut, yang kemudian diikuti dengan memperbanyak 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 dilibatkan 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 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.

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 berperanan 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 berperanan 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.

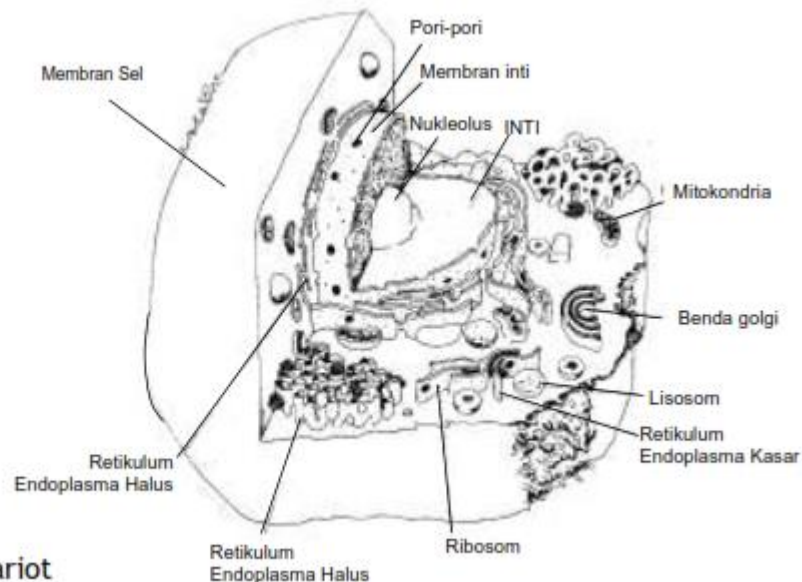
STRUKTUR SEL MAKHLUK HIDUP

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 penggulungan 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 ditempel 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 saring 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.

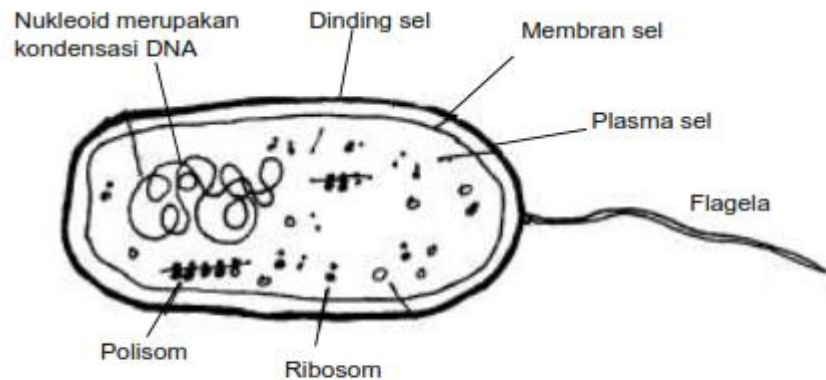
6) Kloroplas

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.

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

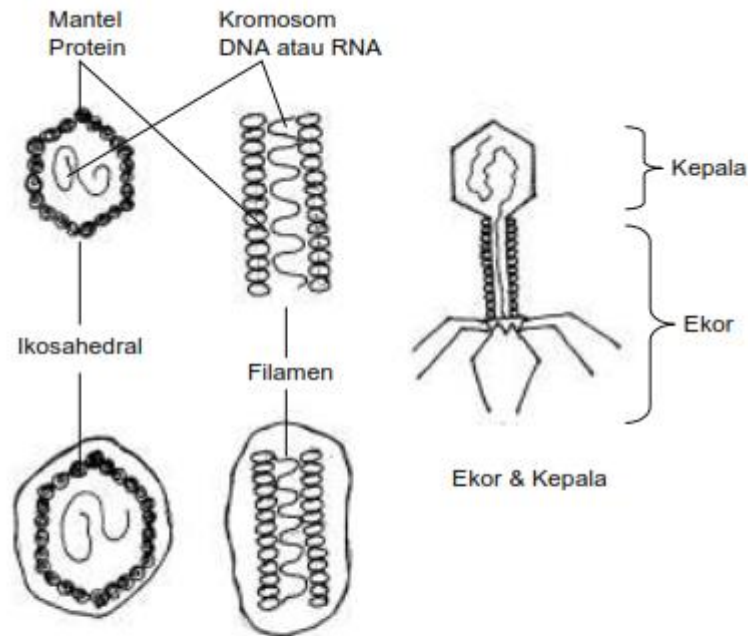
Bahan genetik dari sebagian besar prokariot terdiri dari satu kromosom yang tersusun atas satu molekul DNA yang berbentuk sirkular. Pada bakteri tertentu, seperti *Rhodobacter*, ditemukan adanya dua kromosom sebagai bahan genetiknya. Apabila pada eukariot dikenal adanya gen atau bahan genetik di luar 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 bersamaan. Ketika transkripsi (sintesis RNA) masih berjalan, ribosom sudah dapat membaca RNA untuk mensintesis protein.

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

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

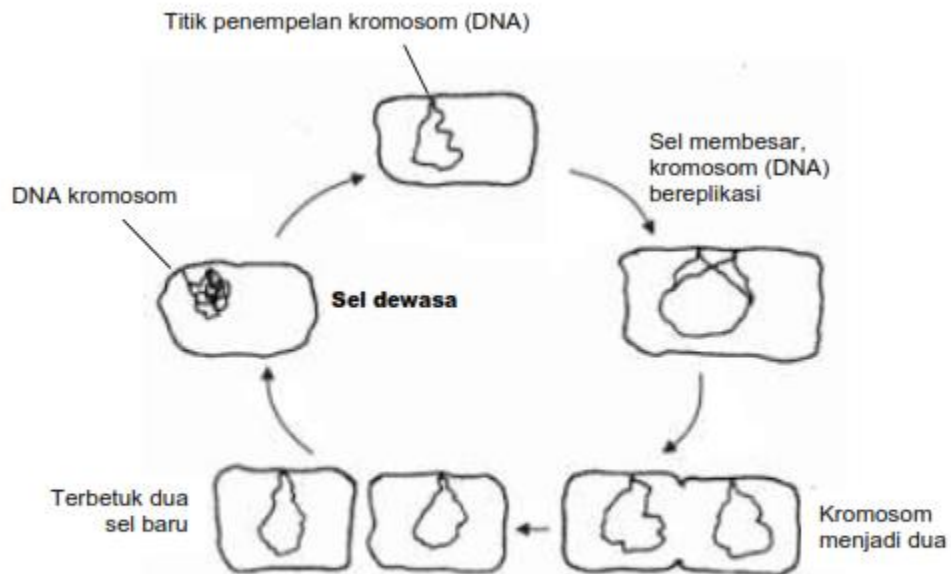
Bakteri memperbanyak diri melalui pembelahan sel secara biner, di mana satu sel akan memperbanyak diri menjadi dua sel. Oleh karena bakteri merupakan makhluk bersel tunggal maka sel baru yang terbentuk dari pembelahan tersebut sudah merupakan makhluk hidup baru. Jadi, panjang daur hidup bakteri sama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

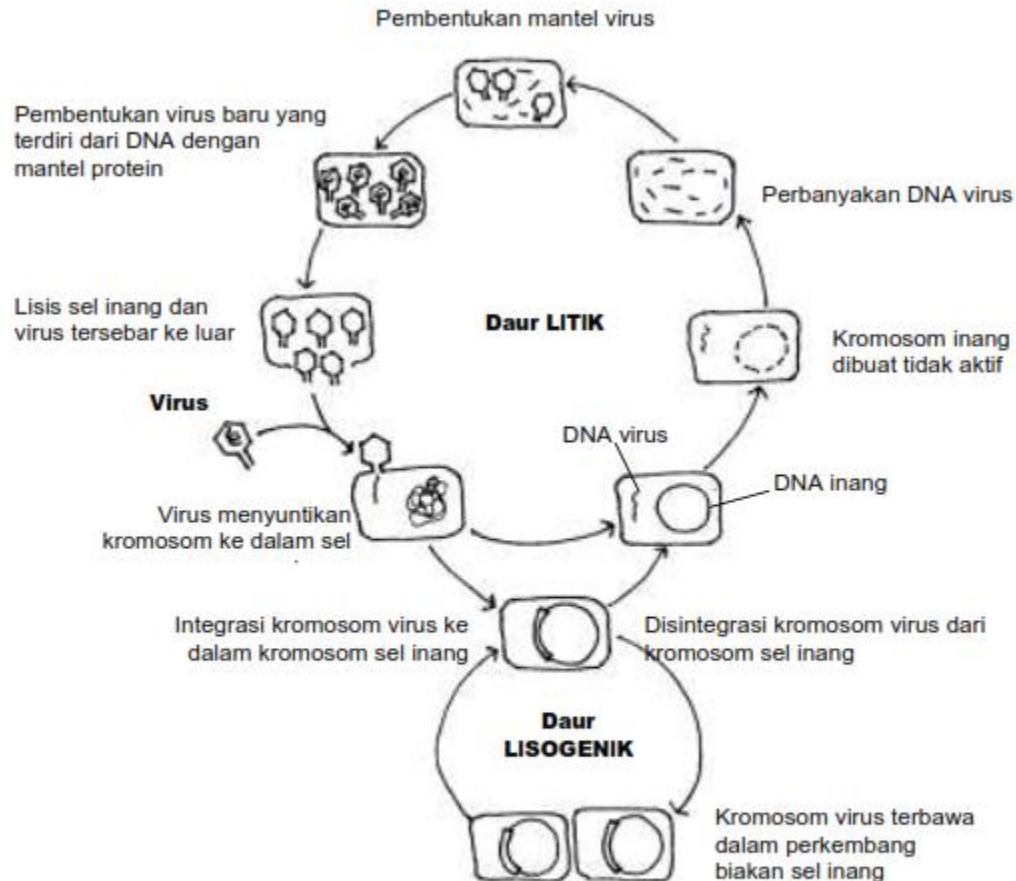
Untuk mempelajari proses reproduksi virus kita bahas, sebagai model siklus yang berlangsung pada bakteriofage. Bakteriofage (sering dipanggil fage) ialah virus yang menyerang bakteri sebagai sel inangnya. Terdapat dua jenis siklus hidup bakteriofage, yaitu daur litik dan daur lisogenik (Gambar 1.5). 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 1.4.
Daur Hidup Bakteri melalui Pembelahan Biner

Pada daur lisogenik virus tidak mematikan sel inang, bahkan sebaliknya virus tersebut berkembang biak dengan memanfaatkan proses perkembangbiakan 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.



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

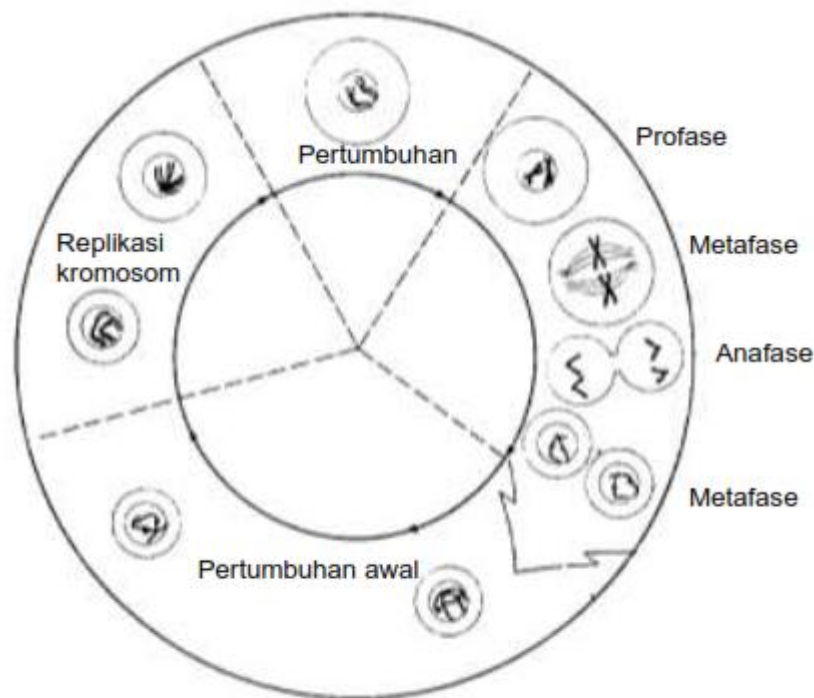
C. REPRODUKSI SEL EUKARIOT

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).

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.



Gambar 1.6.
Siklus Reproduksi Sel Eukariot

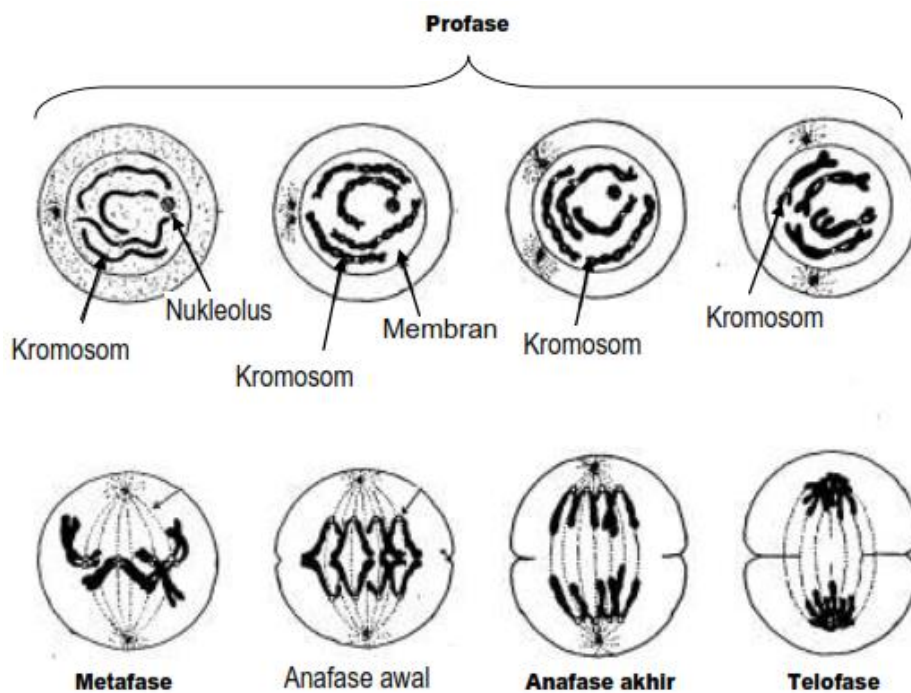
Pada periode M terdapat dua cara pembelahan, yaitu mitosis dan meiosis yang satu dengan yang lain mempunyai tujuan yang berbeda. Mitosis merupakan cara untuk memperbanyak sel, pembelahan suatu sel menghasilkan dua sel anak yang sama dengan sel induknya. Sedangkan meiosis merupakan cara untuk menghasilkan 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.

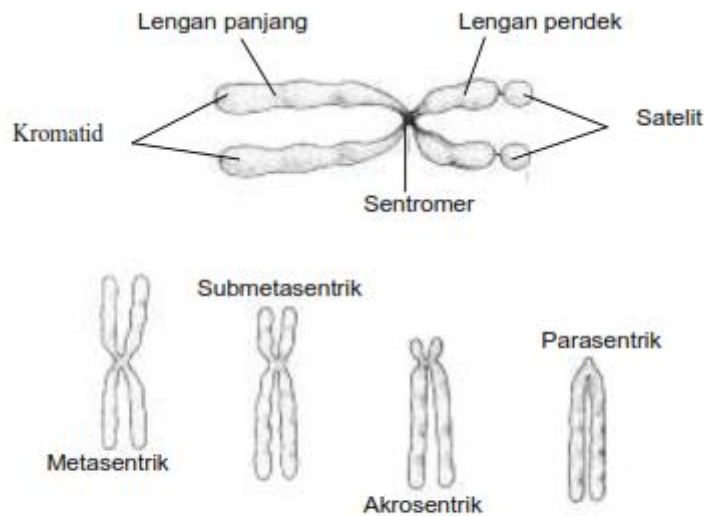


Gambar 1.7.
Tahapan Mitosis

a. Profase

Pada tahap ini terjadi kondensasi kromosom yang sebelumnya telah digandakan pada interfase atau periode S. Kondensasi kromosom berlangsung melalui proses penggulangan DNA sehingga terjadi penebalan dan pemendekan ukuran kromosom sehingga pada akhir proses penggulangan 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 anak 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

Ditandai 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.

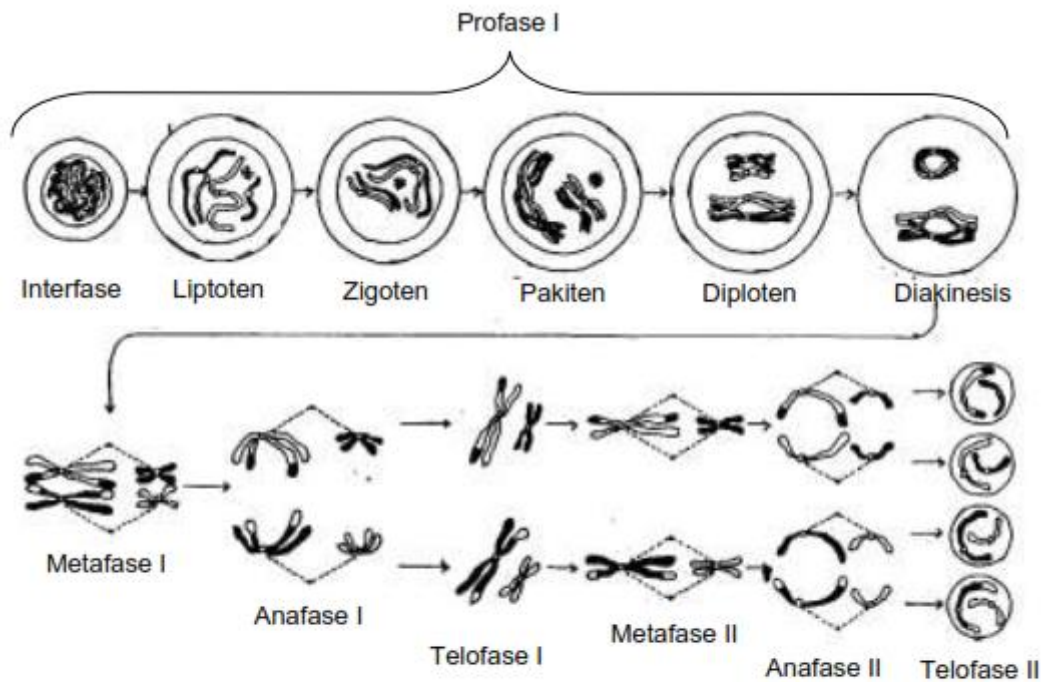
d. Telofase

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 diplotonema. 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.