



Selasar



Sumber: Mesin Tubuh Manusia, Tira Pustaka

Setiap manusia yang pernah dilahirkan memulai kehidupannya dalam bentuk satu sel tunggal. Ini semua karena kekuasaan Tuhan yang Maha Esa. Kita yang semula hanya zigot (satu sel) kemudian tumbuh dan berkembang menjadi embrio, bayi, dan dewasa seperti keadaan kita saat ini. Proses tumbuh dan berkembang tidak dapat lepas dari aktivitas pembelahan sel yang terjadi di dalam tubuh kita.

Pada bab ini Anda akan mempelajari proses-proses yang terjadi dalam pembelahan sel baik secara mitosis, meiosis, atau amitosis. Pada bab ini Anda juga dapat mempelajari serta arti penting pembelahan tersebut bagi makhluk hidup. Setelah mempelajari bab ini Anda dapat mengaitkan hubungan antara pembelahan mitosis dan meiosis dengan pewarisan sifat.

Kata Kunci

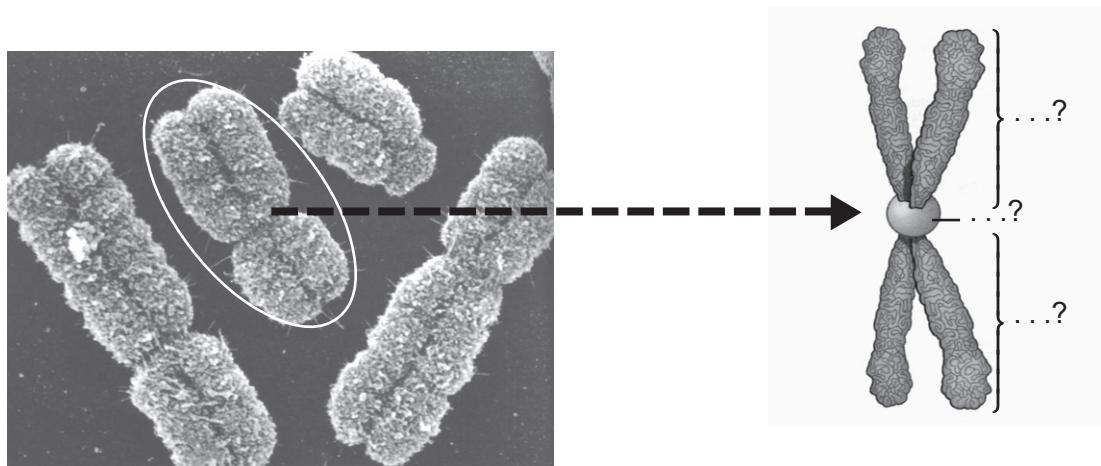
nukleus
kromosom
kromatin
mitosis
meiosis
spermatogenesis
oogenesis
mikrosporogenesis
makrosporogenesis
ovulus

Pertumbuhan dan perkembangan serta reproduksi makhluk hidup tidak dapat lepas dari aktivitas pembelahan sel. Menurut teori sel modern, semua sel berasal dari sel-sel yang telah ada melalui proses pembelahan sel. Sekitar 10^{14} sel yang menyusun tubuh manusia berasal dari pembelahan sel zigot (satu sel) yang merupakan peleburan 2 sel gamet. Sel-sel gamet ini berasal dari proses pembelahan sel-sel parental tertentu. Pada dasarnya pembelahan sel ada tiga macam, yaitu pembelahan amitosis, mitosis, dan meiosis. Apakah perbedaan pembelahan amitosis, mitosis, dan meiosis? Marilah kita pelajari dalam materi berikut ini.

A. Pembelahan Mitosis, Meiosis, dan Amitosis

Pada tubuh kita dapat ditemukan sel-sel tubuh (sel somatis) dan sel-sel kelamin (sel gamet). Sel tubuh maupun sel kelamin terbentuk melalui proses pembelahan sel. Pembelahan sel terkait erat dengan kromosom. Oleh karena itu, marilah kita tinjau kembali mengenai kromosom.

Pada bab sebelumnya Anda telah mengenal substansi genetik. Perhatikan Gambar 4.1 untuk mengingat kembali tentang kromosom. Apakah nama bagian-bagian kromosom yang ditunjuk pada gambar? Coba diskusikan dengan teman sebangku Anda.



Sumber: Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Tooole

Gambar 4.1

Struktur kromosom

Kromosom tidak terlihat jika sel tidak membelah atau sel dalam keadaan istirahat. Namun, materi kromosom terlihat dengan jelas saat membelah, khususnya dengan pewarnaan inti. Bagian kromosom yang berwarna ini dinamakan **kromatin**. Kromatin berbentuk benang dengan panjang antara 0,25–50 mm. Setiap kromosom tampak seperti dua kumpulan benang yang disebut **kromatid** dan dihubungkan oleh **sentromer**. Coba perhatikan sekali lagi gambar kromosom di atas.

Ukuran dan jumlah kromosom setiap spesies makhluk hidup berbeda. Namun, setiap individu dalam satu spesies mempunyai jumlah kromosom sama. Perhatikan jumlah kromosom beberapa spesies dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Jumlah Kromosom pada Beberapa Spesies

Spesies	Jumlah Kromosom
Cacing tanah tertentu	2
Lalat buah (<i>Drosophila melanogaster</i>)	8
Bawang (<i>Allium cepa</i>)	16
Jagung (<i>Zea mays</i>)	20
Bunga lili (<i>Lilium longiforum</i>)	24
Tomat (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	24
Kucing (<i>Felis catus</i>)	38
Mencit (<i>Mus musculus</i>)	40
Manusia (<i>Homo sapiens</i>)	46
Kentang (<i>Solanum tuberosum</i>)	48
Kuda (<i>Equus salabus</i>)	64
Anjing (<i>Canis familiaris</i>)	78
Protozoa tertentu	> 300

Meskipun jumlah kromosom bervariasi dari 2–300, tetapi kebanyakan organisme memiliki 10–40 kromosom. Bahkan lebih dari sejuta spesies berbeda yang hidup di muka bumi kebanyakan memiliki 24 kromosom.

1. Pembelahan Mitosis

Hampir semua materi di alam mempunyai siklus. Tentu Anda tidak secara tiba-tiba menjadi dewasa, bukan? Ada tahapan yang pasti dilalui. Terlahir menjadi bayi, anak-anak, kemudian tumbuh dewasa. Keadaan demikian dapat disebut sebagai siklus hidup. Sel sebagai penyusun makhluk hidup juga mempunyai siklus. Pada siklus sel dapat dibedakan menjadi 2 bagian pokok, yaitu **interfase** dan **mitosis**. Perhatikan Gambar 4.2.

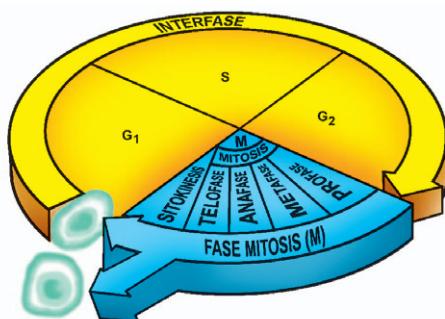
a. Interfase

Saat interfase, dalam sel terjadi peningkatan aktivitas kimiawi. Pada fase ini jumlah DNA menjadi dua kali lipat. Interfase dibedakan menjadi tiga tahapan, yaitu fase pertumbuhan pertama (G_1), fase sintesis (S), dan fase pertumbuhan kedua (G_2).

Pada fase pertumbuhan pertama (G_1) terjadi pembentukan organel-organel sel dan sel tumbuh dengan cepat. Pada fase sintesis (S) ditandai dengan adanya replikasi (penggandaan) DNA. Pada tahap akhir interfase, yaitu fase pertumbuhan kedua (G_2) terjadi replikasi **sentriol** dan peningkatan energi cadangan.

b. Pembelahan Mitosis

Pembelahan mitosis meliputi dua proses pembelahan yang berurutan, yaitu kariokinesis dan sitokinesis. **Kariokinesis** merupakan pembelahan suatu inti menjadi dua, sedangkan **sitokinesis** merupakan pembelahan suatu sel menjadi dua sel anakan yang masing-masing mengandung inti sel. Pembelahan mitosis berlangsung dalam empat tahap, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Apa yang terjadi dalam tiap-tiap fase pembelahan itu?



Sumber: Biology, Campbell

Gambar 4.2

Siklus sel

1) Profase

Gambar 4.3 menunjukkan tahap profase. Pada tahap awal fase ini, dalam sel terjadi beberapa hal berikut.

- Benang-benang kromatin yang terdapat dalam inti sel berkondensasi membentuk kromosom.
- Membran inti larut yang diikuti dengan menghilangnya anak inti (nukleolus).
- Kromosom menduplikasi diri menjadi sepasang kromatid.
- Sentriol membelah dan bergerak ke arah kutub yang berlawanan. Di sekitar sentriol terbentuk benang-benang pembelahan (spindel) sehingga menyerupai bentuk bintang yang disebut **aster**. Pada tahap selanjutnya spindel yang menghubungkan kromosom dengan kutub sel melalui sentromer, ada pula yang menghubungkan antarkutub sel.

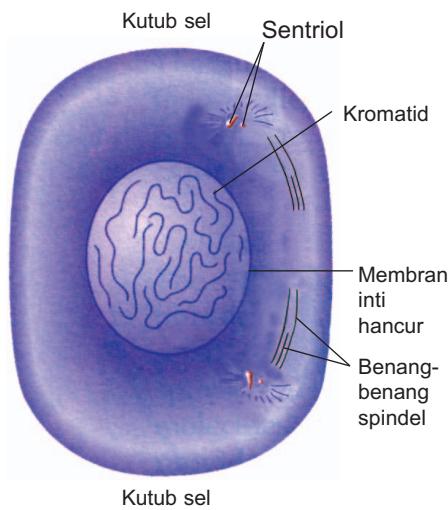
Catatan:

Sentriol hanya terbentuk pada sel hewan dan tidak terbentuk pada sel tumbuhan.

2) Metafase

Metafase merupakan stadium lebih lanjut dari profase. Lihat Gambar 4.4. Metafase ditandai dengan beberapa peristiwa berikut.

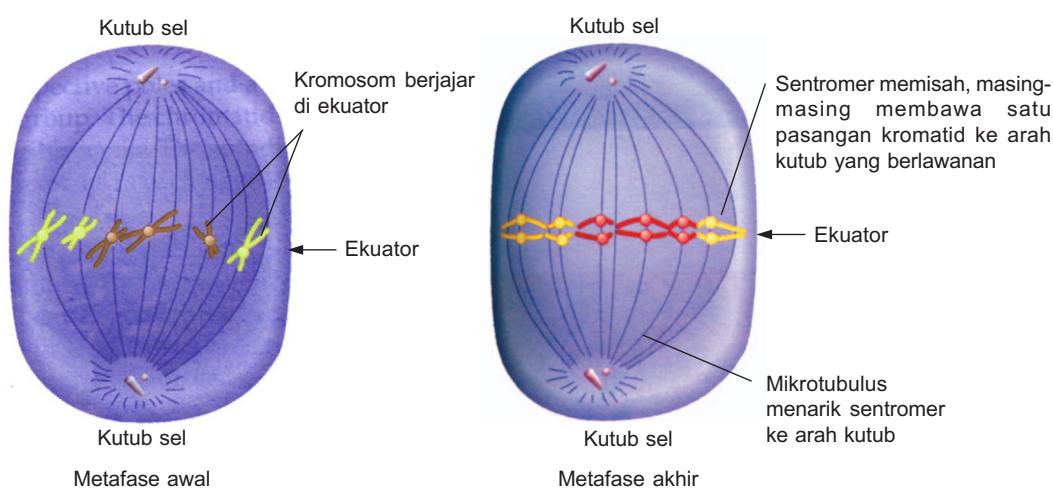
- Benang-benang spindel terlihat makin jelas. Benang-benang itu mengikat sentromer dari setiap kromosom.
- Kromosom mengatur diri di tengah-tengah antara dua kutub sel atau biasa disebut **bidang ekuatorial**. Biasanya kromosom berbentuk seperti huruf V.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooole

Gambar 4.3

Profase



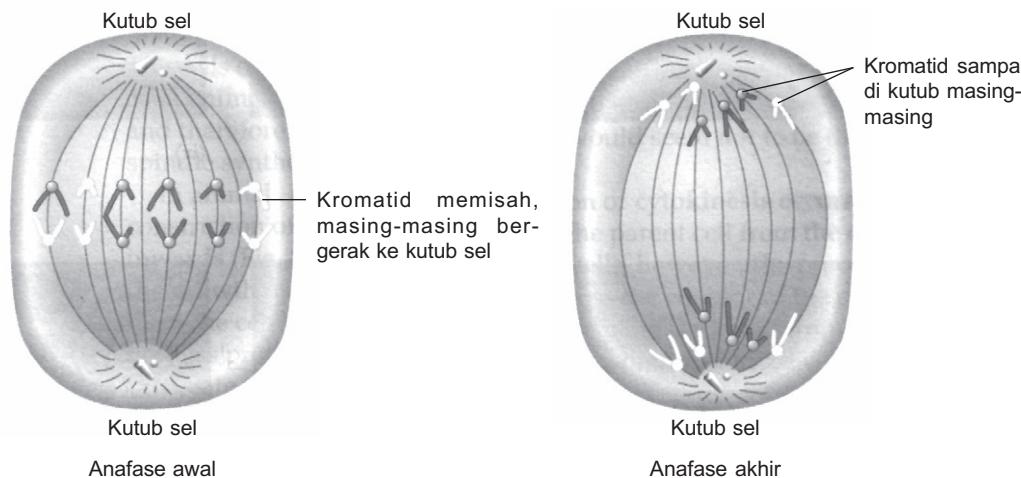
Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooole

Gambar 4.4

Metafase

3) Anafase

- Fase ini ditandai dengan peristiwa-peristiwa berikut.
- Kromatid memisah satu sama lain. Tiap-tiap kromatid tersebut mengandung sentromer.
 - Benang-benang spindel memendek sehingga kromatid-kromatid itu tertarik dan bergerak menuju kutub yang berlawanan. Lihat Gambar 4.5.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

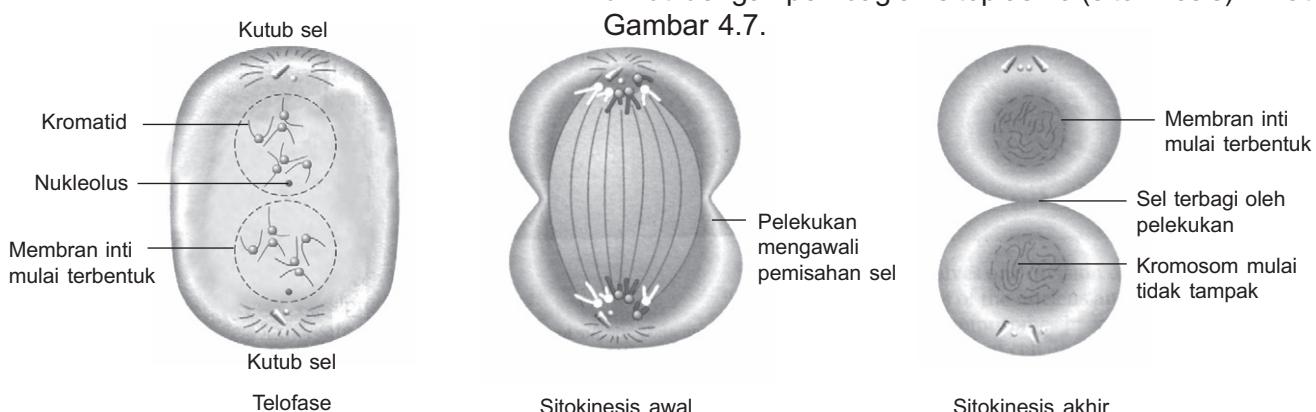
Gambar 4.5

Anafase

4) Telofase

Telofase merupakan tahap terakhir pembelahan inti (kariokinesis). Adapun tanda-tanda stadium ini sebagai berikut.

- Setelah kromatid-kromatid sampai di masing-masing kutub, bentuk kromatid itu menjadi kompak.
- Membran inti mulai terbentuk dan melingkupi kelompok kromatid pada masing-masing kutub.
- Kromatid menjadi samar-samar dan anak inti (nukleolus) pun mulai timbul. Lihat Gambar 4.6.
- Aster menghilang dan terjadi penebalan sitoplasma yang diikuti dengan pembagian sitoplasma (sitokinesis). Lihat Gambar 4.7.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

Gambar 4.6

Telofase

Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Tooie

Gambar 4.7

Sitokinesis

Lakukanlah eksperimen berikut agar Anda dapat mengamati langsung terjadinya pembelahan mitosis.



Eksperimen

Mengamati Pembelahan Mitosis

1. Persiapkan mikroskop, larutan gliserin, akar bawang merah, gelas benda, dan gelas penutup.
2. Ambillah ujung akar bawang merah ±3 mm dari ujung, kemudian letakkan di atas gelas benda. Tetesi dengan larutan gliserin, kemudian tutuplah dengan gelas penutup. Tekanlah gelas penutup dengan pensil hingga ujung akar hancur.
3. Lakukan pengamatan dengan mikroskop terhadap preparat tersebut. Sebelum pengamatan ini dilakukan, sebaiknya siapkan

terlebih dulu gambar-gambar tentang pembelahan mitosis.

Catatan:

Sebaiknya pengambilan ujung akar bawang merah dilakukan dari jam 8.00–9.00.

Pertanyaan:

1. Tahap pembelahan apakah yang paling jelas terlihat? Jelaskan ciri-ciri fase pembelahan tersebut.
2. Berapa lama tahap pembelahan di atas dapat diamati?

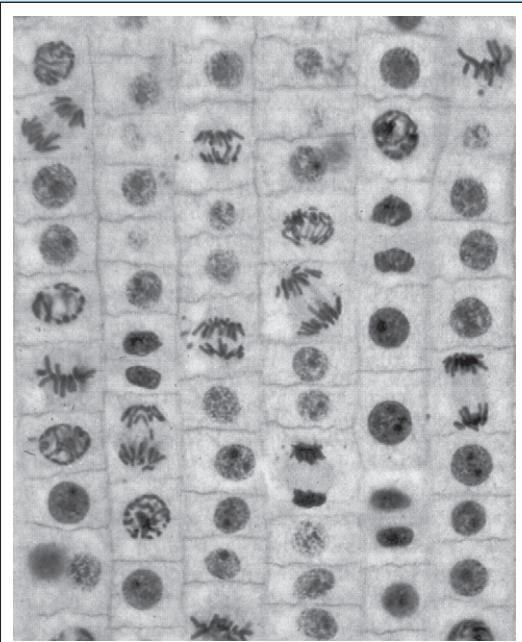
Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan presentasikan di kelas.

Mungkin Anda belum dapat mengamati setiap tahapan pembelahan mitosis dalam eksperimen di atas. Oleh karena itu, lakukan kegiatan berikut, untuk mengidentifikasi tahap-tahap pembelahan mitosis.

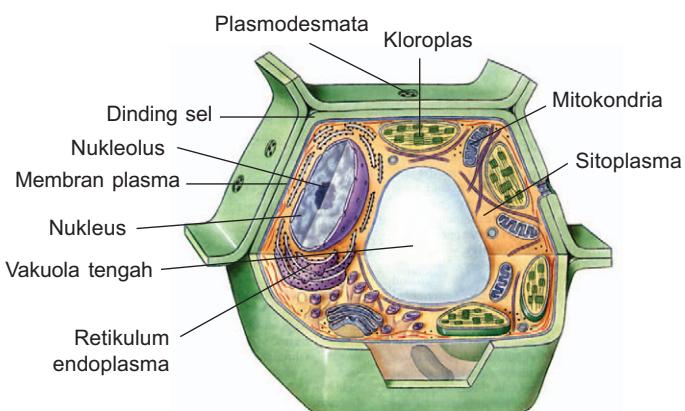


Forum Diskusi

Baca kembali ciri-ciri setiap tahap pembelahan mitosis dalam materi di depan. Selanjutnya, cermati rangkaian gambar pembelahan mitosis pada akar bawang merah di bawah ini. Bersama kelompok Anda, identifikasilah tiap tahapan mitosis yang tampak pada gambar tersebut. Setelah itu, presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di depan kelas.

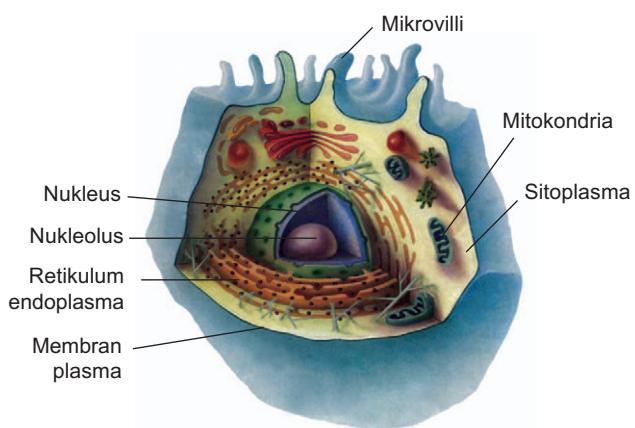


Samakah proses pembelahan sel hewan dengan sel tumbuhan? Sebelum menjawab pertanyaan ini, coba perhatikan gambar sel hewan (Gambar 4.8) dan sel tumbuhan berikut (Gambar 4.9).



Sumber: Biology, Raven dan Johnson

Gambar 4.8
Sel tumbuhan

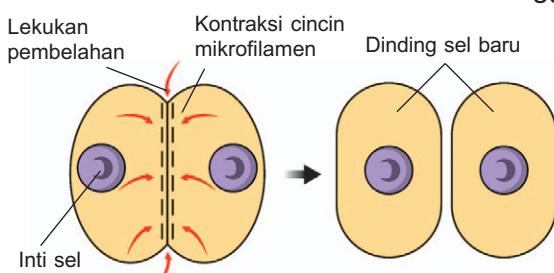


Sumber: Biology, Raven dan Johnson

Gambar 4.9
Sel hewan

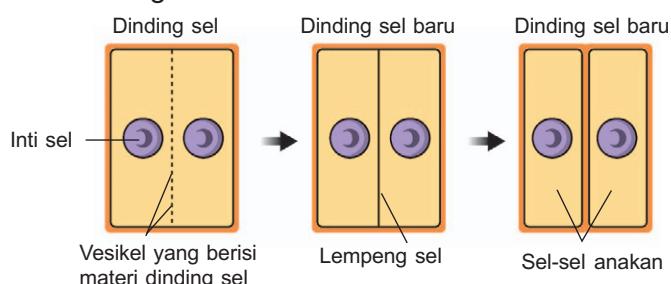
Perhatikan dengan cermat organel-organel pada kedua jenis sel tersebut. Selanjutnya tunjukkan perbedaan antara sel hewan dengan sel tumbuhan. Coba diskusikan dengan teman sebangku Anda.

Pada sel hewan, sitokinesis terjadi melalui pengerutan pada tengah-tengah sel induk dari luar ke dalam (Gambar 4.10). Namun, pada sel tumbuhan proses pembelahan terjadi dengan terbentuknya dinding pemisah yang melintang bidang ekuator pada sel induk dari tengah ke tepi (sebelah luar). Lihat Gambar 4.11. Lempeng itu dibentuk dari fusi gelembung-gelembung yang dihasilkan oleh *diktiosom*. Selanjutnya, pada lempeng tersebut diletakkan *selulosa* sehingga terbentuk dinding sel.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.10
Pembelahan sel hewan



Sumber: Dokumentasi Penerbit

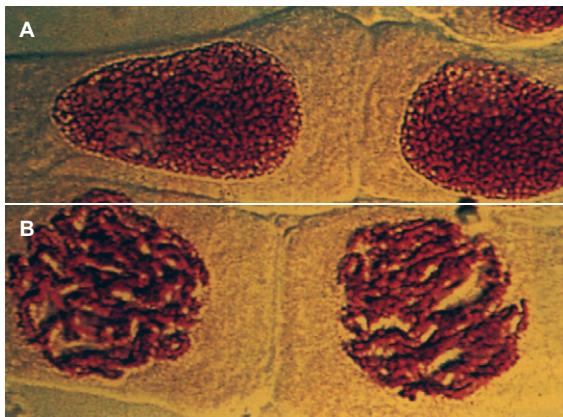
Gambar 4.11
Pembentukan dinding sel tumbuhan

Secara singkat perbedaan pembelahan mitosis pada sel hewan dengan tumbuhan dijelaskan dalam Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Perbedaan Pembelahan Mitosis pada Sel Hewan dan Tumbuhan

No.	Sel Hewan	Sel Tumbuhan
1.	Memiliki sentriol.	Tidak memiliki sentriol, kecuali sel tumbuhan tingkat rendah.
2.	Bidang pembelahan tidak ada.	Membentuk bidang pembelahan.
3.	Plasma membran menggantung ke dalam diikuti pembagian sitoplasma (sitokinesis).	Tidak ada penggantungan plasma membran tetapi membentuk bidang pembelahan.
4.	Terjadi pada sel tubuh yang bersifat embrionik.	Terjadi pada sel meristem.

Perhatikan foto tahapan mitosis pada sel tumbuhan berikut (Gambar 4.12) agar Anda lebih memahami gambaran mitosis secara nyata.



A. Interfase
B. Profase



Metafase awal
Kromosom mulai tampak



Metafase akhir
Kromosom berjajar di bidang ekuator



Anafase awal
Kromatid bergerak ke kutub yang berlawanan



Anafase akhir
Kromatid sampai di setiap kutub



Telofase
Anakan nukleus terbentuk ke kutub yang berlawanan

Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.12

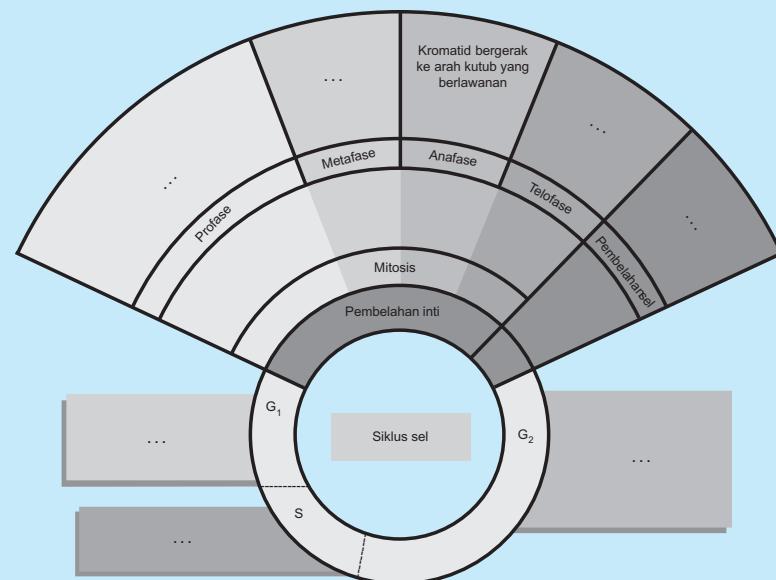
Tahap-tahap mitosis pada sel tumbuhan

Apa arti penting mitosis bagi makhluk hidup? Mitosis menghasilkan sel anak yang sama persis dengan sel induknya. Keadaan ini sangat penting untuk pertumbuhan, perbaikan jaringan, dan reproduksi aseksual.

Buatlah skema berikut secara kelompok agar Anda lebih mudah mempelajari materi mitosis

Tugas Kelompok

- Siapkan kertas manila berukuran 60 cm × 80 cm, penggaris, pensil, dan spidol warna.
- Buatlah bagan berikut, lengkap dengan penjelasannya.



- Kumpulkan hasil tugas Anda kepada bapak dan ibu guru.

2. Pembelahan Meiosis (Pembelahan Reduksi)

Meiosis atau pembelahan reduksi adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom setengah jumlah kromosom sel induk. Pembelahan meiosis sangat penting bagi organisme yang berkembang biak secara seksual, yaitu dalam proses pembentukan gamet (gametogenesis).

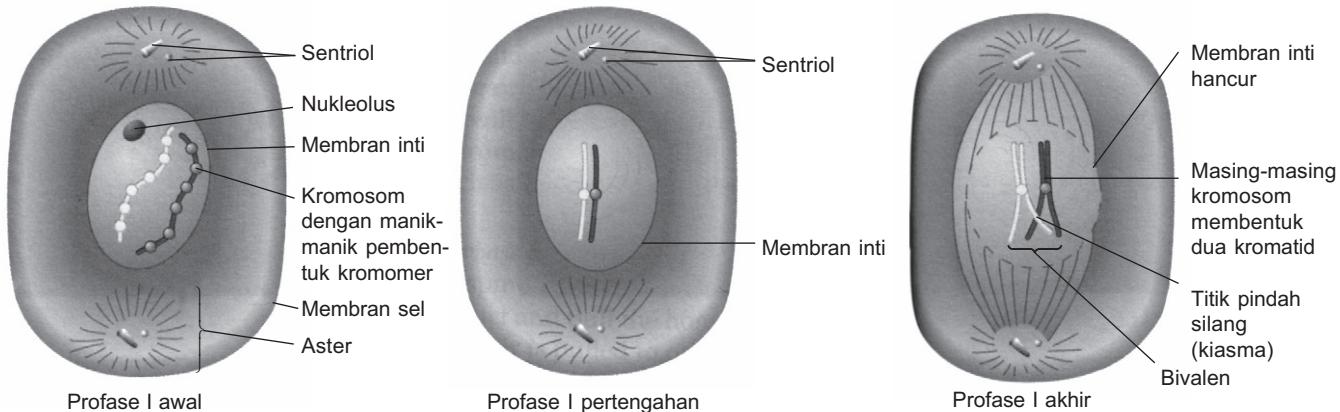
Pembelahan meiosis berlangsung dalam dua tahap pembelahan, yaitu meiosis I dan meiosis II. Pada meiosis I terjadi reduksi (pengurangan) jumlah kromosom, sedangkan pada meiosis II terjadi proses sama dengan pembelahan mitosis. Apa perbedaan meiosis I dengan meiosis II?

a. Meiosis I

Meiosis I terdiri atas empat tahap yaitu profase I, metaphase I, anafase I, dan telofase I. Pada awal meiosis I, nukleus membesar sehingga penyerapan air dari sitoplasma oleh inti mencapai 3 kali lipat. Berikut akan dibahas tahap pembelahan meiosis pada sel hewan yang memiliki dua kromosom atau sepasang kromosom homolog.

1) Profase I

Profase I terdiri atas beberapa tahap berikut. Perhatikan Gambar 4.13.



Sumber: Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.13

Profase

- Leptonema (Leptoten)**
Terlihat benang-benang halus di bagian inti sel dan mulai terbentuk kromosom.
- Zigonema (Zigoten)**
 - Pembentukan kembaran kromosom (*geminus*).
 - Kromosom homolog yang berpasangan disebut **bivulen**, sedangkan peristiwa berpasangannya antarkromosom homolog dinamakan **sinapsis**.
- Pakinema (Pakiten)**
Geminus (kembaran kromosom) terbentuk secara sempurna.
- Diplonema (Diploten)**
 - Kromosom membelah membujur sehingga setiap kelompok sinapsis terbentuk empat kromatid dan letaknya saling menjauh. Namun, pada titik-titik tertentu masih ada hubungan disebut **kiasma**. Adanya kiasma ini memungkinkan terjadinya pindah silang (*crossing over*).
 - Pasangan kromosom homolog memisahkan diri.
- Diakinesis**
 - Kromosom makin tebal.
 - Geminus menyebar di sepanjang inti.

2) Metafase I

Pada metafase I terjadi tahap-tahap berikut ini (Gambar 4.14).

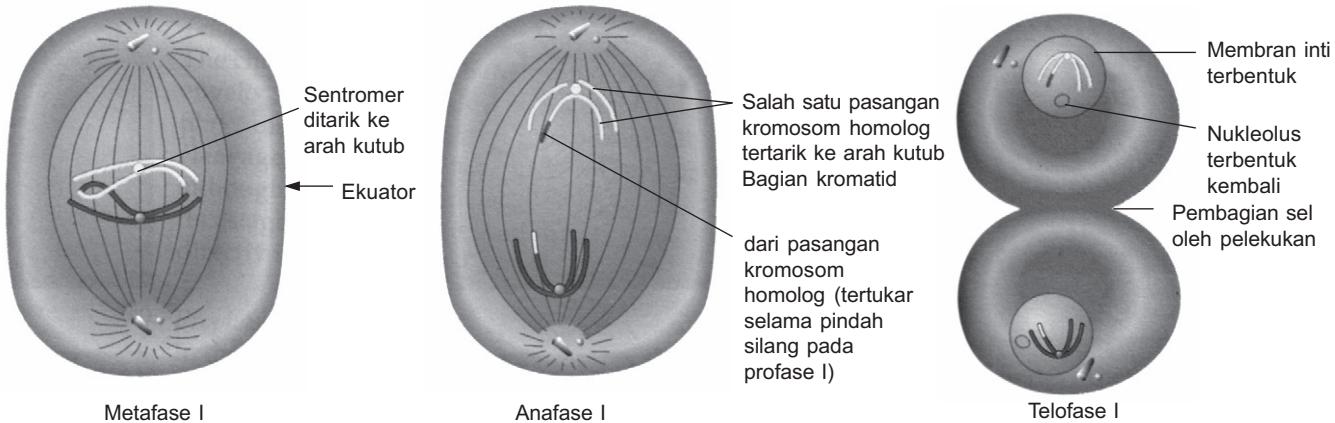
- Dinding inti dan nukleolus (anak inti) menghilang.
- Terbentuk benang-benang spindel.
- Kromosom homolog (geminus) bergerak ke bidang ekuator dengan sentromer mengarah ke kutub.

Apa perbedaan metafase dari mitosis dengan metafase I dari meiosis?



3) Anafase I

Kromosom homolog berpisah dan bergerak ke kutub berlawanan tanpa pemisahan sentromer (Gambar 4.14).



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.14

Tahap Metafase I, anafase I, dan telofase I

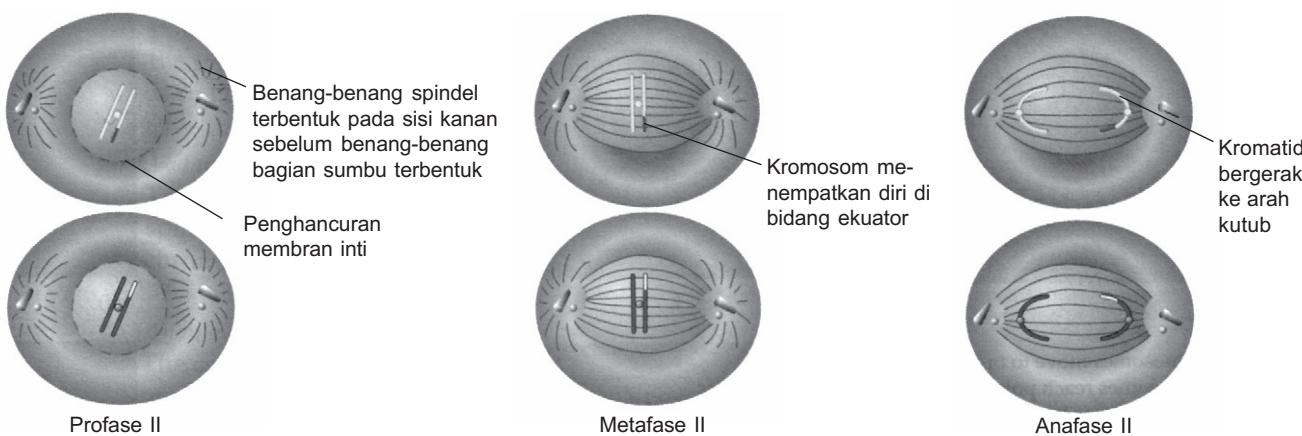
4) Telofase I

Pada telofase I terjadi tahap-tahap berikut ini (Gambar 4.14).

- Retikulum endoplasma membentuk membran inti di sekitar kelompok kromosom yang telah sampai di kutub pembelahan.
- Membran inti dan anak inti (nukleolus) kembali terbentuk.
- Pembentukan membran plasma untuk memisahkan sel anakan.
- Terbentuk 2 sel anakan yang haploid (n).

b. Meiosis II

Pada pembelahan tahap kedua ini (meiosis II) berlangsung seperti mitosis, tetapi sel-selnya bersifat haploid (n). Meiosis II juga berlangsung dalam empat tahap pembelahan, yaitu profase II, metaphase II, anafase II, dan telofase II. Perhatikan Gambar 4.15 dan 4.16.



Sumber: *Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.15

Tahap profase II, metaphase II, dan anafase II

1) Profase II

Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Pembelahan dua buah sentriol menjadi dua pasang sentriol baru.
- b) Setiap pasang sentriol bermigrasi ke arah kutub yang berlawanan.
- c) Mikrotubul membentuk spindel dan membran inti.
- d) Nukleus lenyap, kromosom berubah menjadi kromatid.

Apa persamaan tahap metaphase II dengan tahap metaphase dari mitosis?



2) Metafase II

Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Spindel menghubungkan sentromer dengan kutub pembelahan.
- b) Kromatid tertarik ke bidang ekuator.

3) Anafase II

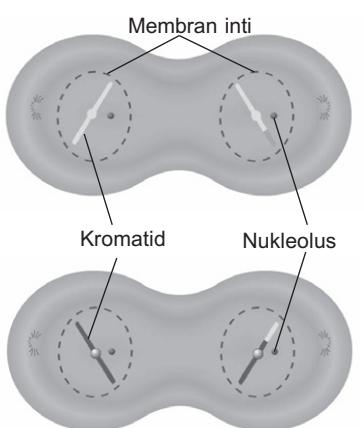
Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Seluruh isi sel serta benang-benang spindel dari gelendong bertambah panjang. Bersamaan dengan itu sentromer pembelah menjadi dua.
- b) Kromatid yang berpasangan saling berpisah dan masing-masing kromatid bergerak ke arah kutub yang berlawanan.

4) Telofase II

Peristiwa yang terjadi sebagai berikut.

- a) Benang-benang kromatid yang telah sampai di kutub berubah menjadi benang-benang kromatin.
- b) Karioteka dan nukleus terbentuk kembali.
- c) Pada bidang pembelahan terbentuk sekat yang membagi sitoplasma menjadi dua bagian. Lihat Gambar 4.16
- d) Terbentuk 4 sel baru dengan jumlah kromosom $\frac{1}{2}$ kromosom sel induk (haploid = n). Perhatikan Gambar 4.17.



Gambar 4.16
Telofase II

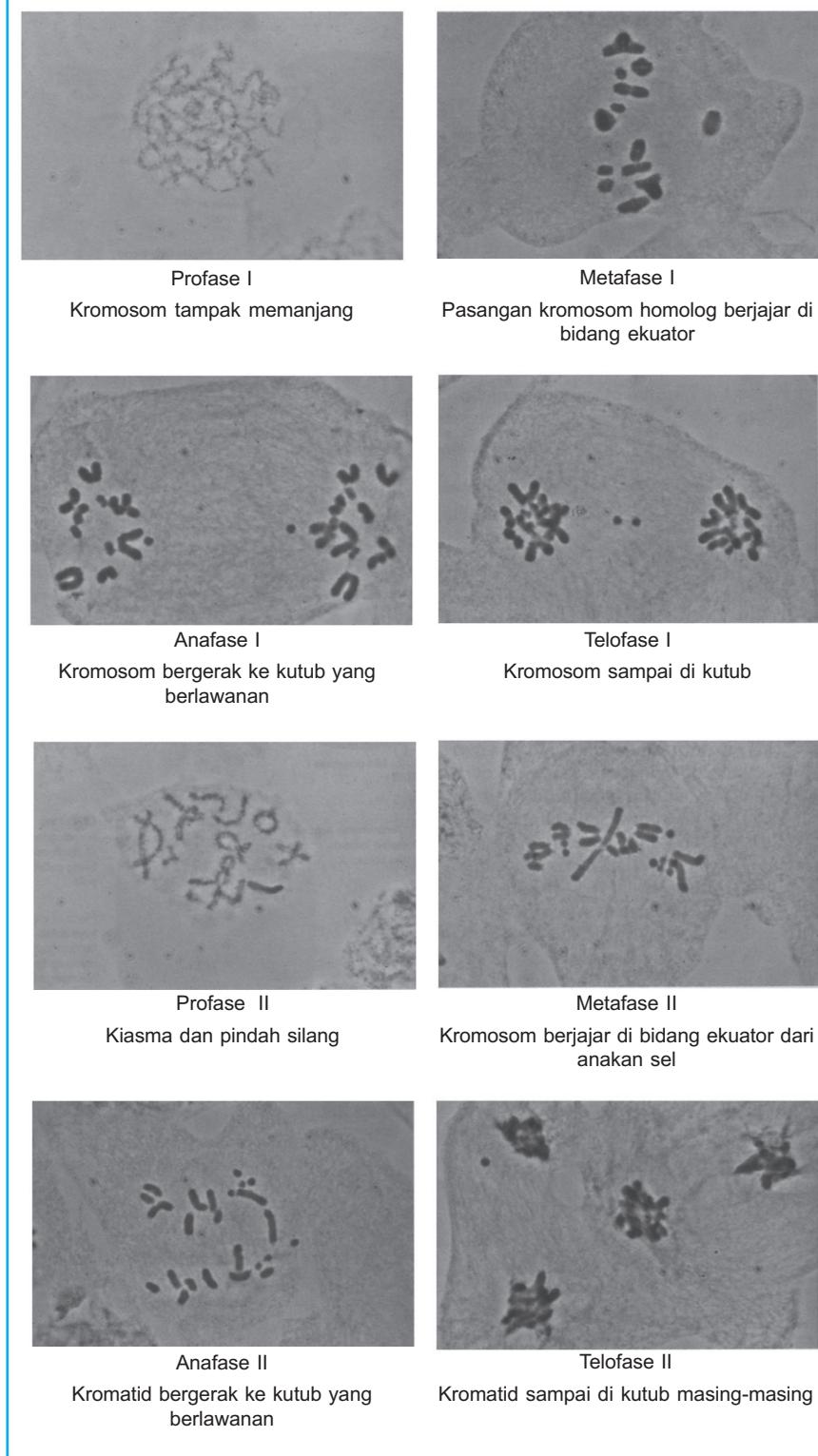


Gambar 4.17
Terbentuk 4 sel anakan

Terbentuk 4 sel anakan. Setiap sel anakan mengandung kromosom haploid. Selama profase I terjadi pindah silang yang menghasilkan variasi genetik pada keempat sel tersebut.

Sumber: Biology, Mader S.S

Perhatikan foto tahapan meiosis berikut (Gambar 4.18) agar Anda lebih memahami gambaran meiosis secara nyata.



Sumber: *New Understanding Biology for Advanced Level*, Glenn and Susan Toole

Gambar 4.18

Tahap-tahap meiosis sel hewan

Anda telah memahami materi pembelahan reduksi (meiosis). Apakah sebenarnya arti penting pembelahan meiosis bagi makhluk hidup? Marilah kita pelajari melalui uraian berikut.

Salah satu kunci kelangsungan hidup organisme tergantung pada kemampuan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Oleh karena itu, sangat perlu untuk melahirkan keturunan yang berbeda (dalam hal variasi genetik) dengan induknya. Variasi yang adaptif akan dapat bertahan terhadap perubahan lingkungan.

Melalui pembelahan meiosis, paling tidak ada tiga cara untuk menghasilkan variasi baru. Ketiga cara itu dijelaskan seperti berikut.

a. **Produksi dan penggabungan sel-sel gamet (haploid)**

Variasi dalam keturunan dapat dihasilkan oleh percampuran genotif dari induk-induk mereka, yaitu melalui perkembangbiakan seksual. Sel-sel kelamin mengandung setengah jumlah kromosom sel induk sehingga memungkinkan adanya penggabungan sifat di antara dua sel kelamin (sperma dan ovum).

b. **Variasi genetik melalui distribusi acak selama metafase I**

Saat metafase I berlangsung, secara acak pasangan kromosom homolog mengatur diri pada bidang ekuator. Meskipun masing-masing pasangan kromosom membawa ciri-ciri umum sama, tetapi sebenarnya secara rinci mereka membawa ciri-ciri yang berbeda. Penyebaran secara random dan pemasangan secara bebas pada kromosom ini akan menghasilkan kombinasi genetik baru.

c. **Variasi genetik melalui pindah silang di antara kromosom homolog**

Selama profase I, bagian yang sama dari homolog mungkin berubah. Dengan cara ini dapat dihasilkan kombinasi genetik dan pemisahan gen-gen yang terpaut (*linked*).

Anda telah mempelajari pembelahan mitosis dan meiosis. Nah sekarang, lakukanlah kegiatan berikut agar Anda lebih memahami materi tersebut.



Forum Diskusi

Pelajari kembali materi pembelahan mitosis dan meiosis di depan. Cermati pula gambar-gambar yang menyertai pembahasan materi tersebut. Selanjutnya, bandingkan kedua jenis pembelahan tersebut dan temukan 10 perbedaan antara pembelahan mitosis dengan meiosis. Catatlah hasil pengamatan kelompok Anda dalam tabel berikut.

Tabel Perbedaan Mitosis dan Meiosis

Mitosis	Meiosis
1. Pembelahan tunggal kromosom dan nukleus.
2.	Jumlah kromosom sel anak 1/2 dari jumlah kromosom sel induk.
3. Kromosom homolog tidak mengumpul
4.	Terbentuk kiasma.
5. Tidak terjadi pindah silang.
6. Sel anak identik dengan
7. Menghasilkan 2 sel anak.
8. Kromosom memendek dan menebal.	Kumparan kromosom lebih panjang dari pada mitosis.
9. Kromosom terbentuk dalam satu garis ekuator.
10.	Kromosom bergerak ke kutub berlawanan selama pembelahan meiosis I.

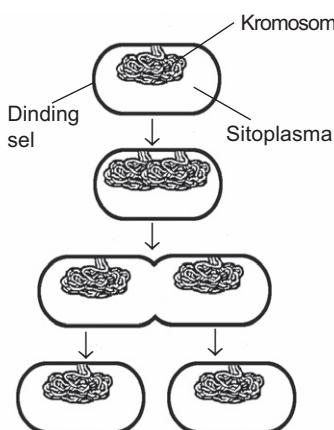
Presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di depan kelas.

3. Pembelahan Langsung (Amitosis)

Pembelahan amitosis tidak didahului dengan pembentukan gelendong pembelahan dan peleburan inti. Amitosis merupakan salah satu cara reproduksi aseksual pada organisme uniselular, misalnya bakteri dan Protozoa (Lihat Gambar 4.19).

Mengapa pembelahan amitosis digolongkan sebagai reproduksi aseksual? Pada pembelahan ini setiap sel membelah menjadi dua (pembelahan biner). Pembelahan inti diikuti dengan pembagian sitoplasma. Sel-sel anak mempunyai ukuran dan struktur genetik yang serupa.

Pembelahan ini diawali dengan penggandaan DNA yang diikuti pembelahan kromosom sehingga terbentuk dua benang kromosom yang identik. Selanjutnya, terbentuk membran pemisah yang terbentang di antara kedua kromosom tersebut. Perhatikan gambar 4.19.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.19
Amitosis pada bakteri



Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan dengan bagan dan keterangan ringkas tentang berlangsungnya pembelahan mitosis.
2. Mengapa mitosis sangat penting dalam perbaikan jaringan?

3. Apa perbedaan pembelahan mitosis dengan meiosis?
4. Jelaskan dengan bagan dan keterangan ringkas tentang berlangsungnya pembelahan meiosis.
5. Jelaskan manfaat meiosis demi kelangsungan makhluk hidup.

B. Pembentukan Gamet pada Hewan dan Tumbuhan Tingkat Tinggi

Berkembang biak merupakan salah satu ciri makhluk hidup. Kemampuan berkembang biak menentukan eksistensi organisme. Hewan dan tumbuhan tingkat tinggi berkembang biak secara seksual. Reproduksi seksual terjadi melalui fertilisasi sel telur (gamet betina) oleh sel sperma (gamet jantan) (Gambar 4.20). Gamet-gamet tersebut terbentuk melalui serangkaian proses pembelahan. Bagaimanakah sebuah sel dapat berkembang menjadi sel telur atau sel sperma? Pembentukan gamet jantan dan betina dipengaruhi proses pembelahan sel yang akan diuraikan dalam subbab berikut.

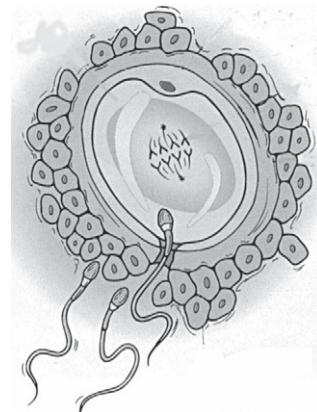
1. Gametogenesis pada Hewan Vertebrata

Gametogenesis terdiri atas spermatogenesis dan oogenesis. Spermatogenesis yaitu proses pembentukan sperma di dalam testis, sedangkan oogenesis yaitu proses pembentukan sel telur di dalam ovarium.

a. Spermatogenesis

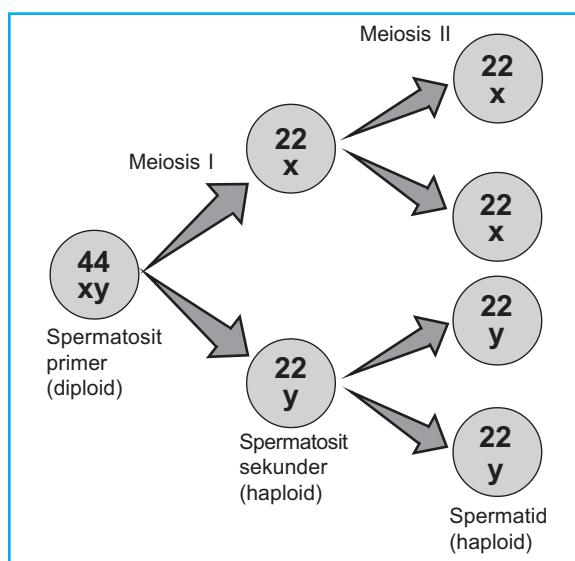
Pada manusia dan hewan tingkat tinggi, spermatogenesis terjadi di dalam testis (buah zakar). Sel-sel primordial diploid di dalam testis membelah secara mitosis berkali-kali dan membentuk *spermatogonium* ($2n$). Spermatogonium mengandung 46 kromosom ($2n = \text{diploid}$), yaitu terdiri atas 44 autosom (kromosom tubuh) dan 2 kromosom sel kelamin.

Spermatogonium mengalami perkembangan dan membentuk *spermatozit primer* (diploid). Setelah itu, membelah secara meiosis menghasilkan dua buah *spermatozit sekunder* haploid (n). Satu spermatozit sekunder mengandung 22 autosom + sebuah kromosom-X, sedangkan spermatozit sekunder satunya mengandung 22 autosom + sebuah kromosom-Y. Lihat Gambar 4.21.



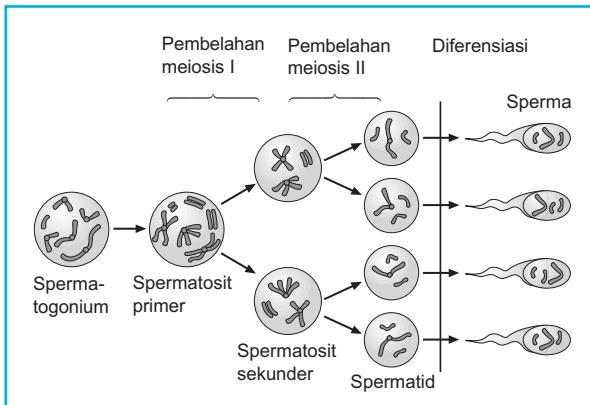
Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.20
Fertilisasi sel telur



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.21
Pembagian jumlah kromosom



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.22
Diagram spermatogenesis

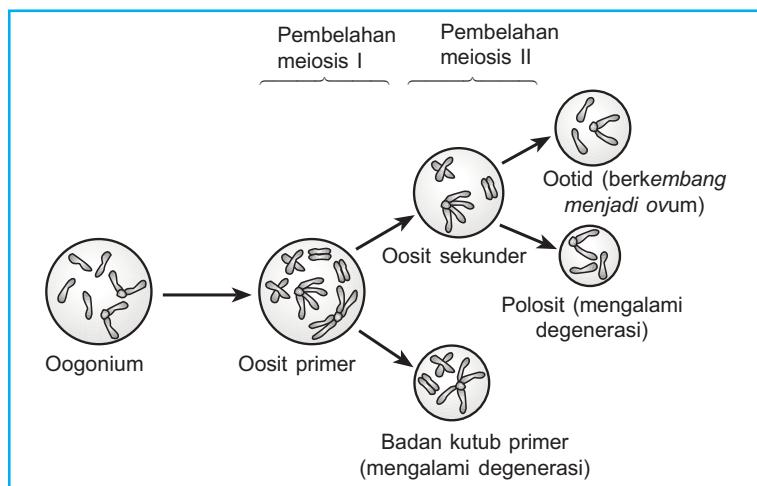
Selanjutnya, tiap-tiap sel spermatosit sekunder membelah secara meiosis II, menghasilkan empat **spermatid** (haploid = n). Dua spermatid mengandung 22 autosom + 1 kromosom-X (dituliskan: 22A + X) dan dua spermatid mengandung 22 autosom + 1 kromosom-Y (dituliskan: 22A + Y). Perhatikan Gambar 4.22 di samping.

Setiap spermatid mengalami pematangan (maturasi) menjadi spermatozoa (sperma) dan terjadi pembentukan akrosom. Bagian ujung (kepala) setiap spermatozoa mengandung akrosom. Akrosom mengandung enzim proteinase dan hialuronidase yang berperan untuk menembus lapisan pelindung sel telur. Dari salah satu sentriolnya terbentuk flagel. Peristiwa ini disebut **spermiogenesis**.

b. Oogenesis

Sel telur berasal dari sel-sel primordial diploid yang terdapat dalam ovarium, yang disebut **oogonium**. Setelah membelah secara mitosis berkali-kali membentuk **oosit primer** (diploid). Oosit primer mengandung 44 autosom + 2 kromosom-X (atau dituliskan: 44A + XX).

Oosit primer membelah secara meiosis I menjadi sebuah sel besar disebut **oosit sekunder** (n) dan sebuah sel kecil disebut **badan kutub (polosit) primer** (n).



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.23
Diagram oogenesis

Badan kutub primer mengalami degenerasi (kemunduran), sedangkan oosit sekunder membelah secara meiosis II. Pembelahan oosit sekunder menghasilkan dua buah sel yang ukurannya tidak sama besar, yang besar disebut **ootid** dan yang kecil disebut **badan kutub (polosit) sekunder**. Selanjutnya, ootid mengalami pemasakan (maturasi) membentuk **ovum** atau **sel telur**, sedangkan polosit (badan kutub sekunder) mengalami degenerasi. Lihat Gambar 4.23.

2. Gametogenesis pada Tumbuhan Berbiji

Gametogenesis pada tumbuhan berbiji meliputi mikrosporogenesis dan makrosporogenesis. **Mikrosporogenesis** merupakan proses pembentukan gamet jantan, sedangkan **makrosporogenesis** (megasporogenesis) merupakan pembentukan gamet betina.

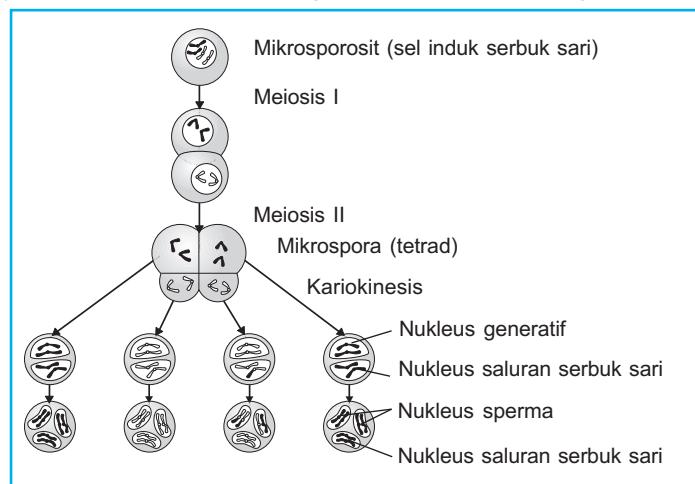
a. Mikrosporogenesis

Mikrosporogenesis terjadi di dalam *kepala sari* atau antera. Di dalam antera terdapat kantong serbuk sari yang di dalamnya berisi sejumlah sel-sel induk serbuk sari atau sel induk mikrospora (mikrosporosit) yang diploid.

Proses mikrosporogenesis sebagai berikut.

- 1) Sel induk mikrospora (mikrosporosit) membelah meiosis I dan menghasilkan sepasang sel haploid.
- 2) Sepasang sel haploid membelah meiosis II menghasilkan 4 mikrospora haploid yang berkelompok menjadi satu disebut *tetrad*.
- 3) Setiap mikrospora mengalami kariokinesis sehingga menghasilkan 2 inti haploid. Satu inti disebut **inti saluran serbuk sari** (inti vegetatif), inti lain dinamakan **inti generatif**.
- 4) Inti generatif membelah secara mitosis tanpa sitokinesis sehingga terbentuk dua inti sperma. Inti saluran serbuk sari tidak membelah.

Jadi, dalam sebutir serbuk sari masak terdapat tiga inti haploid, yaitu sebuah inti saluran serbuk sari dan dua inti sperma (inti generatif). Perhatikan Gambar 4.24 agar lebih jelas memahami tentang proses mikrosporogenesis.



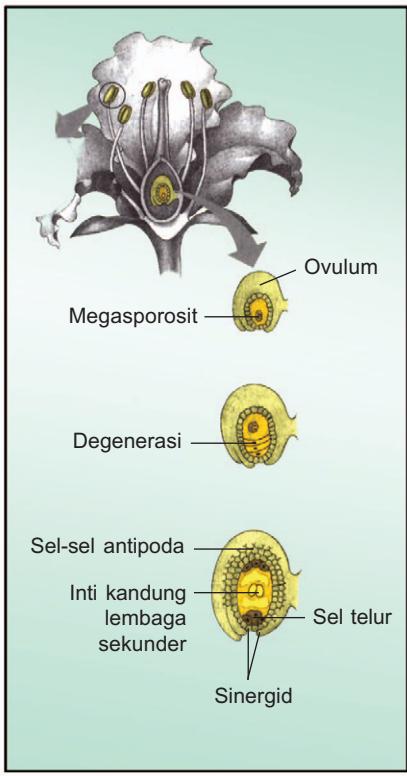
Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.24

Diagram mikrosporogenesis

b. Megasporogenesis

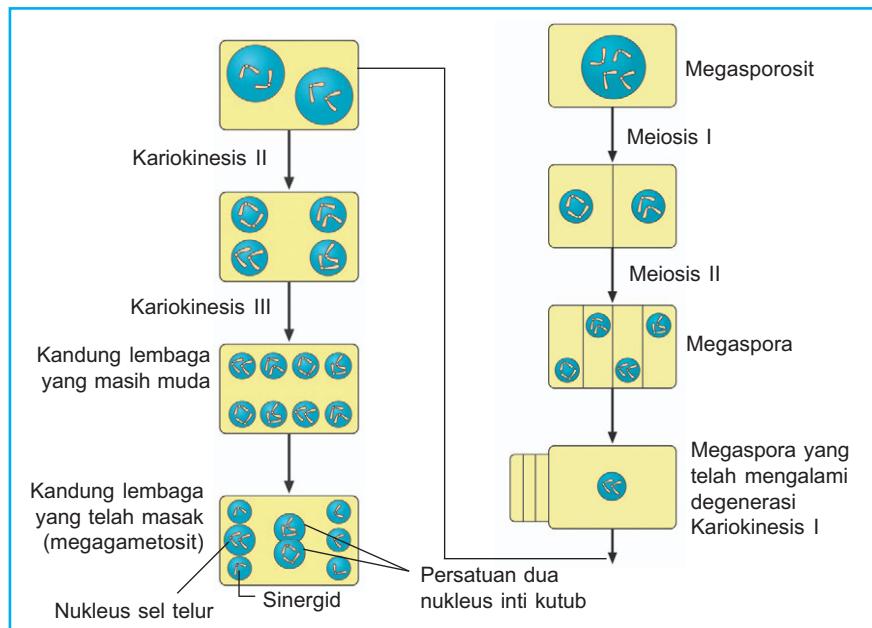
Megasporogenesis berlangsung dalam bakal buah atau ovarium. Di dalam ovarium terdapat bakal biji atau **ovulum** yang menempel pada dinding ovarium. Ovulum dilindungi oleh integumen luar dan integumen dalam. Bakal biji berhubungan dengan buluh serbuk melalui lubang mikrofil. Dalam bakal biji terdapat sel induk megaspora.



Sumber: Biology, Campbell

Gambar 4.26

Proses megasporogenesis pada Angiospermae



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 4.25

Diagram megasporogenesis

Proses megasporogenesis pada Angiospermae. Perhatikan Gambar 4.25.

- 1) Sebuah sel induk megaspora diploid (megasporosit) dalam ovarium mengalami meiosis I dan menghasilkan dua sel haploid.
- 2) Kedua sel haploid mengalami meiosis II dihasilkan 4 megaspora haploid, tiga di antaranya mengalami **degenerasi**.
- 3) Megaspora yang masih hidup mengalami tiga kali kariokinesis tanpa sitokinesis dan dihasilkan sel besar (kandung lembaga muda) dan delapan inti haploid.
- 4) Dalam megaspora empat inti berada pada sisi kalaza dan empat inti lainnya di dekat mikrofil.
- 5) Satu inti dari tiap-tiap sisi menuju ke pusat dan bersatu membentuk kandung lembaga sekunder yang diploid.
- 6) Tiga inti pada bagian kalaza dinamakan **inti antipoda**, inti di bagian tengah yang dekat mikrofil dinamakan *ovum* (*sel telur*), dan yang di samping kiri kanan dinamakan **sinergid**. Pada peristiwa pembuahan inti generatif membuahi sel telur membentuk zigot diploid. Inti diploid hasil persatuan dua sel kutub yang dibuahi inti generatif menghasilkan endosperm bersifat triploid. Lihat Gambar 4.26.

Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan dengan skema terjadinya spermato genesis. Beri penjelasan secara singkat dan jelas.
2. Apa yang terjadi pada oosit primer setelah mengalami pembelahan meiosis I dan II? Jelaskan dengan skema.

3. Gambarkan dengan bagan terjadinya mikrosporogenesis. Berilah penjelasan secukupnya.
4. Jelaskan secara rinci dengan disertai bagan terjadinya megasporogenesis.



Rangkuman

1. Pembelahan mitosis

Pembelahan mitosis meliputi dua proses pembelahan yang berurutan yaitu koriokinesis (pembelahan inti) dan sitokinesis (pembelahan sel). Pembelahan mitosis berlangsung dalam empat tahap.

a. Profase

Ciri-ciri tahap profase sebagai berikut.

- 1) Benang-kromatin membentuk kromosom.
- 2) Membran inti larut dan anak inti (nukleolus) menghilang.
- 3) Kromosom menduplikasi diri menjadi sepasang kromatid.
- 4) Sentriol membelah dan bergerak ke arah kutub, terbentuk benang-benang spindel.

b. Metafase

Ciri-ciri tahap metafase sebagai berikut.

- 1) Benang spindel mengikat sentromer-sentromer kromosom.
- 2) Kromosom berjajar pada bidang ekuatorial.

c. Anafase

Ciri-ciri tahap anafase sebagai berikut.

Benang-benang spindel memendek, kromatid menuju kutub yang berlawanan.

d. Telofase

Ciri-ciri tahap telofase

- 1) Mulai terbentuk membran inti.
- 2) Kromatid menipis dan mulai terbentuk anak inti.
- 3) Sitoplasma menebal dan terjadi sitokinesis (pembelahan sitoplasma).

2. Pembelahan meiosis

Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi karena sel anakan yang terbentuk memiliki setengah jumlah kromosom sel induk.

Pembelahan meiosis berlangsung dalam dua tahap pembelahan yaitu meiosis I (pengurangan jumlah kromosom) dan meiosis II prosesnya sama dengan pembelahan mitosis.

Tahap-tahap pembelahan meiosis

a. Meiosis I

1) Profase I

Pada profase I berlangsung tahap-tahap sebagai berikut.

a) Leptonema

Terlihat benang-benang halus pada nukleus.

b) Zigonema

- (1) Pembentukan geminus
- (2) Terjadi sinapsis

c) Pakinema

Geminus telah terbentuk sempurna

d) Diplonema

- (1) Kromosom membelah dan menjauh tetapi terdapat kiasma
- (2) Pasangan kromosom homolog memisahkan diri

e) Diakinesis

- (1) Kromosom menebal
- (2) Geminus menyebar di sepanjang inti

2) Metafase I

Pada metafase I berlangsung tahap-tahap sebagai berikut.

- a) Inti dan nukleolus menghilang.
- b) terbentuk benang-benang spindel.
- c) Kromosom homolog bergerak ke bidang ekuator.

3) Anafase I

Pada anafase I, kromosom homolog berpisah dan bergerak ke kutub berlawanan tanpa pemisahan sentromer.

4) Telofase I

Pada telofase I berlangsung tahap-tahap sebagai berikut.

- a) Membran inti dan anak inti kembali terbentuk.
- b) Sel anakan berpisah.
- c) Terbentuk 2 sel anakan haploid.

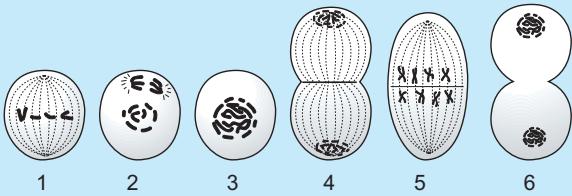
- b. Meiosis II
Proses yang terjadi pada meiosis II serupa dengan proses pada mitosis.
3. Pembelahan Amitosis
Amitosis merupakan salah satu cara reproduksi aseksual pada organisme uniselular, sehingga tidak diawali dengan pembentukan gelendong pembelahan dan peleburan inti.
4. Gametogenesis pada hewan Vertebrata terdiri atas spermatogenesis dan oogenesis.
- a. Spermatogenesis terjadi di dalam testis. Spermatogenesis menghasilkan sel sperma (n).
b. Oogenensis terjadi dalam ovarium. Oogenensis menghasilkan ovum (n).
5. Gametogenesis pada tumbuhan berbiji
Gametogenesis meliputi mikrosporogenesis (pembentukan gamet jantan) dan makrosporogenesis (pembentukan gamet betina).



Evaluasi

- A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.
- Pada siklus kehidupan sel, benang kromosom tidak ditemukan pada tahap
 - profase
 - anafase
 - interfase
 - metafase
 - telofase
 - Organisme yang berhasil berkembang biak tanpa melalui proses meiosis yaitu
 - lalat buah
 - nyamuk
 - belalang
 - cacing tanah
 - amoeba
 - Peristiwa sinapsis terjadi pada tahap
 - interfase
 - profase I
 - anafase I
 - profase II
 - metafase I

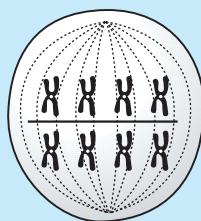
4. Perhatikan gambar fase pembelahan mitosis berikut ini.



Urutan fase pembelahan mitosis yaitu

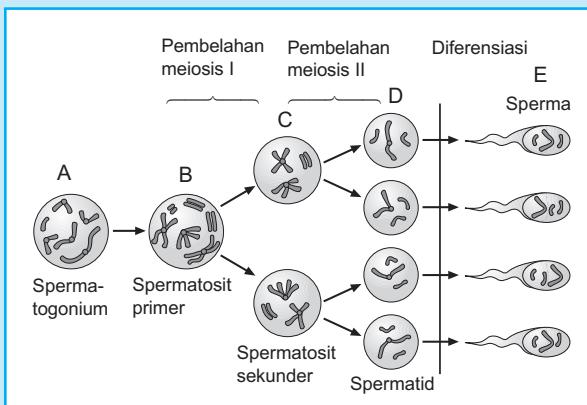
- 2 – 1 – 5 – 3 – 6 – 4
- 2 – 1 – 5 – 6 – 4 – 3
- 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 1
- 3 – 2 – 1 – 4 – 5 – 6
- 3 – 2 – 1 – 5 – 4 – 6

5. Gambar di samping merupakan salah satu fase mitosis pada tahap

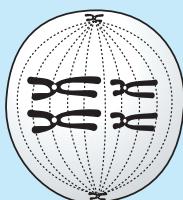


- profase
- metafase
- anafase
- telofase
- interfase

6. Tanaman buncis memiliki $2n$ kromosom = 22 buah, jumlah kromatid pada metafase II merupakan
- 10
 - 12
 - 20
 - 22
 - 24
7. Ciri-ciri berikut merupakan beberapa tahapan pembelahan meiosis.
- Kromosom homolog melekat satu sama lain.
 - Terbentuk tetrad atau bivalen.
 - Kemungkinan terjadi saling tukar-menukar gen.
 - Kromosom homolog mengatur diri pada bidang ekuator.
 - Kromosom homolog berpisah.
 - Kromosom menuju kutub-kutub yang berlawanan.
- Ciri tahapan pembelahan yang terjadi pada profase I ditunjukkan nomor
- (1) – (2) – 3)
 - (2) – 3) – 4)
 - (3) – 4) – 5)
 - (3) – 4) – 6)
 - (4) – 5) – 6)
8. Perhatikan bagan meiosis berikut ini.

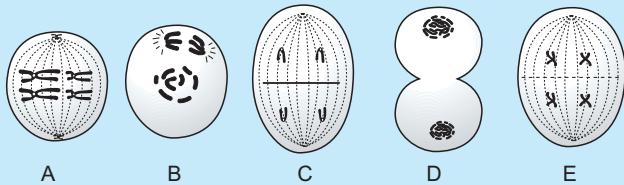


- Reduksi kromosom terjadi pada tahapan
- A
 - B
 - C
 - D
 - E
9. Perhatikan gambar pembelahan sel di samping. Sel tersebut berada pada fase
- profase I
 - metafase I
 - metafase II
 - profase II
 - anafase II



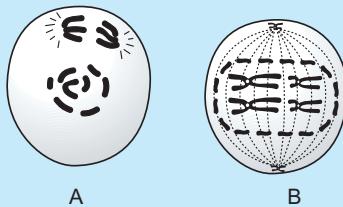
10. Pada organisme X dengan jumlah kromosom 12 pasang terjadi pembelahan meiosis. Kromatid organisme tersebut pada tahap profase berjumlah . . . pasang.
- 3
 - 4
 - 12
 - 24
 - 48

11. Berdasarkan tahapan pada meiosis, anafase I ditunjukkan oleh gambar



- A
- B
- C
- D
- E

12. Perhatikan gambar pembelahan meiosis di bawah ini.



Tahapan yang ditunjukkan pada A dan B secara berurutan disebut

- metafase I dan profase I
- profase I dan anafase I
- profase I dan metafase I
- anafase II dan telofase II
- akhir profase II dan metafase II

13. Sitokinesis yang terjadi pada proses mitosis berlangsung pada fase

- anafase
- interfase
- profase
- metafase
- telofase

14. Kromosom dapat dihitung pada saat metafase, hal tersebut disebabkan oleh

- terbentuk kromatid
- kromatid berjajar di bidang ekuator
- kromosom berubah menjadi kromatin
- kromatin berubah menjadi kromosom
- kromosom bergerak ke kutub yang berlawanan

15. Pada tumbuhan pembelahan reduksi terjadi pada
- lingkaran kambium
 - jaringan meristem
 - pucuk batang
 - alat perkembangbiakan
 - ujung akar

16. Tahapan-tahapan pembelahan meiosis.

No.	Fase-fase	Meiosis I
1.	Interfase	Replikasi kromosom. Kromosom membentuk kromatid kembar.
2.	Profase	Kromosom homolog bersinapsis. Terjadi pindah silang gen antarkromatid yang bersinapsis.
3.	Metafase	Kromosom homolog mengatur diri di bidang ekuator. Sentromer mengarah ke kutub-kutub yang berlawanan.
4.	Anafase	Kromosom homolog berpisah dan menuju ke kutub-kutub yang berlawanan.
5.	Telofase	Di sekitar kutub pembelahan dijumpai kromosom haploid terbentuk nukleus.

Perubahan kromosom yang terjadi pada meiosis I, tetapi tidak terjadi pada meiosis II terdapat pada tahap yang ditunjukkan oleh

- 1 dan 2
- 1 dan 5
- 2 dan 3
- 3 dan 4
- 4 dan 5

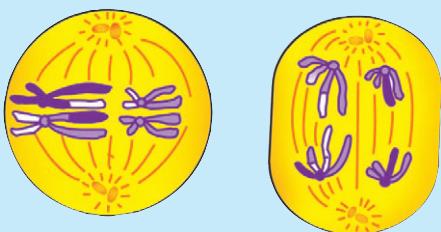
17. Salah satu ciri yang membedakan antara pembelahan mitosis dengan pembelahan meiosis yaitu

- pada meiosis sel anak identik dengan sel induk
- pada mitosis terjadi pengurangan jumlah kromosom
- pada mitosis menghasilkan dua sel anak-anak yang bersifat haploid
- pada mitosis tidak terjadi pindah silang antarkromatid homolog
- pada meiosis hasil akhir terbentuk empat sel anakan masing-masing diploid

18. Ciri berikut ini yang merupakan ciri dari telofase II pada meiosis II, yaitu

- terlihat benang-benang halus di bagian inti sel dan mulai terbentuk kromosom
- terbentuk dua sel anakan yang haploid
- terbentuk geminus
- dinding inti dan nukleolus menghilang
- terbentuk empat sel baru dengan jumlah kromosom $\frac{1}{2}$ kromosom induk

19.



Perhatikan fase pembelahan di atas.

Proses berikutnya yang terjadi setelah sel mengalami fase seperti tampak pada gambar yaitu

- benang-benang kromatin menebal
- benang-benang kumparan menuju ke tengah dan melekat pada sentromer
- terbentuk sepasang sentriol yang bergerak menuju kutub-kutub sel
- mikrotubulus membentuk benang-benang kumparan
- kromatid berpisah dan menuju kutub-kutub

20. Pembelahan sel-sel kambium pada tumbuhan dikotil merupakan pembelahan

- amitosis
- mitosis
- sinergid
- endosperm
- embrional

21. Sel telur pada oogenesis berasal dari

- osit primer
- osit sekunder
- polosit primer
- polosit sekunder
- sel primordial diploid

22. Perbedaan antara spermatogenesis dengan oogenesis terletak pada

- tahap-tahap pembelahan
- jaringan tempat terjadinya proses
- jumlah sel kelamin yang fungsional
- pola pemisahan kromosom pada tiap fase
- jumlah kromosom pada sperma dan ovum

23. Setelah oogonium membelah secara mitosis berkali-kali akan menghasilkan

- osit sekunder diploid
- osit primer haploid
- osit primer diploid
- polosit primer
- polosit sekunder

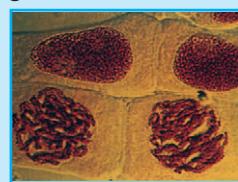
24. Pada pembelahan meiosis II mikrosporogenesis, akan terbentuk
- 2 mikrospora haploid
 - 2 mikrospora diploid
 - 2 mikrospora triploid
 - 4 mikrospora haploid
 - 4 mikrospora diploid
25. Bila n kromosom mikrosporosit yang terdapat di kepala sari berjumlah 26 buah, kromosom inti vegetatif spermatozoidnya akan berjumlah ... buah.
- 12
 - 13
 - 25
 - 26
 - 52
26. Pada spermatogenesis, sel pertama yang bersifat haploid yaitu
- sel epithelium germinal
 - spermatogonium
 - spermatosit primer
 - spermatosit sekunder
 - spermatid
27. Berdasarkan pengamatan terhadap diagram spermatogenesis di samping, nomor-nomor yang menunjukkan sel diploid terdapat pada
- I dan II
 - I dan IV
 - II dan III
 - II dan V
 - III dan IV
-
28. Hasil oogenesi pada Angiospermae berupa
- empat ovum yang haploid
 - dua inti kandung lembaga sekunder
 - satu inti kandung lembaga sekunder yang haploid
 - kandung lembaga yang mengandung empat inti haploid
 - kandung lembaga yang mengandung delapan inti haploid
29. Inti yang terdapat pada bagian kalaza pada megasporogenesis disebut
- ovum
 - antipoda
 - sinergid
 - endosperm
 - generatif
30. Pembuahan inti diploid hasil persatuan dua sel kutub oleh inti generatif menghasilkan
- kandung lembaga sekunder
 - endosperm triploid
 - zigt haploid
 - zigt diploid
 - endosperm diploid
31. Proses oogenesi dihasilkan
- satu ovum dan satu polosit
 - satu ovum dan dua polosit
 - satu ovum dan tiga polosit
 - dua ovum dan dua polosit
 - tiga ovum dan satu polosit
32. Pada peristiwa megasporogenesis pembelahan meiosis I dari megasporosit menghasilkan
- empat mikrospora haploid
 - empat megaspora haploid
 - sepasang sel haploid
 - sepasang tetrad
 - tetrad dengan tiap sel haploid
33. Pada sebuah serbuk sari terdapat
- satu inti generatif dan dua inti saluran serbuk sari
 - dua inti generatif dan satu polosit
 - tiga inti generatif
 - dua inti generatif dan satu inti saluran serbuk sari
 - empat inti generatif
34. Masuknya saluran serbuk sari ke dalam kandung lembaga melalui suatu lubang yang disebut
- megasporosit
 - megaspora
 - makrospora
 - mikrospora
 - mikrofil
35. Kandung lembaga muda merupakan hasil pembelahan megaspora secara
- sitokinesis dua kali berturut-turut
 - kariokinesis dua kali berturut-turut
 - sitokinesis tiga kali berturut-turut
 - kariokinesis tiga kali berturut-turut
 - sitokinesis dan kariokinesis secara bergantian sebanyak tiga kali

B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Sebutkan perbedaan pembelahan mitosis dengan meiosis.
2. Mengapa mitosis bisa menjaga agar faktor genetik tetap?
3. Apa arti penting pembelahan mitosis bagi makhluk hidup?
4. Apa yang dimaksud pembelahan reduksi? Kapan terjadi reduksi jumlah kromosom?
5. Apa arti penting pembelahan meiosis bagi makhluk hidup?
6. Uraikan secara singkat dan jelas proses mikrosporogenesis.
7. Jelaskan terbentuknya butir serbuk sari.
8. Mengapa zigot hasil fertilisasi bersifat diploid? Jelaskan.
9. Apa perbedaan antara spermatogenesis dengan oogenesis ditinjau dari hasil akhirnya?
10. Jelaskan proses diferensiasi ovule (bakal biji) pada pembentukan gamet betina.

C. Berpikir kritis.

Seorang siswa mengamati serangkaian foto peristiwa pembelahan sel tumbuhan seperti gambar berikut.



(1)



(2)



(3)



(4)

Siswa tersebut kesulitan mengurutkan tahapan pembelahan sel itu.

- Bagaimana urutan yang benar sesuai tahapan pembelahan mitosis?
- Apa ciri khas pada setiap tahapan tersebut? Jelaskan.

Refleksi

Pelajari kembali

Pembelahan Sel

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apa maksud pembelahan mitosis, meiosis, dan amitosis?
2. Apa saja ciri-ciri tiap tahap pembelahan?
3. Apa perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis?
4. Apakah perbedaan spermatogenesis dan oogenesis?

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul $\geq 60\%$

Pelajari materi
bab berikutnya