

Biologi Dasar Pewarisan Sifat

Prof. Dr. Ir. Cece Sumantri, M.Sc.
Eryk Andreas, SPt., M.Si.



PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari kerap kita menemukan seseorang anak yang memiliki paras wajah yang mirip dengan ibunya atau seseorang anak yang berambut sama ikalnya seperti ayahnya. Keadaan ini menunjukkan bahwa ada salah satu ciri atau sifat orang tua yang diturunkan kepada anak-anaknya. Pewarisan sifat dari suatu individu kepada keturunannya merupakan bagian yang paling penting dan kebutuhan paling dasar yang diperlukan dalam mempertahankan dan menjaga keberadaan suatu organisme atau spesies. Kemudian pertanyaan yang timbul, organ apakah dalam tubuh yang berperan mewariskan sifat ini? Berdasarkan hasil penelitian berabad-abad yang lalu diketahui bahwa sel diidentifikasi sebagai unit kehidupan yang paling kecil yang mampu menurunkan sifat kepada keturunannya.

Modul pertama dari mata kuliah Pemuliaan Ternak ini akan berisi paparan tentang biologi dasar pewarisan sifat. Secara rinci di dalamnya akan dijelaskan tentang sel, organel sel, proses replikasi organel sel dan proses pembelahan sel. Selain itu, juga akan disinggung mengenai beberapa kelainan yang disebabkan oleh adanya kelainan pada organel sel yaitu kromosom. Teori dasar mengenai struktur molekul DNA, replikasi dan proses sintesis protein dari DNA akan dijelaskan pula dalam modul ini. Untuk membantu pemahaman Anda terhadap materi yang perlu dipelajari, materi dalam modul ini dikemas dalam 3 (tiga) kegiatan belajar, yaitu:

- KB 1. Sel, kromosom, dan abnormalitasnya
- KB 2. Struktur DNA
- KB 3. Pembelahan sel.

Dengan mempelajari materi modul secara utuh dan seksama, di akhir proses pembelajaran Anda diharapkan dapat:

1. Menjelaskan sel, kromosom, dan abnormalitasnya

2. Menjelaskan struktur DNA, dan
3. Menjelaskan pembelahan sel.

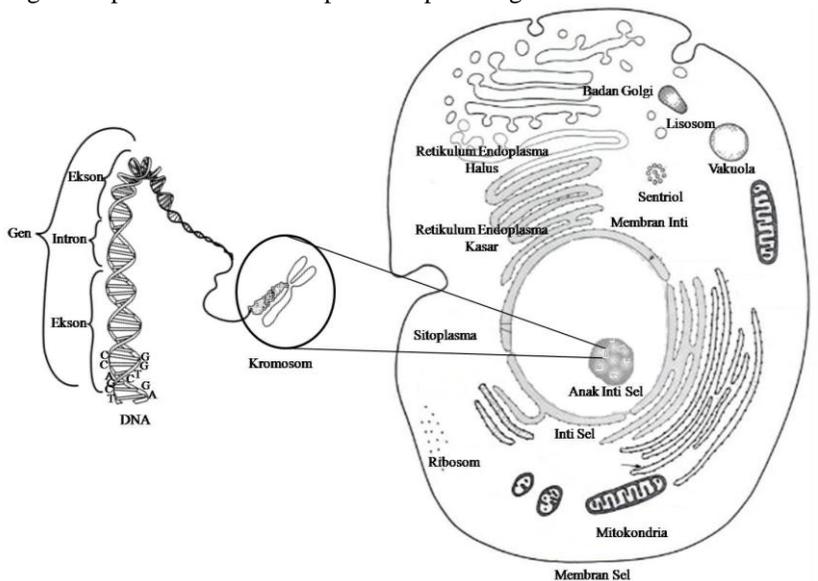
Berdasarkan penguasaan ke tiga kompetensi di atas maka pada akhir pembelajaran modul pertama ini Anda akan mampu menjelaskan tentang biologi dasar dari pewarisan suatu sifat yang dapat diamati, terutama pada ternak.

Materi biologi dasar pewarisan sifat diberikan di awal pembelajaran karena menjadi dasar di dalam mempelajari pola pewarisan sifat, sifat kualitatif dan kuantitatif individu ternak, dan sistem perkawinan pada ternak.

KEGIATAN BELAJAR 1

Sel, Kromosom, dan Abnormalitasnya

Sel merupakan unit terkecil dari suatu kehidupan. Kata "sel" itu sendiri dikemukakan oleh Robert Hooke yang berarti "kotak-kotak kosong". Semua makhluk hidup memiliki sel sebagai unit dasar kehidupannya, mulai dari yang paling sederhana, struktur sel tunggal/prokariot seperti bakteri dan protozoa sampai dengan struktur yang lebih kompleks/eukariot seperti tumbuhan dan hewan. Secara struktur, sel memiliki beberapa sub struktur atau dikenal dengan sebutan organel sel (Gambar 1. 1). Inti sel merupakan organel sel yang paling penting dan paling sering dijadikan objek penelitian dalam bidang pemuliaan dan genetika karena memiliki fungsi sebagai pengontrol pertumbuhan dan reproduksi pada tingkatan sel.



Gambar 1.1
Gambar Skematis Sel Dan Gen.
Modifikasi dari Stansfield, 1982 dan Reece, 2003.

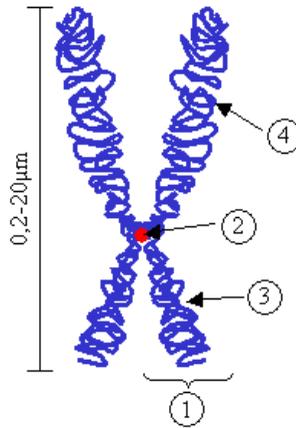
Secara umum, bagian sel prokariot terdiri atas (1) membran sel, (2) sitoplasma (vakuola, mitokondria, retikulum endoplasma, sentriol, badan

golgi) dan (3) inti sel dan anak inti. Informasi mengenai organel sel dan fungsinya disajikan pada Tabel 1.1

Tabel 1.1
Organel Sel dan Fungsinya (Stansfield, 1982)

Organel Sel	Fungsi
Membran sel	Melindungi dan mengontrol keluar masuknya material dari sel dan keluar sel, menjaga homeostasis
Sitoplasma	Menjaga dan melindungi organel sel
Retikulum Endoplasma	Memperluas area plasma membran, membawa material dari dalam dan keluar plasma membran untuk proses reaksi biokimia dan membantu pembuatan protein
Ribosom	Mensintesa protein
Mitokondria	Memproduksi energi (melalui siklus Krebs, transport rantai elektron, oksidasi asam lemak dll.)
Lisosom	Memproduksi enzim intraselular untuk menghilangkan bakteri dan protein asing dan memecah sel-sel yang sudah rusak.
Vakuola	Tempat penyimpanan kelebihan air dan produk buangan metabolisme.
Badan Golgi	Mengatur sekresi intraseluler
Sentriol	Memisahkan pasangan kromosom ketika mitosis
Inti sel	Mengontrol aktivitas sel dan menyimpan informasi heriditas pada kromosom

Kromosom merupakan bagian penting dari inti sel yang berfungsi sebagai pembawa sifat keturunan. Pengujian menggunakan teknik pewarnaan pada tingkat sel menunjukkan bahwa kromosom terdiri dari susunan DNA. Jumlah kromosom dalam satu sel tubuh (sel somatik) berjumlah dua set atau dikenal sebagai diploid ($2n$), sedangkan pada sel kelamin (sel gamet) jumlah kromosomnya satu set atau haploid (n). Satu set kromosom yang dimiliki oleh sel somatik diturunkan dari tetua maternal dan set lainnya yang bersifat homolog diturunkan dari tetua paternalnya. Satu set kromosom yang bersifat haploid (n) dalam sel disebut dengan genom. Ilustrasi bentuk kromosom disajikan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Kromosom

Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/Kromosom>

Keterangan Gambar: (1) Kromatid. Salah satu dari dua bagian identik kromosom yang terbentuk setelah fase S pada pembelahan sel. (2) Sentromer. Tempat persambungan kedua kromatid, dan tempat melekatnya mikrotubulus. (3) Lengan pendek (4) Lengan panjang.

Jumlah kromosom pada individu yang berada dalam spesies yang sama memiliki jumlah yang sama. Jumlah kromosom beberapa spesies disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2
Jumlah Kromosom pada Beberapa Spesies Hewan

Jenis hewan	Jumlah Kromosom (2n)	Jenis Hewan	Jumlah Kromosom (2n)
Sapi	60	Kelinci	44
Kuda	64	Anjing	78
Keledai	62	Kalkun	82
Kerbau Rawa	48	Ayam	78
Kerbau Sungai	50	Bebek	80
Kambing	60	Merpati	80
Domba	56	Tikus Asia	42
Babi	38	Mencit	38
Kera	48	Mentok	80

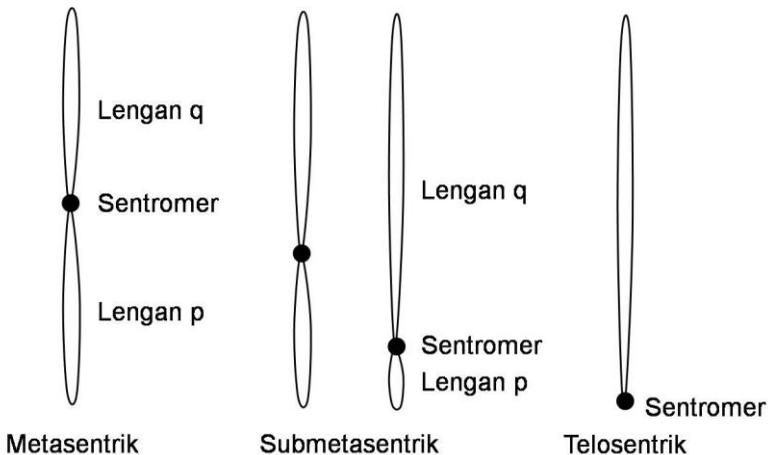
Sumber: Eldridge, 1985.

A. STRUKTUR KROMOSOM

Struktur kromosom dalam inti sel akan lebih mudah diamati jika sedang berada pada satu tahapan pembelahan sel ketika kromosom membentuk gulungan. Masing-masing kromosom dalam genom dapat dibedakan berdasarkan beberapa kriteria, di antaranya adalah ukuran panjangnya, posisi dari suatu struktur protein yang disebut sentromer yang membagi kromosom menjadi dua bagian lengan dengan panjang yang berbeda, keberadaan, dan posisi dari kromosom yang membesar yang disebut kromomer, keberadaan tonjolan kecil dari material kromatin yang disebut satelit, dan lain sebagainya.

Berdasarkan letak dari sentromernya (Gambar 1.3), kromosom dibedakan menjadi:

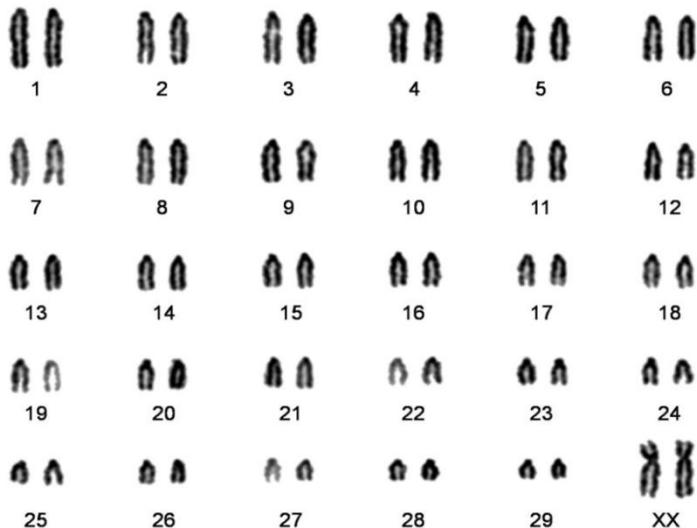
1. Metasentrik: sentromer berada tepat di tengah-tengah sehingga membagi kromosom menjadi dua lengan dengan ukuran panjang yang sama (lengan p = lengan q).
2. Submetasentrik atau akrosentrik: sentromer di antara tengah dan ujung kromosom sehingga membagi kromosom menjadi dua lengan dengan ukuran yang tidak sama panjang (lengan p < lengan q).
3. Telosentrik: Sentromer berada pada ujung atau sangat dekat dengan ujung pada sebuah lengan kromosom.



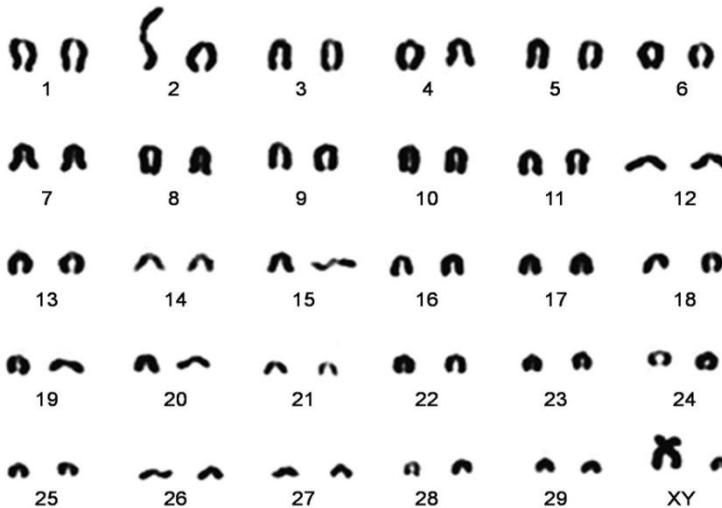
Gambar 1.3

Pengelompokan Kromosom Berdasarkan Letak Sentromer. Modifikasi dari Stansfield, 1982.

Masing-masing kromosom dalam suatu genom diberi nomor sesuai dengan ukurannya, dimulai dari yang ukuran yang paling panjang menuju ke yang paling pendek, kecuali pada kromosom seks (kromosom penentu jenis kelamin). Analisis kromosom yang mengurutkan foto kromosom disebut analisis kariotipe. Individu berjenis kelamin jantan pada mamalia memiliki kromosom seks dengan morfologi berbeda (heteromorfik). Pasangan kromosom tersebut diberi nama kromosom X dan kromosom Y. Faktor genetik pada kromosom Y menentukan jenis kelamin laki-laki atau jantan. Pada jenis kelamin betina, kromosom kelamin terdiri dari sepasang kromosom X. Semua kromosom kecuali kromosom seks dalam genom disebut kromosom autosom. Perbedaan antara kelompok mamalia dengan unggas adalah pemberian nama kromosom seks dan kombinasinya, di mana pada unggas kromosom seks diberi nama kromosom Z dan W. Pasangan kromosom ZZ merupakan jantan, sedangkan ZW menjadikan individu berjenis kelamin betina. Contoh hasil analisis kariotipe pada sapi betina dan jantan disajikan pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5.



Gambar 1.4
Kariotipe Sapi Betina (Eldridge, 1985).



Gambar 1.5
Kariotipe Sapi Jantan (Eldridge, 1985).

B. ABNORMALITAS KROMOSOM

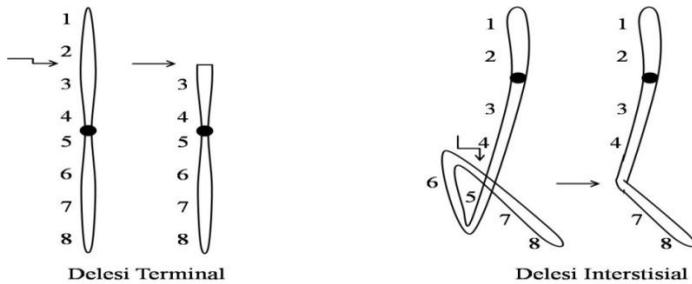
Abnormalitas atau kelainan kromosom secara alami dapat terjadi dengan sendirinya, tanpa adanya stimulus dari lingkungan. Hal tersebut dapat dipahami melalui proses pembelahan sel yang memungkinkan terjadinya pindah silang (*crossing over*), dan pautan (*linkage*) yang menyebabkan terjadinya kehilangan, penambahan, pertukaran dan lain sebagainya. Secara umum, kelainan pada kromosom dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu kelainan struktur dan kelainan jumlah. Kelainan struktur di antaranya adalah delesi, duplikasi, inversi dan translokasi, sedangkan yang termasuk ke dalam kelainan jumlah di antaranya adalah euploidi dan aneuploidi.

1. Abnormalitas Struktur Kromosom

a. Delesi

Delesi merupakan kelainan kromosom yang terjadi ketika terjadi pengurangan sebagian dari salah satu lengan kromosom sehingga menyebabkan hilangnya materi genetik. Berdasarkan lokasi kehilangannya, delesi dibedakan menjadi delesi terminal jika delesi terjadi pada ujung kromosom, dan delesi interstisial jika delesi terjadi pada bagian di antara

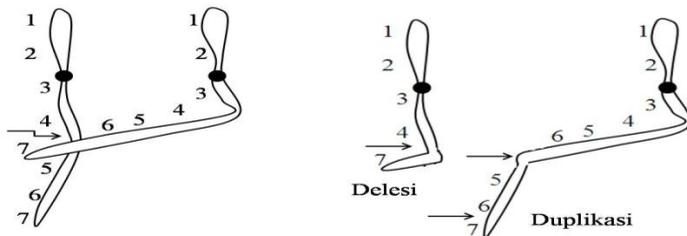
kedua ujung lengan kromosom. Kelainan genetik yang disebabkan akibat terjadinya delesi kromosom di antaranya: sindrom DiGeorge (22q11.2) yaitu hilangnya sebagian fragmen kromosom No.22 pada lengan q di posisi 11.2 menyebabkan menurunnya respon kekebalan dan kelainan tulang. Pada sindrom Cri-Du-Chat Syndrome (5p-) sebagian fragmen kromosom No. 5 hilang pada bagian lengan p. Bayi yang menderita sindrom ini kalau menangis suaranya seperti suara kucing, bobot lahir rendah, otot lidah lemah, tulang dagu kecil dan kecerdasan yang lemah. Ilustrasi mengenai delesi dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6
Ilustrasi Terjadinya Delesi. Modifikasi dari Eldridge, 1985.

b. Duplikasi

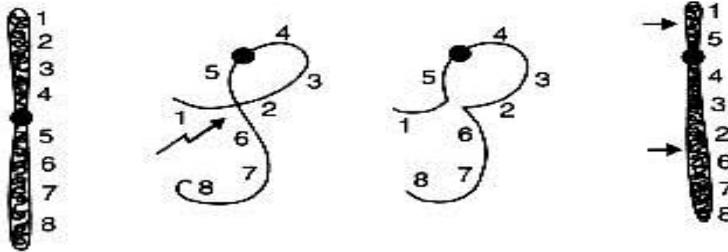
Duplikasi merupakan kebalikan dari delesi, yaitu kelainan kromosom yang terjadi akibat terjadinya penambahan susunan dari kromosom. Berdasarkan asal dari bagian yang bertambahnya, duplikasi dibedakan menjadi duplikasi yang berasal dari kromosom homolognya dan duplikasi yang berasal dari bukan kromosom homolognya. Ilustrasi mengenai duplikasi disajikan pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7
Ilustrasi Terjadinya Duplikasi. Modifikasi dari Eldridge, 1985.

c. *Inversi*

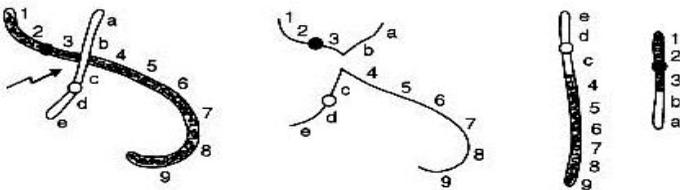
Inversi merupakan kelainan kromosom yang terjadi ketika bagian dari kromosom mengalami patah, tetapi patahannya menempel kembali dengan urutan yang terbalik. Berdasarkan keikutsertaan sentromer dalam proses inversinya, kelainan ini dapat digolongkan menjadi inversi parasentrik jika inversi yang terjadi tidak melibatkan sentromer, dan sebaliknya adalah inversi perisentrik jika inversi yang terjadi melibatkan sentromer. Ilustrasi proses terjadinya inversi disajikan pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8
Ilustrasi Terjadinya Inversi. Modifikasi dari Eldridge, 1985.

d. *Translokasi*

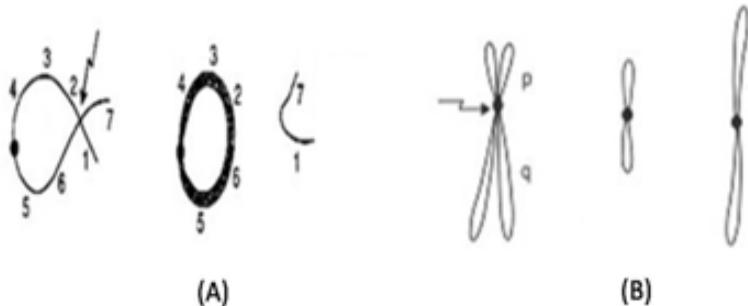
Translokasi merupakan kelainan kromosom yang terjadi ketika terjadinya penempelan bagian atau satu kromosom pada bagian kromosom yang lainnya. Translokasi dibedakan menjadi dua tipe, yaitu translokasi resiprokal yang terjadi akibat adanya pertukaran lengan antara dua kromosom, dan translokasi Robertsonian yang terjadi akibat menempelnya satu kromosom pada kromosom yang lainnya. Translokasi Robertsonian umum terjadi pada kromosom dengan posisi sentromer akrosentrik. Contohnya Duchenne Muscular Distrophy Xp21, Neurofibromatosis 17q, Retinoblastoma 13q14, dan lain sebagainya. Ilustrasi proses terjadinya proses translokasi dapat dilihat pada Gambar 1.9.



Gambar 1.9. Ilustrasi Terjadinya Translokasi. Modifikasi dari Eldridge, 1985.

e. *Abnormalitas Struktur Kromosom Lainnya*

Abnormalitas kromosom yang lainnya yang jarang ditemukan seperti abnormalitas cincin dan abnormalitas isokromosom. Contoh dari abnormalitas struktur kromosom lainnya dapat dilihat pada Gambar 1.10.



Gambar 1.10

Ilustrasi terjadinya abnormalitas cincin (A) dan isokromosom (B). Modifikasi dari Eldridge, 1985.

2. Abnormalitas Jumlah Kromosom

a. *Euploidi*

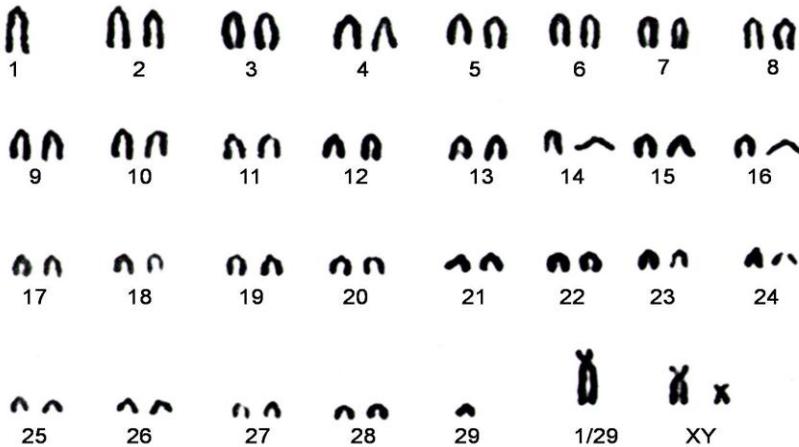
Euploidi merupakan salah satu jenis kelainan jumlah kromosom yang terjadi ketika satu individu memiliki kelebihan atau kekurangan satu set kromosom. Berdasarkan banyaknya set kromosom, euploidi digolongkan menjadi haploid (n) jika memiliki satu set kromosom, triploid ($3n$) jika memiliki tiga set kromosom, tetraploid ($4n$) jika memiliki empat set kromosom, dan lain sebagainya.

b. *Aneuploidi*

Aneuploidi merupakan kelainan kromosom yang terjadi akibat adanya pengurangan ($2n - X$) atau penambahan jumlah kromosom ($2n + X$). Aneuploidi dapat dibedakan menjadi nullisomi ($2n - 1$) jika terjadi pengurangan jumlah kromosom sehingga ada kromosom yang tidak memiliki pasangan homolognya, trisomi ($2n + 1$) jika terjadi penambahan jumlah pada salah satu kromosom, tetrasomi ($2n + 2$), dan lain sebagainya.

C. ABNORMALITAS KROMOSOM PADA TERNAK

Abnormalitas struktur kromosom pada sapi telah banyak diketahui. Penelitian yang dilakukan Gustavsson dan Rockborn pada tahun 1964, menemukan adanya abnormalitas kromosom pada sapi yang mengalami leukimia limfa, yang dikenal dengan sebutan abnormalitas translokasi Robertsonian kromosom 1/29. Sampai saat ini, jenis abnormalitas translokasi Robertsonian 1/29 telah ditemukan pada 38 bangsa sapi dengan frekuensi kejadian yang bervariasi pada masing-masing bangsa. Selain translokasi Robertsonian 1/29, terdapat 25 jenis translokasi lainnya yang ditemukan pada berbagai bangsa sapi (Eldridge, 1985). Contoh hasil kariotipe yang mengalami translokasi Robertsonian 1/29 disajikan pada Gambar 1.11.

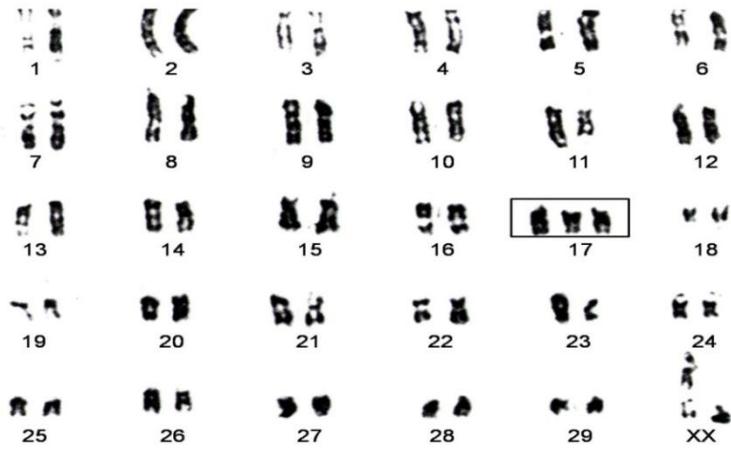


Gambar 1.11

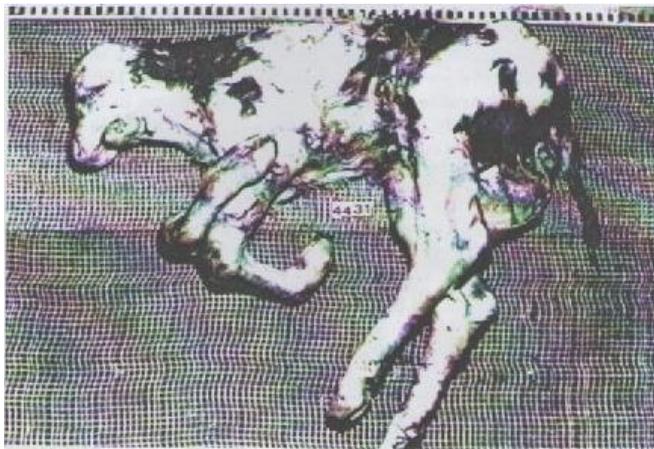
Kariotipe sapi jantan yang mengalami kelainan 1/29 Robertsonian Translocation. Modifikasi dari Eldridge, 1985.

Selain abnormalitas struktur kromosom, kelainan pada jumlah kromosom seperti penambahan satu kromosom nomor 17 ditemukan terjadi pada sapi Friesian Holstein (FH) di Jepang dan Brown Swis di Amerika. Kelainan trisomi 17 tersebut menyebabkan sifat fenotip yang dikenal sebagai *lethal brachygnathia trysomy syndrome* (LBTS). Kasus abnormalitas kromosom seks XXY pada sapi jantan juga telah ditemukan dan memiliki gejala yang hampir mirip dengan klinefelter syndrome pada manusia. Organ testis tidak berkembang dan steril. Abnormalitas XXX pada sapi betina

menyebabkan ovarium tidak berkembang, uterus berukuran kecil dan tidak menunjukkan tanda-tanda terjadinya birahi. Gambar 1.12 menunjukkan adanya kelainan jumlah kromosom nomor 17. Fenotip dari ternak yang mengalami kelainan trisomi 17 disajikan pada Gambar 1.13.



Gambar 1.12
Kariotipe sapi jantan yang mengalami kelainan kromosom trisomi-17.
Modifikasi dari Eldridge, 1985.



Gambar 1.13
Anak Sapi yang Mengalami Kelainan Kromosom Trisomi 17
(Herzog *et al.*, 1977).



LATIHAN

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

- 1) Sebutkan dan jelaskan bagian-bagian dari sel dan fungsinya!
- 2) Sebutkan dan jelaskan pengelompokan kromosom berdasarkan letak dari sentromernya!
- 3) Sebutkan dan jelaskan abnormalitas pada kromosom berdasarkan perubahan struktur dan jumlahnya dan apa dampaknya pada kemampuan tubuh!
- 4) Sebutkan dan jelaskan macam-macam dari translokasi Robertsonian!
- 5) Sebutkan dan jelaskan jenis translokasi lain selain dari translokasi Robertsonian 1/29, dan berikan contoh abnormalitas yang diakibatkannya!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Jawaban dapat dilihat dengan memperhatikan gambar mengenai sel, sebutkan organel yang terdapat di dalamnya serta sebutkan fungsi dari masing-masing organel sel yang Anda tuliskan.
- 2) Jawaban dapat dilihat dengan memperhatikan gambar mengenai pengelompokan kromosom. Deskripsikan dengan bahasa Anda sendiri.
- 3) Jawaban dapat diperoleh dari penjelasan mengenai abnormalitas kromosom. Gunakan kalimat Anda sendiri untuk menjelaskan abnormalitas kromosom serta berikan contoh mengenai dampak abnormalitas tersebut pada kemampuan tubuh.
- 4) Jawaban dapat diperoleh dengan mencari informasi mengenai jenis dan contoh dari translokasi Robertsonian. Sumber informasi yang dapat digunakan adalah buku *Cytogenetik of Livestock, Eldridge 1985*. Informasi lain diperbolehkan untuk digunakan selama dapat dipertanggungjawabkan (misal: jurnal, buku, atau internet).
- 5) Jawaban dapat diperoleh dengan mencari informasi mengenai jenis translokasi Robertsonian 1/29 serta contoh abnormalitas yang diakibatkan oleh translokasi tersebut. Sumber informasi yang dapat digunakan adalah buku *Cytogenetik of Livestock, Eldridge 1985*. Informasi lain diperbolehkan untuk digunakan selama dapat dipertanggungjawabkan (misal: jurnal, buku, atau internet).

**RANGKUMAN**

Sel merupakan unit terkecil dari suatu kehidupan. Bagian sel prokariot terdiri atas 1. membran sel, 2. sitoplasma (vakuola, mitokondria, retikulum endoplasma, sentriol, badan golgi) dan 3. inti sel dan anak inti

Kromosom adalah struktur makromolekul yang berisi DNA sebagai informasi genetik.

Kelainan kromosom bisa karena mutasi, struktur (delesi, duplikasi, inversi, translokasi) atau jumlah (euploidi, aneuploidi).

**TES FORMATIF 1**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Unit kehidupan terkecil berada pada?
 - A. Sel.
 - B. Organel Sel.
 - C. Inti Sel.
 - D. Kromosom.

- 2) Apa fungsi dari kromosom?
 - A. Sebagai pengontrol pertumbuhan dan reproduksi pada tingkatan sel.
 - B. Melindungi dan mengontrol keluar masuknya material dari sel dan keluar sel.
 - C. Menjaga homeostasis.
 - D. Menjaga dan melindungi organel sel.

- 3) Apa fungsi dari membran sel?
 - A. Sebagai pengontrol pertumbuhan dan reproduksi pada tingkatan sel.
 - B. Melindungi dan mengontrol keluar masuknya material dari sel dan keluar sel.
 - C. Memisahkan pasangan kromosom ketika mitosis.
 - D. Menjaga dan melindungi organel sel.

- 4) Jumlah kromosom dalam satu sel tubuh (sel somatik) berjumlah?
 - A. Haploid.
 - B. Diploid.
 - C. Triploid.
 - D. Trisomi.

- 5) Berapa jumlah kromosom dalam satu sel gamet?
- Haploid.
 - Diploid.
 - Triploid.
 - Trisomi.
- 6) Yang tidak termasuk dalam jenis kromosom berdasarkan lokasi sentromernya adalah
- metasentrik
 - submetasentrik
 - telosentrik
 - subtelosentrik
- 7) Analisis kromosom yang mengurutkan foto kromosom disebut
- kariotipe
 - abnormalitas kromosom
 - tranlokasi
 - morfologi
- 8) Yang tidak termasuk kelainan struktur kromosom di antaranya adalah...
- delesi
 - duplikasi
 - tranlokasi
 - morfologi
- 9) Kelainan kromosom yang terjadi ketika terjadi pengurangan sebagian dari salah satu lengan kromosom disebut
- delesi
 - duplikasi
 - tranlokasi
 - morfologi
- 10) Jumlah kromosom individu yang mengalami trisomi digambarkan dengan formula
- $2n - 1$
 - $2n - 2$
 - $2n + 1$
 - $2n + 2$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

KEGIATAN BELAJAR 2

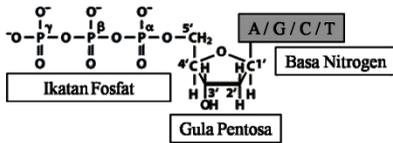
Struktur DNA

*D*eoxyribonucleic acid atau yang dikenal dengan sebutan DNA pertama kali ditemukan oleh Johann Friedrich Miescher pada tahun 1869. DNA merupakan suatu senyawa bersifat asam dan kaya akan fosfor. Pada awal tahun 1903-an W.S. Sutton menunjukkan bahwa pola pewarisan gen terkait dengan pemisahan kromosom saat pembelahan sel, hal tersebut menuntun terbentuknya teori kromosom yang menyatakan bahwa gen terletak pada kromosom. Penelitian yang dilakukan Griffith pada tahun 1928 menggunakan beberapa strain bakteri *Streptococcus pneumonia* yang dilanjutkan oleh Oswald Avery, Colin MacLeod dan Maclyn McCarty mendapatkan kesimpulan yang diterima sampai sekarang bahwa DNA merupakan material yang membawa sifat keturunan, kecuali pada sebagian bakteri yang menggunakan *ribonucleic acid* (RNA) sebagai materi pewarisan sifatnya.

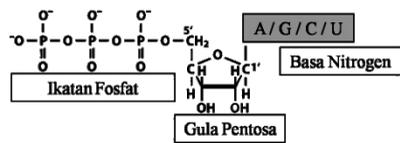
A. STRUKTUR KIMIA DNA

Molekul *deoxyribonucleic acid* (DNA) dan *ribonucleic acid* (RNA) merupakan molekul polimer yang dibentuk dari rantai linier yang disebut dengan nukleotida. Setiap nukleotida memiliki tiga komponen, yaitu: basa nitrogen, gugus gula pentosa, dan fosfat. Kombinasi gula dan basa nukleotida disebut nukleosid. Basa nukleotida dapat merupakan basa dua lingkaran yang disebut purin atau satu lingkaran yang dikenal pirimidin. Kelompok basa purin pada DNA dan RNA adalah adenin (A) dan guanin (G), sedangkan kelompok pirimidin adalah sitosin (C) dan timin (T) pada DNA atau urasil (U) pada RNA. Pada akhir tahun 1950-an, Erwin Chargaff melakukan penelitian terhadap komposisi DNA yang menghasilkan kesimpulan bahwa jumlah masing-masing basa nukleotida tidak sama tetapi juga tidak acak. Jumlah nukleotida adenin sama dengan jumlah nukleotida timin dan jumlah nukleotida guanin sama dengan nukleotida sitosin, yang kemudian dikenal dengan teori Chargaff. Gambar struktur kimia basa nukleotida disajikan pada Gambar 1.14.

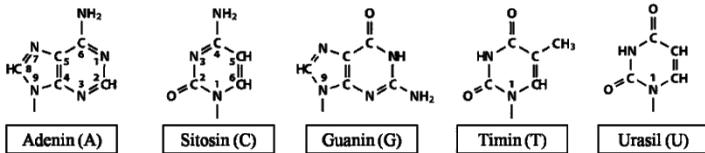
A. Struktur Molekul DNA



B. Struktur Molekul RNA



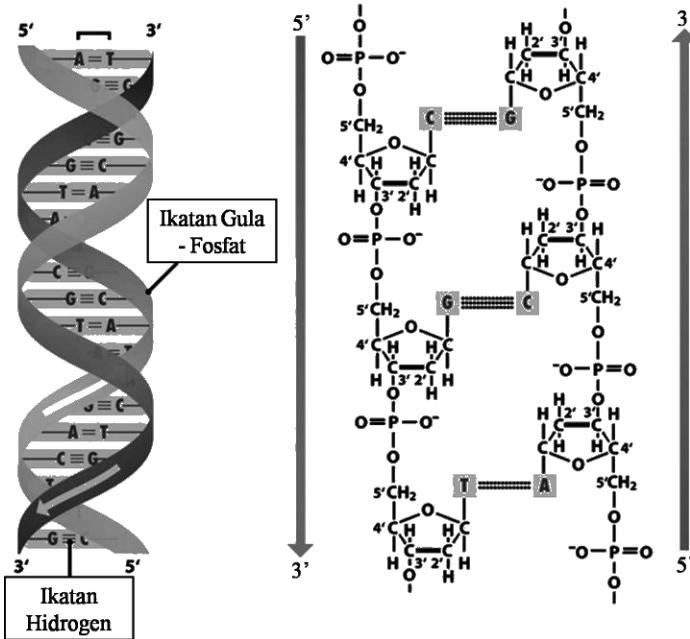
C. Struktur Basa Nukleotida



Gambar 1.14
Struktur Kimia Basa Nukleotida. Modifikasi dari Brown, 2006.

Sejak diketahui tentang bahwa DNA merupakan materi pewarisan sifat, para ilmuwan pada tahun 1940 – 1953 berlomba untuk dapat mengetahui struktur dari material tersebut. Metode difraksi menggunakan sinar X yang sebelumnya digunakan untuk menentukan struktur protein merupakan metode yang paling banyak digunakan dan dikembangkan. Hingga pada tahun 1950 – 1953, Rosalind Franklin berhasil memperbaiki data sinar X dari sampel DNA yang sangat murni. Pada awalnya Franklin tidak bertujuan untuk dapat menemukan struktur dari DNA, hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur DNA berbentuk untai (helix). Pada tahun 1953, James Watson dan Francis Crick menemukan struktur dari DNA berdasarkan pola difraksi sinar X milik Franklin dan aturan Chargaff tentang DNA yang selalu berpasangan. Beberapa kesimpulan yang diperoleh Watson dan Crick merupakan model struktur DNA yang digunakan hingga saat ini (Gambar 1.15), yaitu:

1. Struktur DNA berbentuk double helix (untai ganda).
2. Arah dari kedua untai tersebut bersifat antiparalel (berlawanan).
3. Basa nitrogen yang berpasangan pada untai yang berbeda dihubungkan oleh ikatan hidrogen.
4. Pembacaan kode DNA dimulai dari ujung 5' ke ujung 3'.



Gambar 1.15

Model Struktur DNA menurut Watson dan Crick. Modifikasi dari Brown, 2006.

B. STRUKTUR DNA DALAM SEL

Struktur DNA yang terdapat dalam genom suatu organisme kemungkinan sama atau berbeda dengan organisme lainnya. Misalnya pada virus, ada yang memiliki DNA untai ganda, DNA untai tunggal, bahkan ada yang berupa RNA. Genom pada organisme prokariot biasanya berupa DNA berbentuk sirkular. Sedangkan kromosom pada organisme eukariot secara umum terdiri dari dua untai (*double strand*) DNA yang berbentuk linier.

Pada masing-masing sel, terdapat DNA dalam jumlah yang sangat banyak, pada satu set kromosom dalam genom manusia diperkirakan mengandung DNA sebanyak $3,2 \times 10^9$ pasang basa. Jika dalam kondisi diploid, maka total DNA dalam satu sel tubuh manusia sebanyak $6,4 \times 10^9$. Molekul DNA dalam sel berbentuk sangat padat terbungkus oleh beberapa jenis protein, yang disebut dengan nukleosom. Pada tahap interfase saat pembelahan sel, material genetik tersebut merenggang dan menyebar di

dalam inti sel yang dinamakan kromatin. Ketika proses pembelahan mitosis dimulai, struktur kromatin menebal hampir sekitar 10^4 kali dari kondisi awal dan membentuk sesuatu yang dikenal dengan sebutan kromosom. Ukuran genom diukur dengan panjangnya pasangan basa sebagaimana disajikan pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3
Ukuran Panjangnya Genom pada Beberapa Spesies (Lewin, 1997)

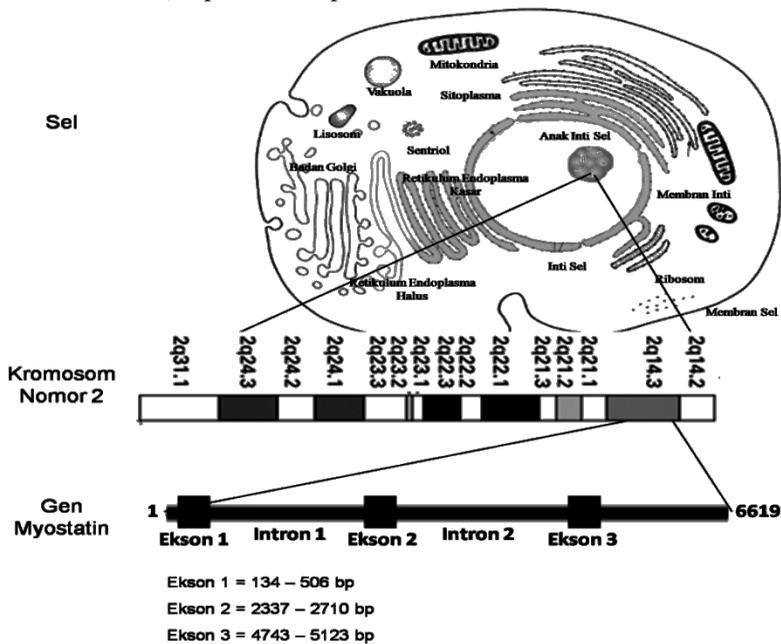
Spesies	Ukuran genom (panjang basa/pb)
Bakteri (E.coli)	$4,2 \times 10^6$ pb
Yeast (ragi)	$2,0 \times 10^7$ pb
Fungi (kapang)	$2,7 \times 10^7$ pb
Cacing	$8,0 \times 10^7$ pb
Lalat buah	$1,4 \times 10^8$ pb
Tikus	$3,0 \times 10^9$ pb
Manusia	$3,3 \times 10^9$ pb

C. DNA SEBAGAI UNIT PENGONTROL SIFAT

Pengetahuan tentang DNA sebagai unit yang membawa sifat pada suatu organisme dan mewariskannya pada keturunannya merupakan suatu awal dari pengembangan ilmu genetika saat ini. Pertanyaan selanjutnya yang masih harus dijawab adalah bagaimana cara DNA melakukan tugasnya tersebut. Pada tahun 1866 Gregor Mendel melakukan penelitian pada tanaman kacang dan menghasilkan kesimpulan bahwa ada suatu “faktor” yang menentukan beberapa sifat pada tanaman kacang yang berhasil diamati, seperti warna biji, warna cangkang, posisi bunga dan lain sebagainya. Sesuatu yang didefinisikan sebagai sesuatu “faktor” oleh Mendel tersebut sekarang dikenal dengan sebutan gen. Saat ini gen didefinisikan sebagai unit pembawa dan pewarisan sifat terkecil atau dengan kata lain gen merupakan unit atau segmen dari DNA yang membawa informasi genetik (DNA fungsional) terletak dalam kromosom.

Kenyataan bahwa gen tersusun atas DNA, serta DNA terbentuk dalam suatu badan yang disebut kromosom, maka kita dapat menyimpulkan bahwa gen berada dalam kromosom. Letak atau posisi gen dalam kromosom dikenal dengan sebutan lokus. Jumlah gen pada mamalia diperkirakan sekitar 20.000

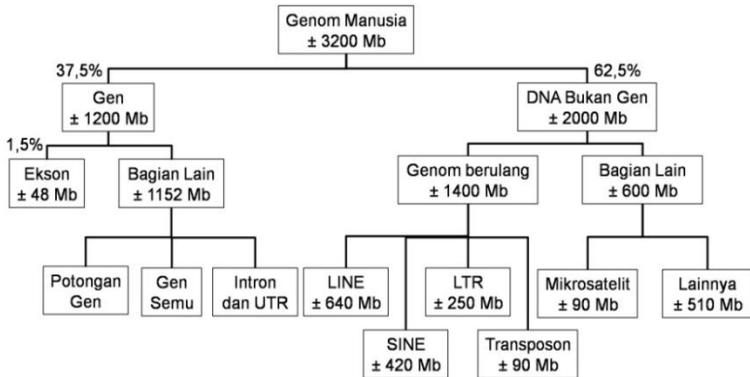
– 30.000 gen yang menyandikan sekitar 100.000 jenis protein. Struktur gen pada mamalia secara umum terdiri dari bagian promotor atau regulator, ekson dan intron. Bagian promotor berfungsi mengontrol proses transkripsi (penyalinan untai DNA menjadi mRNA). Ekson merupakan bagian dari gen yang ditranslasikan (pengkodean mRNA menjadi asam amino). Bagian intron merupakan bagian antara yang memisahkan ekson satu dengan ekson lainnya. Hingga saat ini, fungsi dari bagian intron pada mamalia belum diketahui secara pasti. Sebagai contoh struktur gen myostatin (gen pengontrol pertumbuhan otot) diperlihatkan pada Gambar. 1.16. berikut ini.



Gambar 1.16

Struktur Gen Miostatin. Terletak pada Kromosom Nomor 2 pada Lokasi 2q14 - 2q15. Modifikasi dari Stansfield, 1982 dan Brown, 2006.

Jika melihat bahwa hanya bagian ekson yang akan ditranslasikan menjadi asam amino, maka jumlah DNA ekson yang terdapat dalam total genom manusia hanya mencapai sekitar 1,5 % (48 Mb). Dari total genom manusia 3.200 Mb (mega basa), bagian gen hanya \pm 1.200 Mb (37,5%). Bagian DNA bukan gen dalam genom lebih besar dari bagian gen yaitu sekitar \pm 2.000 Mb (62,5%), diperlihatkan pada Gambar 1.17 berikut ini.



Gambar 1.17 Struktur DNA dalam Total Genom Manusia. Modifikasi dari Brown, 2006.

Tidak semua DNA berfungsi sebagai gen yang sering disebut dengan DNA bukan gen. Hingga saat ini, fungsi secara fisiologis bagian dari DNA bukan gen belum dapat diketahui secara pasti, tetapi dapat dimanfaatkan untuk uji hubungan keamatan tetua dengan anak, bangsa ternak dan peta genetik. Contoh DNA yang bukan gen yaitu mikrosatelit DNA. Mikrosatelit DNA di dalam sebagian fragmennya mempunyai runutan berulang secara berurutan terdiri dari mono nukleotida misalnya (aaaaa, tttt,ggg, ccccc) di nukleotida (at at at at, ag ag ag ag, ac ac ac ac atau ta ta ta ta, tg tg tg tg, tc tc tc atau ca ca ca ca ca, cg cg cg cg cg dan terus berulang sesuai kombinasi dua basa dari a, t, g dan c), tri nukleotida (act act act act dan terus berulang sesuai kombinasi tiga basa dari a, t, g dan c) dan tetra nukleotida (actg actg actg actg dan seterusnya berulang sesuai kombinasi empat basa dari a, t, g dan c). Motif berulang dalam bentuk kopi berdampingan/tandem dan ulangan nukleotida yang paling sering ditemukan pada mamalia adalah GT/AC. Kegunaan Mikrosatelit DNA merupakan penanda genetik yang sering digunakan untuk mempelajari pemetaan gen, analisis populasi, sistem perkawinan dan struktur populasi serta identifikasi penetapan asal usul keturunan (Steffen *et al.* 1995 dan Silva *et al.*, 1999).

D. REPLIKASI DNA

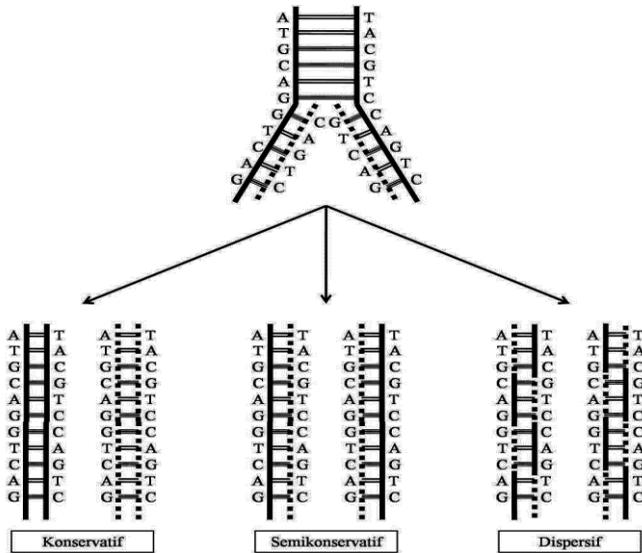
Proses pembelahan satu sel induk menjadi dua sel anak yang identik merupakan proses yang sangat penting dalam pertumbuhan, perkembangan

dan perbaikan sel rusak pada suatu individu. Pada proses tersebut, semua organel sel berduplikasi menjadi dua bagian yang sama. Hal tersebut diperlukan agar sel hasil pembelahan memiliki sifat yang identik dengan sel tuanya. Proses duplikasi yang terjadi pada DNA sebagai pembawa informasi genetik disebut replikasi DNA.

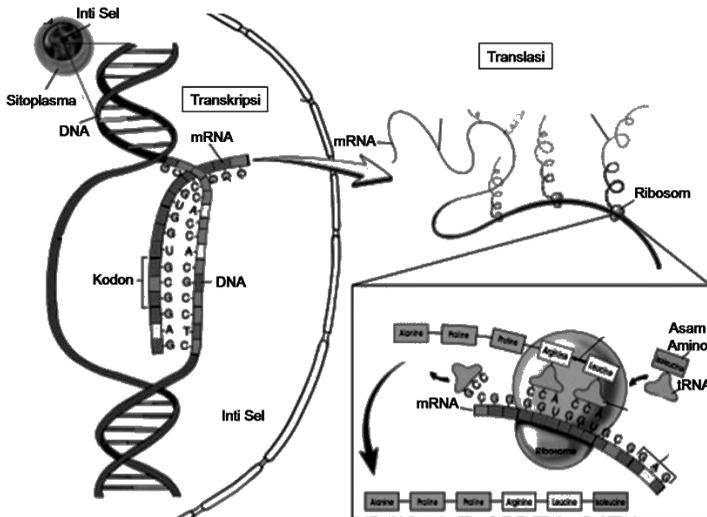
Proses replikasi DNA dimulai dari peregangannya ikatan hidrogen pada DNA double heliks. Ketika masing-masing untai DNA terpisah dari untai DNA komplemennya, masing-masing untai DNA tersebut dapat menjadi cetakan (template) bagi terbentuknya untai DNA baru, sehingga terbentuk dua buah DNA double heliks yang identik. Berdasarkan DNA double heliks yang dihasilkannya, terdapat tiga teori yang diajukan dalam proses replikasi tersebut, yaitu (1) teori konservatif: salah satu dari DNA double heliks yang dihasilkan merupakan DNA tua dan satu DNA double heliks lainnya merupakan DNA baru. (2) teori semikonservatif: masing-masing dari dua buah DNA double heliks yang dihasilkan memiliki satu untai dari tua yang berpasangan dengan untai baru, dan (3) teori dispersif: masing-masing dari dua buah DNA double heliks yang dihasilkan mengandung DNA campuran tua dan DNA baru pada masing-masing untai tunggalnya. Dari tiga teori yang diajukan, Mathew Meselson dan Franklin Stahl pada tahun 1958 membuktikan bahwa teori semikonservatif merupakan teori yang digunakan dalam proses replikasi DNA pada hampir semua organisme. Ilustrasi teori semikonservatif pada proses replikasi DNA disajikan pada Gambar 1.18.

E. SINTESIS PROTEIN

Sintesis protein merupakan proses ekspresi gen. Proses sintesis protein secara umum dikelompokkan menjadi dua proses utama, yaitu proses transkripsi yang menghasilkan mRNA dan proses translasi yang menghasilkan asam amino. Proses translasi diawali dengan perubahan pada DNA double heliks yang mengalami pemisahan bagian ikatan hidrogennya sehingga menjadi DNA untai tunggal. Untai DNA dari ujung 3' ke ujung 5' dijadikan sebagai cetakan untuk proses transkripsi DNA menjadi messenger RNA (mRNA) oleh RNA polimerase, sehingga mRNA yang terbentuk dari ujung 5' ke ujung 3'. Ilustrasi proses translasi protein disajikan pada Gambar 1.19.



Gambar 1.18
Tiga Model Teori Replikasi DNA. Modifikasi dari Brown, 2006.



Gambar 1.19
Proses Sintesis Protein. Modifikasi dari Alberts *et al.*, 2006.

Tahapan selanjutnya, proses translasi memanfaatkan runutan mRNA untuk membangun asam amino (polipeptida). Proses translasi melibatkan molekul RNA yang lainnya, yaitu transfer RNA (tRNA) dan ribosomal RNA (rRNA). Setiap tRNA dapat mengenali runutan tiga basa dari mRNA yang disebut kodon. Masing-masing tRNA berikatan dengan satu asam amino. Bagian tRNA yang berkomplemen dengan kodon pada mRNA disebut anti-kodon. Kombinasi kodon dan asam amino yang disandikannya disajikan pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4
Susunan Kodon yang Menyandikan Asam Amino

Kodon	Asam Amino	Kodon	Asam Amino	Kodon	Asam Amino	Kodon	Asam Amino
UUU	Fenilalanin	UCU	Serin	UAG	Tirosin	UGU	Sistein
UUC		UCC		UAC		UGC	
UUA	Leusin	UCA		UAA	Stop kodon	UGA	Stop kodon
UUG		UCG		UAG		UGG	Triptofan
CUU	Leusin	CCU	Prolin	CAG	Histidin	CGU	Arginin
CUC		CCC		CAC		CGC	
CUA		CCA		CAA	Glutamin	CGA	
CUG		CCG		CAG		CGG	
AUU	Isoleusin	ACU	Treonin	AAG	Asparagin	AGU	Serin
AUC		ACC		AAC		AGC	
AUA	ACA	AAA		Lisin	AGA	Arginin	
AUG	Metionin	ACG	AAG		AGG		
GUU	Valin	GCU	Alanin	GAG	Aspartat	GGU	Glisin
GUC		GCC		GAC		GGC	
GUA		GCA		GAA	Glutamat	GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	



LATIHAN

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

- 1) Jelaskan apa yang dimaksud dengan DNA, serta jelaskan fungsinya!
- 2) Jelaskan proses replikasi DNA!
- 3) Jelaskan sintesis protein!
- 4) Jelaskan apa yang dimaksud dengan gen dan sebutkan bagian - bagiannya!
- 5) Jelaskan dan sebutkan fungsi dan struktur DNA dalam sel!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Jawaban dapat diperoleh dari penjelasan mengenai struktur DNA yang dikombinasikan dengan struktur kimia DNA. Dengan menjelaskan sifat-sifat DNA Anda akan mendapatkan gambaran mengenai apa itu DNA dan apa fungsinya dalam kehidupan.
- 2) Jawaban dapat diperoleh dari bahasan mengenai replikasi DNA, dengan cara menjelaskan kembali menggunakan kalimat Anda sendiri.
- 3) Jawaban dapat diperoleh dari bahasan mengenai sintesis protein, dengan cara menjelaskan kembali menggunakan kalimat Anda sendiri.
- 4) Jawaban dapat diperoleh dari bahasan mengenai DNA sebagai unit pengontrol sifat, dengan cara menjelaskan kembali menggunakan kalimat Anda sendiri.
- 5) Jawaban dapat diperoleh dari bahasan mengenai struktur DNA dalam sel, dengan cara menjelaskan kembali menggunakan kalimat Anda sendiri.

**RANGKUMAN**

Molekul DNA merupakan materi pembawa sifat yang berbentuk *double helix* (untai ganda), di mana arah dari kedua untai tersebut bersifat antiparalel (berlawanan), dan basa nitrogen yang berpasangan pada untai yang berbeda dihubungkan oleh ikatan hidrogen.

Gen didefinisikan sebagai unit pembawa dan pewarisan sifat terkecil atau dengan kata lain gen adalah merupakan unit atau segmen dari DNA yang membawa informasi genetik (DNA fungsional) terletak dalam kromosom.

Sintesis protein merupakan proses ekspresi gen, di mana secara umum dikelompokkan menjadi dua proses utama, yaitu proses transkripsi yang menghasilkan mRNA dan proses translasi yang menghasilkan asam amino.

**TES FORMATIF 2**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Yang tidak termasuk komponen utama penyusun DNA adalah
 - A. basa nitrogen
 - B. ikatan fosfat
 - C. gugus gula deoksiribosa
 - D. gugus gula ribosa

- 2) Yang termasuk dalam kelompok basa purin adalah
 - A. adenin
 - B. sitosin
 - C. timin
 - D. urasil

- 3) Pernyataan berikut yang tidak sesuai dengan sifat DNA adalah
 - A. struktur DNA berbentuk *double helix* (untai ganda)
 - B. arah dari kedua untai tersebut bersifat paralel (searah)
 - C. basa nitrogen yang berpasangan pada untai yang berbeda dihubungkan oleh ikatan hidrogen
 - D. pembacaan kode DNA dimulai dari ujung 5' ke ujung 3'

- 4) Yang merupakan unit pewarisan sifat terkecil adalah
 - A. DNA
 - B. RNA
 - C. Gen
 - D. Basa nitrogen

- 5) Bagian gen yang menyandikan asam amino disebut
 - A. intron
 - B. ekson
 - C. mikrosatelit
 - D. DNA bukan gen

- 6) Berikut ini merupakan pernyataan yang terjadi pada proses replikasi, *kecuali*
 - A. organel sel tidak berduplikasi
 - B. terbentuknya dua buah DNA *double heliks* yang identik satu sama lain

- C. menghasilkan dua sel yang identik
 D. menghasilkan sel yang memiliki jumlah kromosom sama atau setengah dari jumlah kromosom sel induknya
- 7) Yang tidak termasuk dalam proses sintesis protein adalah
 A. transkripsi
 B. translasi
 C. pemisahan ikatan hidrogen sehingga DNA menjadi untai tunggal
 D. organel sel berduplikasi menjadi dua bagian yang sama
- 8) Molekul RNA yang berikatan dengan asam amino disebut
 A. mRNA
 B. tRNA
 C. rRNA
 D. asam amino
- 9) Molekul RNA yang merupakan salinan dari DNA adalah
 A. mRNA
 B. tRNA
 C. rRNA
 D. asam amino
- 10) Susunan tiga basa nukleotida disebut
 A. kodon
 B. RNA
 C. asam amino
 D. polipeptida

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

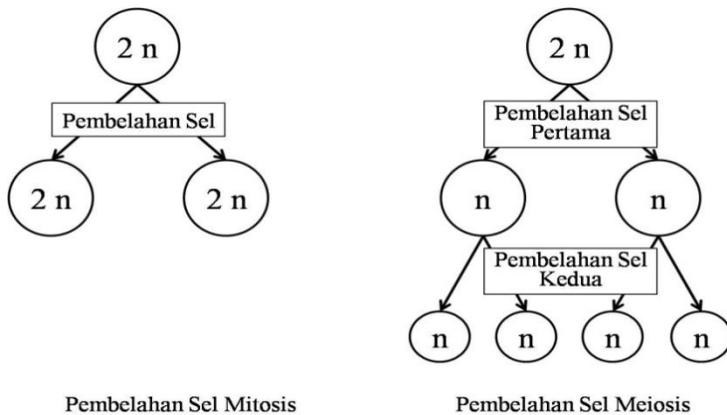
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3

Pembelahan Sel

Pembelahan sel merupakan proses yang diperlukan bagi makhluk hidup untuk dapat tumbuh tanpa merubah karakteristik kromosom di dalamnya. Terdapat dua tipe pembelahan sel. Tipe pertama adalah pembelahan sel secara mitosis yang terjadi pada hampir seluruh bagian tubuh organisme kecuali sel kelamin atau gamet. Tipe yang lainnya adalah tipe pembelahan sel secara meiosis yang hanya terjadi pada sel gamet, yaitu di testis pada jantan dan ovari pada betina. Ilustrasi perbedaan antara pembelahan secara mitosis dan meiosis disajikan pada Gambar 1.20.



Gambar 1.20
 Gambar Skematis Pembelahan Sel Secara Mitosis dan Meiosis.
 Modifikasi dari Stansfield, 1982.

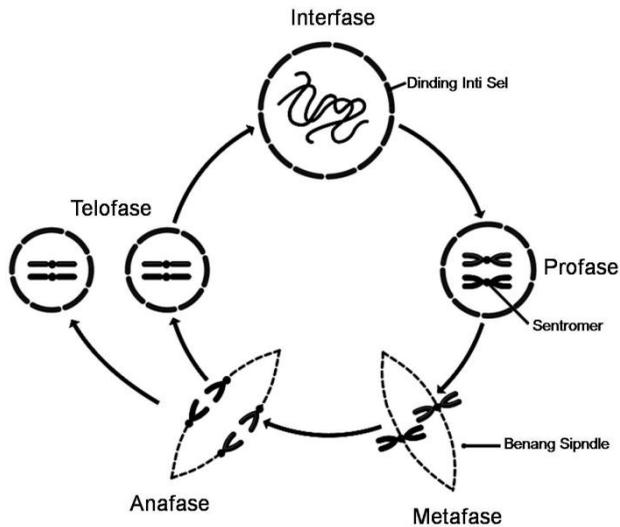
Proses pembelahan sel merupakan suatu siklus yang berulang. Proses pembelahan sel dikelompokkan menjadi dua tahapan, yaitu tahapan interfase dan tahapan pembelahan sel. Tahapan interfase terdiri dari tiga subtahapan yaitu G1 (gap1, pertumbuhan sel sebelum DNA bereplikasi), S (DNA sintesis sewaktu DNA berreplikasi) dan G2 (gap 2, setelah sintesis DNA). Sedangkan tahapan pembelahan sel terdiri dari tahapan profase, metafase, anafase, dan telofase.

A. INTERFASE

Tahapan awal sebelum dimulainya proses pembelahan sel disebut interfase. Hampir semua aktivitas metabolisme suatu sel terjadi pada tahapan ini. Tahapan interfase dapat dikelompokkan menjadi tiga tahapan, yaitu G1, S dan G2. Tahap G1 (gap 1) merupakan waktu antara tahap akhir pembelahan sel (telofase) dengan tahap sintesis DNA (S). Tahap S merupakan tahapan terjadinya proses replikasi DNA sehingga masing-masing kromosom memiliki salinannya sendiri. Tahap G2 (gap 2) merupakan waktu antara S dengan tahap awal pembelahan sel (profase).

B. PEMBELAHAN MITOSIS

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, bahwa tahapan pembelahan sel secara mitosis terdiri dari empat tahapan yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Pada tahapan profase, kromosom mengalami penebalan, pemendekan sehingga dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Pada akhir tahapan profase, dua kromatid identik yang berpasangan mulai terlihat. Sentriol bergerak menuju arah kutub sel yang berlawanan dan membentuk benang spindle yang menghubungkannya dengan sentromer. Dinding inti sel mulai menghilang. Memasuki tahapan metafase, dinding inti sel menghilang sepenuhnya. Sentromer bergerak menuju bagian tengah dari sel yang dikenal sebagai bidang ekuator dan benang spindle telah terbentuk secara sempurna. Tahapan anafase dimulai ketika sentromer dari kromatid identik yang berpasangan terpisah menjadi dua bagian dan bergerak menuju kutub yang berlawanan. Pada tahapan telofase, masing-masing kromosom identik berkumpul pada masing-masing kutub sel. Kromosom kembali menjadi tidak terlihat. Benang spindle menghilang dan dinding inti sel kembali terbentuk. Sitoplasma terbagi menjadi dua dalam proses yang disebut sitokinesis. Dua sel hasil proses pembelahan mitosis disebut dengan sel anak (daughter cells). Lama waktu pembelahan sel bervariasi pada masing-masing tipe sel. Sel mamalia normal biasanya memerlukan waktu 18 – 24 jam pada kondisi suhu 37°C untuk menyelesaikan satu siklus tahapan pembelahan sel. Ilustrasi proses pembelahan secara mitosis disajikan pada Gambar 1.21.



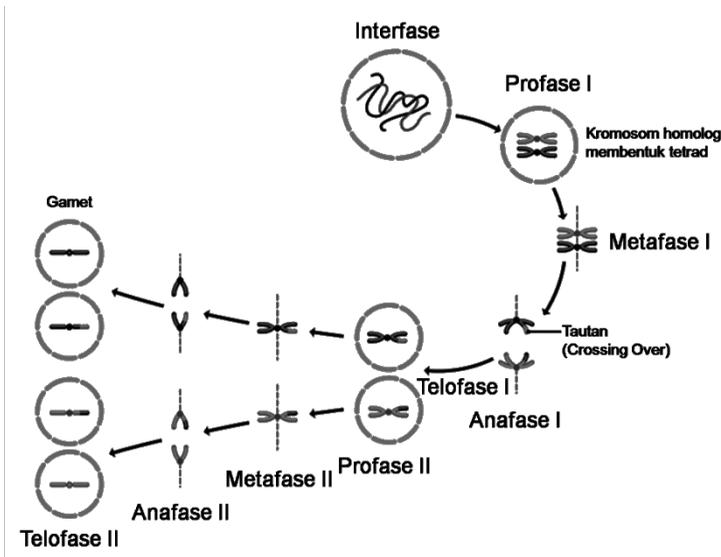
Gambar 1.21
Proses Pembelahan Mitosis. Modifikasi dari Brown, 2006.

C. PEMBELAHAN MEIOSIS

Proses reproduksi yang dilakukan secara seksual (melibatkan organ kelamin) memerlukan proses pembentukan gamet (gametogenesis) dan penyatuan gamet (fertilisasi). Gametogenesis hanya terjadi pada sel khusus (sel kecambah) pada organ reproduksi. Sel gamet hanya memiliki kromosom yang berjumlah haploid (n) dari proses pembelahan sel kecambah yang memiliki kromosom yang berjumlah diploid ($2n$). Proses pengurangan jumlah set kromosom tersebut dikenal sebagai proses pembelahan meiosis. Proses pembelahan meiosis terjadi dalam dua tahapan, yaitu meiosis I dan meiosis II. Pembelahan meiosis pertama menghasilkan dua sel haploid dari satu sel diploid. Pembelahan meiosis II menghasilkan dua sel haploid dengan cara memisahkan kromosom identik dari satu sel haploid.

Tahapan profase pada pembelahan meiosis I (profase I) memiliki perbedaan dengan profase pada mitosis. Pada profase I, kromosom homolog saling berpasangan pada proses yang disebut sinapsis. Setiap pasangan kromosom homolog disebut bivalen. Karena setiap pasangan kromosom

homolog memiliki empat kromatid, kondisi bivalen disebut juga tetrad. Selama proses sinapsis, kromatid yang homolog bisa saja terputus dan menyatu dengan kromatid lainnya yang disebut dengan proses tautan (crossing over). Titik terjadinya pertukaran disebut dengan kiasma. Selama metafase I, tertrad berjajar secara acak pada bidang ekuator. Pada tahapan anafase I, sentromer tidak membelah, namun pasangan homolog tersebut terpisah dan bergerak menuju kutub sel yang berlawanan. Pergerakan tersebut menyebabkan perubahan jumlah kromosom dari diploid menjadi haploid. Proses sitokinesis pada tahapan telofase I menghasilkan dua sel anak dengan kromosom berjumlah haploid dari satu sel induk diploid. Waktu antara pembelahan meiosis I dan meiosis II disebut dengan interkinesis. Ilustrasi proses pembelahan secara mitosis disajikan pada Gambar 1.22.



Gambar 1. 22
Proses Pembelahan Meiosis. Modifikasi dari Brown, 2006.

Pada tahapan profase II benang spindle kembali terbentuk. Selanjutnya kromosom bergerak menuju bidang ekuator pada tahapan metafase II. Pada tahapan anafase II sentromer pada masing-masing kromosom identik membelah dan bergerak menuju kutub sel yang berlawanan. Proses sitokinesis pada tahapan telofase II menghasilkan empat sel haploid dari dua

sel hasil pembelahan meiosis I. Perbedaan antara proses pembelahan mitosis dan meiosis disajikan pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5
Karakteristik Pembelahan Mitosis dan Meiosis (Stansfield, 1982).

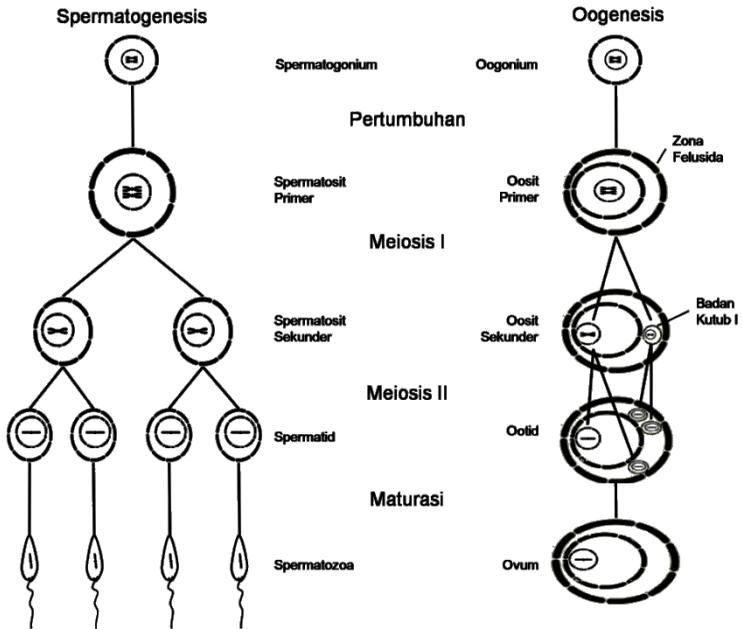
Mitosis	Meiosis
1. Menghasilkan sel anak yang sama dengan sel induknya melalui pemisahan kromosom identik	1. Pembelahan sel yang menghasilkan pengurangan jumlah set kromosom sel anak menjadi haploid
2. Mengalami satu kali proses pembelahan dalam satu siklus	2. Mengalami dua kali proses pembelahan dalam satu siklus
3. Tidak terjadi sinapsis (kromosom homolog berhadapan), kiasma, dan perubahan materi genetik antara kromosom homolog	3. Terjadi sinapsis(kromosom homolog berhadapan) dan memungkinkan terjadinya kiasma sehingga menimbulkan perubahan materi genetik
4. Kandungan materi genetik sel hasil pembelahan indentik	4. Kandungan materi genetik sel hasil pembelahan tidak indentik
5. Menghasilkan dua sel anak	5. Menghasilkan empat sel anak
6. Sel hasil pembelahan mampu melakukan pembelahan mitosis lagi	6. Sel hasil pembelahan tidak dapat melakukan pembelahan lagi
7. Terjadi hampir pada seluruh sel tubuh	7. Hanya terjadi pada organ spesifik (sel gamet)
8. Proses pembelahan dimulai saat terbentuknya zigot	8. Proses pembelahan dimulai ketika mencapai umur dewasa kelamin

D. GAMETOGENESIS

Proses pembentukan sel gamet melalui proses pembelahan meiosis di sebut gametogenesis. Pada mamalia, proses gametogenesis jantan dan betina memiliki perbedaan, yang meliputi perbedaan lokasi, proses pembelahan meiosis yang terjadi, proses perubahan bentuk sel gamet dan jumlah sel gamet yang dihasilkan dalam satu kali proses gametogenesis.

Gametogenesis pada mamalia jantan disebut spermatogenesis. Proses spermatogenesis terjadi di tubulus seminiferi pada organ kelamin jantan (testis). Proses spermatogenesis dimulai dari pertumbuhan sel primordial jantan yang disebut spermatogonia ($2n$) menjadi spermatosit primer ($2n$). Spermatosit primer mengalami pembelahan meiosis pertama yang menghasilkan dua sel anak yang disebut spermatosit sekunder (n). Melalui proses pembelahan meiosis kedua, masing-masing spermatosit sekunder menghasilkan dua sel anak yang disebut spermatid (n). Selanjutnya, empat sel spermatid yang dihasilkan mengalami proses maturasi (pematangan) dan transformasi (perubahan bentuk) menjadi sel spermatozoa (n). Sehingga dalam proses spermatogenesis, satu sel primordial menghasilkan empat sel spermatozoa.

Proses gametogenesis pada betina disebut dengan oogenesis. Proses oogenesis terjadi di bagian epitel pada organ kelamin betina (ovari). Proses oogenesis dimulai dari pertumbuhan sel primordial betina yang disebut oogonia ($2n$) menjadi oosit primer. Oosit primer mengalami pembelahan meiosis pertama, menghasilkan oosit sekunder (n) dan badan kutub I (n). Pada proses pembelahan meiosis pertama tersebut, proses sitokinesis yang terjadi tidak sempurna sehingga sel anak yang satu memiliki bagian sitoplasma yang lebih banyak dari yang lainnya. Sel anak yang memiliki bagian sitoplasma yang lebih banyak disebut oosit sekunder (n), sedangkan yang lebih sedikit disebut badan kutub. Pada proses pembelahan meiosis kedua, oosit sekunder mengalami pembelahan yang menghasilkan ootid (n) dan badan kutub II (n), sedangkan badan kutub I menghasilkan dua sel badan kutub (n). Proses maturasi dalam proses oogenesis hanya terjadi pada ootid menjadi ovum (n), sedangkan tiga badan kutub lainnya mengalami degenerasi. Ilustrasi pembentukan sel gamet jantan dan betina disajikan pada Gambar 1.23.



Gambar 1.23
Proses Gametogenesis. Modifikasi dari Stansfield, 1982.

Untuk mempermudah pembelajaran modul ini maka dapat melihat website berikut ini <http://www.dnaftb.org/>



LATIHAN

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

- 1) Sebutkan dan jelaskan proses pembelahan sel!
- 2) Jelaskan perbedaan pembelahan sel secara mitosis dan meiosis!
- 3) Jelaskan yang dimaksud dengan gametogenesis!
- 4) Jelaskan perbedaan gametogenesis yang terjadi pada jantan dan betina!
- 5) Gambarkan secara skematis proses pembelahan sel secara mitosis dan meiosis!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Jawaban dapat diperoleh dari pembahasan mengenai pembelahan sel. Gunakan kalimat Anda sendiri untuk menjelaskan kembali.
- 2) Jawaban dapat diperoleh dengan memperhatikan penjelasan mengenai pembelahan sel secara mitosis dan meiosis. Penjelasan dapat disajikan menggunakan tabel perbandingan yang dibuat dengan kalimat Anda sendiri.
- 3) Jawaban dapat diperoleh dari pembahasan mengenai gametogenesis. Gunakan kalimat Anda sendiri untuk menjelaskan kembali.
- 4) Jawaban dapat diperoleh dengan memperhatikan penjelasan mengenai gametogenesis. Penjelasan dapat disajikan menggunakan tabel perbandingan yang dibuat dengan kalimat Anda sendiri.
- 5) Jawaban dapat diperoleh dengan menggambarkan kembali siklus pembelahan sel secara mitosis dan meiosis.

**RANGKUMAN**

Terdapat dua tipe pembelahan sel, yaitu pembelahan sel secara mitosis dan pembelahan sel secara meiosis. Pembelahan mitosis adalah pembelahan yang terjadi pada sel tubuh (somatik) sementara pembelahan meiosis adalah pembelahan yang terjadi pada sel gamet. Perbedaan utama pada kedua jenis pembelahan sel ini adalah lokasi dan jumlah kromosom pada sel hasil pembelahan.

Gametogenesis pada mamalia jantan disebut spermatogenesis sedangkan pada betina disebut dengan oogenesis. Pada proses gametogenesis menghasilkan empat sel sperma, sedangkan pada oogenesis hanya menghasilkan satu sel telur.

**TES FORMATIF 3**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Berikut ini adalah tempat terjadinya proses pembelahan mitosis, *kecuali*
 - A. sel otot
 - B. sel otak
 - C. sel darah
 - D. sel gamet

- 2) Yang tidak termasuk dalam proses pembelahan sel adalah
 - A. interfase
 - B. metafase
 - C. anafase
 - D. telofase

- 3) Yang terjadi pada tahapan metafase adalah
 - A. dua kromatid identik yang berpasangan mulai terlihat
 - B. sentriol bergerak menuju arah kutub sel yang berlawanan dan membentuk benang spindle
 - C. sentromer bergerak menuju bagian tengah dari sel yang dikenal sebagai bidang ekuator dan benang spindle telah terbentuk secara sempurna
 - D. sentromer dari kromatid identik yang berpasangan terpisah menjadi dua bagian dan bergerak menuju kutub yang berlawanan

- 4) Jumlah sel anak yang dihasilkan dari satu siklus proses pembelahan sel secara mitosis adalah
 - A. 1 sel
 - B. 2 sel
 - C. 4 sel
 - D. 3 sel

- 5) Proses pembelahan meiosis biasa juga disebut dengan...
 - A. pembelahan mitosis
 - B. Gametogenesis
 - C. Metafase II
 - D. Interfase

- 6) Pernyataan yang benar mengenai gametogenesis adalah
 - A. gametogenesis pada mamalia jantan disebut spermatogenesis
 - B. menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom yang sama dengan sel induknya
 - C. terjadi pada semua jaringan tubuh
 - D. proses pembelahan dimulai saat terbentuknya zigot

- 7) Jumlah kromosom sel telur yang dihasilkan dari proses oogenesis adalah
 - A. haploid
 - B. diploid
 - C. triploid
 - D. tetraploid

- 8) Sel anak yang memiliki bagian sitoplasma yang lebih banyak disebut...
- oosit primer
 - oosit sekunder
 - oosit tersier
 - spermatid
- 9) Keturunan seperti apa yang akan dihasilkan jika satu sel telur dibuahi oleh dua atau lebih sel sperma?
- Individu berkromosom n.
 - Individu berkromosom 2n.
 - Individu berkromosom lebih dari 2n.
 - Individu diploid.
- 10) Jumlah sel yang dihasilkan dari proses pembelahan sel yang benar adalah
- spermatogenesis menghasilkan empat sel sperma
 - oogenesis menghasilkan empat sel telur
 - pembelahan mitosis menghasilkan empat sel anak
 - pembelahan meiosis menghasilkan sel anak berkromosom diploid

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

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
 80 - 89% = baik
 70 - 79% = cukup
 < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

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

Tes Formatif 2

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

Tes Formatif 3

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

Penjelasan Tes Formatif 1

- 1) Unit kehidupan terkecil berada pada tingkatan sel, sehingga jawaban yang paling tepat adalah pilihan A (sel). Sementara itu, pilihan B (organel sel), C (inti sel) dan D (kromosom) merupakan bagian dari sel yang tidak dapat hidup secara mandiri.
- 2) Fungsi dari kromosom adalah sebagai pengontrol pertumbuhan dan reproduksi pada tingkatan sel sehingga jawaban yang paling tepat adalah A.
- 3) Fungsi dari membran sel adalah melindungi dan mengontrol keluar masuknya material dari dan keluar sel sehingga jawaban yang paling tepat adalah B.
- 4) Jumlah kromosom dalam satu sel tubuh (sel somatik) berjumlah sepasang atau $2n$ (diploid), sehingga jawaban yang paling tepat adalah B (diploid). Sedangkan pilihan A (haploid) = n , C (Triploid) = $3n$, dan D (trisomi) = kelebihan satu kromosom pada kromosom autosom.
- 5) Jumlah kromosom dalam satu sel gamet berjumlah satu setayau n (haploid), sehingga jawaban yang paling tepat adalah pilihan A.
- 6) Berdasarkan letak sentromernya, kromosom dikelompokkan menjadi metasentrik, submetasentrik, dan telosentrik sehingga yang tidak termasuk dalam jenis kromosom berdasarkan lokasi sentromer adalah D (subtelosentrik).

- 7) Analisis kromosom yang mengurutkan foto kromosom disebut dengan kariotipe sehingga jawaban yang paling tepat adalah A.
- 8) Beberapa jenis kelainan kromosom yang terjadi pada suatu individu adalah pengurangan (delesi), penambahan (duplikasi), dan pertukaran (translokasi). Maka yang tidak termasuk dalam kelainan struktur adalah pilihan D (morfologi).
- 9) Kelainan kromosom yang terjadi ketika terjadi pengurangan sebagian dari salah satu lengan kromosom disebut dengan delesi sehingga pilihan yang paling tepat adalah pilihan A.
- 10) Trisomi merupakan kelainan jumlah kromosom yang mengalami penambahan satu kromosom pada kromosom autosom ($2n + 1$) sehingga pilihan jawaban yang paling tepat adalah pilihan C.

Penjelasan Tes Formatif 2

- 1) Komponen utama penyusun DNA adalah basa nitrogen, ikatan fosfat, dan gugus gula deoksiribosa. Sehingga pilihan yang paling tepat, yang tidak termasuk dalam komponen penyusun DNA adalah pilihan D (gugus gula ribosa).
- 2) Yang termasuk dalam kelompok basa purin adalah adenin (A) dan guanin (G), jadi jawaban yang tepat adalah pilihan A (adenin).
- 3) Sifat DNA berdasarkan penelitian Watson dan Crick adalah berbentuk double helix, arah dari kedua untai bersifat antiparalel (berlawanan), basa pada untai yang berbeda dihubungkan oleh ikatan hidrogen, dan pembacaan kode DNA dimulai dari ujung 5' ke ujung 3'. Pilihan yang tidak termasuk dalam sifat DNA adalah pilihan B.
- 4) Gen merupakan unit pewarisan atau pembawa sifat terkecil, jadi pilihan yang tepat adalah C (gen).
- 5) Ekson merupakan bagian dari gen yang ditranslasikan menjadi asam amino sehingga pilihan jawaban yang paling tepat adalah B.
- 6) Proses yang terjadi pada replikasi DNA diawali dari duplikasi organel sel termasuk juga DNA di dalamnya, menghasilkan dua sel yang identik dengan jumlah kromosom yang sama (pembelahan mitosis) atau berjumlah setengah (pembelahan meiosis) dari jumlah kromosom sel induknya. Pilihan yang tepat, yang tidak terjadi dalam proses replikasi adalah pilihan A (organel sel tidak berduplikasi).
- 7) Proses sintesis protein diawali dengan pemisahan ikatan hidrogen sehingga terbentuk DNA untai tunggal. Proses selanjutnya adalah

penyalinan (transkripsi) DNA menjadi mRNA yang dilanjutkan dengan penerjemahan (translasi) mRNA menjadi asam amino. Pilihan jawaban yang tepat adalah pilihan D.

- 8) tRNA merupakan salah satu molekul RNA yang memiliki kemampuan mengikat asam amino, jadi pilihan jawaban yang tepat adalah pilihan B (tRNA).
- 9) mRNA merupakan salah satu molekul RNA yang merupakan hasil salinan (transkripsi) dari untai tunggal DNA, jadi pilihan jawaban yang paling tepat adalah pilihan A (mRNA).
- 10) Susunan tiga basa nukleotida dikenal dengan sebutan kodon sehingga pilihan jawaban yang tepat adalah pilihan A (kodon).

Penjelasan Tes Formatif 2

- 1) Proses pembelahan sel secara mitosis terjadi di seluruh sel tubuh (somatik) kecuali sel gamet. Pilihan jawaban yang paling tepat adalah pilihan jawaban D (sel gamet).
- 2) Proses pembelahan sel terdiri dari beberapa tahapan, yaitu profase, metafase, anafase dan telofase. Pilihan jawaban yang tepat adalah A (interfase).
- 3) Tahapan metafase terjadi ketika sentromer bergerak menuju bagian tengah dari sel (bidang ekuator) dan benang spindle telah terbentuk secara sempurna. Pilihan jawaban yang tepat adalah pilhan B.
- 4) Jumlah sel anak yang dihasilkan dalam satu siklus pembelahan sel secara mitosis adalah dua. Pilihan jawaban yang tepat adalah pilihan B (2 sel).
- 5) Proses pembelahan meiosis terjadi pada sel kelamin atau gamet, sehingga sering disebut proses pembentukan gamet (gametogenesis). Pilihan jawaban yang tepat adalah pilihan B (gametogenesis).
- 6) Gametogenesis yang terjadi pada individu jantan disebut spermatogenesis, sedangkan pada betina disebut oogenesis. Sel anak yang dihasilkan memiliki jumlah kromosom setengah (n) dari kromosom induknya (terjadi pengurangan kromosom). Terjadi hanya pada sel kelamin (gamet) dan proses pembelahan dimulai ketika mencapai dewasa kelamin. Pilihan jawaban yang paling tepat adalah pilihan A.
- 7) Oogenesis merupakan proses pembelahan meiosis pada individu betina. Sesuai penjelasan no 6 maka pilihan jawaban yang tepat adalah A (haploid).

- 8) Pada oogenesis terjadi proses pemisahan sitoplasma (sitokinesis) yang tidak sempurna sehingga menghasilkan sel dengan volume sitoplasma yang berbeda. Sel yang mendapatkan sitoplasma lebih banyak disebut dengan oosit sekunder, sedangkan yang lebih sedikit disebut dengan badan kutub. Jadi, jawaban yang paling tepat adalah pilihan B (ooisit sekunder).
- 9) Proses fertilisasi merupakan proses penggabungan dua sel gamet (ovum dan sperma) di mana masing-masing memiliki kromosom haploid (n) sehingga menghasilkan individu yang diploid ($2n$). Terdapat beberapa pengecualian seperti yang terjadi pada lebah jantan memiliki kromosom berjumlah haploid (n) karena berasal dari sel telur yang tidak dibuahi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemungkinan paling banyak jumlah kromosom yang dimiliki oleh suatu individu adalah diploid ($2n$). Jadi jawaban pilihan yang tepat adalah pilihan C (berkromosom lebih dari $2n$).
- 10) Jawaban yang tepat untuk pertanyaan nomor 10 adalah A (spermatogenesis menghasilkan empat sel sperma). Pernyataan B tidak tepat karena oogenesis hanya menghasilkan satu sel telur. Pilihan C tidak tepat karena pembelahan mitosis menghasilkan dua sel anak. Pernyataan D tidak tepat karena pembelahan meiosis menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom haploid (n).

Glosarium

Diploid (2n)	: Jumlah kromosom dalam suatu individu.
DNA	: <i>Deoxyribonucleic acid</i> (asam nukleat).
Ekson	: Bagian gen yang menyandikan (ditranslasikan menjadi) asam amino.
Gametogenesis	: Proses pembentukan gamet. Pada jantan disebut spermatogenesis sedangkan pada betina disebut oogenesis.
Gen	: Unit pembawa dan pewaris sifat sifat terkecil.
Genom	: Total satu set kromosom (n) dalam suatu sel.
Haploid (n)	: Jumlah kromosom dalam sel gamet.
Kariotipe	: Analisis kromosom yang mengurutkan foto kromosom dimulai dari yang ukuran yang paling panjang menuju ke yang paling pendek.
Kiasma	: Titik terjadinya pertukaran lengan kromosom saat terjadi pindah silang (<i>crossing over</i>).
Kodon	: Runutan tiga basa dari mRNA.
Kromosom	: Organel sel yang mampu menyerap warna, terdiri dari susunan DNA dan protein.
Kromosom seks	: Kromosom yang menentukan jenis kelamin suatu individu, seperti X dan Y pada mamalia atau Z dan W pada unggas.
Lokus	: Letak atau posisi gen dalam kromosom.
Pindah silang	: Kondisi di mana bagian kromosom homolog saling bertukar.
Sel	: Unit kehidupan terkecil.
Sentromer	: Struktur protein pada kromosom yang membagi kromosom menjadi dua bagian.
Transkripsi	: Proses penyalinan runutan DNA menjadi RNA (mRNA).
Translasi	: Proses penyandian runutan mRNA menjadi asam amino.

Daftar Pustaka

- Alberts, B., D. Bray, K. Hopkin, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, dan P. Walter. 2006. *Essential Cell Biology*, 2nd Edition. Garland Science Publishing. New York, USA.
- Brown, T.A. 2006. *Genomes 3*, 3rd Edition. Garland Science Publishing. New York, USA.
- Eldridge, F.E. 1985. *Cytogenetics of Livestock*. AVI Publishing Company, Inc. Connecticut, USA.
- Herzog, A., H. Hohn dan G.W. Rieck. 1977. *Survey of Recent Situation of Chromosome Pathology in Different Breed of German Cattle*. *Ann. Genet. Sel. Anim.* 9:471-491.
- Lewin, B. 1997. *Genes*. 7th Edition. Oxford University Press. New York, USA.
- Reece, R.J. 2003. *Analysis of Genes and Genomes*. John Wiley and Sons, Ltd. West Sussex, Inggris.
- Stansfield, W.D. 1982. *Schaum's Outline of Theory and Problems of Genetics*, 2nd Edition. McGraw-Hill Book Company. St. Louis, USA.
- Silva, F., L. Gusmao dan A. Amorim. 1999. *Segregation Analysis of Tetra and Penta Nucleotide Pentanucleotide Short Tandem Repeat Polymorphism: Deviation from Mendelian Expectations*. *Electrophoresis*, 20:1697-1701.
- Steffen, P., A. Eggen, A.B. Dietz, J.E. Womack, G. Stranzinger and R Fries. 1993. *Isolation and Mapping Polymorphic Microsatellites in Cattle*. *Anim. Genet.* 24:121-124.