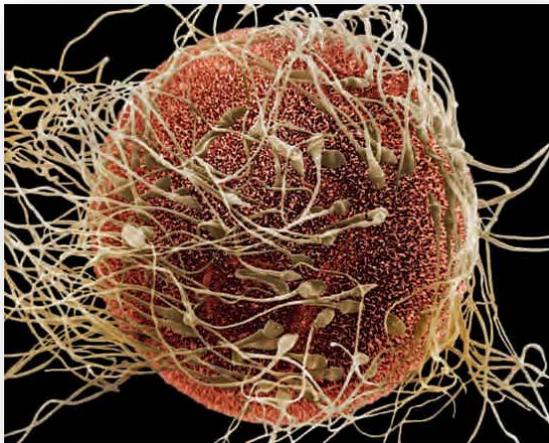


5 Reproduksi Mahluk Hidup

Reproduksi merupakan kemampuan suatu makhluk hidup, baik yang uniseluler maupun yang multiseluler untuk menghasilkan keturunan, tanpa proses reproduksi suatu makhluk hidup tidak akan mungkin melestarikan jenisnya. Pada organisme uniseluler, proses reproduksinya lebih



seederhana dibandingkan dengan organisme multiseluler. Reproduksi seksual pada organisme multiseluler diawali dengan pembentukan gamet atau gametogenesis yaitu gamet jantan dan gamet betina. Proses pembentukan gamet melibatkan pembelahan meiosis. Setelah gamet jantan (sperma) menyatu dengan gamet betina melalui proses fertilisasi, akan menghasilkan satu sel tunggal yang disebut zigot, yang mengandung satu set kromosom dari masing-masing induk. Zigot akan mengalami proses pertumbuhan dan perkembangan dengan melalui serangkaian tahapan

pembelahan sel, sehingga dihasilkan individu baru. Pada bab ini, pertama-tama kita akan membahas (i) reproduksi pada tingkat seluler, yang terdiri atas reproduksi pada organisme uniseluler seperti organisme prokariotik yaitu bakteri, (ii) pembelahan sel atau siklus sel pada organisme eukariotik yang melibatkan pembelahan inti atau yang dikenal dengan istilah mitosis dan sitokinesis, serta (iii) pembelahan meiosis pada proses pembentukan gamet. Berikutnya kita akan membahas (iv) reproduksi pada tumbuhan berbiji serta (v) struktur dan fungsi organ-organ reproduksi pada pria dan wanita.

Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan perkuliahan, mahasiswa diharapkan dapat :

1. Menjelaskan reproduksi organisme prokariotik/ bakteri
2. Menjelaskan tahapan siklus sel pada sel eukariotik
3. Membandingkan antara pembelahan sel secara mitosis dengan meiosis
4. Membedakan antara reproduksi seksual dengan aseksual.
5. Membandingkan antara alat reproduksi laki-laki dan wanita.
6. Menunjukkan letak bagian-bagian alat reproduksi pada laki-laki dan wanita dengan menggunakan gambar
7. Menganalisis perbedaan antara spermatogenesis dengan oogenesis.
8. Menjelaskan reproduksi pada tumbuhan berbiji

Reproduksi Pada Tingkat Seluler

Pembelahan sel pada organisme uniseluler, terutama bertujuan untuk proses reproduksi, sedangkan pada organisme multiseluler, pembelahan sel berperan penting untuk proses pertumbuhan dan perbaikan jaringan tubuh yang rusak. Proses pembelahan pada beberapa sel, melibatkan empat proses penting, yaitu

- a. Mesti terdapat “signal reproduksi”, signal reproduksi dapat berasal dari dalam atau luar sel, yang mengawali tahapan pembelahan sel.
- b. Replikasi DNA (materi genetik) dan komponen penting sel lainnya mesti berlangsung, sehingga masing-masing dua sel hasil pembelahan bersifat identik dan memiliki komponen seluler yang lengkap.
- c. Sel mesti mendistribusikan DNA hasil replikasi pada masing-masing dua sel hasil pembelahan, proses ini disebut segregasi.
- d. Materi baru mesti ditambahkan pada membran sel dan dinding sel (bagi organisme yang memiliki dinding sel) untuk memisahkan dua sel hasil pembelahan, proses pemisahan tersebut dinamakan sitokinesis.

Empat proses penting pada tahapan pembelahan sel di atas, berlangsung dengan cara yang sedikit berbeda pada organisme prokariotik dan organisme eukariotik. Berikut akan diuraikan beberapa contoh pembelahan pada level seluler, yang terdiri dari reproduksi pada prokariotik/ bakteri, tahapan siklus sel pada sel eukariotik, dan tahapan pembelahan meiosis pada proses pembentukan gamet atau gametogenesis.

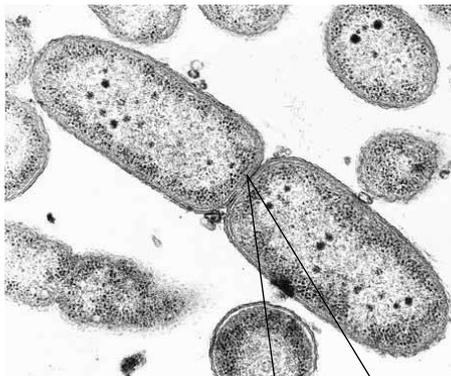
Reproduksi Pada Bakteri

Bakteri termasuk organisme uniseluler, yang berarti tubuhnya hanya tersusun atas satu sel dengan ukuran mikroskopis. Berdasarkan ada tidaknya membran inti, bakteri juga termasuk kelompok organisme prokariotik. Pada organisme uniseluler, pembelahan sel merupakan proses reproduksi satu organisme sel tunggal. Selama proses pembelahan, sel mengalami penambahan ukuran, mereplikasi materi genetiknya (DNA), dan kemudian membelah menjadi dua sel, proses tersebut dinamakan pembelahan biner, berikut tahapan pembelahan biner pada sel bakteri;

- a. Signal reproduksi, laju reproduksi pada beberapa organisme prokariotik merupakan respon terhadap kondisi lingkungan. Sebagai contoh, pembelahan sel bakteri *Escherichia coli*, membutuhkan waktu 40 menit pada suhu 37°C, tetapi apabila terdapat sumber karbohidrat yang berlimpah dan tersedia garam-garam mineral, kecepatan pembelahan sel dapat lebih singkat menjadi 20 menit. Spesies bakteri yang lain, *Bacillus subtilis*, menghentikan tahapan pembelahan apabila persediaan nutrisi di lingkungannya berkurang, dan melanjutkannya kembali apabila sumber nutrisi bagi sel bertambah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa faktor eksternal, seperti ketersediaan nutrisi pada lingkungan, mempengaruhi tahapan awal pembelahan sel.
- b. Replikasi DNA, molekul DNA mengandung informasi genetik, ketika sel membelah, seluruh kromosom mesti diduplikasi dan didistribusikan secara merata pada dua sel hasil pembelahan. Sebagian besar prokariotik hanya memiliki satu kromosom, satu molekul

DNA panjang dengan protein yang melekat padanya. Pada bakteri *Escherichia coli*, molekul DNA berbentuk sirkuler. DNA/ kromosom berbentuk sirkuler merupakan karakteristik organisme prokariotik, dapat juga ditemukan pada beberapa virus, DNA pada kloroplas dan mitokondria sel eukariotik.

- c. Segregasi DNA, setelah replikasi DNA akan dilanjutkan dengan proses segregasi molekul DNA hasil replikasi menuju dua sel baru hasil pembelahan.
- d. Sitokinesis, pemisahan sel atau sitokinesis dimulai 20 menit setelah replikasi kromosom selesai. Sitokinesis diawali dengan pelekukan membran plasma dan dilanjutkan dengan sintesis bahan-bahan penyusun dinding sel, dan pada tahap akhir dua sel bakteri terbentuk. Pada gambar 1, dapat dilihat dua sel bakteri *Pseudomonas aeruginosa* hampir menyelesaikan seluruh tahapan pembelahan. Setiap sel mengandung kromosom yang lengkap dan terlihat sebagai nukleoid pada bagian tengah sel.



Membran plasma telah terbentuk sempurna, memisahkan sitoplasma antara dua sel hasil pembelahan

Gambar. 5.1. Pembelahan pada bakteri *Pseudomonas aeruginosa* (Purves, Sadava, Orians, Heller. 2009. h. 166).

Siklus Sel

Sebahagian besar sel-sel tubuh manusia mengalami pembelahan sel, yaitu proses dimana satu sel membelah dan menghasilkan dua sel baru yang identik. Pada pembelahan sel, satu sel induk membelah menjadi dua sel anakan. Sel anakan ini mewarisi sifat sel induknya dan memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya. Jika sel induk memiliki $2n$ kromosom, maka setiap sel anakan juga memiliki $2n$ kromosom. Jumlah $2n$ ini disebut juga kromosom diploid. Selama pembelahan sel-sel tubuh (sel somatis), sebuah sel mengalami pembelahan inti atau mitosis dan pembelahan sitoplasma atau sitokinesis. Pembelahan sel-sel tubuh bertujuan untuk proses pertumbuhan atau regenerasi bagian-bagian tubuh yang rusak. Berikut akan diuraikan tahapan pembelahan sel.

Interfase

Pembelahan sel atau siklus sel terdiri dari fase pertumbuhan (interfase), fase pembelahan inti sel (kariokinesis atau mitosis), dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Interfase merupakan bagian terbesar dari siklus sel. Interfase terdiri dari tiga sub fase, yaitu fase G1 (pertumbuhan primer), fase S (sintesis), dan fase G2 (pertumbuhan sekunder). Interfase merupakan tahap yang penting untuk mempersiapkan pembelahan atau melakukan metabolisme sel. Pada interfase, tingkah laku kromosom tidak tampak karena berbentuk benang-benang kromatin yang halus. Walaupun begitu, sel anak yang baru terbentuk sudah melakukan metabolisme. Sel perlu tumbuh dan melakukan berbagai sintesis sebelum memasuki proses pembelahan berikutnya. Berikut aktivitas sel selama interfase;

Fase Pertumbuhan Primer (*Growth 1* disingkat *G1*)

Sel yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan tahap pertama. Pada subfase ini, sel belum mengadakan replikasi DNA yang masih bersifat $2n$ (diploid). Sementara organel organel yang ada di dalam sel, seperti mitokondria, retikulum endoplasma, kompleks golgi, dan organel lainnya memperbanyak diri guna menunjang kehidupan sel.

Fase Sintesis (S)

Pada subfase ini, sel melakukan sintesis materi genetik. Materi genetik adalah bahan bahan yang akan diwariskan kepada keturunannya, yaitu DNA. DNA dalam inti sel mengalami replikasi (penggandaan jumlah salinan). Jadi, subfase sintesis (penyusunan) menghasilkan 2 salinan DNA.

Fase Pertumbuhan Sekunder (*Growth 2* disingkat *G2*)

Setelah DNA mengalami replikasi, subfase berikutnya adalah pertumbuhan sekunder (*G2*). Pada subfase ini, sel memperbanyak organelorganel yang dimilikinya. Ini bertujuan agar organel-organel tersebut dapat diwariskan kepada setiap sel turunannya. Pada subfase ini, replikasi DNA telah selesai dan sel bersiap-siap mengadakan pembelahan secara mitosis. Selain itu, inti sel (nukleus) telah terbentuk dengan jelas dan terbungkus membran inti. Di luar inti terdapat dua **sentrosom** yang terbentuk oleh replikasi **sentrosom** pada tahap sebelumnya. Sentrosom mengalami perpanjangan menyebar secara radial yang disebut aster (bintang). Pada sentrosom terdapat sepasang sentriol yang berfungsi menentukan orientasi pembelahan sel. Walaupun kromosom telah diduplikasi pada fase S, namun pada fase *G2*,

kromosom belum dapat dibedakan secara individual karena masih berupa benang-benang kromatin.

Tahapan umum pembelahan sel dapat dilihat pada gambar 2. Setelah ketiga tahapan interfase dilalui, sel telah siap menjalani pembelahan secara mitosis. Seperti fase interfase, pembelahan mitosis juga terdiri dari beberapa fase, yaitu sebagai berikut;

Pembelahan Mitosis

Secara garis besar, fase pembelahan mitosis terbagi menjadi dua fase, yaitu fase pembelahan inti (kariokinesis) dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Kariokinesis adalah fase pembelahan inti sel. Secara rinci, fase kariokinesis dibagi menjadi empat subfase, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Uraian masing-masing fase mitosis sebagai berikut;

Profase

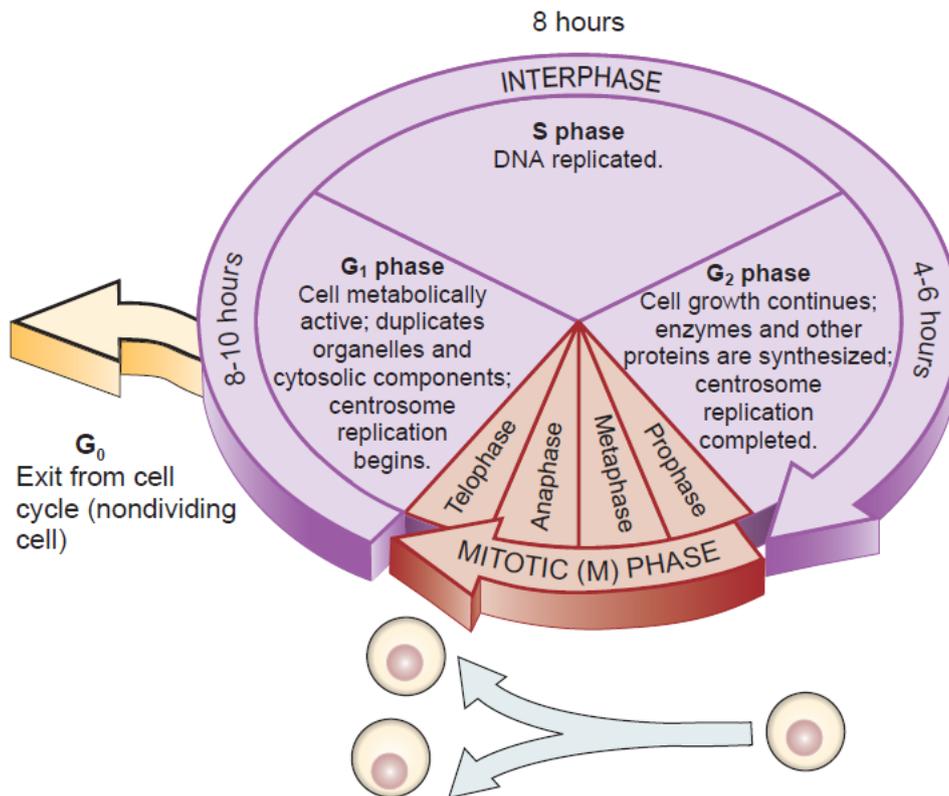
Pada permulaan profase, di dalam nukleus mulai terbentuk kromosom, yaitu benang-benang rapat dan padat yang terbentuk akibat menggulungnya kromatin. Pada fase ini, kromosom dapat dilihat menggunakan mikroskop. Selanjutnya, nukleolus menghilang dan terjadi duplikasi kromosom (kromosom membelah dan memanjang) menghasilkan 2 kromosom anakan yang disebut kromatid. Kedua kromatid tersebut bersifat identik sehingga disebut kromatid kembar (*sister chromatid*), yang bersatu atau dihubungkan oleh sentromer pada lekukan kromosom. Sentromer merupakan bagian kromosom yang menyempit, tampak lebih terang dan membagi kromosom menjadi 2 lengan. Pada akhir profase, di dalam sitoplasma mulai terbentuk gelendong pembelahan (spindel) yang berasal dari mikrotubulus.

Metafase

Tahap awal metafase (prometafase) ditandai dengan semakin memadatnya kromosom (kromosom ini terdiri dari 2 kromatid) dan terpecahnya membran inti (membran nukleus). Hal ini menyebabkan mikrotubulus dapat menembus inti sel dan melekat pada struktur khusus di daerah sentromer setiap kromatid, disebut kinetokor. Oleh karena itu, kinetokor ini berfungsi sebagai tempat bergantung bagi kromosom. Pada metafase, kromosom tampak jelas. Pada tahap metafase sesungguhnya, sentrosom telah berada pada kutub sel. Membrane inti sel menghilang. Sementara itu, kromosom menempatkan diri pada bidang pembelahan yang disebut bidang metafase. Dengan letak kromosom berada di bidang pembelahan, maka pembagian jumlah kromosom akan sama untuk masing-masing sel anakan.

Anafase

Setelah berakhirnya tahap metafase, pembelahan sel berlanjut pada tahap anafase. Tahap anafase ditandai dengan berpisahya kromatid saudara pada bagian sentromer kromosom. Gerak kromatid ini disebabkan tarikan benang mikrotubulus yang berasal dari sentriol pada kutub sel. Dikarenakan mikrotubulus melekat pada sentromer, hal ini menyebabkan sentromer tertarik terlebih dahulu. Akibatnya, sentromer berada di depan dan bagian lengan kromatid berada di belakang. Pada saat bersamaan, mikrotubulus non kinetokor semakin memanjang sehingga jarak kedua kutub sel semakin jauh. Selanjutnya, masingmasing kromatid bergerak ke arah kutub yang berlawanan dan berfungsi sebagai kromosom lengkap, dengan sifat keturunan yang sama (identik).

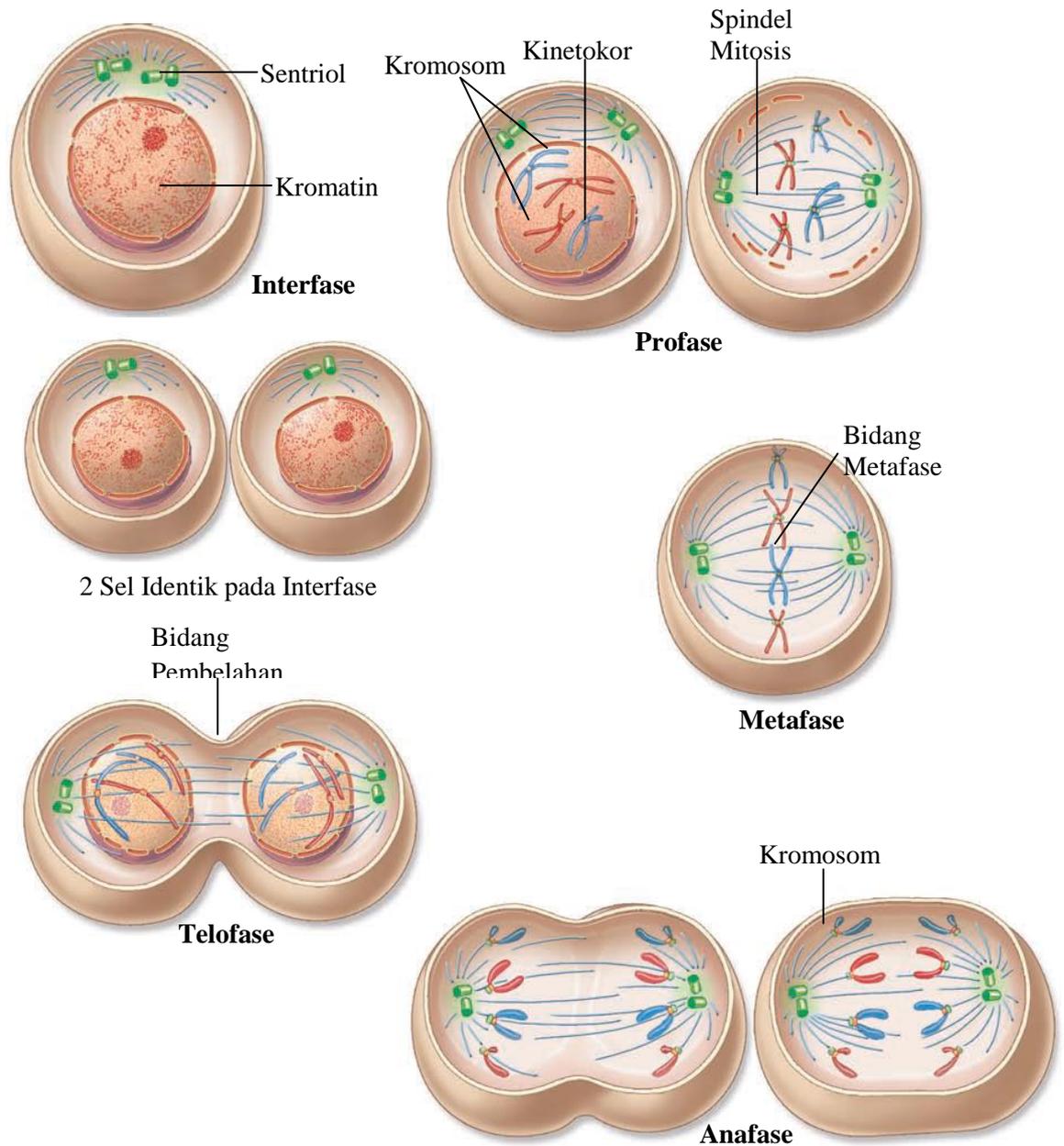


Gambar 5.2. Tahapan Umum Siklus Sel (Tortora & Derrickson, 2009; h. 93).

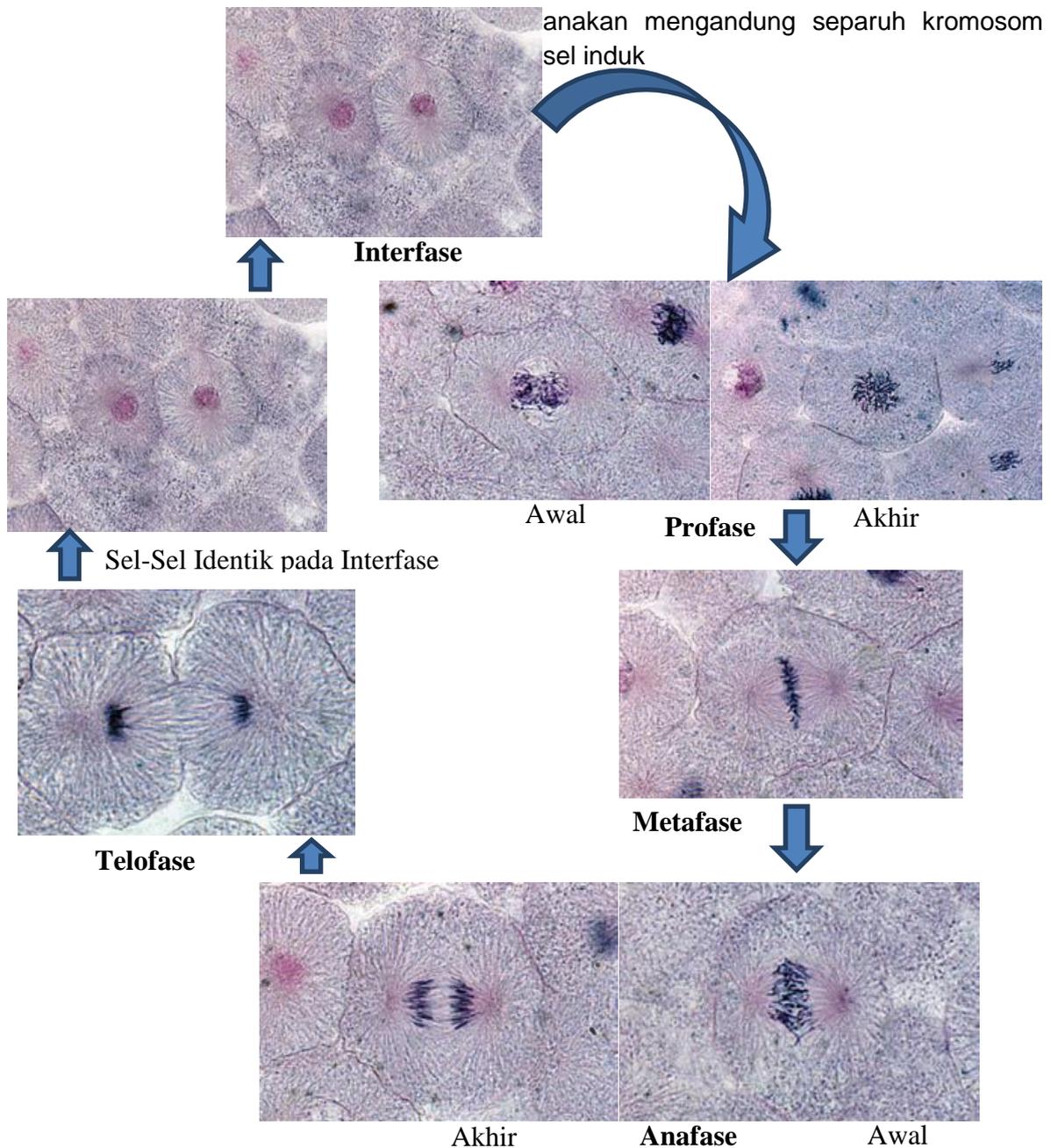
Telofase

Pada tahap telofase, inti sel anakan terbentuk kembali dari fragmen-fragmen nukleus. Bentuk selnya memanjang akibat peran mikrotubulus non kinetokor. Benang-benang kromatin mulai longgar. Dengan demikian, fase kariokinesis yang menghasilkan dua inti sel anak yang identik secara genetik telah berakhir, namun dua inti sel masih berada dalam satu sel. Agar

kedua inti terpisah menjadi sel baru, perlu adanya pembelahan sitoplasma yang disebut sitokinesis. Sitokinesis terjadi, segera setelah telofase selesai. Pada fase sitokinesis terjadi pembelahan sitoplasma diikuti pembentukan sekat sel baru, sehingga terbentuk dua sel anakan. Tahapan pembelahan mitosis dapat dilihat pada gambar 5.3 dan 5.4.



Gambar 5.3. Diagramskematis pembelahan mitosis (Torora&Derrickson, 2009; h. 95).



Gambar 5.4. Tahapan pembelahan mitosis (Torora&Derrickson, 2009; h. 95).

Pembelahan Meiosis

Pembelahan meiosis yang disebut juga sebagai pembelahan reduksi merupakan pembelahan sel induk dengan jumlah kromosom diploid ($2n$) menghasilkan empat sel anakan. Setiap sel

atau disebut haploid (n). Pembelahan meiosis terjadi pada proses pembentukan sel gamet (sel kelamin) pada organ reproduksi (testis atau ovarium). Pada manusia atau hewan, sperma yang haploid dihasilkan di dalam testis dan sel telur yang

juga haploid dihasilkan di dalam ovarium. Pada dasarnya, tahap pembelahan meiosis serupa dengan pembelahan mitosis. Hanya saja, pada meiosis terjadi dua kali pembelahan, yaitu meiosis I dan meiosis II. Masing-masing pembelahan meiosis terdiri dari tahap-tahap yang sama, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Berikut tahapan pembelahan meiosis.

Meiosis I

Seperti halnya pembelahan mitosis, sebelum mengalami pembelahan meiosis, sel kelamin perlu mempersiapkan diri. Fase persiapan ini disebut tahap interfase. Pada tahap ini, sel melakukan persiapan berupa penggandaan DNA dari satu salinan menjadi dua salinan (seperti interfase pada mitosis). Tingkah laku kromosom masih belum jelas terlihat karena masih berbentuk benang-benang halus (kromatin) sebagaimana interfase pada mitosis. Selain itu, sentrosom juga bereplikasi menjadi dua (masing-masing dengan 2 sentriol). Sentriol berperan dalam menentukan arah pembelahan sel. Setelah terbentuk salinan DNA, barulah sel mengalami tahap pembelahan meiosis I yang diikuti tahap meiosis II. Tahap meiosis I terdiri atas profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I, serta sitokinesis

Profase I

Pada tahap meiosis I, profase I merupakan fase terpanjang atau terlama dibandingkan fase lainnya bahkan lebih lama daripada tahap profase pada pembelahan mitosis. Profase I dapat berlangsung dalam beberapa hari. Biasanya, profase I membutuhkan waktu sekitar 90% dari keseluruhan waktu yang dibutuhkan dalam pembelahan meiosis. Tahapan ini terdiri dari lima subfase, yaitu leptoten, zigoten, pakiten, diploten, dan diakinesis.

Leptoten

Subfase leptoten ditandai adanya benang-benang kromatin yang memendek dan menebal. Pada subfase ini mulai terbentuk sebagai kromosom homolog. Kalian perlu membedakan kromosom homolog dengan kromatid saudara. Gambar 4.13 memperlihatkan perbedaan pasangan kromosom homolog dengan kromatid saudara.

Zigoten

Kromosom homolog saling berdekatan atau berpasangan menurut panjangnya. Peristiwa ini disebut sinapsis. Kromosom homolog yang berpasangan ini disebut bivalen (terdiri dari 2 kromosom homolog).

Pakiten

Kromatid antara kromosom homolog satu dengan kromosom homolog yang lain disebut sebagai kromatid bukan saudara (*non sister chromatids*). Dengan demikian, pada setiap kelompok sinapsis terdapat 4 kromatid (1 pasang kromatid saudara dan 1 pasang kromatid bukan saudara). Empat kromatid yang membentuk pasangan sinapsis ini disebut tetrad.

Diploten

Setiap bivalen mengandung empat kromatid yang tetap berkaitan atau berpasangan di suatu titik yang disebut kiasma (tunggal). Apabila titik-titik perlekatan tersebut lebih dari satu disebut kiasmata. Proses perlekatan atau persilangan kromatid-kromatid disebut pindah silang (*crossing over*). Pada proses pindah silang, dimungkinkan terjadinya pertukaran materi genetik (DNA) dari homolog satu ke homolog lainnya. Pindah silang inilah yang memengaruhi variasi genetik sel anakan.

Diakinesis

Pada subfase ini terbentuk benang-benang spindle pembelahan (gelendong

mikrotubulus). Sementara itu, membran inti sel atau karioteka dan nukleolus mulai lenyap. Profase I diakhiri dengan terbentuknya tetrad yang membentuk dua pasang kromosom homolog. metafase.

Metafase I

Pada metafase I, kromatid hasil duplikasi kromosom homolog berjajar berhadapan di sepanjang daerah ekuatorial inti (bidang metafase I). Membran inti mulai menghilang. Mikrotubulus kinetokor dari salah satu kutub melekat pada satu kromosom di setiap pasangan. Sementara mikrotubulus dari kutub berlawanan melekat pada pasangan homolognya. Dalam hal ini, kromosom masih bersifat diploid.

Anafase I

Setelah tahap metafase I selesai, gelendong mikrotubulus mulai menarik kromosom homolog sehingga pasangan kromosom homolog terpisah dan masing-masing menuju ke kutub yang berlawanan. Peristiwa ini mengawali tahap anafase I. Namun, kromatid saudara masih terikat pada sentromernya dan bergerak sebagai satu unit tunggal. Inilah perbedaan antara anafase pada mitosis dan meiosis. Pada mitosis, mikrotubulus memisahkan kromatid yang bergerak ke arah berlawanan.

Telofase I

Pada telofase, setiap kromosom homolog telah mencapai kutub yang berlawanan. Ini berarti setiap kutub mempunyai satu set kromosom haploid. Akan tetapi, setiap kromosom tetap mempunyai dua kromatid kembar. Pada fase ini, membran inti muncul kembali.

Peristiwa ini kemudian diikuti tahap selanjutnya, yaitu sitokinesis.

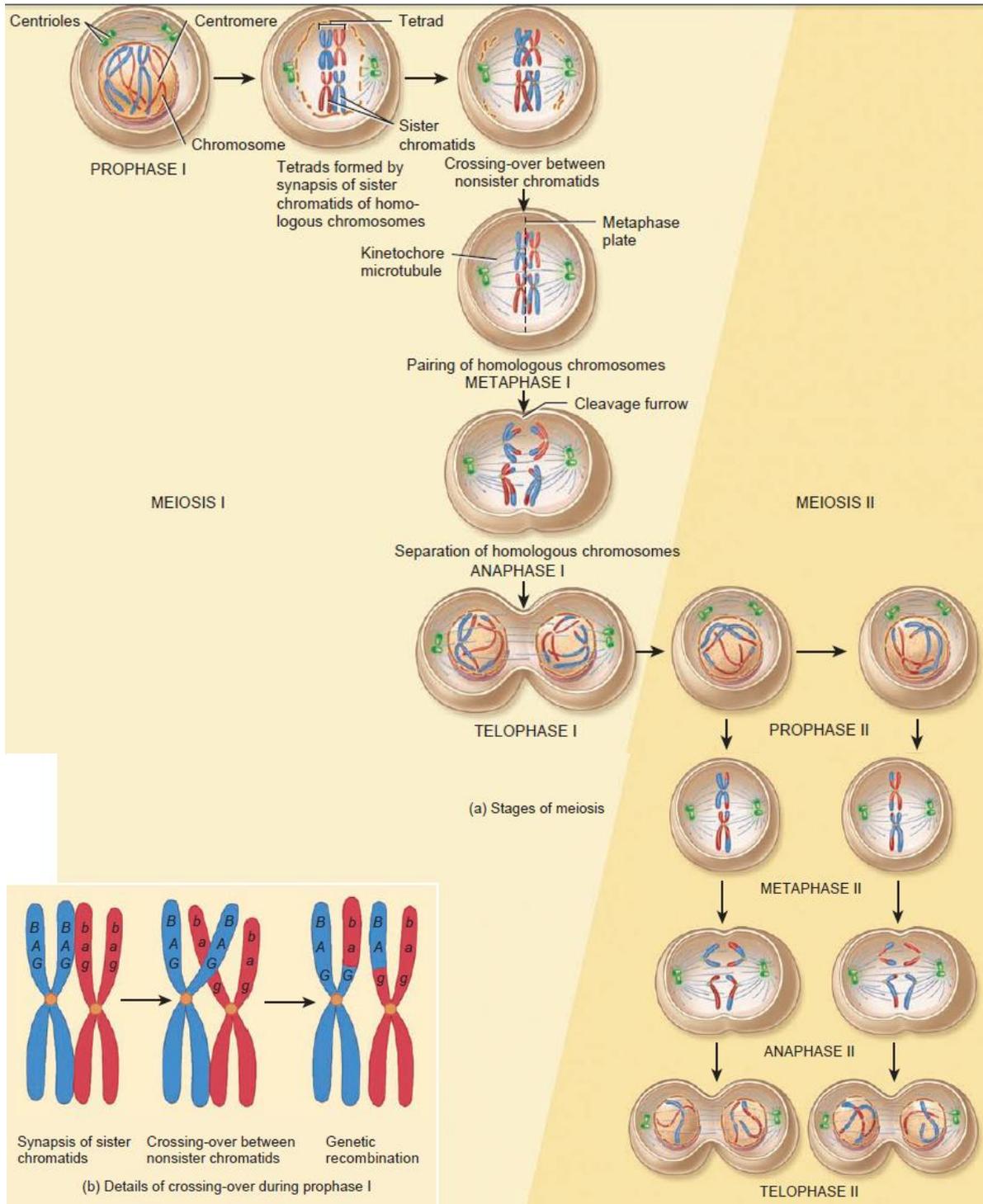
Sitokinesis

Tahap sitokinesis terjadi secara simultan dengan telofase. Artinya, terjadi secara bersama-sama. Tahap ini merupakan tahap di antara dua pembelahan meiosis. Alur pembelahan atau pelat sel mulai terbentuk. Pada tahap ini tidak terjadi perbanyakan (replikasi) DNA. Hasil pembelahan meiosis I menghasilkan dua sel haploid yang mengandung setengah jumlah kromosom homolog. Meskipun demikian, kromosom tersebut masih berupa kromatid saudara (kandungan DNA-nya masih rangkap). Untuk menghasilkan sel anakan yang mempunyai kromosom haploid diperlukan proses pembelahan selanjutnya, yaitu meiosis II. Jarak waktu antara meiosis I dengan meiosis II disebut dengan interkinesis. Jadi, tujuan meiosis II adalah membagi kedua salinan DNA pada sel anakan yang baru hasil dari meiosis I.

Meiosis II terjadi pada tahap-tahap yang serupa seperti meiosis I. tahapan meiosis II diuraikan sebagai berikut.

Meiosis II

Tahap meiosis II juga terdiri dari profase, metafase, anafase, dan telofase. Tahap ini merupakan kelanjutan dari tahap meiosis I. Masing-masing sel anakan hasil pembelahan meiosis I akan membelah lagi menjadi dua. Sehingga, ketika pembelahan meiosis telah sempurna, dihasilkan empat sel anakan. Hal yang perlu diingat adalah bahwa jumlah kromosom keempat sel anakan ini tidak lagi diploid ($2n$) tetapi sudah haploid (n). Proses pengurangan jumlah kromosom ini terjadi pada tahap meiosis II.



Gambar 5.5. Diagram skematis pembelahan meiosis (Tortora & Derrickson, 2009; h. 98).

Profase II

Fase pertama pada tahap pembelahan meiosis II adalah profase II. Pada fase ini, kromatid saudara pada setiap sel anakan masih melekat pada sentromer kromosom. Sementara itu, benang mikrotubulus mulai terbentuk dan kromosom mulai bergerak ke arah bidang metafase. Tahap ini terjadi dalam waktu yang singkat karena diikuti tahap berikutnya.

Metafase II

Pada metafase II, setiap kromosom yang berisi dua kromatid, merentang atau berjajar pada bidang metafase II. Pada tahap ini, benang-benang spindel (benang mikrotubulus) melekat pada kinetokor masing-masing kromatid.

Anafase II

Fase ini mudah dikenali karena benang spindel mulai menarik kromatid menuju ke kutub pembelahan yang berlawanan. Akibatnya, kromosom memisahkan kedua kromatidnya untuk bergerak menuju kutub yang berbeda. Kromatid yang terpisah ini selanjutnya berfungsi sebagai kromosom individual.

Telofase II

Pada telofase II, kromatid yang telah menjadi kromosom mencapai kutub pembelahan. Hasil akhir telofase II adalah terbentuknya 4 sel haploid, lengkap dengan satu salinan DNA pada inti selnya (nuklei).

Sitokinesis II

Selama telofase II, terjadi pula sitokinesis II, ditandai adanya sekat sel yang memisahkan tiap inti sel. Akhirnya terbentuk 4 sel kembar yang haploid. Sel-sel anakan sebagai hasil pembelahan meiosis mempunyai sifat genetis yang bervariasi satu sama lain. Variasi genetis yang dibawa sel kelamin orang tua

menyebabkan munculnya keturunan yang bervariasi juga.

Secara umum tahapan pembelahan meiosis dapat dilihat pada gambar 5.

Reproduksi Pada Tingkat Organisme

Reproduksi seksual pada tingkat organisme terlebih dahulu dialeli dengan pembentukan sel-sel germinal yang disebut gamet. Gamet jantan atau sperma akan melebur dengan gamet betina atau ovum. Hasil peleburan antara dua gamet tersebut akan menghasilkan satu sel tunggal yang disebut zigot, yang akan berkembang menjadi individu baru. Berikut akan diuraikan reproduksi seksual pada tumbuhan berbiji dan reproduksi pada manusia.

Reproduksi Pada Tumbuhan Berbiji

Pada pembahasan ini, akan diuraikan proses reproduksi, terkhusus pada tumbuhan biji tertutup (*Angiospermae*). Reproduksi secara seksual pada *Spermatophyta* adalah dengan membentuk biji, yang dihasilkan dari organ reproduksi yaitu bunga. Reproduksi seksual pada *Spermatophyta* dimulai dengan penyerbukan atau polinasi. Polinasi merupakan proses menempelnya serbuk sari (stamen) pada kepala putik (stigma). Proses tersebut dapat terjadi dengan bantuan angin, air, atau hewan-hewan penyerbuk (polinator). Contoh hewan polinator adalah lebah, kupu-kupu, burung kolibri, kelelawar, dan lain-lain. Karena proses perkawinannya yang jelas, yaitu didahului dengan polinasi, maka Sebelum terjadi penyerbukan (*polinasi*), kepala sari yang telah masak akan membuka. Selanjutnya, serbuk sari yang terdapat

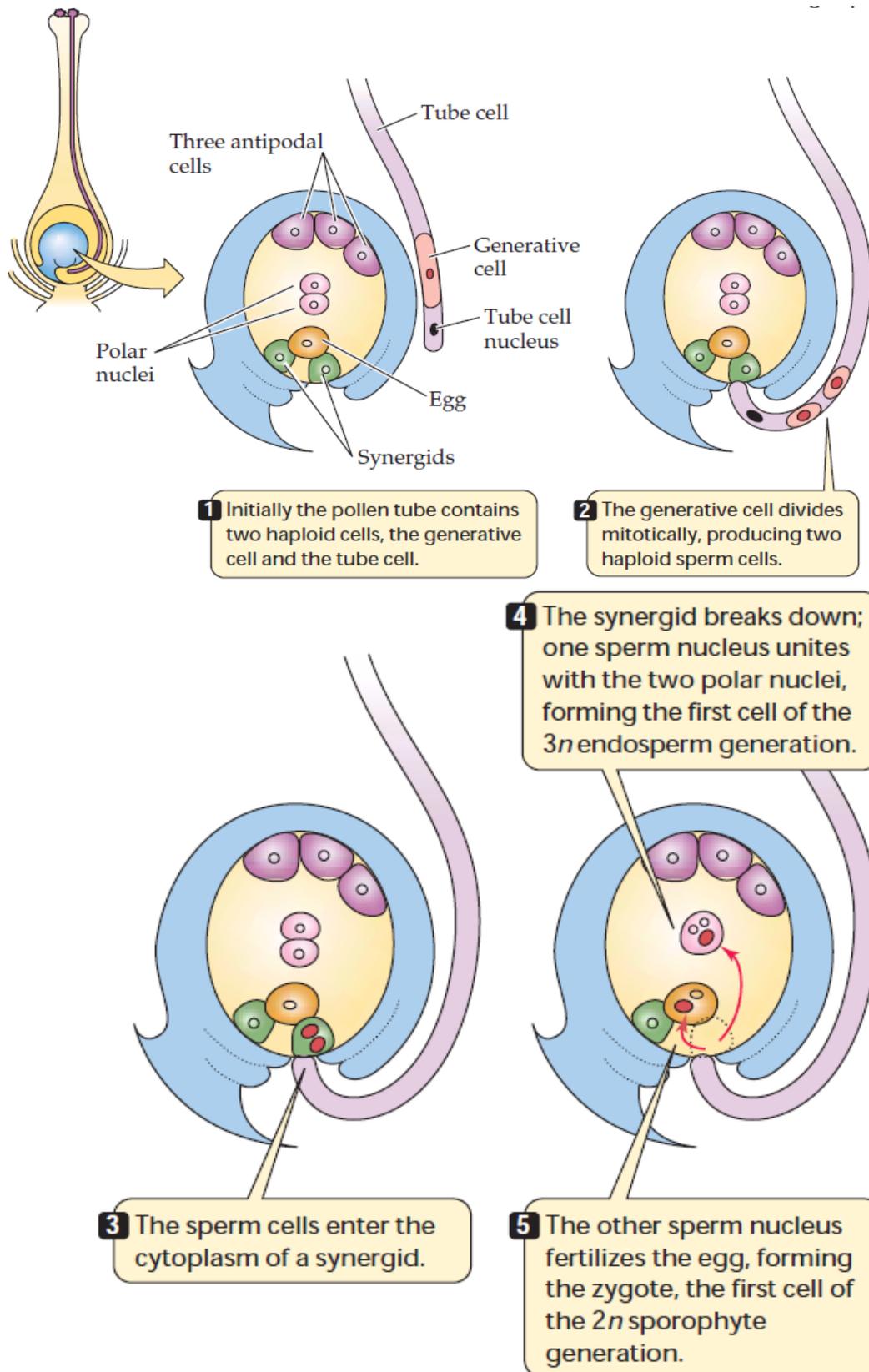
pada kepala sari tersebut akan keluar atau jatuh dan menempel pada kepala putik. Bagian yang berperan dalam fertilisasi adalah putik (stigma) dan benang sari (stamen). Putik terdiri dari 3 bagian, yaitu kepala putik, tangkai putik, dan ovulum. Sementara itu, benang sari terdiri dari kepala sari dan tangkai sari.

Di dalam ovulum, terdapat megasporofit yang membelah menjadi empat megaspora. Satu megaspora yang hidup membelah tiga kali berturut-turut. Hasilnya berupa sebuah sel besar, disebut kandung lembaga muda yang mengandung delapan inti. Di ujung ovulum terdapat sebuah lubang (mikropil), sebagai tempat masuknya saluran serbuk sari ke dalam kandung lembaga. Selanjutnya, tiga dari delapan inti tadi menempatkan diri di dekat mikropil. Dua dari tiga inti disebut sel sinergid. Sementara itu, inti yang ketiga disebut sel telur. Tiga buah inti lainnya (antipoda) bergerak ke arah kutub yang berlawanan dengan mikropil (kutub kalaza). Sisanya, dua inti yang disebut inti kutub, bersatu di tengah kandung lembaga dan terjadilah sebuah inti diploid ($2n$). Inti ini disebut inti kandung lembaga sekunder. Inti kandung lembaga yang telah masak, disebut megagametofit dan siap untuk dibuahi. Serbuk sari yang jatuh pada kepala putik yang sesuai, akan berkecambah atau memunculkan suatu saluran kecil (buluh serbuk sari).

Buluh serbuk sari semakin tumbuh memanjang di dalam tangkai putik (stilus). Selama perjalanan buluh menuju ovulum, inti serbuk sari membelah menjadi inti vegetatif dan inti generatif. Inti vegetatif berfungsi sebagai penunjuk arah inti generatif dan akan melebur sebelum sampai ke bakal biji (ovulum). Inti generatif membelah menjadi dua inti sperma yang akan menembus ovarium (bakal buah) dan

sampai ke ovulum (bakal biji). Di dalam ovulum, inti serbuk sari (inti sperma) bertemu dengan inti sel telur, sehingga terjadi peleburan antara kedua inti tersebut. Proses peleburan kedua inti ini, disebut pembuahan atau fertilisasi. Inti sperma yang satu akan membuahi inti sel telur membentuk zigot, sedangkan inti sperma lainnya membuahi inti kandung lembaga sekunder membentuk endosperma. Peristiwa pembuahan ini disebut pembuahan ganda.

Pada perkembangan selanjutnya, bakal biji akan tumbuh menjadi biji dan bakal buah akan menjadi buah yang membungkus biji (pada beberapa spesies tumbuhan). Jika biji ditumbuhkan di tempat yang sesuai, biji akan berkecambah dan akan membentuk tumbuhan yang baru. ke ovulum (bakal biji). Di dalam ovulum, inti serbuk sari (inti sperma) bertemu dengan inti sel telur, sehingga terjadi peleburan antara kedua inti tersebut. Proses peleburan kedua inti ini, disebut pembuahan atau fertilisasi. Inti sperma yang satu akan membuahi inti sel telur membentuk zigot, sedangkan inti sperma lainnya membuahi inti kandung lembaga sekunder membentuk endosperma. Peristiwa pembuahan ini disebut pembuahan ganda. Pada perkembangan selanjutnya, bakal biji akan tumbuh menjadi biji dan bakal buah akan menjadi buah yang membungkus biji (pada beberapa spesies tumbuhan). Jika biji ditumbuhkan di tempat yang sesuai, biji akan berkecambah dan akan membentuk tumbuhan yang baru. proses reproduksi pada tumbuhan biji tertutup dapat dilihat pada gambar 5.6.



Gambar 5.6. Diagram skematis proses reproduksi tumbuhan biji tertutup (Tortora&Derrickson, 2009; h. 753)

Reproduksi Pada Manusia

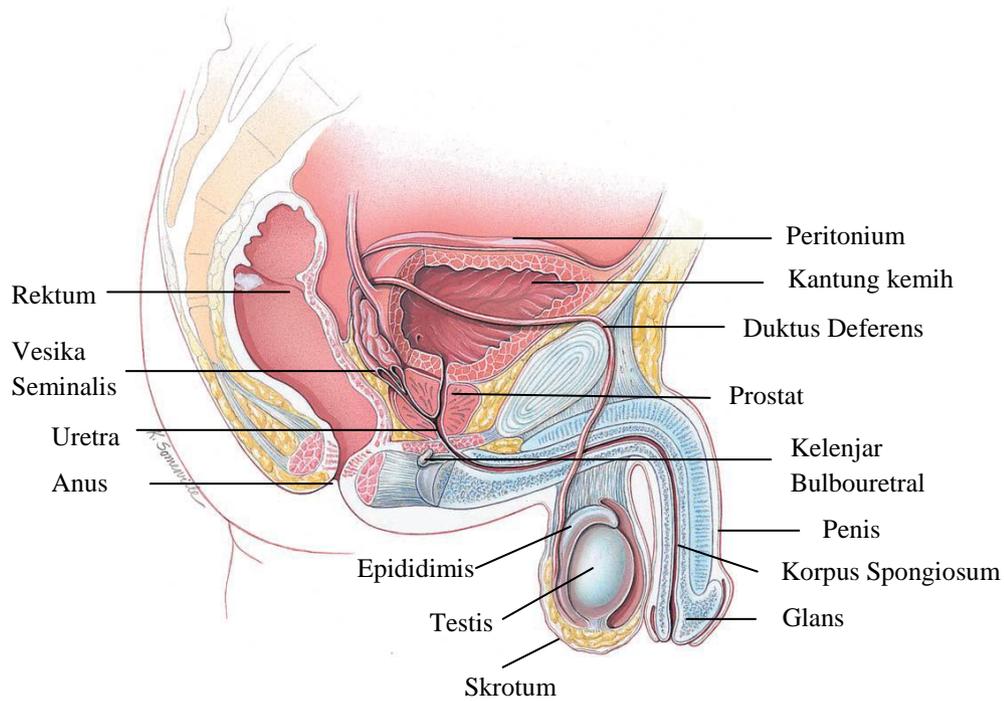
Individu pria dan wanita memiliki struktur anatomi organ reproduksi yang berbeda, yang diadaptasikan untuk menghasilkan gamet, memfasilitasi proses fertilisasi, dan khusus pada wanita berperan sebagai tempat pertumbuhan dan perkembangan janin. Organ reproduksi pria dan wanita dapat dikelompokkan berdasarkan fungsi. Gonad jantan atau testis dan gonad betina atau ovary, berperan menghasilkan gamet dan mensekresikan hormon seks. Saluran reproduksi berperan menyimpan dan mentransportasikan gamet, serta kelenjar aksesori berperan menghasilkan substansi tertentu yang melindungi dan membantu pergerakan gamet. Terakhir, struktur pendukung, seperti penis pada jantan membantu pengantaran sperma menuju saluran reproduksi betina, dan uterus pada betina sebagai tempat perkembangan janin selama masa kehamilan. Struktur sistem reproduksi pada pria dapat dilihat pada gambar 5.7

Organ-Organ Reproduksi Pria

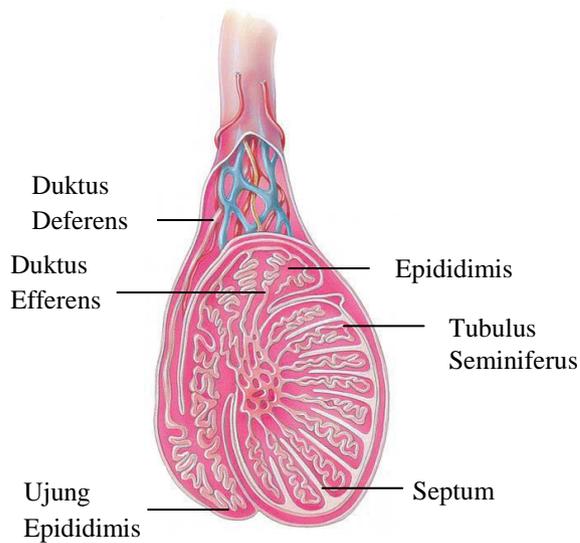
Organ reproduksi pria berfungsi untuk menghasilkan sel kelamin pria yakni sperma dan pengantaran sperma ke saluran kelamin wanita. Organ reproduksi pria terdiri dari testis, saluran reproduksi, kelenjar kelamin, penis, dan kantung skrotum.

Testis

Pria mempunyai testis (jamak = testes) berjumlah sepasang, terletak di sebelah kanan kiri tubuh dan terlindungi oleh kantung skrotum. Dalam sistem reproduksi, testis berfungsi sebagai penghasil sperma dan hormon kelamin. Pembentukan sperma ini terjadi pada dinding tubulus seminiferus. Struktur testis dapat dilihat pada gambar 5.8.



Gambar 5.7. Diagram skematis sistem reproduksi pada pria (Tortora&Derrickson, 2009; h. 1082)



Gambar 5.8. Diagram skematis struktur testis (Tortora&Derrickson, 2009; h. 1085)

Tubulus seminiferous mengandung dua jenis sel, yaitu sel-sel spermatogenik yang akan berkembang menjadi sperma dan sel-sel sertoli yang memiliki beberapa fungsi untuk mendukung spermatogenesis, seperti menghasilkan hormone testosteron. Selama proses pematangan sperma, sel-sel spermatogenik akan berkembang, dari spermatosit primer berkembang menjadi spermatosit sekunder, spermatid, dan akhirnya membentuk sperma yang menuju ke lumen tubulus seminiferous. Proses pembentukan sperma pada dinding tubulus seminiferous dapat dilihat pada gambar 5.9.

Saluran Reproduksi

Pada organ reproduksi pria terdapat berbagai macam saluran reproduksi, meliputi epididimis, vas deferens, saluran ejakulasi, dan uretra. Epididimis merupakan sebuah saluran yang berada dalam skrotum dan keluar dari kedua testis. Oleh karena itu, saluran ini jumlahnya sepasang. Epididimis memiliki struktur yang berkelak-kelok. Sementara, panjangnya mencapai 6 meter. Secara fungsional, epididymis berfungsi sebagai

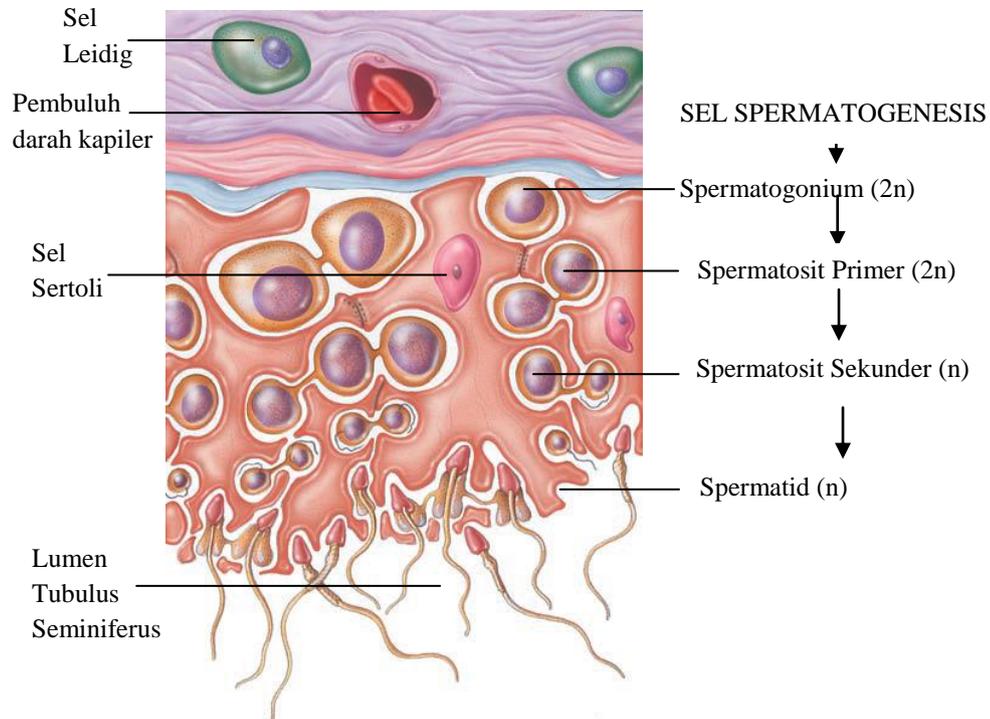
tempat pematangan sperma, yaitu proses dimana sperma memperoleh kemampuan untuk membuahi ovum. Proses ini berlangsung kurang lebih 14 hari. Epididymis juga membantu pergerakan sperma menuju vas deferens melalui gerakan peristaltik otot polos pada dinding epididymis. Apabila tidak diejakulasikan, sperma dapat berada pada epididymis selama beberapa bulan dan akan direabsorpsi.

Vas deferens memiliki panjang sekitar 45 cm, permukaan dalam dindingnya tersusun atas jaringan epitel silindris berlapis palsu dan pada dindingnya juga terdapat jaringan otot polos. Vas deferens berfungsi menyalurkan sperma dari epididymis menuju uretra melalui gerakan peristaltic. Vas deferens juga dapat menyimpan sperma selama beberapa bulan dan apabila tidak diejakulasikan akan direabsorpsi. Pada satu ujung, vas deferens menempel epididymis, sedangkan ujung lainnya berada dalam kelenjar prostat. Dari vas deferens, sel sperma bergerak menuju saluran ejakulasi.

Duktus ejakulasi memiliki panjang kurang lebih 2 cm dan dibentuk oleh penyatuan saluran dari vesika seminalis dan bagian ampula dari vas deferens. Setelah melewati saluran ejakulasi, sperma keluar tubuh melalui uretra. Uretra merupakan saluran reproduksi yang berada dalam penis. Uretra memiliki panjang sekitar 20 cm dan merupakan saluran akhir dari sistem reproduksi dan sistem urinaria, menyalurkan semen dan urin keluar dari tubuh.

Kelenjar Reproduksi

Sebelum dikeluarkan melewati uretra, sperma yang berada di dalam saluran reproduksi ditambah dengan



Gambar 5.9. Diagram skematis tahapan pembentukan sperma pada dinding tubulus seminiferus (Tortora&Derrickson, 2009; h. 1086)

berbagai sekresi getah kelamin oleh kelenjar kelamin. Fungsi getah kelamin adalah sebagai penyuplai bahan penting sehingga sperma tetap hidup. Selain itu, getah kelamin juga membantu pergerakan sel sperma di dalam saluran reproduksi. Ada beberapa kelenjar kelamin yang berperan dalam sekresi getah kelamin, meliputi vesikula seminalis, kelenjar prostat, dan kelenjar bulbouretralis (kelenjar Cowper).

Vesikula seminalis berjumlah sepasang dengan panjang sekitar 5 cm, terletak pada arah posterior dari kantung kemih dan bagian anterior dari rektum. Vesika seminalis mensekresikan cairan kental yang bersifat alkali, mengandung fruktosa, prostaglandin, dan sejumlah protein. Sekresi vesika seminalis menyumbang kurang lebih 60% dari total volume semen. Gula fruktosa yang

disekresikan tersebut menyediakan sumber energi bagi sperma.

Kelenjar prostat berjumlah satu dan terletak di bawah kantung kemih. Kelenjar prostat mengalami pertambahan ukuran yang lambat dari lahir sampai memasuki masa pubertas, dan mengalami pertambahan ukuran yang pesat pada usia 30 tahun dan ukurannya relatif stabil pada usia 45 tahun. Prostat mensekresikan cairan yang mirip susu, sedikit asam (pH 6,5) yang mengandung beberapa substansi, (i) asam sitrat, (ii) enzim proteolitik, (iii) asam posfatase, dan (iv) seminalplasmin yang merupakan senyawa anti bakteri. Sekresi prostat dilepaskan menuju uretra dengan melalui beberapa saluran. Sekresi prostat menyumbang sekitar 25% dari total volume semen yang berperan penting bagi pergerakan dan kemampuan hidup sperma.

Kelenjar bulbouretralis berjumlah sepasang terletak di sebelah bawah kelenjar prostat. Kelenjar bulbouretralis mensekresikan cairan yang bersifat alkali menuju lumen uretra. Cairan ini melindungi sperma dengan menetralkan kondisi asam dari urin yang melalui uretra. Kelenjar bulbouretralis juga mensekresikan mukus yang melumasi ujung penis dan permukaan dalam dinding uretra, serta mengurangi jumlah sperma yang rusak selama ejakulasi.

Semen adalah campuran dari sperma dan cairan seminal, yang terdiri dari produk sekresi tubulus seminiferous, vesika seminalis, kelenjar prostat, dan kelenjar bulbouretralis. Volume cairan pada saat ejakulasi sekitar 2,5-5 ml, dengan 50-150 juta sperma per ml. Jumlah sperma yang sangat banyak memberi kemungkinan fertilisasi dengan sel telur yang lebih besar. Semen memiliki pH sekitar 7,2-7,7. Sekresi kelenjar prostat mengakibatkan semen tampak seperti susu, dan sekresi dari kelenjar vesika seminalis dan kelenjar bulbouretralis mengakibatkan semen memiliki konsistensi yang kental.

Penis

Penis berfungsi sebagai organ senggama (kopulasi), sebagai sarana menghantarkan cairan sperma menuju organ reproduksi wanita. Secara struktural, penis tersusun atas dua jenis jaringan erektil, yaitu korpora kavernosa dan korpus spongiosum. Di dalam korpus spongiosum terdapat saluran reproduksi yakni *uretra*. Di bagian ujung penis terdapat bagian yang dinamakan kepala penis (*gland penis*). Kepala penis ini tertutup oleh lipatan kulit yang disebut preputium. Di dalam rongga penis terdapat jaringan erektil yang berisi banyak pembuluh darah dan saraf. Saat terjadi rangsangan seksual, rongga

tersebut akan penuh terisi darah. Akibatnya, terlihat penis mengembang dan menegang. Keadaan penis demikian dinamakan ereksi dan apabila rangsangan ini terus menerus terjadi, sperma akan keluar melalui uretra, keadaan ini disebut ejakulasi. Jumlah sperma yang dikeluarkan saat terjadi ejakulasi sekitar 2 hingga 5 mL semen, yang setiap mililiternya mengandung sekitar 50 sampai 130 juta sperma.

Kantung Skrotum

Skrotum memiliki bentuk seperti kantung yang berperan melindungi testis. Skrotum juga menjaga temperatur yang ideal bagi proses spermatogenesis. Testis ada dua buah, letaknya di kanan dan kiri, otot dartos merupakan otot polos yang menyusun sekat skrotum sehingga bisa mengendur dan mengerut. Selain itu, pada skrotum terdapat pula otot yang bertindak sebagai pengatur kondisi suhu testis agar stabil. Otot demikian dinamakan otot kremaster.

Organ-Organ Reproduksi Wanita

Organ reproduksi wanita terdiri atas ovarium, saluran reproduksi, uterus, dan vagina.

Ovarium

Ovarium berperan menghasilkan gamet, oosit sekunder yang dilepaskan menuju oviduk pada saat ovulasi akan berkembang menjadi ovum setelah mengalami fertilisasi. Ovarium juga berperan menghasilkan hormone, seperti progesterone dan estrogen. Folikel ovarium terletak pada bagian korteks dan terdiri dari oosit dengan tahap perkembangan yang berbeda-beda dan sekelompok sel yang mengelilinginya. Folikel ovarium yang telah

matang berukuran besar, berisi penuh dengan cairan, dan siap pecah untuk melepaskan oosit sekunder melalui proses ovulasi. Sel-sel folikel yang masing-masing tertinggal pada ovarium setelah ovulasi akan membentuk korpus luteum atau badan kuning, yang akan menghasilkan hormon progesterone, estrogen, relaksin, dan inhibin, sampai mengalami degenerasi membentuk korpus albicans atau badan putih.

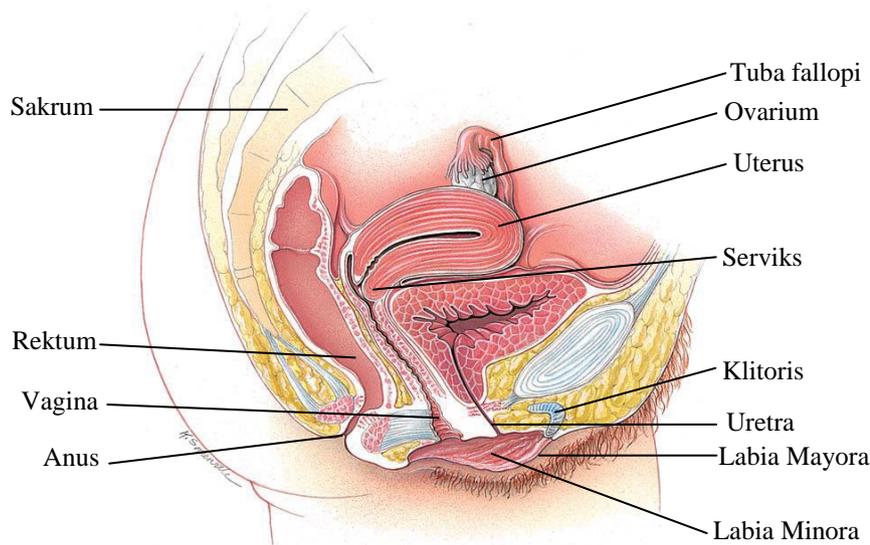
Tuba Fallopi

Wanita memiliki dua tuba fallopi atau oviduk, yang memanjang secara lateral dari uterus. Oviduk memiliki panjang sekitar 10 cm, menyediakan jalan bagi sperma pada saat fertilisasi. Bagian ujung oviduk yang melebar disebut infundibulum membuka ke arah rongga pelvis. Pada ujung infundibulum terdapat juluran-juluran menyerupai jari yang disebut fimbriae. Ampulla merupakan bagian oviduk yang paling lebar dan panjang dan istmus dari oviduk berukuran pendek dan sempit.

Fertilisasi umumnya berlangsung pada bagian ampulla dari tuba fallopi. Fertilisasi dapat berlangsung kapanpun dengan rentang waktu 24 jam setelah ovulasi. Beberapa jam setelah fertilisasi, materi inti dari sperma dan ovum akan menyatu dan membentuk satu sel tunggal yang disebut zigot. Zigot akan mengalami serangkaian pembelahan mitosis dan bergerak menuju rahim. Zigot membutuhkan waktu 6 sampai 7 hari untuk sampai di uterus.

Rahim

Rahim berperan sebagai jalur bagi sperma untuk menuju oviduk, uterus juga merupakan tempat implantasi zigot setelah fertilisasi dan tempat perkembangan janin selama kehamilan. Uterus terbagi atas tiga bagian, yaitu (i) fundus yang berbatasan dengan oviduk, (ii) body atau badan, bagian uterus yang paling lebar, dan (iii) serviks, bagian bawah Rahim yang lebih sempit dan berbatasan langsung dengan vagina.



Gambar 5.10. Diagram skematis sistem reproduksi pada wanita (Tortora&Derrickson, 2009; h. 1096)

Uterus mempunyai beberapa lapisan penyusun, yakni lapisan terluar (perimetrium), lapisan tengah yang berotot (miometrium), dan selaput rahim/lapisan terdalam (endometrium). Lapisan endometrium mengandung banyak pembuluh darah dan lendir. Saat terjadi ovulasi, lapisan endometrium mengalami penebalan. Namun, apabila sel telur tidak dibuahi oleh sel sperma (tidak terjadi fertilisasi), lapisan endometrium segera mengalami peluruhan. Proses peluruhan lapisan ini diikuti pendarahan dan kita biasa menyebutnya dengan siklus menstruasi.

Vagina

Vagina merupakan saluran dengan dinding dalam berlipat-lipat dan memanjang dari leher rahim ke arah vulva. Panjang saluran ini sekitar 7-10 cm. Bagian luar vagina berupa selaput yang menghasilkan lendir. Lendir ini dihasilkan oleh kelenjar Bartholini. Bagi wanita, vagina berfungsi sebagai saluran kelahiran yang dilalui bayi saat lahir. Selain itu, vagina juga berfungsi sebagai organ kopulasi. Pada liang vagina, terdapat lipatan membran mukosa yang kaya pembuluh darah, disebut selaput hymen. Vulva merupakan bagian paling luar organ kelamin wanita yang bentuknya berupa celah. Pada bagian atas dan terluar vulva terdapat bagian yang tersusun atas jaringan lemak, bagian ini dinamakan mons pubis. Mons pubis, tersusun atas jaringan adipose yang ditutupi kulit dan rambut. Dari mons pubis, dua lipatan longitudinal kulit membentuk labia mayora yang ditutupi rambut. Labia mayora mengandung banyak jaringan adipose, kelenjar sebaceous, dan kelenjar keringat apokrin, serta bersifat homolog dengan skrotum. Ke

arah medial dari labia mayora terdapat dua lipatan kecil kulit yang disebut labia minora. Labia minora tidak ditumbuhi rambut, memiliki beberapa kelenjar sudoriferous, tetapi tidak memiliki kelenjar sebaceous. Di dalam labia mayora ada sebuah tonjolan kecil yang mengandung banyak ujung-ujung saraf sehingga sangat sensitive. Tonjolan tersebut dinamakan klitoris. Klitoris adalah massa berbentuk silindris dan berukuran kecil terdiri atas dua badan erektil kecil, yaitu korpora kavernosa dan beberapa serabut saraf dan pembuluh darah.

Rangkuman

Reproduksi merupakan kemampuan suatu makhluk hidup, baik yang uniseluler maupun yang multiseluler untuk menghasilkan keturunan. Reproduksi pada tingkat seluler, terdiri atas reproduksi pada organisme uniseluler seperti organisme prokariotik yaitu bakteri, (ii) pembelahan sel atau siklus sel pada organisme eukariotik yang melibatkan pembelahan inti atau yang dikenal dengan istilah mitosis dan sitokinesis, dan (iii) pembelahan meiosis pada proses pembentukan gamet. Bakteri termasuk organisme uniseluler, yang bereproduksi dengan cara pembelahan biner. Pada organisme tingkat tinggi, proses pertumbuhan atau regenerasi bagian-bagian tubuh yang rusak dilakukan melalui pembelahan sel atau siklus sel. Tahapan pembelahan sel terdiri atas fase interfase dan fase mitosis. Fase pembelahan mitosis terbagi menjadi dua fase, yaitu fase pembelahan inti (kariokinesis) dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Fase pembelahan inti sel terdiri atas tahapan profase, metafase, anafase, dan telofase. Pembelahan meiosis terjadi pada proses pembentukan sel gamet (sel kelamin), berlangsung pada bakal sel kelamin yang terdapat pada organ reproduksi (testis atau

ovarium). Meiosis terjadi dua kali pembelahan, yaitu meiosis I dan meiosis II. Masing-masing pembelahan meiosis terdiri dari tahap-tahap yang sama, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Reproduksi seksual pada tumbuhan biji tertutup dimulai dengan penyerbukan atau polinasi dan dilanjutkan dengan proses pembuahan ganda. Pada manusia proses reproduksi dimungkinkan dengan organ-organ yang berperan untuk menghasilkan gamet, memfasilitasi proses fertilisasi, dan khusus pada wanita berperan sebagai tempat pertumbuhan dan perkembangan janin. Organ reproduksi pria terdiri dari testis, epididymis, vas deferens, uretra, vesika seminalis, kelenjar prostat, kelenjar bulbouretralis, penis, dan kantung skrotum. Organ reproduksi pada wanita terdiri atas ovarium, oviduk, uterus, dan vagina.

Soal-Soal Latihan

1. Jelaskan tahapan reproduksi organisme prokariotik/ bakteri!
2. Jelaskan tahapan siklus sel pada sel eukariotik!
3. Tuliskan tiga perbedaan antara pembelahan sel secara mitosis dengan meiosis!
4. Tuliskan dua perbedaan antara reproduksi seksual dengan aseksual!
5. Jelaskan masing-masing dua organ yang menyusun sistem reproduksi pada pria dan wanita!
6. Jelaskan perbedaan antara antara spermatogenesis dengan oogenesis!
7. Jelaskan proses reproduksi pada tumbuhan berbiji!