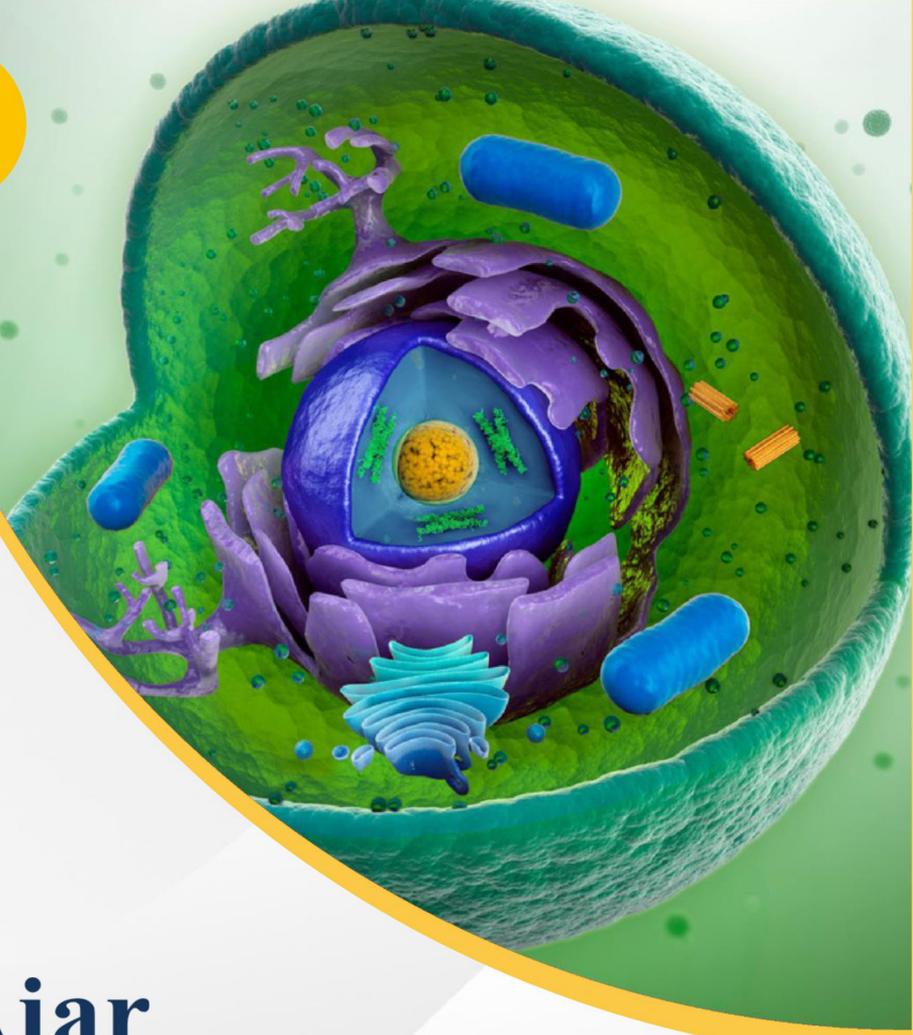




umsurabaya
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA



Buku Ajar Biologi Sel

Disusun oleh :
Sukadiono
Baterun Kunsah
Vella Rohmayani
Anindita Riesti Retno Arimurti

BUKU AJAR BIOLOGI SEL

Penulis:

Sukadiono
Baterun Kunsah
Vella Rohmayani
Anindita Riesti Retno Arimurti

Editor:

Nurhidayatullah Romadhon

Desain Cover & Layout:

Yusuf Nurmansyah

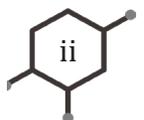
Cetakan I, September 2023

vi+328, 17,6 x 25 cm

ISBN: 978-623-433-102-8

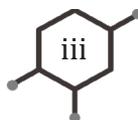
Penerbit :

 **um** publishing **surabaya**
Jl. Sutorejo no. 59 Mulyorejo Surabaya
Telp. (+62 87701798766)
Email p3i@um-surabaya.ac.id
www.p3i.um-surabaya.ac.id



DAFTAR ISI

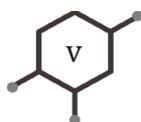
Daftar Isi	iii
Pendahuluan Konsep Dasar Biologi Sel	1
BAB 1 Definisi Sel, Sejarah Dan Teori Sel	2
Definisi Sel	2
Sejarah Penemuan Sel	3
Perkembangan Teori Sel	4
Latihan	5
Rangkuman	6
Tes Formatif	6
BAB 2 Struktur Sel & Jenis-Jenis Sel Pada Organisme	10
Struktur Sel	10
Jenis – Jenis Sel	16
Latihan	19
Rangkuman	19
Tes Formatif	20
BAB 3 Struktur Dan Fungsi Organel Sel	23
Organel Sel	23
Persamaan Dan Perbedaan Antara Sel Hewan Dan Sel Tumbuhan	31
Latihan	31
Rangkuman	32
Tes Formatif	33
BAB 4 Reproduksi Sel	36
Tipe – Tipe Reproduksi Sel	36
Perbedaan Mitosis Dan Meosis	49
Latihan	49
Rangkuman	50
Tes Formatif	51
BAB 5 Siklus Sel Dan Kematian Sel	56
Siklus Sel	56
Kematian Sel	58
Latihan	64
Rangkuman	64
Tes Formatif	65



BAB 6 Embriologi	69
Pengertian Embriologi	69
Tahapan Embriologi	70
Latihan	75
Rangkuman	76
Tes Formatif	77
BAB 7 Konsep Dasar Genetika Mendelisme	81
Pengertian Genetika	81
Sejarah Genetika	82
Terminologi	84
Latihan	85
Rangkuman	85
Tes Formatif	86
BAB 8 Pola Pewarisan Sifat	90
Perkawinan Monohibrid	90
Perkawinan Polihibrid	93
Formulasi Matematika	96
Penyimpangan Semu Hukum Mendel	97
Perkawinan Berdasarkan Golongan Darah	105
Latihan	107
Rangkuman	108
Tes Formatif	110
BAB 9 Asam Nukleat & Kode Genetika	115
Latihan	122
Rangkuman	122
Tes Formatif	122
BAB 10 DNA & RNA	125
DNA	125
RNA	126
Latihan	129
Rangkuman	130
Tes Formatif	131
BAB 11 Kode Genetika	133
Sifat-Sifat Kodon	134
Kodon Awal Dan Kodon Akhir	135
Karakter Kode Genetik	136
Rangkuman	137



Tes Formatif	138
BAB 12 Replikasi DNA	140
Waktu Dan Tempat Replikasi	144
Komponen-Komponen Penting Dalam Replikasi DNA Dan RNA	144
Latihan	146
Rangkuman	146
Tes Formatif	147
BAB 13 Mekanisme Replikasi	150
Tahapan Replikasi	152
Replikasi Dna Sel Prokariotik	156
Replikasi Dna Sel Eukariotik	158
Rangkuman	160
Tes Formatif	161
BAB 14 Sintesis Protein	163
Asam Amino	165
Macam-Macam Asam Amino	167
Latihan	172
Rangkuman	173
Tes Formatif	174
BAB 15 Sintesis Protein Pada Organisme Eukariot	177
Sintesis Protein Pada Sel Eukaryot	178
Faktor Transkripsi Pada Eukariot	182
Mekanisme Translasi	188
Latihan	190
Rangkuman	191
Tes Formatif	192
BAB 16 Sintesis Protein Pada Organisme Prokariot	193
Latihan	200
Rangkuman	201
Tes Formatif	201
BAB 17 Mutasi	203
Penyebab Mutasi	204
Macam-Macam Mutasi	206
Mutasi Gen	207
Jenis-Jenis Mutasi Gen	209
Latihan	213
Rangkuman	213



Tes Formatif	214
BAB 18 Mutasi Kromosom	217
Jenis-Jenis Mutasi Kromosom Pada Sel Gamet	217
Mutasi Kromosom Akibat Perubahan Struktur Kromosom	219
Dampak Mutasi Genetik Pada Manusia Dan Ternak	224
Latihan	228
Rangkuman	229
Tes Formatif	230
Kunci Jawaban Tes Formatif	232
Glossarium	236
Daftar Pustaka	237



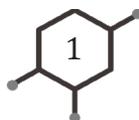
PENDAHULUAN

KONSEP DASAR BIOLOGI SEL

PENDAHULUAN

Dalam ruang lingkup Biologi, kehidupan organisme terdiri dari berbagai tingkatan organisasi kehidupan mulai dari yang paling sederhana hingga tingkatan yang paling kompleks. Sama seperti atom yang merupakan unit dasar suatu materi, sel merupakan unit struktural dan fungsional dasar dari semua organisme.

Sejak tercetusnya teori tentang sel yang menyatakan bahwa semua organisme tersusun atas sel, sejak saat itu bidang biologi sel berkembang dengan sangat pesat. Sel dapat menjalankan seluruh fungsi kehidupan pada organisme, bentuk kehidupan yang paling sederhana dapat dilihat pada sel-sel tunggal. Pembentukan organisme atau diri kita merupakan hasil pembelahan dari sel induk yang terus mengalami proses pertumbuhan dan perkembangan. Seorang Ahli Teknologi Laboratorium Medik harus memiliki pengetahuan konsep dasar biologi sel agar dapat menunjang profesi mereka sehingga dapat melaksanakan pekerjaannya dengan baik.



BAB 1

DEFINISI SEL, SEJARAH DAN TEORI SEL

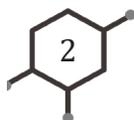
Biologi sel mengalami perkembangan tahap demi tahap sejak ditemukannya sel untuk pertama kalinya pada abad ke-17. Pengamatan biologi sel pada saat itu hanya terbatas pada bentuk dan struktur sel. Namun seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi penelitian tentang biologi sel mengalami perkembangan yang sangat pesat.

A. DEFINISI SEL

Sel berasal dari kata latin *cella* yang berarti ruang kecil. Setiap organisme dapat tersusun atas satu atau sejumlah sel. Organisme yang tersusun atas satu sel disebut uniseluler, sedangkan organisme yang tersusun atas banyak sel disebut multiseluler. Sel memiliki ukuran dan bentuk yang bermacam-macam. Meskipun sel memiliki ukuran yang sangat kecil namun sel memiliki struktur yang sangat lengkap. Di dalam sel terdapat komponen-komponen penyusun sehingga sel mampu melakukan semua aktivitas kehidupan untuk dapat mempertahankan kehidupan.

Sel merupakan suatu sistem yang sangat kompleks dan memiliki mekanisme kerja yang sangat canggih atau modern, dinamis, dan hidup. Sel merupakan materi yang akan menyusun tubuh organisme. Sel memiliki perangkat organel yang berfungsi untuk menyokong semua aktivitas organisme. hal ini berarti bahwa semua aktivitas hidup organisme merupakan manifestasi dari proses-proses metabolisme dan reproduksi yang terjadi di dalam sel. Pada masing-masing bagian sel memiliki fungsi khusus, misalnya lisosom berfungsi sebagai pencerna, mitokondria yang berfungsi sebagai penghasil energi, ribosom berfungsi sebagai tempat sintesis protein dan seterusnya. Hal tersebut membuat fungsi sel menjadi sangat kompleks bagi kehidupan.

Sel merupakan unit terkecil penyusun makhluk hidup, yang dapat menjalankan fungsi kehidupan. Sel dikatakan sebagai unit terkecil karena sudah tidak bisa dibagi-bagi lagi. Sel dapat melakukan seluruh proses kehidupan seperti



respirasi, pencernaan, perombakan, penyusunan, reproduksi melalui proses pembelahan sel, memberi respon terhadap rangsangan dan seterusnya. Oleh sebab itu sel disebut sebagai unit terkecil penyusun makhluk hidup secara struktural dan fungsional.

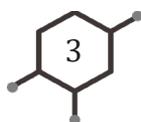
B. SEJARAH PENEMUAN SEL

Ada beberapa point penting tentang sejarah penemuan sel, yaitu sebagai berikut:

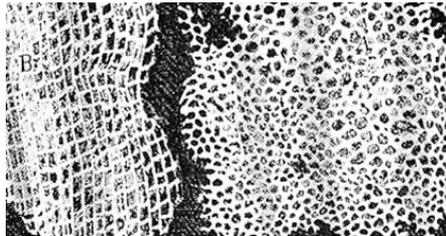
- a. Penemuan mikroskop membuat ilmuwan pertama kali dapat melihat sel biologis.
- b. Robert Hooke pada tahun 1665 mengamati gabus di bawah mikroskop
- c. Anton van Leeuwenhoek menemukan organisme sel tunggal dari hasil penguatan yang dilakukan pada air jerami
- d. Matthias Jakob Schleiden seorang botanis, pada tahun 1838 melakukan pengamatan pada sel tumbuhan
- e. Theodor Schwann seorang zoologis, pada tahun 1839 melakukan pengamatan pada sel hewan
- f. Rudolf Virchow, mengusulkan teori bahwa semua sel berasal dari sel yang sebelumnya sudah ada

Sejarah penemuan sel diawali oleh Robert Hooke seorang ahli biologi kebangsaan belanda pada tahun 1665. Saat itu ia sedang melakukan pengamatan pada sebuah sayatan gabus batang tanaman *Quercus suber* dengan menggunakan mikroskop rancangannya. Dari pengamatan itu, ia kemudian menemukan adanya ruang kosong dengan dinding tebal sebagai pembatasnya. Ruang-ruang kosong tersebut kemudian disebut dengan *cellulae* atau sel (gambar 1).

Sebenarnya sel hasil temuan Hooke merupakan bentuk sel-sel gabus mati. Namun sejak tercetusnya teori sel inilah yang kemudian menjadi pioner dalam perkembangan biologi sel hingga saat ini. Penemuan Hooke berhasil menarik minat Antonie van Leeuwenhoek (1632 - 1723) untuk mempelajari lebih dalam tentang sel. Ia merancang mikroskop berlensa tunggal dan kemudian digunakan untuk mengamati air rendaman jerami. Dari hasil pengamatan tersebut Antonie



menemukan sesuatu yang bergerak-gerak di dalam air yang kemudian dikenal dengan istilah bakteri. Berkat hasil pengamatan yang diukannya, Antonie kemudian dianggap sebagai orang yang pertama kali menemukan jasad hidup dalam sejarah penemuan sel.



Gambar 1. Sel gabus pengamatan Robert Hooke

C. PERKEMBANGAN TEORI SEL

Adapun perkembangan teori sel adalah sebagai berikut:

a. Sel sebagai unit struktural Organisme

Seorang ahli botani bernama M.T.Schleiden (1804-1881) melakukan pengamatan pada sel tumbuhan, sementara pada waktu yang hampir bersamaan seorang ahli zoologi bernama Theodor Schwann (1810 -1882) juga melakukan pengamatan pada sel hewan. Dari hasil pengamatan tersebut kemudian diperoleh teori sebagai berikut:

- Bahwa setiap organisme terdiri dari sel
- Sel merupakan unit struktural terkecil penyusun makhluk hidup
- Organisme yang terdiri dari satu sel disebut uniseluler sedangkan organisme yang tersusun lebih dari satu sel disebut sebagai multiseluler.

b. Sel sebagai unit fungsional Organisme

Kemudian penelitian tentang sel dilanjutkan oleh Max Schultza pada tahun 1845. Ia menemukan cairan yang berada dalam sel yang kemudian disebut sebagai protoplasma. Istilah protoplasma berasal dari Bahasa Yunani yaitu Proto yang berarti pertama dan Plasma yang berarti substansi atau zat. Max Schultza menyatakan bahwa Protoplasma sebagai dasar fisik kehidupan. Hal ini berarti sel bukan hanya merupakan struktural terkecil

penyusun makhluk hidup, melainkan juga berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia. Sehingga berdasarkan penemuan Schultze lahirlah teori bahwa sel merupakan kesatuan fungsional dalam kehidupan.

c. Setiap Sel berasal dari sel sebelumnya

Teori sel tidak terlepas dari kesalahan-kesalahan, contohnya Schwann yang menganggap bahwa sel dihasilkan secara spontan melalui proses pembentukan kristal. Namun kemudian penelitian tentang perkembangan embrio menunjukkan hasil bahwa selama proses pertumbuhan sel-sel tersebut mengalami pembelahan sel. Selanjutnya Rudolf Virchow mencetuskan teori bahwa setiap sel berasal dari sel sebelumnya (*omne cellulae e cellula*). Hal tersebut dapat dibuktikan bahwa binatang hanya akan ada dari binatang sebelumnya, begitu juga dengan tumbuhan hanya berasal dari tumbuhan sebelumnya.



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Sebutkan alasan kepentingan belajar biologi sel!
2. Jelaskan sejarah penemuan sel!
3. Jelaskan pengertian sel sebagai unit struktural penyusun organisme!
4. Jelaskan pengertian sel sebagai untuk fungsional penyusun organisme!

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Sel merupakan unit terkecil penyusun organisme secara struktural maupun fungsional. Sel memiliki perangkat organel yang berfungsi untuk menyokong semua aktivitas organisme. karena semua aktivitas hidup organisme merupakan manifestasi dari proses-proses metabolisme dan reproduksi yang terjadi di dalam sel. Hal tersebut membuat fungsi sel menjadi sangat kompleks bagi kehidupan. Sel pertama kali ditemukan oleh Robert Hooke (1635 –1703), menemukan adanya ruang kosong pada sel gabus yang kemudian disebut dengan *cellulae* atau sel. Kemudian Antony van Leeuwenhoek (1632 - 1723) dianggap sebagai orang yang pertama kali menemukan jasad hidup, ia menemukan sesuatu yang bergerak-gerak di dalam air rendaman jerami yang kemudian dikenal dengan bakteri.

Adapun perkembangan teori sel adalah sebagai berikut: **Sel sebagai unit struktural Organisme**, artinya bahwa setiap organisme tersusun atas sel (M.T.Schleiden dan Theodor Schwann). **Sel sebagai unit fungsional Organisme**, Schultze menyatakan bahwa di dalam sel berlangsungnya reaksi-reaksi kimia yang menjadikan sel sebagai kesatuan fungsional dalam kehidupan. **Setiap Sel berasal dari sel sebelumnya** (*omne cellulae e cellula*), bahwa binatang hanya akan ada dari binatang sebelumnya, begitu juga dengan tumbuhan hanya berasal dari tumbuhan sebelumnya (Rudolf Virchow).



TES FORMATIF

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Sel pertama kali ditemukan oleh.....
 - a. Robert E. Lee
 - b. Antony Van L.
 - c. Schawann
 - d. Robert Hooke
 - e. Rudolf Virchow

2. Robert hooke pertama kali melakukan pengamatan sel pada.....
 - a. Quercus suber
 - b. Bakteri
 - c. Virus
 - d. Rendaman air jerami
 - e. Quercus sundaica
3. *Omnie cellula e cellula* artinya.....
 - a. Semua organisme terdiri atas sel
 - b. Sel merupakan unit struktural penyusun organisme
 - c. Setiap sel berasal dari sel sebelumnya
 - d. Sel merupakan kesatuan fungsional organisme
 - e. Sel sebagai unit struktural dan fungsional organisme
4. Berikut merupakan pernyataan yang benar tentang teori sel, *kecuali*.....
 - a. Setiap sel hewan sekarang berasal dari sel hewan sebelumnya
 - b. Sel merupakan unit struktural penyusun organisme
 - c. Setiap sel tumbuhan berasal dari tumbuhan sebelumnya
 - d. sel dihasilkan secara spontan melalui pembentukan kristal
 - e. Sel merupakan kesatuan fungsional organisme
5. Organisme yang terdiri dari satu sel disebut.....
 - a. Multiseluler
 - b. Aseluler
 - c. Unisesuler
 - d. Eukariotik
 - e. Seluler
6. Sel gabus yang diamati oleh Robert Hooke merupakan.....
 - a. Sel Bakteri
 - b. Sel Virus
 - c. Sel Mati
 - d. Sel Prokariotik
 - e. Amoeba

7. Ilmuan yang dianggap sebagai penemu pertama jasad hidup dalam sejarah penemuan sel adalah....
- Antony van Leeuwenhoek
 - M.T.Schleiden
 - Theodor Schwann
 - Robert Hooke
 - Rudolf Virchow
8. Berikut pernyataan yang paling tepat mengenai pengertian sel sebagai unit struktural penyusun organisme adalah....
- Setiap organisme tersusun atas satu sel
 - Setiap organisme tersusun atas banyak sel
 - Sel merupakan unit terkecil penyusun organisme karena tidak dapat dibagi-bagi lagi
 - Sel yang ada sekarang berasal dari sel sebelumnya
 - Di dalam sel terjadi reaksi kimia yang mendukung kehidupan
9. Berikut pernyataan mengenai pengertian sel sebagai unit fungsional penyusun organisme, *kecuali*....
- Setiap organel sel memiliki fungsi khusus
 - Sel merupakan unit terkecil karena tidak dapat dibagi-bagi lagi
 - Sel memiliki cairan protoplasma yang mendukung kehidupan
 - Di dalam sel terjadi reaksi kimia
 - aktivitas organisme merupakan manifestasi dari proses-proses metabolisme dan reproduksi yang terjadi di dalam sel
10. Siapakah ahli zoologi yang berhasil melakukan pengamatan pada sel hewan, dan mencetuskan teori bahwa sel hewan sekarang berasal dari sel hewan sebelumnya adalah.....
- Antony van Leeuwenhoek
 - M.T. Schleiden
 - Theodor Schwann
 - Robert Hooke
 - Rudolf Virchow

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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

Arti tingkat penguasaan:

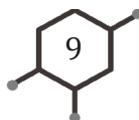
90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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



BAB 2

STRUKTUR SEL & JENIS-JENIS SEL PADA ORGANISME

Sel merupakan unit terkecil secara struktural maupun fungsional penyusun organisme. Sel sebagai unit terkecil secara truktural karena tidak bisa dibagi-bagi lagi, sedangkan sel dianggap sebagai unit fungsional karena di dalam sel terdapat berbagai komponen yang dapat menjalankan fungsi kehidupan organisme.

A. STRUKTUR SEL

Secara umum sel ini terdiri atas 3 bagian utama, yaitu membran sel, sitoplasma, dan inti sel. Adapun penjelasannya adalah sebagaimana uraian berikut:

1. Membran Sel

Membran sel atau disebut juga membran plasma merupakan selaput yang terletak paling luar yang menjadi batas antara sel dengan lingkungan disekitarnya.

a. Struktur membran sel

Membran sel merupakan lapisan yang sangat tipis sehingga hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop elektron. Membran plasma tersusun dari lipid bilayer, yaitu lapisan fosfolipid dengan protein yang menempel atau terbenam di antara lapisan tersebut (model fluid mosaik). Model Fluid Mozaic dari struktur membran sangat didukung oleh bukti-bukti visual yang didapatkan sewaktu dilakukan pengamatan pada membran dengan menggunakan mikroskop elektron. Fungsi biologis membran plasma bergantung pada molekul-molekul penyusunnya yaitu protein, lipid dan karbohidrat (gambar 1).

1) Lipid pada membran sel

Lipid membran sel hampir seluruhnya berupa posfolipid, berfungsi menstabilkan kesatuan fisik membran plasma sehingga merupakan penghalang yang efektif terhadap materi hidrofilik (misal air dan ion). Membran plasma yang disusun atas dua lapis posfolipid menjadi tempat

melekatnya protein dan akan membantu proses fusi vesikel maupun endositosis.

- Fosfolipid bilayer adalah struktur utama yang pembentuk membran plasma. Fosfolipid terdiri atas bagian kepala (fosfat) dan ekor (asam lemak) pada setiap unitnya. Terbagi atas bagian fosfat yang merupakan sisi hidrofilik (suka air) menghadap ke arah luar, sedangkan bagian asam lemak yang merupakan sisi hidrofobik (tidak suka air) tersembunyi di bagian dalam membran sel.
- Kolesterol, merupakan komponen penting lain dari membran sel dan menyebabkan fleksibilitas membran sel.

2) Karbohidrat membran sel

Pada membran plasma, karbohidrat melekat pada bagian kepala fosfolipid atau pada protein yang berada disisi membran plasma yang menghadap ke luar sel.

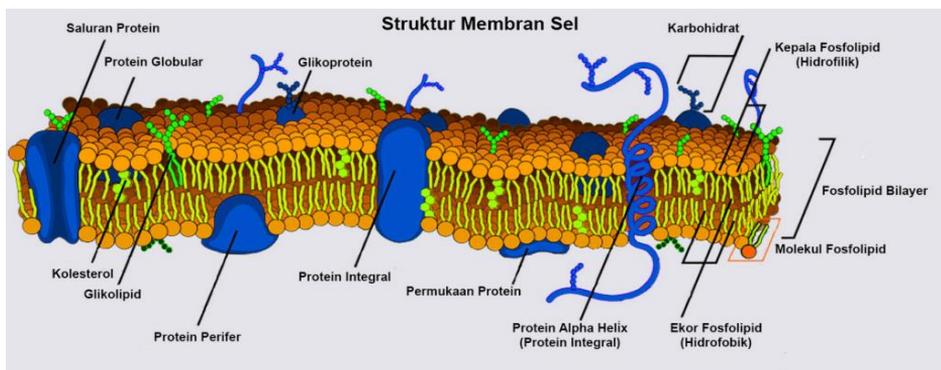
- Glikolipid merupakan karbohidrat yang berikatan dengan lipid membran. Ia memiliki fungsi sebagai sinyal pengenalan saat melakukan interaksi antar sel. Contohnya glikolipid sel yang bersifat kanker akan berubah strukturnya dan dikenali oleh sel darah putih, sehingga dapat dihancurkan.
- Glikoprotein merupakan karbohidrat yang berikatan dengan protein. Pada membran plasma glikoprotein dapat mengikat protein dari membran sel-sel tetangga maupun sel lain sehingga terjadi ikatan antar sel.

3) Protein pada membran sel

Protein membran sel merupakan protein globuler yang terdapat pada dua lapis fosfolipid. Protein memisahkan antar lipid membran sehingga menyisakan pori pada membran. Protein membran terdiri atas dua macam, yaitu protein integral (terbenam) dan protein perifer (menempel) pada lapisan fosfolipid.

Fungsi protein ini adalah sebagai berikut:

- Berfungsi layaknya sebuah gerbang yang menyebabkan molekul-molekul tertentu dapat masuk maupun keluar sel dengan bergerak melewati daerah terbuka dari saluran protein.
- Memberikan kekuatan struktural pada membran,
- Berfungsi menjadi enzim (biokatalisator), misalnya protein integral pada membran dalam mitokondria dan kloroplas yang berperan dalam transpor elektron untuk pembentukan ATP (Adenosin Triposfat).



Gambar 1. Membran Sel

b. Sifat membran sel

Sifat dari membran sel atau membran plasma adalah selektif permeabel, membran ini dapat menyeleksi molekul-molekul apa saja yang bisa masuk ke dalam sel. Ada molekul yang dapat lewat dengan mudah, namun adapula molekul yang lain harus melewati molekul transport atau bahkan tidak bisa melewati membran plasma sama sekali.

c. Fungsi membran sel

Membran sel merupakan bagian sel yang memiliki fungsi yang sangat penting bagi sel, karena dapat memberikan perlindungan sel secara mekanik. Pada sel hewan peran membran plasma sebagai pelindung mekanis sangat vital, karena selnya hanya dibungkus oleh membran plasma saja, sedangkan pada sel tumbuhan selain membrane plasma sel juga memiliki perlindungan lain, yaitu dinding sel yang kuat dan keras.

Fungsi lain dari membran sel ialah dalam transportasi molekul atau mengatur molekul apa saja yang bisa masuk dan atau meninggalkan sel. Selain itu membran sel ini juga berfungsi untuk memenuhi kebutuhan nutrisi sel, membuang sampah-sampah sisa proses metabolisme, serta memperkenankan adanya interaksi dengan sel lainnya.

2. Sitoplasma

Merupakan cairan matrik yang terdapat diantara membran plasma dan inti sel. 70% bagian dari sitoplasma adalah berupa sitosol yang bersifat koloid. Sitoplasma merupakan bagian penting dari sel, karena berfungsi sebagai tempat berlangsungnya metabolisme sitosolik (glikolisis dan sintesis protein oleh ribosom), tempat penyimpanan bahan kimia kimia yang berguna bagi metabolisme sel (enzim, protein, dan lemak).

Pada sitoplasma terdapat atas sitosol, sitoskeleton, inklusi dan organel, adapun uraiannya adalah sebagai berikut:

a. Sitosol

Merupakan cairan yang berada di dalam sitoplasma. Komponen utama sitosol adalah air, serta terdiri atas filamen sitoskeleton, garam, dan molekul organik seperti asam nukleat, protein, lipid dan juga karbohidrat. Sitosol berfungsi membantu proses biosintesis protein, transduksi sinyal pada sel, serta bertanggungjawab untuk mempertahankan struktur dan bentuk sel dengan bantuan sitoskeleton.

b. Sitoskeleton

Sitoskeleton memiliki bentuk seperti serabut yang membentuk kerangka sel, terdiri atas mikrotubulus, mikrofilamen, dan filamen intermediet.

c. Inklusi sel

Merupakan zat intra seluler yang tidak hidup. Inklusi memiliki fungsi untuk menyimpan nutrisi atau butiran pigmen yang berada di dalam sitoplasma, contohnya butiran pigmen dalam sel kulit dan sel rambut, butiran glikogen pada sel otot, kristal, butiran lemak dan seterusnya. Inklusi sel dapat ditemukan pada sel prokariotik dan eukariotik.

d. Organel sel

Adalah komponen hidup yang berada dalam sitoplasma dan hanya dapat dijumpai pada sel eukariotik saja. Organel sel merupakan struktur yang terikat membran dalam dan memiliki fungsi khusus, karena terjadi reaksi biokimia di dalam setiap organel. Adapun organel yang terdapat di dalam sitoplasma adalah inti sel, ribosom, lisosom, mitokondria, vakuola, badan golgi, sentriol, serta berbagai organel lainnya.

3. Inti Sel (Nukleus)

Inti sel sebenarnya merupakan salah satu organel sel yang berada di dalam sitoplasma. Inti sel disebut juga dengan nukleus merupakan bagian dari sel yang mengandung kromosom. Di dalam kromosom terdapat DNA dan pada DNA terangkai oleh banyak gen dan berfungsi sebagai membawa sifat keturunan dari orang tua kepada keturunannya. Nukleus berperan terhadap seluruh aktivitas yang terjadi di dalam sel, mulai dari metabolisme hingga pembelahan sel. Nukleus terletak di bagian tengah sel dan umumnya memiliki bentuk lonjong, bulat, atau tak beraturan.

Setiap sel kebanyakan hanya terdiri atas satu nukleus saja, tetapi ada juga yang mempunyai dua atau lebih nukleus, adapula sel yang tidak mempunyai nukleus sama sekali. Di dalam inti sel terjadi proses transkripsi, yang menghasilkan mRNA, yang selanjutnya mRNA tersebut ditransfer ke luar dari inti sel melalui pori-pori yang terdapat pada membran inti, menuju ke ribosom yang berada di sitoplasma.

Nukleus memiliki peran yang sangat vital dalam kehidupan sebuah sel, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Peranan nukleus dalam hal ini adalah untuk mengatur dan mengontrol segala aktifitas kehidupan sel atau mengendalikan proses berlangsungnya metabolisme di dalam sel.
- b. Mengatur kapan dan dimana ekspresi gen dimulai, diproses dan juga diakhiri.
- c. Menyimpan informasi genetik (gen) dalam bentuk DNA yang akan diturunkan ke generasi berikutnya.

- d. Mengeluarkan RNA dan sub unit ribosom ke sitoplasma
- e. Mengatur proses pembelahan sel
- f. Tempat terjadinya replikasi dan transkripsi.

Adapun beberapa bagian yang menyusun nukleus (gambar 2), adalah sebagai berikut:

a. Membran inti atau karioteka

Merupakan bagian terluar dari inti sel berupa selaput yang menyelimuti seluruh inti sel dan berfungsi sebagai pemisah antara bagian inti sel dengan sitoplasma. Pada membran inti sel terdapat pori nukleus, yang berperan mengatur proses pertukaran molekul yang berada di dalam inti sel dengan molekul yang berada di luar inti sel atau sitoplasma, hal tersebut membuat fungsi membran inti sel sama halnya seperti membran sel. Molekul yang dikeluarkan dari inti sel biasanya berupa mRNA yang digunakan untuk proses sintesis protein.

Membran inti menyelubungi sel eukariotik, sedangkan pada sel prokariotik nukleus tidak diselubungi oleh membran atau disebut nukleoid. Keberadaan membran inti sel inilah yang kemudian dapat membedakan antara sel eukariotik dengan sel prokariotik, dimana pada sel eukariotik terdapat membran inti sel, sedangkan pada sel prokariotik tidak ditemukan.

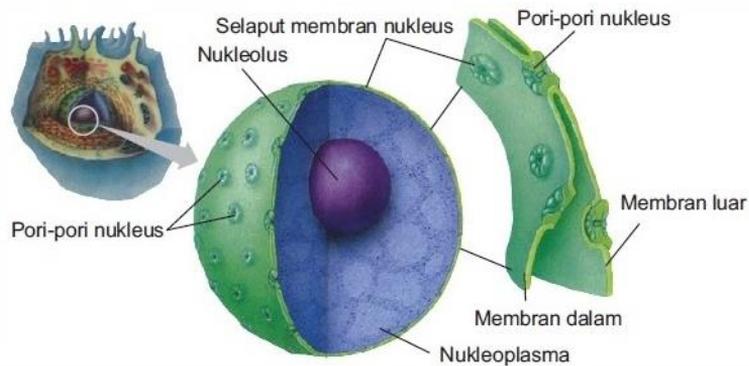
b. Nukleoplasma (kariolimfa)

Di dalam inti sel terdapat cairan transparan dan kental yang biasa disebut sebagai nukleoplasma. Di dalam nukleoplasma terdapat beberapa komponen penting seperti kromatin atau kromosom, nukleolus serta berbagai senyawa kimia kompleks.

c. Nukleolus atau anak inti

Pada inti sel terdapat anak inti atau disebut nukleolus yang berfungsi mengatur kinerja inti sel, hal tersebut membuat keberadaan nucleolus menjadi sangat penting bagi perkembangan sel pada makhluk hidup. Selain itu nukleolus juga menjadi tempat berlangsungnya transkripsi gen, dari proses tersebut didapatkan molekul rRNA yang merupakan salah satu jenis dari RNA atau materi penyusun ribosom. Molekul rRNA yang baru

terbentuk akan dikemas bersama dengan protein ribosom kemudian akan dikeluarkan dari inti sel.



Gambar 2. Inti Sel

B. JENIS – JENIS SEL

Berdasarkan struktur ultra sel, maka sel dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu sel eukariotik dan sel prokariotik (Chatton, 1937). Adapun penjelasannya adalah sebagaimana uraian berikut ini:

1. Sel Prokariotik

Prokariotik berasal dari kata *pro* (sebelum) dan *caryo* (nukleus). Sel prokaryotik merupakan sel yang tidak mempunyai membran inti. Sehingga tidak ada pembatas antara bagian inti sel dengan sitoplasma. Inti sel yang berisi materi genetik hanya merupakan massa yang memiliki kekentalannya lebih tinggi jika dibandingkan dengan sitoplasma sehingga disebut sebagai nukleoid.

Ciri lain dari sel prokariotik adalah tidak mempunyai organella, sehingga struktur sel ini masih sangat sederhana. Aktivitas sel berlangsung di dalam membran sel dan juga di dalam sitoplasma. Contoh dari sel prokaryotik adalah bakteri yang umumnya merupakan organisme uniseluler. Adapun komponen dari sel prokariotik adalah sebagai berikut:

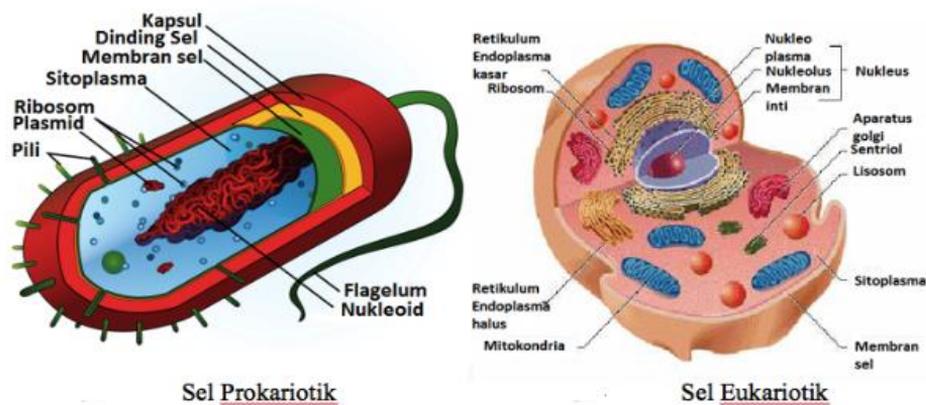
- Memiliki dinding sel tersusun atas peptidoglikan, yang merupakan kombinasi antara protein dan karbohidrat. Selain itu juga dijumpai adanya lemak. Dinding sel bersifat rigid (kaku) dan terletak di luar membran sel. Dinding selain berfungsi sebagai pelindung sel juga berfungsi untuk memberikan bentuk pada sel.

- Memiliki membran sel yang terletak di luar sitoplasma, berfungsinya memisahkan bagian dalam dan bagian luar sel.
- Nukleus tidak terbungkus oleh membran inti, sehingga disebut sebagai nukleoid, yang berisi materi genetik (DNA)
- Tidak memiliki retikulum endoplasma kasar maupun halus, tetapi mempunyai ribosom yang merupakan partikel kecil yang tersusun dari protein dan RNA. Adapun fungsi ribosom adalah sebagai tempat sintesis protein.
- Tidak dijumpai Mitokondria maupun badan golgi
- Memiliki pilli atau fimbriae yang tersusun atas protein pillin, fungsinya untuk melekat pada sel host, sebagai awal dari terjadinya suatu infeksi.
- Memiliki flagella yang tersusun atas protein flagellin, memiliki fungsi sebagai alat bergerak.

2. Sel Eukariotik

Merupakan sel yang memiliki membrane inti sel, serta memiliki sistem endomembran (membran dalam), yakni terdapat organel-organel bermembran seperti retikulum endoplasma, kompleks golgi, mitokondria, dan organel lainnya. Adapun ciri-ciri sel eukariotik adalah sebagai berikut:

- Mempunyai sistem membran dalam atau disebut endomembran
- Mempunyai organel sel, seperti retikulum endoplasma, mitokondria dan lisosom. Dimana masing-masing organel memiliki fungsi khusus
- Dapat dijumpai pada organisme uniseluler (seperti protista) maupun multiseluler (seperti jamur, tanaman dan hewan)
- Memiliki membran inti sel, sehingga membuat Inti sel terpisah dari sitoplasma



Gambar 3. Sel prokariotik dan sel eukariotik

3. Persamaan dan perbedaan antara sel prokariotik dan sel eukariotik

a. Persamaan sel prokariotik dan sel eukariotik, adalah sebagai berikut:

- Memiliki membran plasma yang berperan sebagai barier, yang sifatnya selektif
- Memiliki sitosol yang bentuknya semifluid seperti jelly, terletak di dalam sel dan tersuspensi semua komponen sel
- Terdapat kromosom, membawa gen yang terangkai di dalam DNA
- Mempunyai ribosom, yang berfungsi sebagai tempat sintesis protein

b. Perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik, adalah sebagaimana tabel berikut:

Tabel 1. perbedaan antara sel prokariotik dan sel eukariotik

Faktor Pembeda	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
Tipe sel	Uniseluler	Ada yang uniseluler, tapi kebanyakan multiseluler
Contoh Organisme	Bakteri dan Arkhae (Archae)	Protozoa, Sel Hewan, Sel Tumbuhan
Ukuran sel	Diameter sel 0,2 - 2,0 μm	Diameter sel 10 – 100 μm
Inti sel	Tidak memiliki membran inti atau disebut nukleoid.	Memiliki membran inti
Sitoplasma	Tidak memiliki sitoskeleton	Memiliki sitoskeleton
DNA	Terletak di Sitoplasma	Terletak di inti sel
Ribosom	Ada	Ada

Organel dilengkapi dengan membrane dalam (system endomembran)	Tidak ada	Ada, semua organel terbungkus membrane, seperti mitokondria, RE, bahan golgi, lisosom, dst.
Dinding sel	Ada	Ada yang memiliki dan ada yang tidak



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Sebutkan struktur umum penyusun sel? Jelaskan!
2. Sebutkan masing-masing tiga perbedaan dan persamaan antara sel prokariotik dengan sel eukariotik? jelaskan!
3. Jelaskan perbedaan inti sel antara sel prokariotik dengan sel eukariotik!.

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Secara umum sel ini terdiri atas 3 bagian utama, yaitu membran sel, sitoplasma, dan inti sel. Membran sel merupakan selaput yang terletak paling luar yang menjadi batas antara sel dengan lingkungan disekitarnya. Sedangkan sitoplasma merupakan cairan matrik yang terdapat diantara membran plasma dan inti sel, yang terdiri atas sitosol, sitoskeleton, inklusi dan organel. Sedangkan inti sel merupakan bagian dari sel yang mengandung kromosom.

Berdasarkan struktur ultra sel, maka sel dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu sel Eukariotik dan sel Prokarotik. Sel prokaryotik merupakan sel yang tidak mempunyai membran inti. Inti sel yang berisi materi genetik hanya merupakan massa yang memiliki kekentalannya lebih tinggi jika dibandingkan dengan sitoplasma sehingga disebut sebagai nukleoid. Sedangkan sel eukariotik

merupakan sel yang memiliki membran inti sel, serta memiliki sistem endomembran (membran dalam), yakni terdapat organel-organel bermembran seperti retikulum endoplasma, kompleks golgi, mitokondria, dan organel lainnya.



TES FORMATIF

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Berdasarkan struktur ultra sel, maka sel dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu.....
 - a. Sel Hewan dan Sel Tumbuhan
 - b. Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik
 - c. Uniseluler dan Multiseluler
 - d. Mikromolekul dan Makromolekul
 - e. Seluler dan Aseluler
2. Contoh organisme eukariotik uniseluler adalah
 - a. E. Coli
 - b. Protozoa
 - c. *Quercus sundaica*
 - d. Tumbuhan
 - e. Hewan
3. Membran plasma memiliki 3 komponen penyusun utama, yaitu.....
 - a. Karbohidrat, Lipid dan Protein
 - b. Asam amino, Vitamin dan Lipid
 - c. Lipid, Sukrosa dan Asam Amino
 - d. Asam nukleat, Sitosol dan Karbohidrat
 - e. Asam nukleat, Sitosol dan Karbohidrat
4. Di dalam sel terdapat cairan hidup yang disebut
 - a. Membran Plasma
 - b. Nukleus
 - c. Nukleolus
 - d. Sitoplasma
 - e. Asam Nukleat

5. Komponen utama sitosol adalah
- Sitoskeleton
 - Garam
 - Karbohidrat
 - Protein
 - Air
6. Arti eukarotik di bawah ini yang paling sesuai adalah.....
- Organisme hidup
 - Tidak memiliki inti sel
 - Memiliki membran plasma
 - Memiliki membran inti sel sejati
 - Tidak memiliki dinding sel
7. Sel prokariotik memiliki ciri-ciri di bawah ini, *kecuali*.....
- Mempunyai ribosom
 - Memiliki kromosom
 - Memiliki membran plasma
 - Memiliki sitoplasma
 - Mempunyai membran inti sel
8. Inti sel berfungsi sebagai tempat untuk melakukan....
- Sekresi
 - Respirasi sel
 - Absorsi
 - Transportasi zat
 - Sintesis ribosom
9. Struktur sel yang berfungsi sebagai alat transportasi zat yang keluar dan masuk ke dalam sel atau sebaliknya, adalah....
- Ribosom
 - Inti Sel
 - Vakuola
 - Mitokondria
 - Membran sel

10. Berikut merupakan bagian sitoplasma, *kecuali*....

- a. Sitosol
- b. Sitoskeleton
- c. Inklusi
- d. Organel
- e. Membran plasma

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir Bab 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 Bab selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

BAB 3

STRUKTUR DAN FUNGSI ORGANEL SEL

Berdasarkan struktur ultra sel, maka sel dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu sel eukariotik dan sel prokariotik. Sel prokariotik merupakan sel yang tidak mempunyai membran inti dan tidak mempunyai organel, sehingga struktur selnya masih sangat sederhana. Sedangkan sel eukariotik merupakan sel yang memiliki membran inti sel, serta memiliki sistem endomembran (membran dalam), yakni terdapat organel-organel bermembran seperti retikulum endoplasma, kompleks golgi, mitokondria, dan organel lainnya. Adapun contoh sel eukariotik adalah protozoa, hewan dan juga tumbuhan.

A. ORGANEL SEL

Di dalam sel eukaryot terdapat banyak organel yang mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Struktur ultra sel dengan macam-macam organelnya adalah sebagaimana berikut:

1. Nukleus

Inti sel atau nukleus merupakan organel terbesar yang berada di dalam sel nukleus berdiameter 10 mikrometer. Nukleus biasanya terletak di tengah sel dan berbentuk bulat dan oval. Nukleus sering disebut inti sel mengandung kromosom. Di dalam kromosom terdapat DNA, dan pada DNA terangkai banyak gen yang berfungsi dalam membawa sifat keturunan dari orang tua ke keturunannya. Inti sel dibungkus oleh suatu membran, membran lipid bilayer, sehingga terpisah dari sitoplasma. Di dalam inti sel terdapat suatu massa yang bergranula, yang disebut sebagai anak inti atau nukleolus. Di dalam nukleolus terjadi sintesis rRNA, yang kemudian di kemas dengan protein yang diimport dari sitoplasma menjadi subunit ribosom yang besar maupun kecil. Subunit ribosom besar maupun kecil selanjutnya dibawa keluar dari nukleus melalui pori-pori membran inti menuju ke sitoplasma. Sub unit ribosom kecil dan sub unit ribosom besar

kemudian diasembling menjadi ribosom. Setiap nukleus dapat memiliki dua atau lebih nukleolus, tergantung spesiesnya. Di dalam inti sel jugaterjadi transkripsi, yang menghasilkan mRNA, yang selanjutnya mRNA tersebut ditransfer ke luar inti sel melalui pori-pori membran inti, menuju ke ribosom.

2. Retikulum Endoplasma

Retikulum berasal dari kata reticular yang berarti anyaman benang atau jalakarena letaknya memusat pada bagian dalam sitoplasma (endoplasma),maka disebut sebagai retikulum endoplasma (disingkat RE).RE hanya dijumpai di dalam sel eukariotik, baik sel hewan maupun sel tumbuhan. Retikulum Endoplasma adalah organella yang mempunyai hubungan dengan beberapa sistem endomembran. Sistem endomembran yang dimaksud adalahmembran inti, RE, badan golgi, lysosom, vesikel, vakuola dan membran plasma, di mana sistem endomembran ini banyak bekerja dalam sintesis protein (tempat sintesis protein, penyempurnaan hasil sintesis protein, penyimpanan hasil sintesis protein, maupun ekspor protein ke luar sel). Membran RE dalam bentuk lamella yang merupakan kelanjutan dari membran inti. Terdapat dua macam RE, yaitu 1) RE kasar, karena di permukaan membrannya melekat ribosom yang fungsinya untuk sintesi protein. RE kasar pada sel pankreas mensintesis protein yang berfungsi sebagai hormon insulin, yang kemudian disekresikan pada aliran darah. Hormon insulin tersebut dalam bentuk glycoprotein; 2) RE halus, karena di permukaan membrannya tidak ada melekat ribosom. Adapun fungsi dari RE halus adalah: sintesis lipid, metabolisme karbohidrat, detoksifikasi obat dan racun, dan menyimpan ion kalsium.

Sitoplasma sel hewan dan tumbuh-tumbuhanditembusi oleh membran yang komplek dan membentuk satu kesatuan fungsi yang erat.Organel sel ini ditemukan oleh Porter dkk tahun 1945. Organel sel ini merupakan bangunan yang berbentuk ruangan ruangan yang berdingding membran saling berhubungan membentuk suatu anyaman.

Disebut sebagai retikulum endoplasmakarena strukturnya sebagai anyaman dan untuk sebagian besar terdapat dalam endoplasma.Dengan

diketemukannya retikulum endoplasma ini, sebuah sel sel tidak dapat lagi dianggap sebagai kantong yang berisi enzim, RNA, DNA dan larutan bahan bahan yang dibatasi oleh membran luar seperti pada bakteri yang primitif. Banyak rongga rongga yang dibatasi oleh membran yang bertanggung jawab atas fungsi sel yang vital diantaranya pemisahan dan himpunan sistem enzim. Retikulum endoplasmaterbagi menjadi dua berdasarkan ada tidaknya butir butir ribosom pada permukaannya yaitu retikulum endoplasma kasar yang mempunyai ribosom pada permukaannya dan retikulum endoplasma halus yang tidak memiliki. Retikulum Endoplasma Kasar

Retikulum endoplasma kasar pada permukaan luarnya dapat ditemukan butir butir ribosom. Ribosom ini menempel pada retikulum endoplasma kasar seperti juga ribosom bebas, tersusun dalam kelompok kelompok yang kadang kadang terlihat seperti lukisan yang melingkar lingkar. Seperti telah diutarakan pada bagian organel sel: ribosom, ribosom berhubungan dengan molekul RNA. Sub unit besar dari ribosom menempel pada membran vesikel Retikulum endoplasma sedang subunit kecil bebas. Hasil sintesis protein sebagai benang polipeptida akan disimpan dalam ruangan retikulum endoplasma melalui lubang lubang yang terdapat pada membran retikulum endoplasma. Struktur membran retikulum endoplasma pada dasarnya tidak berbeda dengan struktur membran sel, yaitu terdiri dari dua lapisan lipid. Pada saatnya nanti kandungan protein sebagai hasil sintesis akan diangkut ke dalam kompleks golgi, dengan cara melepaskan dalam gelembung gelembung kecil (mikrovesikel). Mikrovesikel tersebut sudah tidak memiliki butir butir ribosom pada permukaan luarnya. Retikulum endoplasma kasar banyak ditemukan dalam sel sel kelenjar, terutama pada sel sel kelenjar yang sedang aktif mensintesis sekretnya; pada membran retikulum endoplasma. Struktur membran retikulum endoplasma pada dasarnya tidak berbeda dengan struktur membran sel, yaitu terdiri dari dua lapisan lipid. Pada saatnya nanti kandungan protein sebagai hasil sintesis akan diangkut ke dalam kompleks golgi, dengan cara melepaskan dalam gelembung gelembung kecil (mikrovesikel). Mikrovesikel tersebut sudah

tidak memiliki butir-butir ribosom pada permukaannya. Retikulum endoplasma kasar banyak ditemukan dalam sel-sel kelenjar, terutama pada sel-sel kelenjar yang sedang aktif mensintesis sekretnya; pada pewarnaan tampak basofil karena banyaknya retikulum endoplasma kasar. Masing-masing ruangan mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda pada retikulum endoplasma kasar, yang kemudian dapat dibedakan tiga jenis

- a. Sisterna, ruangan pada retikulum endoplasma yang berbentuk ruangan gepeng, yang kadang-kadang tersusun berlapis-lapis dan saling berhubungan.
- b. Tubuler, berbentuk sebagai pipa-pipa kecil yang saling berhubungan.
- c. Vesikuler, ruangan pada retikulum endoplasma yang berbentuk seperti gelembung-gelembung kecil berlapis.

Dengan menggunakan mikroskop cahaya, pada daerah basal sel kelenjar pankreas, anda akan dapat melihat susunan retikulum endoplasma kasar yang memiliki gambaran garis-garis basofil yang terdiri atas ruangan-ruangan gepeng yang permukaannya penuh dengan butir-butir ribosom. Sel-sel jenis lain yang bukan tergolong dalam sel kelenjar, seperti misalnya fibroblas, osteoblas, plasmasit, sel saraf juga memiliki retikulum endoplasma kasar, karena sel-sel termasuk dalam kelompok ini juga mensintesis protein yang sesuai dengan fungsinya. Contoh pada plasmasit mensintesis antibodi, fibroblas menghasilkan tropokolagen dan sebagainya. Retikulum Endoplasma Halus Retikulum endoplasma halus dan retikulum endoplasma kasar memiliki perbedaan struktur dalam dua hal, yaitu tidak memiliki ribosom pada permukaan membrannya dan sebagian besar berbentuk tubuler yang saling berlawanan.

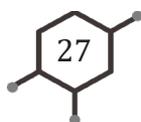
Kadang-kadang dapat diamati bahwa retikulum endoplasma halus ini saling berhubungan dengan retikulum endoplasma kasar. Jumlah retikulum endoplasma halus dalam sebuah sel sangat bergantung pada tipe atau jenis sel bersangkutan, sehingga hanya pada jenis-jenis sel tertentu saja retikulum endoplasma halus ini tampak sangat menonjol. Keberadaan retikulum endoplasma halus dapat dideteksi dengan mikroskop elektron. Diduga bahwa antara dua jenis retikulum endoplasma terdapat hubungan

erat dengan melepaskan ribosomnya, retikulum endoplasma kasar dapat diubah menjadi retikulum endoplasma halus. Fungsi retikulum endoplasma ini bermacam-macam, yaitu tergantung pada tugas sel yang bersangkutan. Yang jelas tidak ada hubungannya dengan sintesis protein, melainkan memiliki hubungan dengan metabolisme atau pemisahan zat-zat tertentu, misalnya:

Sintesis lipid, kolesterol, dan hormon steroid serta metabolisme lipid. b. Detoksikasi obat-obatan dalam hepar. Pembentukan glikogen dalam sel-sel hepar dan otot seran lintang (otot lurik). d. Metabolisme minerale. Transportasi lipid pada sel-sel epitel usus. Fungsi Retikulum endoplasma halus dalam pembentukan fosfolipid untuk membran. Sebelumnya pada bagian membran setelah dijelaskan bahwa pada membran sel terdapat protein, hal yang sama terjadi pada organel organel sel bermembran lainnya termasuk retikulum endoplasma. Protein tersebut merupakan enzim yang diperlukan untuk biosintesis lipid. Fosfolipid dan kolesterol yang merupakan kerangka dasar membran sel disintesis pada membran retikulum endoplasma halus, kecuali untuk asam lemak dan fosfolipid mitokondria. Fosfolipid utama yang terdapat dalam retikulum endoplasma adalah fosfatidilkolin yang juga disebut lesitin. Sintesis lesitin ini sendiri melalui tiga tahapan dari dua asam lemak dengan gliserol fosfat dan tiap tahapnya membutuhkan enzim sebagai katalisator. Fungsi sesungguhnya dari retikulum endoplasma halus adalah sebagai pabrik penghasil membran oleh karena itu selain sintesis molekul molekul lipid juga mensintesis protein dalam membran tersebut

3. Ribosom

Ribosom adalah tempat sintesis protein tepatnya adalah translasi. Translasi adalah proses sintesis protein dengan mRNA sebagai cetaknya. Ribosom merupakan kompleks antara rRNA dengan protein. Sel-sel yang memiliki kecepatan sintesis protein tinggi memiliki banyak ribosom, bahkan sampai beberapa juta ribosom. Terdapat dua macam ribosom, yaitu ribosom yang terikat pada membran RE kasar, dan ribosom yang bebas berada di dalam sitoplasma. Kedua macam ribosom memiliki struktur yang mirip.



Ribosom bebas sebagai tempat untuk sintesis protein yang difungsikan di dalam sitosol, sedangkan protein yang disintesis pada ribosom terikat digunakan pada membran itu sendiri atau di ekskresikan ke luar sel. Contoh protein yang diproduksi pada ribosom bebas adalah enzim yang berfungsi dalam mengkatalisa penguraian. Sedangkan protein yg diproduksi Ribosom terikat contohnya enzim yang diproduksi oleh pankreas yang disekresikan ke usus halus untuk proses pencernaan protein.

4. Mitokondria

Mitokondria merupakan organel sel yang berbentuk elips berukuran ± 2 mikrometer dengan diameter $\pm 0,5$ mikrometer, serta memiliki system membrane ganda. Permukaan membrane luas halus, sedangkan membrane dalam terdapat lipatan dalam yang disebut krista. Selain itu, di dalam mitokondria juga terdapat sebuah ruangan atau matriks yang berisi cairan yang mengandung matriks.

Mitokondria berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses respirasi sel, yang dapat mengubah karbohidrat menjadi sumber energi (ATP). Mitokondria juga terdapat enzim yang berfungsi dalam siklus Krebs. Ada sel yang hanya memiliki satu mitokondria besar, tetapi ada yang memiliki banyak mitokondria. Sel dengan aktivitas tinggi, biasanya akan memiliki jumlah mitokondria lebih banyak dibandingkan dengan sel yang aktivitasnya kurang. Adapun control sel yang memiliki mitokondria dengan jumlah banyak adalah sel yang terletak pada hati, jantung dan otot.

Dalam mitokondria terdapat DNA, dan hanya diturunkan dari ibu. DNA mitokondria bersifat haploid (n). Perbedaan antara DNA nukleus dan DNA mitokondria terdapat dalam jumlah genom keduanya. Genom DNA mitokondria lebih sedikit, hal ini dikarenakan secara garis besar hanya membawa gen yang berfungsi pada proses respirasi selular.

5. Badan Golgi

Badan golgi atau dikenal dengan sebutan apparatus golgi, kompleks golgi, atau diktiosom. Badan golgi terletak di dekat membrane sel, dan memiliki bentuk seperti lumen atau kantung. Kantung tersebut dapat dilepas

dan dapat membentuk kantung kecil atau vesikel. Badan golgi memiliki fungsi untuk memodifikasi, mengemas serta menyeleksi yang ada di dalam sel. Molekul yang akan ditransportasikan tersebut akan terbungkus oleh vesikula.

Badan golgi terdapat hampir disemua sel eukariotik, dan biasanya banyak ditemukan pada organel yang memiliki fungsi ekskresi, seperti ginjal. Badan golgi pada sel tumbuhan disebut diktiosom, ini mempunyai tugas tambahan, yaitu memproduksi selulosa penyusun dinding sel, sedangkan pada sel tumbuhan badan golgi berfungsi membentuk membrane plasma.

Badan golgi dapat disebut juga dengan nama aparatus Golgi, kompleks Golgi atau diktiosom merupakan sebuah organel yang dikaitkan dengan fungsi ekskresi sel. Badan golgi terdapat hampir di semua sel eukariotik serta banyak dijumpai pada organ tubuh yang melakukan fungsi ekskresi, misalnya pada ginjal. Setiap sel pada hewan mempunyai ± 10 badan Golgi, pada sel tumbuhan biasanya ditemukan sel yang memiliki badan golgi dengan jumlah lebih banyak.

6. **Badan Mikro**

Badan mikro tersebar di dalam sitoplasma, dan memiliki bentuk bulat, bermembran serta berisi kristal protein. Terdapat 2 tipe badan mikro yaitu peroksisom dan glioksisom. Tipe peroksisom dapat dijumpai pada sel hewan maupun sel tumbuhan, dan bertugas menetralkan racun, serta memproduksi enzim katalase yang memiliki fungsi mengurai hydrogen peroksida yang bersifat racun berubah menjadi hydrogen dan oksigen yang bermanfaat bagi tubuh. Sedangkan tipe glioksisom hanya dapat dijumpai pada sel tumbuhan saja, dan bertugas untuk melakukan metabolisme lemak, jadi lemak dalam tubuh dapat diubah menjadi karbohidrat.

7. **Lisosom**

Lisosom (lyso = pencernaan, soma = tubuh) merupakan membran berbentuk kantong kecil yang berisi enzim hidrolitik yang disebut lisozim. Enzim ini berfungsi dalam pencernaan intrasel, yaitu mencerna zat-zat yang masuk dalam sel. Lisosom berasal dari bahasa Yunani yang artinya badan

pemecah, bentuknya seperti vesikel, bulat seperti bola, dan berupa kantong. Dihasilkan oleh RE kasar dan badan Golgi, badan Golgi membentuk molekul yang kemudian dilepaskan menjadi lisosom. Di dalam lisosom berisi enzim-enzim hidrolitik yang fungsinya mencerna bahan makanan yang masuk ke dalam sel atau makromolekul, selain itu lisosom juga menghancurkan organel yang rusak. Lisosom hanya ditemukan pada sel hewan dan tidak ditemukan pada sel tumbuhan. Hal tersebut terjadi karena pada sel tumbuhan fungsi lisosom juga dijalankan oleh organel vakuola.

8. Vakuola

Vakuola merupakan organel yang dapat ditemukan pada sel hewan maupun sel tumbuhan. Pada sel hewan vakuola biasanya memiliki ukuran yang lebih kecil, sedangkan pada sel tumbuhan biasanya memiliki ukuran yang lebih besar. Vakuola memiliki fungsi sebagai tempat untuk menyimpan cadangan makanan, menampung sisa proses pencernaan makanan, serta mengatur konsentrasi air dalam sel. Pada sel eukariotik uniseluler disebut sebagai vakuola kontraktil, yang berfungsi mengatur tekanan osmotik dan mengatur konsentrasi air dalam sel.

9. Sentrosom

Sentrosom merupakan organel yang dapat dilihat ketika sel mengadakan pembelahan. Pada sentrosom terdapat 2 sentriol yang memiliki peran penting dalam proses pembelahan sel, yang berfungsi menghasilkan benang-benang spindle yang nantinya akan terbagi merata pada dua sel anakan yang dihasilkan dalam proses pembelahan. Sentrosom hanya dijumpai pada sel hewan, sedangkan pada sel tumbuhan tidak.

10. Plastida

Plastida merupakan organel yang hanya ditemukan pada sel tumbuhan. Organel ini memiliki fungsi membantu proses fotosintesis serta mampu menghasilkan pigmen pada tumbuhan. Terdapat berbagai macam plastida pada sel tumbuhan, yaitu kloroplas, leukoplas, kromoplas, dan lain seterusnya.

Kloroplas merupakan jenis plastida yang memiliki klorofil yang membantu proses fotosintesis. Sedangkan leukoplas tidak memiliki pigmen

dan berfungsi menyimpan cadangan makanan. Sedangkan kromoplas merupakan jenis plastida berpigmen yang berfungsi memberikan warna pada bunga.

B. Persamaan Dan Perbedaan Antara Sel Hewan Dan Sel Tumbuhan

Berikut ini merupakan tabel persamaan dan perbedaan antara sel hewan dan sel tumbuhan

Tabel 1. Persamaan dan Perbedaan antara sel sel hewan dan sel tumbuhan

Struktur	Sel Hewan	Sel Tumbuhan
Retikulum endoplasma	Ada	Ada
Ribosom	Ada	Ada
Mitokondria	Ada	Ada
Badan Golgi	Ada	Ada
Badan Mikro	Ada	Ada
Lisosom	Ada	Tidak ada
Vakuola	Ada (dengan ukuran kecil)	Ada (dengan ukuran besar)
Sentrosom	Ada	Tidak ada
Plastida	Tidak ada	Ada



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Sebutkan organel apa saja yang terdapat dalam sel hewan? Jelaskan!
2. Sebutkan organel apa saja yang terdapat dalam sel tumbuhan? Jelaskan!
3. Sebutkan fungsi dari masing-masing organel sel!

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Pada sel eukariotik terdapat berbagai macam organel, yaitu: organel Retikulum Endoplasma (RE) dapat ditemukan pada sel tumbuhan maupun sel hewan. Terdapat 2 tipe RE, yaitu kasar dan halus. RE kasar berfungsi membantu proses sintesis protein. Sedangkan RE halus berfungsi membantu proses metabolisme karbohidrat, sintesis lemak, serta proses detoksifikasi obat dan racun. Sedangkan ribosom berbentuk seperti butiran kecil yang dapat ditemukan pada RE kasar dan menyebar di sitoplasma, dan berfungsi melakukan sintesis protein.

Mitokondria merupakan organel sel berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses respirasi sel, yang dapat mengubah karbohidrat menjadi sumber energi (ATP). Dalam mitokondria terdapat DNA, dan hanya diturunkan dari ibu. DNA mitokondria bersifat haploid (n). Sedangkan badan golgi atau dikenal dengan sebutan apparatus golgi, kompleks golgi, atau diktiosom. Badan golgi berfungsi melakukan ekskresi sel. Sedangkan badan mikro tersebar di dalam sitoplasma, dan memiliki bentuk bulat, terdapat 2 tipe badan mikro yaitu peroksisom dan glioksisom.

Lisosom hanya ditemukan pada sel hewan dan tidak ditemukan pada sel tumbuhan, dan berfungsi melakukan proses pencernaan intrasel. Vakuola merupakan organel yang dapat ditemukan pada sel hewan maupun sel tumbuhan. Vakuola memiliki fungsi sebagai tempat untuk menyimpan cadangan makanan, menampung sisa proses pencernaan makanan, serta mengatur konsentrasi air dalam sel. Sentrosom merupakan organel yang dapat dilihat ketika sel mengadakan pembelahan sel dan hanya dijumpai pada sel hewan, sedangkan pada sel tumbuhan tidak.

Plastida merupakan organel yang hanya ditemukan pada sel tumbuhan. Terdapat berbagai macam plastida pada sel tumbuhan, yaitu kloroplas, leukoplas, kromoplas, dan lain seterusnya. Kloroplas memiliki klorofil yang membantu proses fotosintesis. Leukoplas berfungsi

menyimpan cadangan makanan. Sedangkan kromoplas merupakan jenis plastida berpigmen yang berfungsi memberikan warna pada bunga.



TES FORMATIF

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Berikut ini manakah yang merupakan fungsi dari organel Retikulum Endoplasma Kasar.....
 - a. Metabolism lemak
 - b. Menyimpan cadangan makanan
 - c. ekskresi sel
 - d. Sintesis protein
 - e. Mengatur tekanan osmotik
2. Berikut ini manakah yang merupakan fungsi dari organel vakuola.....
 - a. Metabolism lemak
 - b. Menyimpan cadangan makanan
 - c. ekskresi sel
 - d. Sintesis protein
 - e. Mengatur tekanan osmotik
3. Pada tumbuhan terdapat organel yang berfungsi memberikan warna pada bunga, organel apakah yang dimaksud....
 - a. Klorofil
 - b. Kloroplas
 - c. Leukoplas
 - d. Kromoplas
 - e. Peroksisom
4. Organel badan mikro dalam sel dapat dibagi menjadi 2 tipe, yaitu....
 - a. Sentrosom dan sentriol
 - b. Sentrosom dan peroksisom
 - c. Sentrosom dan glioksisom

- d. Sentiol dan glioksisom
 - e. Peroksisim dan glioksisom
5. Manakah organel dibawah ini yang berfungsi menghasilkan sentirol yang nantinya membentuk benang-benang spindle pada proses pembelahan sel adalah.....
- a. Peroksisom
 - b. Ribosom
 - c. Sentrosom
 - d. Lisosom
 - e. Glioksisom
6. Berikut ini manakah yang berfungsi melakukan metabolisme lemak menjadi karbohidrat
- a. Peroksisom
 - b. Ribosom
 - c. Sentrosom
 - d. Lisosom
 - e. Glioksisom
7. Berikut ini manakah organel yang berfungsi melakukan proses sintesis protein
- a. Peroksisom
 - b. Ribosom
 - c. Sentrosom
 - d. Lisosom
 - e. Glioksisom
8. Berikut ini manakah yang merupakan fungsi dari organel badan golgi.....
- a. Pencernaan intrasel
 - b. Menyimpan cadangan makanan
 - c. Ekskresi sel
 - d. Sintesis protein
 - e. Mengatur tekanan osmotic

9. DNA pada organel mitokondria bersifat...
- Uniseluler
 - Multiseluler
 - Haploid (n)
 - Diploid (2n)
 - Semua salah
10. Berikut ini manakah yang merupakan fungsi dari organel badan golgi.....
- Pencernaan intrasel
 - Menyimpan cadangan makanan
 - Ekskresi sel
 - Sintesis protein
 - Mengatur tekanan osmotik

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir Bab 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 Bab selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

BAB 4

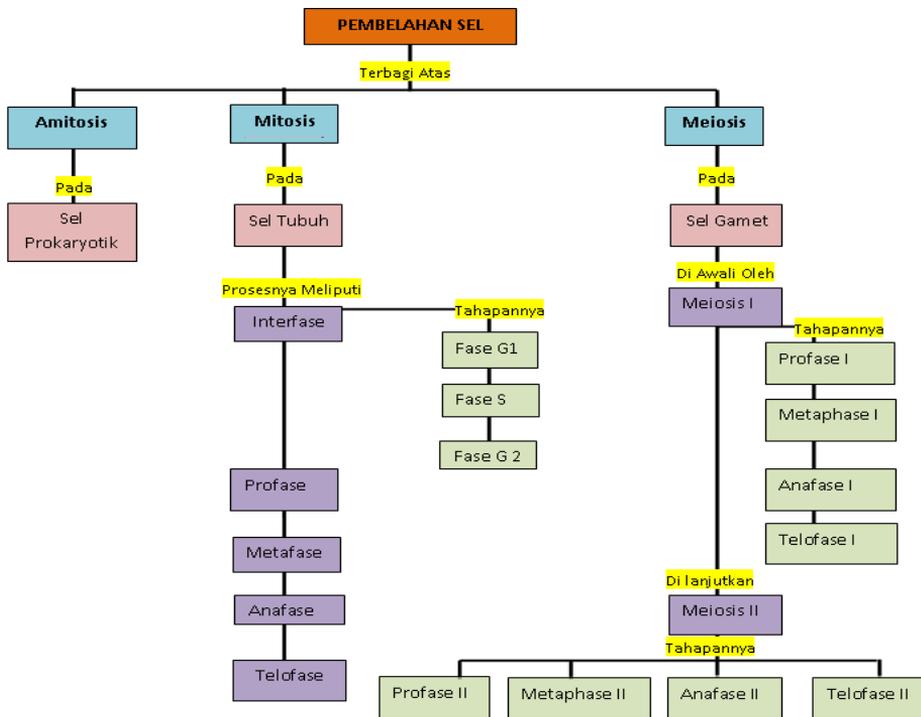
REPRODUKSI SEL

Teorinya menyatakan bahwa *omnis cellula e cellula*, yang artinya semua sel hidup selalu berasal dari sel yang telah ada sebelumnya atau disebut dengan *omnis cellula e cellula*. Pernyataan tersebut dicetuskan oleh ilmuwan yang bernama Rudolf Virchow pada tahun 1855. Melalui proses reproduksi akan terjadi pembentukan sel baru atau sel anakan yang berasal dari sel yang sudah ada sebelumnya. Reproduksi merupakan kemampuan makhluk hidup untuk menghasilkan keturunan sehingga dapat terus melestarikan jenisnya, baik pada organisme uniseluler maupun multiseluler. Pada organisme uniseluler proses reproduksi berlangsung lebih sederhana jika dibandingkan dengan organisme multiseluler.

Reproduksi menjadi salah satu ciri utama pembeda antara organisme hidup dengan organisme tak hidup. Dalam fase reproduksi terdapat hal penting yaitu dihasilkannya keturunan yang membawa atau mewarisi material genetik dalam bentuk molekul DNA dari induknya. Oleh sebab itu untuk memahami fenomena reproduksi pada organisme kita perlu terlebih dahulu belajar mengenai dasar selular yang mencakup pembelahan sel atau reproduksi sel. Karena reproduksi tingkat sel merupakan dasar dari reproduksi organisme.

A. TIPE – TIPE REPRODUKSI SEL

Terdapat tiga jenis reproduksi atau pembelahan sel, yaitu amitosis, mitosis dan meiosis (pembelahan reduksi). Bagan tipe-tipe reproduksi atau pembelahan sel dapat dilihat pada gambar 1 sebagaimana berikut:



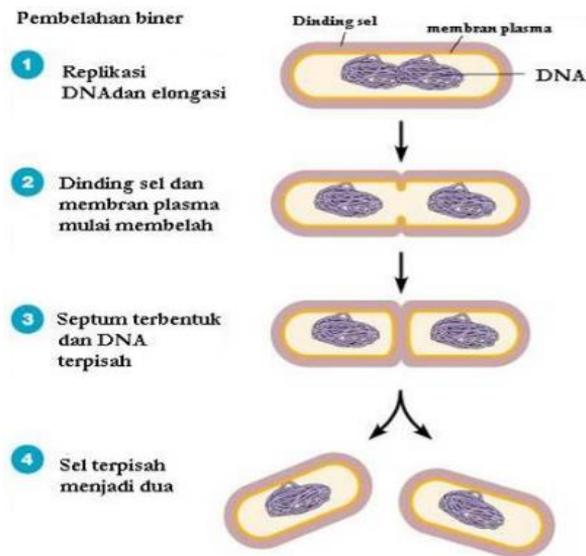
Gambar 1. Tipe-tipe pembelahan sel

1. Amitosis atau Pembelahan Biner

Amitosis merupakan proses reproduksi dimana sel akan membelah diri secara langsung tanpa melalui tahap-tahap pembelahan sel seperti halnya pada pembelahan mitosis dan meiosis. Proses pembelahan amitosis atau biner dapat terjadi pada organisme-organisme yang memiliki sel tunggal, seperti organisme prokariotik, yaitu bakteri, ganggang biru, maupun pada organisme eukariotik uniseluler, yaitu protozoa.

Pembelahan biner berlangsung secara sederhana, yang diawali dengan proses pemanjangan sel dan proses replikasi atau penggandaan materi genetik (DNA), kemudian dilanjutkan dengan sitokenesis, kemudian dinding sel akan membelah pada bagian tengah, dan pada akhirnya akan terbentuk suatu dinding pemisah yang membuat sel

terpisah menjadi 2 bagian yang sama. Pada setiap bagian dari sel anakan akan melakukan proses membentuk menjadi dua bagian sel anakan lagi, dan itu akan terjadi sampai seterusnya. Adapun proses pembelahan biner dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Pembelahan Biner

Pada organisme prokariotik pembelahan biner merupakan suatu metode utama dalam proses reproduksi. Bakteri mampu melakukan proses pembelahan biner dalam kurun waktu setiap 20 menit sekali dalam keadaan normal.

2. Mitosis

Mitosis adalah peristiwa pembelahan sel yang mampu menghasilkan 2 anakan sel yang serupa secara genetik. Pembelahan mitosis hanya terjadi pada sel eukariotik, sedangkan pada sel prokariotik seperti bakteri dan ganggang biru tidak dapat melakukannya karena tidak memiliki nukleus (inti sel), membran inti sel dan seterusnya.

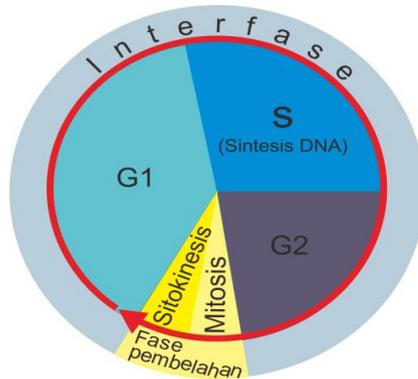
Proses pembelahan mitosis terjadi pada sel tubuh atau autosom. Pembelahan mitosis pada sel tumbuhan terjadi di jaringan meristem, seperti ujung akar dan ujung tunas batang. Pembelahan mitosis

mempunyai fungsi untuk pertumbuhan sel tubuh, mengganti sel-sel tubuh yang rusak (regenerasi), serta untuk mempertahankan jumlah kromosom.

Pembelahan mitosis umumnya diikuti dengan sitokinesis, yaitu terjadinya pembagian sitoplasma menjadi dua bagian yang sama untuk dua sel anakan. Proses pembelahan ini menghasilkan dua sel anak yang identik dan masing-masing bersifat diploid ($2n$) memiliki jumlah kromosom yang sama dengan jumlah kromosom induknya.

Sebelum sel memasuki fase mitosis, maka akan terlebih dahulu melakukan fase pendahuluan atau interfase. Sel awal atau sel induk akan menggandakan kromosom sebelum melakukan pembelahan mitosis, hal tersebut bertujuan agar sel anakan yang dihasilkan identik secara genetik dengan induknya. Proses penggandaan kromosom terjadi pada saat pertengahan tahap interfase. Tahap interfase dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) fase, yaitu fase G1 (gap pertama), fase S (sintesis), dan fase G2 (gap kedua).

- Fase G1 atau disebut juga dengan fase pertumbuhan dan perkembangan sel. Fase ini ditandai dengan berkembangnya sitoplasma, organel sel, serta sintesis bahan-bahan yang akan digunakan pada fase berikutnya.
- Fase S, terjadi replikasi atau duplikasi DNA sebagai materi genetik yang akan diturunkan oleh sel induk kepada sel anak. Sehingga pada proses ini nantinya akan dihasilkan dua salinan DNA.
- Fase G2, merupakan fase terakhir dari tahap interfase. Pada fase ini replikasi DNA telah selesai dan terjadi proses sintesis protein sebagai tahap akhir persiapan sel untuk melakukan pembelahan.



Gambar 3. Siklus Sel

Mitosis adalah cara reproduksi sel dimana sel melakukan proses pembelahan melalui tahapan yang teratur. Adapun tahapan mitosis meliputi tahap profase, metafase, anafase, dan telofase yang akan dijelaskan secara rinci sebagaimana berikut ini:

a. Profase

Begitu fase G2 berakhir, maka selanjutnya sel akan masuk ke tahap awal pembelahan, yaitu dimulainya tahap profase. Pada tahap ini, sentrosom mengalami replikasi, sehingga menghasilkan dua sentrosom. Setiap sentrosom kemudian akan bergerak ke kutub-kutub inti sel yang letaknya berlawanan. Pada saat yang bersamaan mulai terlihat mikrotubulus di antara dua sentrosom. Mikrotubulus berupa serat protein yang memanjang dari sentriol ke segala arah. Kemudian lama-kelamaan mikrotubulus akan menjadi gulungan benang atau disebut sebagai benang-benang spindel (gelendong).

Pada tahap ini juga, di dalam nukleus benang-benang kromatin menebal dan memendek membentuk kromosom. Tiap lengan kromosom, berduplikasi membentuk dua kromatid (kromatid kembar) yang terikat pada sentromer, namun membran inti sel masih menyelimuti kromatid tersebut.

b. Metafase

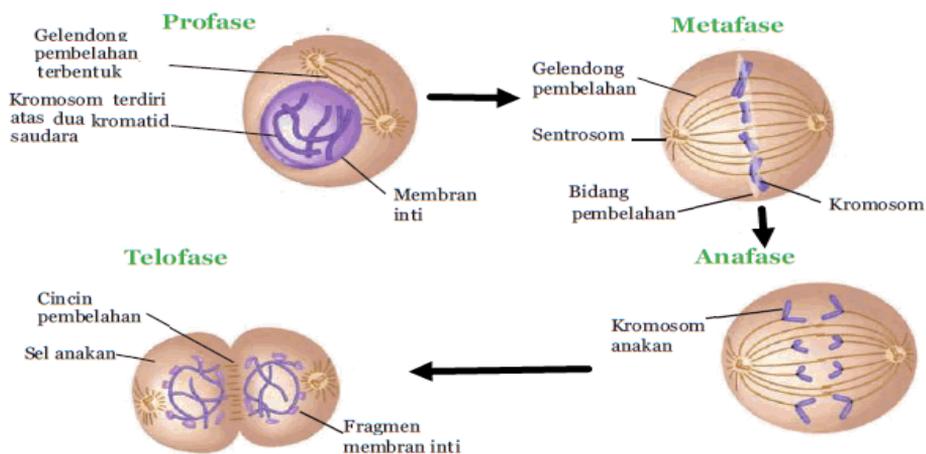
Pada tahap ini ditandai dengan hilangnya membran inti sel. Sentromer melekat atau terikat pada benang-benang spindel, kemudian pasangan kromatid bergerak kebagian tengah inti sel atau bagian ekuator dan membentuk lempeng metafase.

c. Anafase

Pada tahap anafase terjadi pemisahan kromatid dari bagian sentromer yang kemudian akan membentuk kromosom baru. Setiap kromosom akan ditarik oleh benang-benang spindel dan dibawa menuju kutub yang saling berlawanan. Pada masing-masing kutub memiliki jumlah kromosom yang sama. Tahap akhir dari anafase dapat diamati bahwa kromosom hampir sampai ke kutubnya masing-masing. Selain itu juga mulai terjadi proses sitokinesis (fase pembelahan atau pemisahan sitoplasma, organel, dan membran selular).

d. Telofase

Telofase merupakan tahap akhir dari pembelahan mitosis. Tahap ini ditandai dengan mulai menghilangnya benang-benang spindel. Pada fase telofase sudah terbentuk dua inti sel (kariokinesis) yang ditandai dengan terbentuknya membran inti, dan ditandai dengan adanya pemisahan sitoplasma (sitokinesis), dan akhirnya dihasilkan dua sel anakan yang bersifat diploid ($2n$) atau memiliki jumlah kromosom yang sama dengan sel induknya.



Gambar 4. Pembelahan Mitosis

3. Meiosis

Pembelahan meiosis atau disebut juga sebagai pembelahan reduksi. Karena jumlah kromosom sel anak akan berkurang atau mengalami

reduksi menjadi separuh dari jumlah kromosom sel induk. Hal tersebut bertujuan agar jumlah kromosom individu tersebut dapat terjaga dari generasi ke generasi. Peristiwa fertilisasi akan mengembalikan jumlah kromosom menjadi seperti semula, karena saat terjadi fertilisasi antara gamet jantan yang bersifat haploid (n) dengan gamet betina yang bersifat haploid (n) akan membentuk zigot yang bersifat diploid ($2n$). Adapun ciri dari pembelahan meiosis adalah sebagaimana berikut:

- a. Terjadi pada sel kelamin atau gamet
- b. Menghasilkan 4 sel anakan yang bersifat haploid (n) dari sel induk yang bersifat Diploid ($2n$), yang berarti Jumlah kromosom sel anak adalah $\frac{1}{2}$ dari jumlah kromosom induknya.

Seperti halnya pada pembelahan mitosis sebelum terjadi proses pembelahan meiosis juga terjadi fase pendahuluan atau interfase. Proses pembelahan meiosis cenderung lebih lama jika dibandingkan dengan pembelahan mitosis. Hal ini karena pada pembelahan meiosis terjadi 2 proses pembelahan, yaitu tahapan meiosis I dan tahapan meiosis II. Adapun penjelasannya adalah sebagaimana berikut:

a. Tahapan Meiosis I

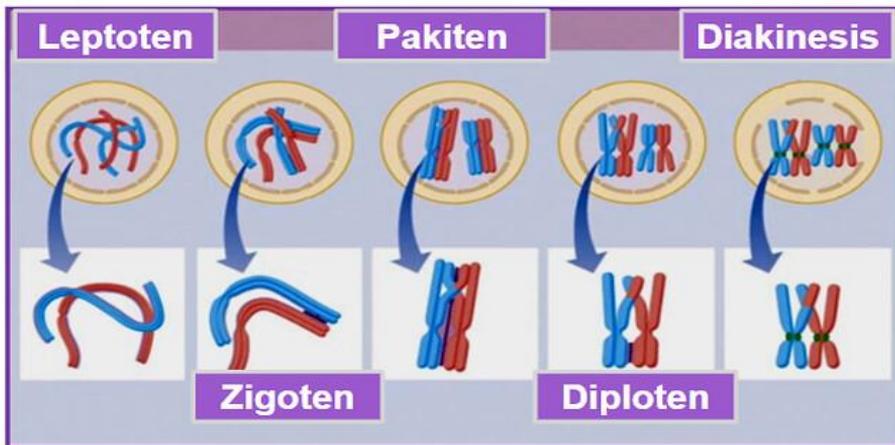
Meiosis I dibagi menjadi 4 (empat) tahapan, yaitu tahap profase I, metafase I, anafase I dan telofase I.

(1) Profase I

Profase I dapat dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

- Leptoten, proses ketika benang-benang kromatin memendek dan menebal membentuk kromosom homolog.
- Zigoten, terjadi ketika kromosom homolog saling berdekatan dan berpasangan (sinapsis), kromosom berpasangan dua-dua disebut bivalen.
- Pakiten, terjadinya penggandaan atau replikasi kromosom, tiap kromosom menjadi dua kromatid dan memiliki satu sentromer.

- Diploten, terjadi pindah silang atau *crossing over*, sehingga akan tampak struktur berbentuk silang (huruf x) yang disebut kiasma antar kromatid bukan kembarannya.
- Diakinesis, terjadi penebalan atau kondensasi maksimal pada kromosom, nukleolus dan membran nukleus mulai menghilang, serta mulai nampak benang-benang gelendong atau spindle.



Gambar 5. Tahapan Profase I pada Pembelahan Meiosis Tahap I

(2) Metafase I

Adapun tahapan yang terjadi pada metafase I adalah sebagai berikut:

- Dinding inti serta nukleolus (anak inti) menghilang, serta sudah terbentuk benang-benang spindle.
- Tiap pasangan kromosom homolog berada pada bidang ekuator karena tarikan benang spindle dari arah yang berlawanan. Dimana sentromer tiap pasang kromosom terikat oleh bidang gelendong atau spindle.

(3) Anafase I

Pada tahap ini, tiap pasang kromosom homolog terpisah atau bergerak ke kutub yang berlawanan. Masing-masing kutub akan mendapatkan separuh dari jumlah kromosom.

(4) Telofase I

Adapun yang terjadi pada tahapan telofase I adalah sebagaimana berikut ini:

- Membran inti serta anak inti (nukleolus) mulai terbentuk kembali
- Terjadi sitokinesis
- Pembentukan membran plasma yang memisahkan sel anakan.
- Terbentuk 2 (dua) sel anakan yang bersifat haploid (n).

b. Meiosis II

Pada pembelahan tahap meiosis II ini berlangsung seperti mitosis, namun sel induk bersifat haploid (n). Adapun tahapan meiosis II adalah sebagaimana berikut ini:

(1) Profase II

Peristiwa yang terjadi pada tahap profase II, diantaranya sebagai berikut :

- Membran nukleus melebur
- Kromatin mulai berkondensasi menjadi kromosom

(2) Metafase II

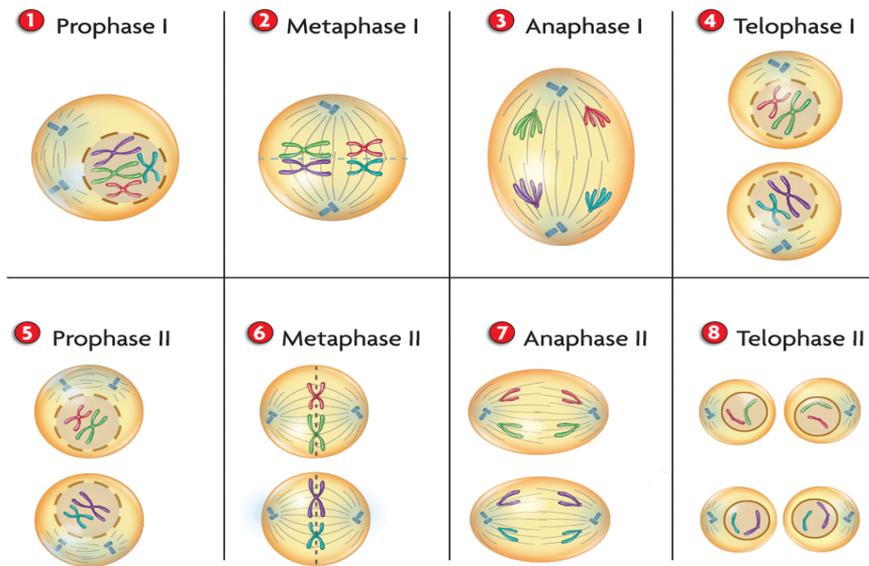
- Pada bidang ekuator terdapat pasangan kromosom homolog
- Masing-masing sentromer melekat pada benang – benang spindle

(3) Anafase II

- Sentromer membelah menjadi dua.
- Kromatid yang berpasangan saling berpisah dan bergerak ke arah kutub yang berlawanan karena tertarik oleh benang-benang spindle (terjadi reduksi kromosom)

(4) Telofase II

- Kromatid yang sudah berada di kutub akan berubah menjadi kromatin.
- Nukleolus dan membran nukleus akan terbentuk kembali.
- Pada bidang pembelahan itu terbentuk sekat atau membran plasma yang membagi sitoplasma tersebut menjadi dua bagian.
- Terbentuk 4 sel anakan yang bersifat haploid (n) artinya jumlah kromosom $\frac{1}{2}$ dari kromosom induknya.



Gambar 6. Pembelahan Meiosis

Pembelahan meiosis hanya terjadi pada organ kelamin dan berfungsi untuk menghasilkan sel gamet agar suatu organisme dapat bereproduksi atau menghasilkan keturunan. Pada manusia maupun hewan tingkat tinggi gamet jantan berupa sel sperma, sedangkan gamet betina berupa ovum (sel telur). Gamet jantan dan betina akan bersatu saat proses fertilisasi. Sel gamet dihasilkan di organ reproduksi, gamet jantan atau sel sperma dihasilkan di dalam testis sedangkan gamet betina atau sel telur dihasilkan di ovarium.

Proses pembentukan gamet disebut dengan gametogenesis. Gametogenesis dibedakan menjadi dua, yaitu spermatogenesis dan oogenesis. Adapun penjelasannya adalah sebagaimana berikut ini:

(1) Spermatogenesis

Spermatogenesis adalah proses produksi dan pematangan sel sperma yang terjadi di dalam testis pria. Pembelahan sel spermatogonium dalam tubulus seminiferus akan menghasilkan sel sperma. Adapun proses spermatogenesis adalah sebagaimana berikut.

- Calon sperma (spermatogonium/ spermatogonia) yang berjumlah ribuan dapat ditemukan pada dinding tubulus seminiferus.

- Spermatogonia harus melewati proses pembelahan mitosis dan akan mengakhiri sel somatisnya dengan membentuk spermatosit primer, baru kemudian siap melakukan pembelahan meiosis.
- Spermatosit primer ($2n$) melakukan pembelahan meiosis I membentuk 2 spermatosit sekunder yang masing-masing bersifat haploid (n)
- Tiap spermatosit sekunder melakukan pembelahan meiosis II, menghasilkan 4 spermatid yang bersifat haploid (n)
- Keempat spermatid ini berkembang menjadi sperma matang yang bersifat haploid yang semua fungsional, berbeda dengan oogenesis hanya menghasilkan 1 sel yang fungsional.
- Sperma yang matang akan menuju epididimis untuk dimatangkan lebih lanjut hingga siap membuahi, kemudian ke vas deferens (saluran sperma)- vesicula seminalis - urethra dan berakhir dengan ejakulasi.

Laki-laki mampu menghasilkan sperma hingga akhir hayatnya. Sel sperma terdiri dari tiga bagian, yaitu kepala yang berbentuk oval, badan, dan ekor yang panjang. Pada bagian kepala terdapat materi genetik (gen), sedangkan bagian ekor berfungsi sebagai alat pergerakan. Sperma memiliki panjang rata-rata sebesar 0,05 milimeter mulai dari bagian kepala hingga ekor. Ketika ejakulasi, sperma yang dilepaskan oleh laki-laki berjumlah hampir 100 juta. Namun, untuk dapat membuahi sel telur hingga berkembang menjadi janin di dalam rahim hanya dibutuhkan satu sel sperma saja. Sel sperma bisa hidup dan bertahan di dalam tubuh perempuan hingga 5 hari. Namun kurang lebih terdapat 32 % sel sperma yang akan mati pasca proses ejakulasi terjadi.

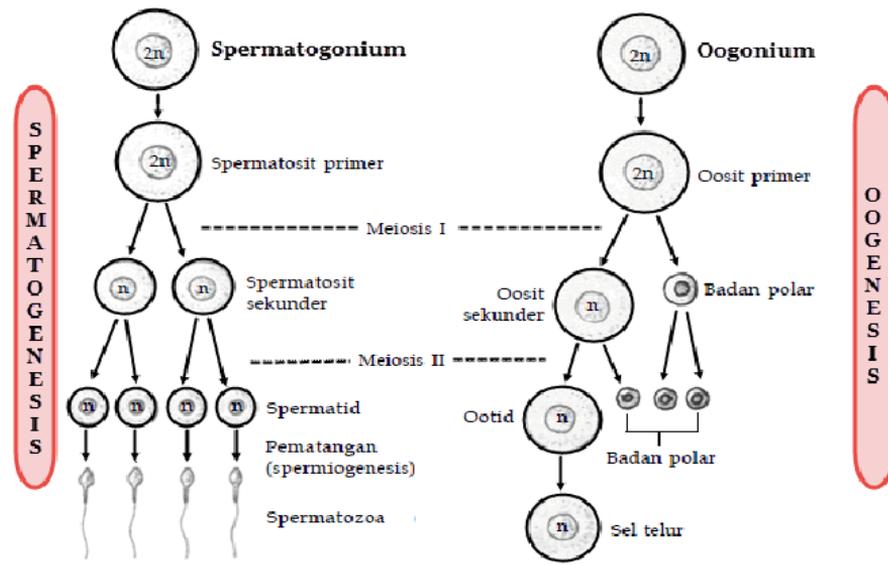
(2) Oogenesis

Merupakan proses pembentukan ovum atau sel telur yang terjadi pada ovarium wanita. Ovum berkembang dari oogonium. Ketika embrio masih berkembang dalam rahim ibunya, ternyata proses oogenesis sudah terjadi. Namun proses tersebut kemudian akan terhenti dan akan berlanjut ketika embrio telah masuk pada masa pubertas. Ovum berkembang pada kantung-

kantung kecil yang berada di dalam ovarium atau disebut folikel. Calon ovum akan mendapatkan nutrisi dari sel-sel yang ada di folikel sampai dapat berkembang menjadi ovum matang yang siap untuk dibuahi oleh sel sperma. Adapun proses oogenesis adalah sebagai berikut.

- Oogonium mengalami pembelahan mitosis dan kemudian menghasilkan 2 (dua) sel oogonium baru.
- Oogonium akan berkembang dan berubah menjadi oosit primer yang bersifat diploid ($2n$).
- Oosit primer kemudian mulai melakukan pembelahan meiosis I hingga terbentuk oosit sekunder. Pada proses oogenesis pembelahan sel terjadi secara tidak merata, terdapat 1 (satu) sel yang hampir memperoleh seluruh sitoplasma yang kemudian berkembang menjadi oosit sekunder, sedangkan sel lain hanya memperoleh sitoplasma dalam jumlah yang sedikit yang kemudian berkembang menjadi badan polar.
- Oosit sekunder memiliki materi genetik yang bersifat haploid (n). Melalui peristiwa ovulasi, oosit sekunder akan keluar dari fosikel yang terletak di dalam ovarium.
- Agar dapat menghasilkan ootid, oosit sekunder harus melakukan pembelahan meiosis II. Pada tahap ini terjadi pembagian sitoplasma yang tidak merata sehingga hanya terbentuk 1 ootid dan 1 badan polar.
- Setelah itu, oosit sekunder yang berukuran lebih besar akan mengalami pembelahan meiosis II. Namun pada tahap ini juga terjadi pembagian sitoplasma yang tidak merata sehingga hanya terbentuk 1 ootid bersifat haploid (n) dan 1 badan polar. Sedangkan badan polar pertama juga akan membelah menjadi dua badan polar
- Ootid akan berkembang menjadi ovum. Apabila ovum dibuahi oleh sel sperma maka akan terjadi proses fertilisasi, namun jika tidak bertemu dengan sel sperma dan pembuahan tidak terjadi, maka siklus oogenesis terulang kembali dan anda juga akan mengalami menstruasi.

Perempuan hanya menghasilkan ovum hingga berumur sekitar 50 tahun. perempuan yang tidak lagi menghasilkan ovum akan memasuki tahapan menopause yang ditandai dengan tidak lagi mengalami menstruasi.



Gambar 7. Proses Spermatogenesis dan Oogenesis

Proses spermatogenesis dan oogenesis memiliki beberapa perbedaan yang sangat mendasar, yaitu:

- Proses spermatogenesis dapat menghasilkan 4 sel sperma, sedangkan proses oogenesis hanya menghasilkan 1 ovum. Hal tersebut terjadi karena pada proses oogenesis terjadi pembagian sitoplasma yang tidak merata.
- Proses spermatogenesis terjadi setelah laki-laki mengalami pubertas, sedangkan proses oogenesis telah dimulai ketika perempuan masih dalam kandungan dan akan kembali terjadi ketika perempuan memasuki masa puber.
- Proses spermatogenesis dapat terjadi pada laki-laki hingga akhir hayatnya, sedangkan proses oogenesis hanya dapat terjadi hingga perempuan berumur kurang lebih 50 tahun.

C. PERBEDAAN MITOSIS DAN MEIOSIS

Berikut ini merupakan perbedaan antara pembelahan mitosis dan pembelahan meiosis.

Tabel 1. Perbedaan Mitosis dan Meiosis

Mitosis	Meiosis
Terjadi pada sel tubuh (autosom)	Hanya terjadi pada se gamet atau kelamin
Hanya terdapat 1 tahap pembelahan	Terdapat 2 tahap pembelahan, yaitu meiosis I dan meiosis II
Tidak terjadi pertukaran segmen kromosom	Terjadi pindah silang antar kromosom homolog yang berpasangan
Sel anakan yang dihasilkan bersifat diploid ($2n$), memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya yaitu 23 pasang kromosom = 46 kromosom	Sel anakan yang dihasilkan bersifat haploid (n), memiliki jumlah kromosom $\frac{1}{2}$ dari induknya yaitu 23 kromosom
Hasil akhir dari pembelahan adalah 2 sel anakan yang sama seperti induknya	Hasil akhir pembelahan berupa 4 sel anakan yang memiliki jumlah kromosom $\frac{1}{2}$ dari induknya



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

- Jelaskan dan berikan contoh:
 - Pembelahan amitosis,
 - Pembelahan mitosis
 - Pembelahan meiosis
- Mengapa pada pembelahan meiosis dihasilkan sel anakan yang bersifat haploid? Jelaskan!
- Jelaskan proses pembentukan sel sperma dan sel ovum !

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Reproduksi adalah kemampuan suatu makhluk hidup untuk menghasilkan keturunan sehingga dapat melestarikan jenisnya, baik pada organisme uniseluler maupun multiseluler. Pada organisme uniseluler proses reproduksi berlangsung lebih sederhana jika dibandingkan dengan organisme multiseluler. Terdapat tiga jenis reproduksi atau pembelahan sel, yaitu amitosis, mitosis dan meiosis (pembelahan reduksi).

Amitosis merupakan proses reproduksi dimana sel akan membelah diri secara langsung tanpa melalui tahap-tahap pembelahan sel seperti halnya pada pembelahan mitosis dan meiosis. Proses pembelahan amitosis atau biner dapat terjadi pada organisme-organisme yang memiliki sel tunggal, seperti organisme prokariotik, yaitu bakteri, ganggang biru, maupun pada organisme eukariotik uniseluler, yaitu protozoa. Pembelahan biner berlangsung secara sederhana, yang diawali dengan proses pemanjangan sel dan proses replikasi atau penggandaan materi genetik (DNA), kemudian dilanjutkan dengan sitokenesis, kemudian dinding sel akan membelah pada bagian tengah, dan pada akhirnya akan terbentuk suatu dinding pemisah yang membuat sel terpisah menjadi 2 bagian yang sama.

Mitosis adalah peristiwa pembelahan sel yang mampu menghasilkan dua sel anak yang identik dan masing-masing bersifat diploid ($2n$) memiliki jumlah kromosom yang sama dengan jumlah kromosom induknya. Pembelahan mitosis hanya terjadi pada sel eukariotik dan terjadi pada sel tubuh atau autosom. Pembelahan mitosis memiliki fungsi untuk pertumbuhan sel tubuh, penggantian sel-sel tubuh yang rusak atau proses regenerasi sel, serta untuk mempertahankan jumlah kromosom dalam tubuh. Sebelum sel memasuki fase mitosis, maka akan terlebih dahulu melakukan fase pendahuluan atau interfase, yang meliputi fase G1

(gap pertama), fase S (sintesis), dan fase G₂ (gap kedua). Adapun tahap pembelahan mitosis adalah tahap profase, metafase anafase dan telofase.

Sedangkan pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi, pembelahan ini menghasilkan 4 sel anakan yang bersifat haploid (n) dari sel induk yang bersifat Diploid (2n), yang berarti Jumlah kromosom sel anak adalah $\frac{1}{2}$ dari jumlah kromosom induknya. Seperti halnya pada pembelahan mitosis sebelum terjadi proses pembelahan meiosis juga terjadi fase pendahuluan atau interfase. Proses pembelahan meiosis cenderung lebih lama jika dibandingkan dengan pembelahan mitosis. Hal ini karena pada pembelahan meiosis terjadi 2 proses pembelahan, yaitu tahapan meiosis I dan tahapan meiosis II.

Pembelahan meiosis hanya terjadi pada sel gamet atau kelamin. Proses pembentukan gamet disebut dengan gametogenesis. Proses tersebut dibedakan menjadi dua, yaitu proses spermatogenesis atau pembentukan sel sperma dan proses oogenesis atau pembentukan sel ovum. Laki-laki dapat menghasilkan sperma hingga akhir hayatnya, sedangkan perempuan hanya dapat menghasilkan ovum hingga berumur kurang lebih sekitar 50 tahun, perempuan yang tidak dapat lagi menghasilkan ovum akan memasuki tahapan menopause yang ditandai dengan berhentinya proses menstruasi.



TES FORMATIF

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Tujuan pembelahan meiosis adalah....
 - a. Mengganti sel-sel yang rusak
 - b. Membentuk sel-sel tubuh organisme
 - c. Pembiakan pada organisme bersel satu
 - d. Menjaga jumlah kromosom selalu tetap tiap generasi
 - e. Pertumbuhan pada daerah titik tumbuh

2. Di bawah ini yang merupakan ciri dari tahap metafase adalah
- Kromosom terduplikasi
 - Terbentuk benang gelendong dan kromosom tersusun pada bidang pembelahan
 - Kromosom bergerak ke arah kutub melalui benang gelendong
 - Terjadinya proses sitokinesis
 - Plasma sel membentuk sekat di bagian ekuator
3. Perhatikan proses tahapan pembelahan sel. Tahapan di bawah ini merupakan tahapan pembelahan pada proses profase I meiosis, yaitu:
- Pakiten
 - Diakinesis
 - Diploten
 - Leptoten
 - Zigoten
- Manakah urutan yang benar dari proses Profase I meiosis....
- 4-1-5-3-2
 - 4-5-3-2-1
 - 4-3-2-1-5
 - 4-2-3-1-5
 - 4-5-1-3-2
4. Pembelahan mitosis menghasilkan sel anakan dengan ciri-ciri.....
- Bersifat diploid ($2n$)
 - Bersifat haploid (n)
 - Memiliki jumlah kromosom sebanyak 23
 - Menghasilkan sel anakan berjumlah 4
 - Bersifat diploid (n), memiliki jumlah kromosom sebanyak 23
5. Pada proses oogenesis hanya dihasilkan 1 sel ovum yang fungsional, hal tersebut terjadi karena.....
- Pembagian kromatid yang tidak merata
 - Pembagian sitoplasma yang tidak merata
 - Kromosom terbagi menjadi 2 bagian yang sama
 - Benang-benang kromatin mengalami kondensasi

- e. Terjadinya proses sitokinesis yang sempurna
6. Di bawah ini merupakan pernyataan yang benar mengenai perbedaan antara spermatogenesis dan oogenesis, *kecuali*....
- Spermatogenesis menghasilkan 4 sperma sedangkan oogenesis hanya menghasilkan 1 ovum
 - Spermatogenesis terjadi setelah laki-laki mengalami pubertas, sedangkan oogenesis telah dimulai ketika perempuan masih dalam kandungan
 - Spermatogenesis terjadi pada tubulus seminiferus, sedangkan oogenesis terjadi di ovarium
 - Spermatogenesis menghasilkan 4 sel sperma haploid, sedangkan oogenesis menghasilkan 1 sel ovum diploid
 - Spermatogenesis terjadi hingga akhir hayat laki-laki, sedangkan oogenesis terjadi hingga perempuan berumur sekitar 50 tahun.
7. Pindah silang antar kromosom homolog yang berpasangan, terjadi pada saat proses....
- Amitosis
 - Meiosis
 - Mitosis
 - Pembelahan biner
 - Sitokinesis
8. Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi karena....
- Menghasilkan sel anakan yang bersifat diploid (2n)
 - Menghasilkan sel baru yang identik dengan induknya
 - Menghasilkan sel anakan yang memiliki jumlah kromosom $\frac{1}{2}$ induknya
 - Menghasilkan sel anakan yang memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya
 - Menghasilkan 2 sel anakan yang bersifat haploid (n)

9. Proses penggandaan kromosom terjadi saat fase pendahuluan atau interfase, pada tahap....
- Fase G1 (gap pertama)
 - Fase S (sintesis)
 - Fase sitokinesis
 - Fase G2 (gap kedua).
 - Fase pertumbuhan
10. Berikut ini merupakan pernyataan terkait pembelahan biner
- Sel membelah diri secara langsung tanpa melalui tahapan seperti mitosis dan meiosis
 - Proses pembelahan biner dapat terjadi pada organisme-organisme yang memiliki sel tunggal
 - Pembelahan biner terjadi pada organisme prokariotik, yaitu bakteri, ganggang biru
 - Organisme eukariotik uniseluler juga melakukan pembelahan biner
 - Pada organisme prokariotik pembelahan biner merupakan suatu metode utama dalam proses reproduksi

Pernyataan di atas yang benar terkait pembelahan biner adalah....

- (1), (3), dan (4) benar
- (2) dan (5) benar
- (1), (2), dan (4) benar
- (2) dan (4) benar
- Semuanya benar

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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

Arti tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

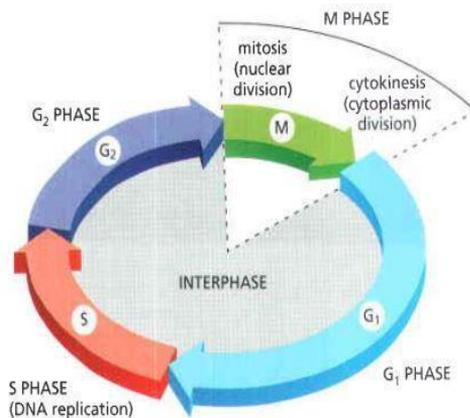
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Bab selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

BAB 5

SIKLUS SEL DAN KEMATIAN SEL

A. Siklus Sel

Siklus sel adalah proses yang menggambarkan pembelahan sel yang diawali dengan replikasi kromosom, dilanjutkan dengan pemisahan kromosom dan diakhiri pembelahan sel menjadi dua sel anakan baru. Didalam siklus sel terbagi menjadi dua tahapan penting, yaitu pertumbuhan dan perkembangan. Pada tahapan pertumbuhan terdiri dari 3 fase yaitu fase istirahat **fase G₁**, **fase S (sintesis)**, dan **fase G₂**. Pada fase pertumbuhan sel, terjadi penggandaan kromosom yaitu S. Sedangkan pada fase perkembangan yaitu **fase M** (mitosis dari kariokinesis sampai sitokinesis).



Gambar 1. Siklus Sel Pada Sel Eukaryot
(Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts 2008)

a. INTERFASE

Interfase merupakan fase terpanjang dalam siklus sel. Pada stadium ini inti sel dapat terlihat dengan jelas di dalam tiap – tiap selnya, namun kromosom masih berupa benang-benang kromatin yang memanjang sehingga tidak tampak dengan jelas. Interfase terbagi dalam

tiga fase yaitu fase G1 (pertumbuhan pertama), S (sintesa), dan G2 (pertumbuhan kedua).

Pada fase G1 ini terjadi pertumbuhan sel, nukleus membesar dan sitoplasma bertambah. Fase G1 ini memakan waktu 30-50% dari seluruh waktu interfase. Fase selanjutnya adalah fase S yang merupakan fase sintesa DNA. Pada fase ini terjadi replikasi DNA bersamaan dengan duplikasi kromosom, sehingga sebuah kromosom akan memiliki sepasang kromatid serupa (*sister chromatid*) dengan satu sentromer. Fase ini memakan waktu 35-45% dari seluruh waktu interfase. Fase terakhir dari interfase yaitu fase G2 yang merupakan fase pertumbuhan kedua. Pada fase ini pembentukan DNA berlangsung cepat dan DNA bertambah kompleks. Selain itu pada fase ini juga masih berlangsung pembentukan protein kromosom dan RNA.

Pada sel manusia, fase G1 yaitu periode setelah mitosis, gen-gen aktif berekspresi. Fase G1 berlangsung sekitar 5 – 6 jam. Kemudian lanjut fase sintesis DNA (replikasi). Fase S ini berlangsung selama 10 – 12 jam. Selanjutnya terjadi aktifitas gen-gen untuk mengontrol pembentukan protein atau enzim untuk keperluan mitosis. Pada Fase G2 berlangsung selama 4 – 6 jam. Dan yang terakhir Fase M (mitotic), dimulai dari mitosis dan diakhiri sitokinesis selama ± 1 jam.

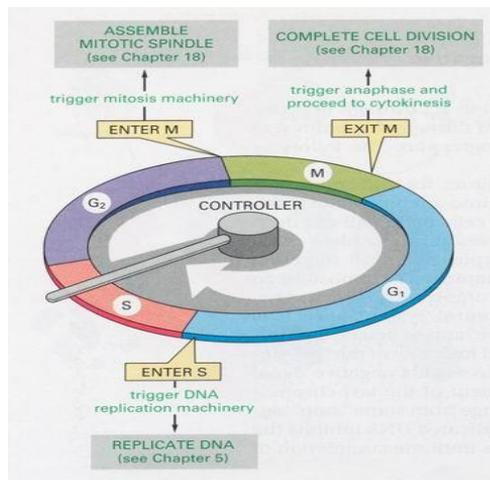
b. MITOSIS FASE

Mitosis fase adalah fase sel melakukan pembelahan sel. Sudah dijelaskan pada kegiatan sebelumnya, sel mengalami pembelahan untuk keberlangsungan hidupnya. Pada mitosis terdapat dua tahap pembelahan yaitu karyokinesis (pembelahan inti) dan sitokinesis (pembelahan sel). Adanya karyokinesis dan sitokinesis yang berlangsung secara berkesinambungan menyebabkan informasi genetik di dalam semua sel somatis suatu individu selalu tetap.

c. SISTEM KONTROL SIKLUS SEL

Sistem kontrol pada siklus sel memiliki pengaturan yang sangat kompleks dengan melibatkan protein untuk mengaktivasi setiap siklus.

Siklus sel memiliki ketepatan waktu dalam pengaturannya, misalnya zigot menjadi morula kemudian blastula memiliki jangka waktu tertentu yang terjadi juga pada semua mamalia. Fase G1 pada siklus sel akan dimulai checkpoint kontrol, yaitu kontrol untuk mengecek kesiapan apakah sel sudah siap memasuki fase berikutnya atau tidak. Fase ini dilanjutkan ke fase berikutnya yaitu S dimana terjadi penggandaan materi genetik. Kemudian, menuju fase selanjutnya yaitu G2. Fase G2 merupakan checkpoint yang sangat penting, karena fase ini menentukan apakah sel sudah siap membelah atau belum. Jika terjadi mutasi pada sel dan tidak terjadi perbaikan atau repair, maka harus di checkpoint pada fase G2 dan diapoptosis atau sel tidak akan membelah. Agar Anda lebih mudah memahami sistem kontrol pada siklus sel, perhatikan gambar 5. Mutasi yang tidak terdeteksi pada fase G2 dan dilanjutkan ke fase M atau pembelahan, maka semua hasil pembelahan sel tersebut juga mengalami mutasi.



Gambar 2. Sistem Kontrol Pada Siklus Sel

(Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts 2008)

B. Kematian Sel

Pada organisme multiseluler jumlah sel diatur sangat ketat. Apabila terjadi peningkatan jumlah sel maka sebagian sel akan melakukan aktivasi

secara intraseluler menuju ke program kematian sel untuk melaksanakan “bunuh diri” sel. Kematian sel merupakan peristiwa penting dalam perkembangan dan pertumbuhan suatu makhluk hidup. Kematian sel merupakan proses homeostasis (proses dan mekanisme otomatis yang dilakukan makhluk hidup untuk mempertahankan kondisi konstan agar tubuhnya dapat berfungsi dengan normal, meskipun terjadi perubahan pada lingkungan di dalam atau di luar tubuh). Kematian sel dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1. **Apoptosis** : proses kematian sel yang diprogram oleh tubuh. Proses ini berlangsung secara alami. Sel – sel yang mengalami kematian secara apoptosis, akan dimakan oleh sel – sel makrofag, sehingga terjadi keseimbangan dalam tubuh. Sel yang mengalami apoptosis badan sel tidak rusak dan organel sel tidak keluar dari badan sel. Contoh apoptosis antara lain :
 - a. Hilangnya ekor berudu ketika sudah menjadi katak. Hal ini terjadi karena sel – sel pada ekor katak sudah tidak berfungsi lagi ketika sudah menjadi katak. Katak adalah hewan yang memiliki habitat di darat, sehingga tidak memerlukan ekor. Berbeda dengan berudu yang habitatnya di air, berudu membutuhkan ekor untuk membantu berenang didalam air.
 - b. Hilangnya selaput jari pada janin manusia. Ketika janin didalam kandungan, pada sela – sela jarinya terdapat selaput yang berfungsi untuk hidup didalam air. Sedangkan ketika janin tersebut dilahirkan, selaput jari tersebut akan hilang, karena ketika lahir bayi manusia sudah tidak memerlukan selaput jari lagi. Bisa jadi ketika masih ada selaput jari, manusia tidak dapat melakukan berbagai kegiatan dengan tangan, misal menulis, makan menggunakan sendok, dan sebagainya.
2. **Nekrosis** : proses kematian sel karena sel injury. Proses kematian ini dipengaruhi oleh faktor dari luar tubuh (lingkungan). Penyebab nekrosis antara lain keracunan, infeksi dan trauma. Nekrosis juga bisa disebabkan oleh paparan zat kimia yang terus menerus. Sel – sel yang

mengalami nekrosis akan rusak, badan sel akan pecah, sehingga menyebabkan organel – organel sel akan keluar dari badan sel. Contoh nekrosis antara lain :

a. Nekrosis koagulatif

Terjadi akibat hilangnya secara mendadak fungsi sel yang disebabkan oleh hambatan kerja sebagian besar enzim. Enzim sitoplasmik hidrolitik juga dihambat sehingga tidak terjadi penghancuran sel (proses autolisis minimal). Akibatnya struktur jaringan yang mati masih dipertahankan, terutama padatan awal (Sarjadi, 2003).

Terjadi pada nekrosis iskemik akibat putusnya perbekalan darah. Daerah yang terkena menjadi padat, pucat dikelilingi oleh daerah yang hemoragik. Mikroskopik tampak inti-inti yang piknotik. Sesudah beberapa hari sisa-sisa inti menghilang, sitoplasma tampak berbutir, berwarna merah tua. Sampai beberapa minggu rangka sel masih dapat dilihat (Pringgoutomo, 2002). Contoh utama pada nekrosis koagulatif adalah infark ginjal dengan keadaan sel yang tidak berinti, terkoagulasi dan asidofilik menetap sampai beberapa minggu (Kumar; Cotran & Robbins, 2007).



Gambar 3. Makroskopis dan mikroskopis nekrosis koagulatif.

b. Nekrosis likuefaktif (colliquativa)

Perluasan jaringan nekrotik disertai pencairan. Pencairan jaringan terjadi akibat kerja enzim hidrolitik yang dilepas oleh sel mati,

seperti pada infarkotak, atau akibat kerja lisosom dari sel radang seperti pada abses (Sarjadi, 2003).



Gambar 4. Makroskopis nekrosis likuefaktif

c. Nekrosis kaseosa (sentral)

Bentuk campuran dari nekrosis koagulatif dan likuefaktif, yang makroskopik teraba lunak kenyal seperti keju, maka dari itu disebut nekrosis perkejuan. Infeksi bakteri tuberkulosis dapat menimbulkan nekrosis jenis ini (Sarjadi, 2003). Gambaran makroskopis putih, seperti keju didaerah nekrotiksentral. Gambaran mikroskopis, jaringan nekrotik tersusun atas debrisgranular amorf, tanpa struktur terlingkupi dalam cincin inflamasi granulosomatososa, arsitektur jaringan seluruhnya terobliterasi (tertutup) (Kumar; Cotran & Robbins, 2007).



Gambar 5. Makroskopis nekrosis kaseosa

d. Nekrosis lemak

Terjadi dalam dua bentuk :

- Nekrosis lemak traumatik
Terjadi akibat trauma hebat pada daerah atau jaringan yang banyak mengandung lemak (Sarjadi, 2003).
- Nekrosis lemak enzimatik
Merupakan komplikasi dari pankreatitis akut hemoragika, yang mengenai sel lemak di sekitar pankreas, omentum, sekitar dinding rongga abdomen. Lipolisis disebabkan oleh kerja lipolytic

Dan proteolytic pancreatic enzymes yang dilepas oleh sel pankreas yang rusak (Sarjadi, 2003). Aktivasi enzim pankreatik mencairkan membran sel lemak dan menghidrolisis ester trigliserida yang terkandung didalamnya. Asam lemak yang dilepaskan bercampur dengan kalsium yang menghasilkan area putih seperti kapur (makroskopik) (Kumar; Cotran & Robbins, 2007).



Gambar 6. Makroskopis nekrosis lemak

e. Nekrosis fibrinoid

Nekrosis ini terbatas pada pembuluh darah yang kecil, arterioli, dan glomeruli akibat penyakit autoimun atau hipertensi maligna. Tekanan yang tinggi akan menyebabkan nekrosis dinding pembuluh darah sehingga plasma masuk ke dalam lapisan media. Fibrin terdeposit disana. Pada pewarnaan hematoxylin eosin terlihat masa homogen kemerahan (Sarjadi, 2003).

Nekrosis dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Iskemia

Terjadi akibat anoksia (hambatan total pasokan oksigen) atau hipoksiaseluler (kekurangan oksigen pada sel). Dapat disebabkan oleh berbagai hal seperti berikut ini (Sarjadi, 2003) :

- a. Obstruksi aliran darah
- b. Anemia (eritrosit pembawa oksigen berkurang jumlahnya)
- c. Keracunan karbon monoksida
- d. Penurunan perfusi jaringan dari darah yang kaya oksigene.
Oksigenasi darah yang buruk, sebagai akibat penyakit paru, obstruksi saluran nafas, konsentrasi oksigen udara yang rendah.

2. Agen biologik

Toksin bakteri dapat mengakibatkan kerusakan dinding pembuluh darah dan trombosis. Toksin biasanya berasal dari bakteri yang virulensinya tinggi baik endogen maupun eksogen. Virus dan parasit juga dapat mengeluarkan berbagai enzim dan toksin yang secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi jaringan dan menyebabkan nekrosis (Pringgoutomo, 2002).

3. Agen kimia

Natrium dan glukosa merupakan zat kimia yang berada dalam tubuh. Namun ketika konsentrasinya tinggi dapat menimbulkan nekrosis akibat gangguan keseimbangan osmotik sel. Beberapa zat tertentu dapat pula menimbulkan nekrosis ketika konsentrasinya rendah (Pringgoutomo, 2002). Respon jaringan terhadap zat kimia berbeda. Misalnya, sel epitel pada tubulus ginjal dan sel beta pada pulau Langerhans mudah rusak oleh alloxan. Gas yang digunakan pada perang seperti mustard dapat merusak jaringan paru, gas kloroform dapat merusak parenkim hati serta masih banyak lagi (Pringgoutomo, 2002).

4. Agen fisik

Trauma, suhu yang ekstrim (panas maupun dingin), tenaga listrik, cahayamatahari, dan radiasi dapat menimbulkan kerusakan inti sehinggamenyebabkan nekrosis (Pringgoutomo, 2002).

5. Hipersensitivitas

Hipersensitivitas (kerentanan) pada seorang individu berbeda-beda. Kerentanan ini dapat timbul secara genetik maupun didapat (acquired) dan menimbulkan reaksi imunologik kemudian berakhir pada nekrosis. Sebagai contoh, seseorang yang hipersensitif terhadap obat sulfat ketika mengkonsumsi obat sulfat dapat timbul nekrosis pada epitel tubulus ginjal (Pringgoutomo, 2002).



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Jelaskan yang dimaksud dengan siklus sel!
2. Sebutkan dan jelaskan fase pada siklus sel!
3. Jelaskan perbedaan apoptosis dan nekrosis!

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Pembelahan sel adalah sebuah proses dimana sel induk membelah menjadi dua atau lebih sel anak. Pembelahan sel bertujuan untuk pertumbuhan dan perkembangan, mengganti sel-sel yang telah rusak atau mati, berkembang biak, serta variasi individu baru. Pembelahan sel dibedakan menjadi tiga, yaitu amitosis,

mitosis dan meiosis. Amitosis merupakan pembelahan sel yang tidak melalui tahapan khusus sedangkan mitosis dan meiosis merupakan pembelahan sel yang melalui suatu tahapan khusus.

Kematian sel merupakan proses homeostasis (proses dan mekanisme otomatis yang dilakukan makhluk hidup untuk mempertahankan kondisi konstan agar tubuhnya dapat berfungsi dengan normal, meskipun terjadi perubahan pada lingkungan di dalam atau di luar tubuh). Kematian sel dibedakan menjadi apoptosis yaitu kematian sel yang terprogram dan nekrosis yaitu kematian sel akibat injury.



TES FORMATIF 1

.....

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Siklus sel terdiri dari beberapa fase. Fase dimana sel membelah diri disebut fase . . .
 - a. Interfase
 - b. Gap 1
 - c. Sintesa
 - d. Gap 2
 - e. Mitosis
2. Duplikasi atau perbanyakan DNA pada siklus sel terjadi pada fase . . .
 - a. Interfase
 - b. Gap 1
 - c. Sintesa
 - d. Gap 2
 - e. Mitosis
3. Yang TIDAK termasuk fase pembelahan sel pada proses pertumbuhan adalah . . .
 - a. Interfase
 - b. Gap 1
 - c. Sintesa
 - d. Gap 2

- e. Mitosis
4. Fase yang membutuhkan waktu terlama untuk menyelesaikan dalam satu siklus sel adalah . . .
 - a. Interfase
 - b. Gap 1
 - c. Sintesa
 - d. Gap 2
 - e. Mitosis
 5. Kematian sel berfungsi untuk . . .
 - a. Menjaga homeostatis jumlah sel didalam tubuh
 - b. Memberi makanan pada sel – sel makrofag
 - c. Merusak sel – sel yang ada didalam tubuh
 - d. Merubah fungsi sel
 - e. Merubah ukuran sel
 6. Berikut pernyataan yang TIDAK benar mengenai apoptosis adalah . . .
 - a. Merupakan kematian sel yang terprogram
 - b. Merupakan kematian sel akibat injury
 - c. Sel – sel yang mati karena apoptosis akan dimakan oleh sel – sel makrofag
 - d. Sel – sel yang mati karena apoptosis tidak rusak dan organel tidak keluar dari tubuh sel
 - e. Hilangnya ekor berudu ketika menjadi katak merupakan salah satu contoh dari apoptosis
 7. Ketika dokter spesialis forensik melakukan autopsi mayat, ditemukan paru – paru mayat dalam kondisi berwarna hitam, ukuran mengkerut (lebih kecil), dan ada noda – noda coklat kehitaman. Konsidi seperti ini adalah salah satu contoh kematian sel yang disebut . . .
 - a. Normal
 - b. Apoptosis
 - c. Nekrosis
 - d. Mitosis
 - e. Meiosis

8. Pernyataan berikut yang SALAH mengenai nekrosis adalah . . .
- Merupakan kematian sel akibat adanya injury
 - Sel yang mati akibat nekrosis tubuh sel rusak dan organel sel akan keluar dari tubuh sel
 - Sel yang mati akibat nekrosis tidak akan dimakan oleh sel makrofag
 - Sel yang mati akibat nekrosis akan dimakan oleh sel makrofag
 - Nekrosis juga dapat disebabkan oleh infeksi bakteri dan jamur
9. Penyebab kematian sel nekrosis, kecuali . . .
- Hipoksia
 - Kehidupan
 - Bahan kimia
 - Agen fisik
 - Hipersensitifitas
10. Perlunakan jaringan nekrotik disertai pencairan. Pencairan jaringan terjadi akibat kerja enzim hidrolitik yang dilepas oleh sel mati, seperti pada infarkotak, atau akibat kerja lisosom dari sel radang seperti pada abses disebut nekrosis . . .
- Koagulatif
 - Likuefaktif
 - Kaseosa
 - Lemak
 - Fibrinoid

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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

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

BAB 6

EMBRIOLOGI

Reproduksi merupakan salah satu cara yang dilakukan oleh organisme hidup untuk dapat melestarikan jenisnya. Untuk itu reproduksi menjadi bagian yang sangat penting dari kelangsungan hidup organisme agar tetap terjaga keberadaannya, sehingga tidak mengalami kepunahan. Secara umum agar dapat terbentuk organisme baru, ada 2 tahapan penting yaitu tahap reproduksi dan tahap embriogenesis. Tahap reproduksi meliputi pembentukan dan pematangan sel gamet (sel sperma dan sel ovum) serta proses fertilisasi antara sel sperma (jantan) dengan sel ovum (betina). Sedangkan embriogenesis merupakan suatu tahapan yang dimulai sejak sel ovum dibuahi oleh sel sperma hingga terbentuk zigot, sampai terjadinya pertumbuhan dan perkembangan pada zigot, sehingga menjadi individu baru yang siap dilahirkan.

A. PENGERTIAN EMBRIOLOGI

Pada semua organisme yang berkembang biak secara seksual, ketika sel ovum telah dibuahi oleh satu sel sperma, maka akan menghasilkan satu sel yang disebut dengan zigot. Zigot memiliki seluruh materi genetik atau DNA gabungan dari kedua orang tuanya. Zigot akan mulai membelah secara mitosis untuk menjadi organisme multiseluler. Hasil dari proses ini disebut dengan embrio. Pada manusia, embrio (mudigah) terbentuk antara umur 3-5 minggu masa kehamilan dan sudah mulai tampak rancangan bentuk organ tubuh.

Embrio merupakan sebuah sel eukariotik multiseluler yang bersifat diploid dalam tahap paling awal dari perkembangan. Sedangkan **Embriogenesis** adalah proses pembentukan dan perkembangan embrio, yang meliputi pembelahan sel dan pengaturan di tingkat sel. Sedangkan **Embriologi** merupakan ilmu yang mempelajari perkembangan embrio atau bidang ilmu yang mempelajari bagaimana sel tunggal membelah sehingga membentuk organisme multiseluler.

Pertumbuhan dan perkembangan embrio pada manusia memerlukan waktu sekitar 9 bulan 10 hari atau sekitar 38 minggu untuk mencapai perkembangan embrio menjadi janin yang memiliki organ tubuh lengkap dan siap untuk dilahirkan.

B. TAHAPAN EMBRIOLOGI

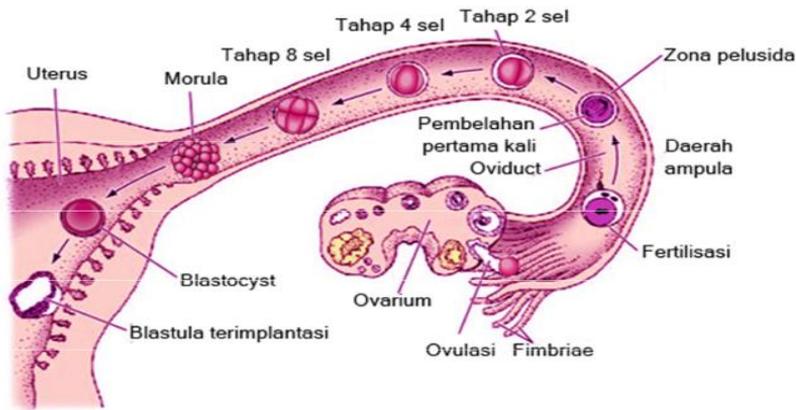
Tahap awal perkembangan pada eukariotik diawali dengan peristiwa fertilisasi. Fertilisasi akan menghasilkan sel individu baru yang disebut dengan zigot dan akan melakukan pembelahan sel menuju pertumbuhan dan perkembangan menjadi embrio.

Fertilisasi merupakan proses peleburan antara sel gamet jantan (sperma) dengan sel gamet betina (ovum). Jutaan sel sperma yang masuk ke dalam organ reproduksi betina, namun hanya akan ada satu sel yang bersatu dengan satu sel telur. Tahap penyatuan dua inti haploid ini menghasilkan satu sel dengan sifat diploid ($2n$) zigot. Sel inilah yang akan tumbuh dan berkembang menjadi individu baru.

Setelah proses fertilisasi terjadi, tahap selanjutnya adalah terjadinya perkembangan zigot. Adapun tahap perkembangan embriologi pada manusia adalah sebagaimana berikut ini:

1. Fase Morula

Pembelahan (cleavage) terjadi setelah proses fertilisasi dan terbentuk zigot. Zigot kemudian akan membelah berulang-ulang secara mitosis. Kemudian zigot akan membelah menjadi 2, 4, 6, 8 sel dan seterusnya, proses ini berlangsung di tuba fallopi. Karena terjadinya proses pembelahan menyebabkan zigot yang awalnya bersifat uniseluler menjadi multiseluler.



Gambar 1. Fertilisasi dan Pembelahan Zigot

Pada awalnya zigot akan membelah menjadi dua sel atau dikenal dengan nama blastomer (biasanya terjadi 30 jam setelah fertilisasi). Masing-masing sel dari hasil proses pembelahan awal ini disebut sebagai blastomer. Hasil pembelahan tersebut pada akhirnya membentuk massa sel padat yang disebut morula. Pada fase morula terbentuk 32 sel yang menyerupai bola (bulat) akibat terjadinya pembelahan blastomer. Pembelahan blastomer tidak meningkatkan ukuran sel hingga proses pembelahan berikutnya dimulai. Pembelahan ini akan menghasilkan blastomer-blastomer dengan ukuran setengah dari blastomer asal. Jadi zigot yang awalnya berupa satu sel dengan ukuran yang cukup besar kemudian akan berubah menjadi sejumlah sel yang berukuran kecil-kecil, sehingga pada fase morula tidak terjadi perubahan pada ukuran sel.



Gambar 2. Pembelahan Zigot menjadi Morula

2. Fase Blastula

Pada tahap sebelumnya zigot telah membelah menjadi 32 sel yang disebut dengan morula. Fase perkembangan setelah morula disebut fase blastula, dimana pada tiap-tiap sel akan terus melakukan pembelahan hingga mencapai 64 sampai 100 sel. Pada fase ini terjadi pembagian sitoplasma ke dalam masing-masing kutub. Konsentrasi sitoplasma pada kedua kutub tersebut berbeda. Pada kutub fungsional terdapat sitoplasma yang lebih sedikit, sedangkan pada kutub vegetatif terdapat sitoplasma yang lebih banyak. Terjadinya pembagian konsentrasi sitoplasma yang berbeda akan menentukan arah pertumbuhan dan perkembangan selanjutnya.

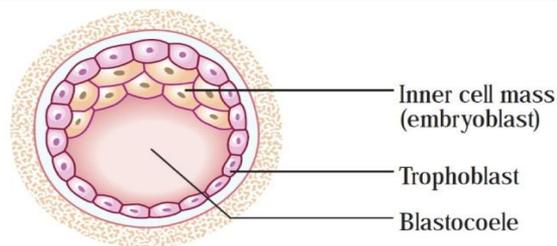
Kutub fungsional dan kutub vegetatif telah terbentuk pada fase ini. Hal ini ditandai dengan dibentuknya rongga di antara kedua kutub yang disebut rongga blastosol, sedangkan tahap pembentukan blastula disebut blastulasi. Blastula juga dapat berarti embrio yang memiliki blastosol. terdapatnya rongga blastula memungkinkan terjadinya gerakan-gerakan morfogenik untuk reorganisasi sel-sel embrio pada stadium perkembangan selanjutnya.

Setelah proses implantasi embrio (penempelan embrio pada dinding uterus atau rahim) blastula akan mengalami pembelahan dan perkembangan lebih lanjut, dimana beberapa blastomer blastula akan berdiferensiasi menjadi 2 bagian yang berbeda baik dalam morfologi, fungsi maupun struktur kimianya, yaitu terbentuk menjadi:

- a. **Inner cell mass (ICM)**, pada proses selanjutnya akan membentuk cikal bakal embrio (embrio dan sistem membran embrio). ICM berdiferensiasi menjadi dua lapisan yaitu:
 - (1) Membentuk lapisan tipis dibagian bawah ICM yang disebut lapisan hipoblas (Sel-sel kuboid kecil)
 - (2) Bagian ICM yang tidak memisah disebut epiblas. Epiblas akan menjadi bakal ektoderm epidermis, ektoderm saraf, notokord dan mesoderm.
- b. **Outer cell mass** atau bagian luar blastosis yang secara keseluruhan disebut trofoblas atau trofektoderm. Trofoblas merupakan bagian

ekstra embrional yang membentuk selaput korion dan berperan dalam pembentukan plasenta. Trophoblast melekat pada dinding uterus, pada periode waktu tertentu, yang akan menjadi tempat atau jalan dimana embrio dapat mendapatkan makanan sampai embrio siap dilahirkan.

Sel-sel dibagian dalam embrio (ICM) berhubungan satu sama lain dengan *gap junction*, yang memungkinkan terjadinya peraluan molekul dan ion antara sel yang satu dengan sel lainnya. Sedangkan antar sel-sel bagian luar berhubungan satu sama lain dengan *tight junction*, yang memiliki fungsi untuk mencegah terjadinya pertukaran cairan antara lingkungan dengan embrio, sehingga menyebabkan terjadinya akumulasi cairan yang berada di dalam embrio.

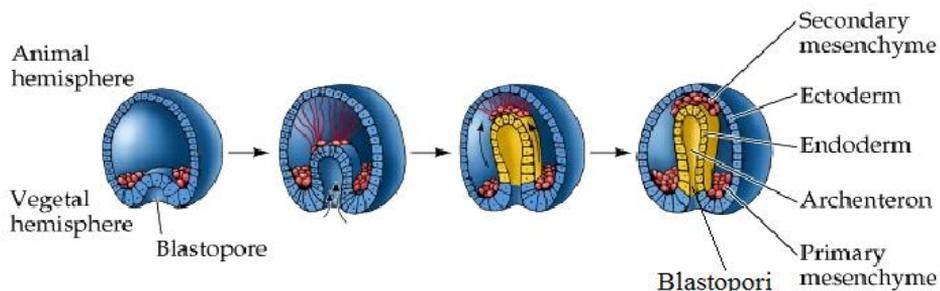


Gambar 3. Fase Blastula

3. Fase Gastrula

Setelah fase blastula selesai maka akan dilanjutkan dengan fase gastrula. Pada fase ini embrio mengalami proses diferensiasi, yaitu mulai menghilangkan blastosol. Tahap gastrulasi atau tahap pembentukan gastrula ditandai dengan terbentuknya tiga lapisan embrionik. Lapisan embrionik adalah lapisan lembaga yang nantinya akan berkembang menjadi organ-organ dalam suatu embrio. Adapun tiga lapisan embrionik tersebut adalah lapisan ektoderm, lapisan mesoderm dan lapisan endoderm. Tiga lapisan embrionik tersebut nantinya yang akan menentukan nasib perkembangan sel selanjutnya. Oleh karena itu pada tahapan ini biasa disebut dengan penentuan nasib (fate map).

Pada fase gastrula sel-sel pada kutub fungsional akan membelah dengan cepat. Akibatnya, sel-sel pada kutub vegetatif akan membentuk lekukan ke arah dalam atau disebut invaginasi. Gerakan ini menyebabkan terjadinya migrasi sel-sel yang awalnya berada di luar berubah posisi menjadi di dalam sel, serta menyebabkan terjadinya reorganisasi lapisan sel sehingga memungkinkan sel-sel yang berjauhan menjadi berdekatan. Rongga blastosol akan menghilang setelah semua sel sudah berhasil bermigrasi. Kemudian selanjutnya akan terbentuk rongga arcenteron dan lubang saluran bekas titik invaginasi yang disebut blastopori.



Gambar 4. Fase Gastrula

4. Neurulasi

Tahap neurulasi merupakan tahap terjadi pembentukan bumbung neural (notochord). Notochord dibentuk dari interaksi induksi antara lapisan ektoderm dengan lapisan mesoderm didalamnya. Induksi antar lapisan ini menyebabkan sel-sel ektoderm bergerak sehingga terbentuk notochord yang memanjang. Kemudian notochord ini akan berkembang menjadi sistem saraf pusat (perkembangan otak). Sehingga tahapan neurulasi dapat diindikasikan dengan terbentuknya lempeng neural yang berasal dari hasil penebalan lapisan ektoderm.

5. Organogenesis

Tahapan organogenesis adalah suatu tahapan pembentukan organ dari lapisan embrionik yang sudah terbentuk pada tahap gastrula. Berikut ini merupakan organ-organ yang berkembang dari lapisan embrionik.

a. Ektoderm

Ektoderm merupakan lapisan embrionik yang paling luar. Lapisan ini akan berkembang menjadi sistem integument (kulit, rambut, dan lain-lain) serta penyusun sistem saraf termasuk indra.

b. Mesoderm

Mesoderm merupakan lapisan embrionik yang berada dibagian tengah. Lapisan ini akan berkembang menjadi organ dalam seperti otot, sistem sirkulasi (peredaran) darah, jaringan ikat, sistem reproduksi, sistem rangka dan seterusnya.

c. Endoderm

Endoderm merupakan lapisan embrionik yang terletak paling dalam. Lapisan ini akan membentuk organ-organ penyusun sistem pencernaan dan sistem pernafasan.



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Sebutkan alasan mengapa saat fase morula tidak terjadi penambahan ukuran sel!
2. Jelaskan deferensiasi sel embrio yang terjadi pada tahap blastula!
3. Jelaskan deferensiasi 3 lapisan embrionik pada fase organogenesis!

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Tahap awal perkembangan diawali dengan peristiwa fertilisasi, yaitu proses peleburan antara sel gamet jantan (sperma) dengan sel gamet betina (ovum) yang menghasilkan zigot. Zigot kemudian akan melakukan pembelahan sel (cleavage) menuju pertumbuhan dan perkembangan menjadi embrio. Pertumbuhan dan perkembangan embrio pada manusia memerlukan waktu sekitar 9 bulan 10 hari atau sekitar 38 minggu untuk mencapai perkembangan embrio yang memiliki organ lengkap dan siap untuk dilahirkan.

Adapun tahap perkembangan embrio pada manusia adalah sebagaimana berikut ini:

1. Fase Morula: pada fase morula terbentuk 32 sel yang menyerupai bola (bulat) akibat terjadinya pembelahan blastomer. Pada fase morula hanya terjadi proses pembelahan sel tetapi tidak terjadi perubahan pada ukuran sel zigot awal sebelum pembelahan.
2. Fase Blastula: sel membelah menjadi 64-100 sel. Fase blastula mempunyai ciri dengan terbentuknya rongga pada bagian tengah blastula yang dinamakan blastosol. Serta terjadinya diferensiasi blastula menjadi 2 bagian yang berbeda baik dalam morfologi, fungsi maupun struktur kimianya, yaitu Inner cell mass (ICM) dan Outer cell mass atau bagian luar blastosis yang secara keseluruhan disebut trofoblas atau trofektoderm.
3. Fase Gastrula: embrio mengalami proses diferensiasi dengan mulai menghilangnya blastosol. Tahap gastrula ditandai dengan terbentuknya tiga lapisan embrionik, yaitu lapisan ektoderm, lapisan mesoderm dan lapisan endoderm. Serta terjadi invaginasi yang menyebabkan migrasi dan reorganisasi sel.
4. Neurulasi : dapat diindikasikan dengan terbentuknya lempeng neural yang berasal dari hasil penebalan lapisan ektoderm.
5. Organogenesis : Tahapan organogenesis merupakan tahapan pembentukan organ yang berkembang dari lapisan embrionik yang terbentuk pada tahap gastrula.



TES FORMATIF

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Proses fertilisasi artinya adalah
 - a. Pertumbuhan dan perkembangan zigot hingga menjadi individu baru yang siap dilahirkan.
 - b. Proses peleburan antara sel ovum dan sel sperma sehingga terbentuk zigot ($2n$)
 - c. Proses membuahi sel sperma oleh sel telur sehingga terbentuk zigot
 - d. Perkembangan zigot, dari sel uniseluler menjadi multiseluler
 - e. Proses terbentuknya sel ovum dan sel sperma
2. Di bawah ini merupakan diferensiasi pada lapisan mesoderm tahap organogenesis, *kecuali*...
 - a. Sistem otot
 - b. Sistem sirkulasi (peredaran darah),
 - c. Jaringan ikat
 - d. Sistem pencernaan
 - e. Sistem reproduksi
3. Pada tahap gastrula setelah semua sel berhasil bermigrasi rongga blastosol akan menghilang dan diganti dengan terbentuknya.....
 - a. Trofektoderm
 - b. Blastulasi
 - c. Rongga arkenteron
 - d. Rongga blastopori
 - e. Lapisan embrionik

4. Fase gastrula ditandai dengan ...
- Hilangnya rongga blastosol.
 - Terbentuknya tiga lapisan embrionik pada embrio
 - Terbentuknya rongga blastosol
 - A dan B benar
 - B dan C benar
5. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan perkembangan embrio
- (1) Morula
 - (2) Zigot
 - (3) Neurologi
 - (4) Organogenesis
 - (5) Blastula
 - (6) Gastrula

Manakah urutan yang benar dari perkembangan embriologi....

- 2-1-5-6-4-3
 - 2-1-5-6-3-4
 - 2-1-6-5-3-4
 - 2-1-6-5-4-3
 - 2-1-6-4-5-3
6. Inner cell mass (ICM) akan berkembang menjadi
- Trofoblas
 - Blastosol
 - Selaput korion
 - A dan C benar
 - Salah semua
7. Bagian ICM yang membentuk bakal ektoderm epidermis, ektoderm saraf, notokorda dan mesoderm, adalah....
- Lapisan embrionik
 - Lapisan hipoblas
 - Sel kuboid
 - Epiblas
 - Rongga blastosol

8. Proses implementasi embrio terjadi pada tahap....
- Morula
 - Neurologi
 - Organogenesis
 - Blastula
 - Gastrula
9. Pada fase gastrulasi sel-sel pada kutub fungsional akan membelah dengan cepat yang mengakibatkan terjadinya....
- Pada sel kutub vegetatif akan membentuk lekukan ke arah luar (invaginasi).
 - Terbentuknya rongga arkenteron
 - Terbentuk lubang saluran bekas titik invaginasi yang disebut dengan istilah blastopori
 - Terbentuknya rongga blastosol
 - Pada sel kutub vegetatif akan membentuk lekukan ke arah dalam (invaginasi).
10. Berikut ini merupakan pernyataan terkait perkembangan embrio
- Perkembangan embrio dimulai dengan proses fertilisasi
 - Pada tahap blastula, sel hanya akan mengalami perkembangan tanpa pertumbuhan atau penambahan ukuran.
 - Pada tahap gastrula terbentuk rongga blastula
 - Terbentuknya 3 lapisan embrionik nantinya akan menentukan nasib perkembangan sel selanjutnya.
 - Inner cell mass akan berkembang menjadi calon embrio
- Pernyataan di atas yang benar terkait perkembangan embrio adalah....
- (1), (3), dan (4) benar
 - (1), (3) dan (5) benar
 - (1), (4), dan (5) benar
 - (2) dan (4) salah
 - Semuanya benar

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir Bab 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 Bab selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Genetika dikemukakan sejak dilakukannya percobaan oleh G. J. Mendel pada tahun 1866. Ilmu genetika terus mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang sangat pesat, karena ternyata dalam aplikasinya genetika terbukti sangat mempengaruhi kehidupan. Masyarakat luas saat ini juga semakin sadar akan peranan penting gen terhadap penentuan serta keberadaan organisme. Hal ini membuat banyak harapan masa depan yang dipercayakan pada pertumbuhan dan perkembangan ilmu genetika.

A. PENGERTIAN GENETIKA

Di bawah ini merupakan beberapa pengertian genetika menurut para ahli berdasarkan pada pertumbuhan dan perkembangannya. Adapun pengertian tersebut adalah sebagaimana berikut:

1. Genetika adalah cabang biologi yang mengacu terhadap studi terkait gen (Brown,1989)
2. Genetika merupakan ilmu pewarisan sifat yang mempelajari tentang struktur dan fungsi gen, serta cara pewarisan gen-gen dari satu generasi ke generasi berikutnya (Russel,1992).
3. Genetika merupakan ilmu yang mempelajari tentang gen. Gen adalah konsep dasar yang akan digunakan dalam komunikasi ilmu pengetahuan secara umum saat ini, serta pada masa yang akan datang (Venville,2002)
4. Genetika dapat diartikan sebagai salah satu dari cabang ilmu biologi yang mengkaji tentang materi genetik yang meliputi struktur, reproduksi, kerja (ekspresi), perubahan dan rekombinasi, keberadaan gen dalam populasi, serta rekayasa materi genetik (Corebima,2010).

Dari beberapa definisi genetika yang dipaparkan di atas dapat diartikan bahwa genetika merupakan ilmu yang menganalisis unit keturunan dan perubahan pengaturan dari berbagai fungsi fisiologis yang membentuk karakter suatu organisme. Unit keturunan tersebut disebut sebagai gen yang merupakan suatu

segmen DNA, dimana nukleotidanya adalah pembawa informasi karakter biokimia atau fisiologis tertentu. Sehingga substansi kajian utama dari ilmu genetika sebenarnya adalah gen.

Genetika menjadi salah satu cabang dari ilmu biologi, namun genetika sebenarnya merupakan inti dari ilmu biologi itu sendiri. Karena gen yang menjadi substansi kajian dalam genetika, dapat membawa pengaruh besar terhadap kehidupan, dimana gen dapat mempengaruhi keberadaan serta terjadinya keanekaragaman pada organisme.

B. SEJARAH GENETIKA

Ketika berbicara terkait dengan genetika atau mekanisme pewarisan sifat, maka kita akan sampai pada penyebutan salah satu ilmuwan terkemuka, yaitu Gregor Johann Mendel. Ia dikenal sebagai orang yang pertama kali mengenalkan suatu mekanisme terkait pewarisan sifat melalui percobaan persilangan yang telah ia lakukan.

Kegiatan mengamati pola pewarisan sifat pada organisme sebenarnya sudah dilakukan dan dikenal oleh manusia jauh sebelum Mendel. Adapun bukti terjadinya hal tersebut adalah sebagai berikut:

- Bahwa sejak dulu manusia sudah memiliki prinsip dalam memilih jodoh supaya mendapat keturunan yang lebih baik
- Dilakukannya aktivitas budidaya atau domestikasi pada tanaman padi, jagung, gandum, kelapa, kurn dan seterusnya
- Dilakukannya aktivitas budidaya atau domestikasi pada hewan ternak misalnya unta, kuda, domba dan seterusnya, dengan sifat tertentu untuk diperbanyak, kegiatan ini disebut juga sebagai seleksi atau pemuliaan.

Namun walaupun kegiatan domestikasi pada tanaman maupun hewan ternak sudah dilakukan sebelum Mendel, tapi catatan tentang mekanisme pewarisan sifat tidak ada atau tidak ditemukan, yang ada hanya informasi mengenai tanaman atau hewan jenis tertentu memiliki sifat atau kualitas yang lebih baik dari jenis lainnya.

Pada abad ke-19 Mendel melakukan percobaan persilangan pada tanaman ercis (*Pisum sativum* L., suku polong-polongan atau Fabaceae). Mendel

mengemukakan tentang prinsip-prinsip penurunan sifat pada organisme, bahwa sifat menurun dibawa oleh faktor penentu (gen) dan ditentukan oleh separuh induk jantan (sperma) dan separuh dari induk betina (ovum).

Mendel memilih kacang ercis sebagai bahan percobaannya karena beberapa hal antara lain adalah:

- Tanaman ini memiliki banyak sifat yang berlawanan sehingga pada keturunannya dapat diamati sifat yang diwariskan. Beberapa pasang sifat yang sangat mencolok perbedaannya, misalnya pada sifat warna bunganya yang mudah sekali untuk dibedakan antara warna ungu dan putih, pada sifat warna bijinya hijau dan kuning, dan seterusnya.
- Tanaman ercis merupakan tanaman yang dapat menyerbuk sendiri secara alami dan juga dapat melakukan penyerbukan silang. Hal ini disebabkan oleh adanya bunga sempurna, yaitu bunga yang mempunyai alat kelamin jantan dan betina.
- Tanaman ercis memiliki daur hidup yang relatif pendek, serta mudah untuk ditumbuhkan dan dipelihara.
- Tanaman ini bertunas, berbunga dan berbuah pada satu musim sehingga dengan cepat dapat diketahui hasilnya
- Tanaman ercis menghasilkan banyak biji, sehingga sangat membantu dalam analisis.

Berdasarkan percobaan yang ia lakukan, Mendel berhasil membuktikan bahwa pemindahan sifat dari induk kepada keturunannya merupakan sebuah pola yang dapat diperkirakan. Pemikiran tersebut kemudian dijadikan dasar atau rujukan untuk dapat memperoleh sifat-sifat yang diinginkan atau sifat yang ingin diturunkan pada generasi berikutnya. Berkat percobaan persilangan pada tanaman ercis yang ia lakukan, Mendel kemudian mendapat julukan sebagai Bapak Genetika. Meskipun dalam perkembangannya ilmu genetika sebenarnya bukan hanya membahas terkait faktor-faktor pewarisat sifat terhadap kerurunannya saja.

C. TERMINOLOGI

Ada beberapa istilah yang perlu diketahui untuk dapat memahami dan menjelaskan prinsip-prinsip pewarisan sifat. Adapun beberapa istilah tersebut adalah sebagaimana berikut:

1. P adalah individu tetua
2. F1 adalah keturunan atau generasi pertama
3. F2 adalah keturunan atau generasi ke dua.
4. Gen yang dominan ditulis dengan huruf kapital (huruf besar), sedangkan yang bersifat resesif ditulis dengan simbol huruf kecil. Misalnya **D** dikatakan sebagai gen dominan, sedangkan **d** sebagai gen atau resesif. Yang dimaksud dengan gen dominan adalah gen yang ekspresinya menutupi ekspresi alelnya. Sebaliknya, gen resesif adalah gen yang ekspresinya ditutupi oleh ekspresi alelnya. Gen D dikatakan dominan terhadap gen d, karena ekspresi gen D akan menutupi ekspresi gen d jika keduanya terdapat bersama-sama dalam satu individu, contohnya Dd.
5. Alel adalah bentuk alternatif suatu gen yang terdapat pada lokus atau tempat tertentu dan membawa informasi genetik
6. Homozigot adalah individu yang pasangan alel pada suatu gennya membawa informasi genetik yang sama, seperti DD disebut sebagai Homozigot dominan, sedangkan dd disebut sebagai homozigot resesif
7. Heterozigot adalah individu yang pasangan alel pada suatu gennya tidak membawa informasi genetik yang sama, seperti Dd, Mm, Nn dan seterusnya.
8. Fenotipe adalah ekspresi gen yang langsung dapat diamati sebagai suatu sifat pada suatu individu atau sifat fisik dari suatu individu, seperti tinggi, pendek, bulat, keriput, ungu, putih dan seterusnya.
9. Genotipe adalah simbol-simbol untuk suatu individu yang dibuat berdasarkan pada komposisi alelnya atau susunan genetik yang mendasari pemunculan suatu sifat. Contohnya genotipe DD dan Dd ditujukan untuk tanaman yang tinggi, sedangkan genotip dd ditujukan untuk tanaman yang rendah.

LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Jelaskan pengertian genetika menurut pertumbuhan dan perkembangannya !
2. Jelaskan manfaat mempelajari ilmu genetika !
3. Jelaskan perbedaan antara homozigot dominan, homozigot resesif dan heterozigot !

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.

RANGKUMAN

Genetika merupakan ilmu yang menganalisis unit keturunan dan perubahan pengaturan dari berbagai fungsi fisiologis yang membentuk karakter suatu organisme. Unit keturunan disebut sebagai gen yang merupakan suatu segmen DNA, yang nukleotidanya membawa informasi karakter biokimia atau fisiologis tertentu. Sehingga substansi kajian utama dari ilmu genetika sebenarnya adalah gen. Genetika menjadi salah satu cabang dari ilmu biologi, namun genetika sebenarnya merupakan inti dari ilmu biologi itu sendiri. Karena dapat membawa pengaruh besar terhadap kehidupan, dimana gen dapat mempengaruhi keberadaan dan keanekaragaman pada organisme.

Gregor Johann Mendel dikenal sebagai orang yang pertama kali mengenalkan suatu mekanisme terkait pewarisan sifat melalui percobaan persilangan pada tanaman kacang ercis (*Pisum sativum* L., suku polong-polongan atau Fabaceae) yang dilakukan pada abad ke-19. Berkat percobaan persilangan pada tanaman kacang ercis yang ia lakukan, Mendel kemudian mendapat julukan sebagai Bapak Genetika. Meskipun dalam perkembangannya ilmu genetika

sebenarnya bukan hanya membahas terkait faktor-faktor pewarisat sifat terhadap kerurunan saja.

Adapun beberapa istilah yang harus dipahami dalam ilmu genetika adalah individu tetua (P), keturunan atau generasi pertama (F1), keturunan atau generasi ke dua (F2), gen dominan dan resesif, alel, homozigot, heterozigot, sifat fisik suatu individu (fenotipe) dan simbol-simbol untuk suatu individu yang dibuat berdasarkan pada komposisi alelnya (genotipe).



TES FORMATIF

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Orang yang pertama kali mengenalkan suatu mekanisme terkait pewarisan sifat melalui serangkaian percobaan persilangan pada tanaman kacang ercis adalah....
 - a. Antony Van L.
 - b. Gregor Johann Mendel
 - c. Robert Hooke
 - d. Rudolf Virchow
 - e. Waldeyer
2. Berikut ini merupakan implementasi pemanfaatan ilmu genetika dalam kehidupan, *kecuali*....
 - a. Dihasilkan tanaman yang tahan terhadap hama
 - b. Dihasilkannya tanaman yang memiliki buah yang lebih manis
 - c. Dihasilkan buah yang tidak berbiji
 - d. Dihasilkannya hewan ternak yang dapat menghasilkan susu lebih banyak
 - e. A dan C salah

3. Apa yang dimaksud dengan fenotipe.....
 - a. Ekspresi gen yang langsung dapat diamati sebagai suatu sifat pada individu
 - b. Susunan genetik yang mendasari pemunculan suatu sifat
 - c. Bentuk alternatif suatu gen yang terdapat pada lokus (tempat) tertentu
 - d. Individu yang pasangan alel pada suatu gennya membawa informasi genetik yang sama
 - e. Individu yang pasangan alel pada suatu gennya tidak membawa informasi genetik yang sama
4. Pada percobaan persilangan pertamanya G. J. Mendel menggunakan....
 - a. Tamanan kacang tanah
 - b. Tanaman kacang polong
 - c. Tanaman kacang merah
 - d. Tanaman kacang kedelai
 - e. Tamanan kacang hijau
5. Apa yang dimaksud dengan genotip.....
 - a. Ekspresi gen yang langsung dapat diamati sebagai suatu sifat pada individu
 - b. Susunan genetik yang mendasari pemunculan suatu sifat
 - c. Bentuk alternatif suatu gen yang terdapat pada lokus (tempat) tertentu
 - d. Individu yang memiliki pasangan gen atau alel yang sama
 - e. Individu yang memiliki pasangan gen atau alel yang berbeda
6. Sebutkan pengertian dari sifat resesif
 - a. Ekspresi gen yang langsung dapat diamati sebagai suatu sifat pada individu
 - b. Individu yang pasangan alel pada suatu gennya membawa informasi genetik yang sama
 - c. Individu yang pasangan alel pada suatu gennya tidak membawa informasi genetik yang sama
 - d. Gen yang ekspresinya menutupi ekspresi alelnya

- e. Gen yang ekspresinya ditutupi oleh ekspresi alelnya
7. Sebutkan pengertian dari sifat dominan
- Individu yang pasangan alel pada suatu gennya tidak membawa informasi genetik yang sama
 - Individu yang pasangan alel pada suatu gennya membawa informasi genetik yang sama
 - Gen yang ekspresinya menutupi ekspresi alelnya
 - Gen yang ekspresinya ditutupi oleh ekspresi alelnya
 - Ekspresi gen yang langsung dapat diamati sebagai suatu sifat pada individu
8. Berikut ini merupakan beberapa istilah yang terkait genetika:
- Gen yang menjadi substansi kajian dalam genetika
 - Heterozigot adalah individu yang memiliki pasangan gen atau alel yang sama
 - Salah satu implementasi genetika dalam bidang peternakan adalah dihasilkannya hewan ternak yang dapat memproduksi banyak susu
 - Genetika merupakan ilmu yang membahas mekanisme perawarisan sifat pada organisme
 - Gen tidak mempengaruhi keanekaragaman pada organisme
- Adapun istilah yang tidak sesuai dengan konsep genetika adalah....
- 1, 2 dan 3 benar
 - 2 dan 3 salah
 - 3 dan 4 benar
 - 3, 4 dan 5 benar
 - Semua benar
9. Individu yang memiliki pasangan gen atau alel Dd disebut sebagai.....
- Homozigot dominan
 - Homozigot resesif
 - Heterozigot dominan
 - Heterozigot resesif
 - Heterozigot

10. Keturunan atau generasi pertama dalam terminologi genetika dilambangkan dengan....

- a. F2
- b. F1
- c. P
- d. F
- e. N

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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

Arti tingkat penguasaan:

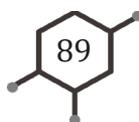
90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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



BAB 8

POLA PEWARISAN SIFAT

Pola pewarisan sifat (hereditas) pada suatu organisme terbagi dalam beberapa tipe, yaitu perkawinan Monohibrid dan perkawinan polihibrid (dihibrid, trihibrid dan seterusnya). Perkawinan monohibrid merupakan perkawinan yang hanya melibatkan satu sifat beda, sedangkan perkawinan polihibrid merupakan perkawinan yang melibatkan lebih dari satu sifat beda. Pola pewarisan sifat berdasarkan hukum Mendel dapat diperkirakan menggunakan formulasi matematika. Namun menurut beberapa penelitian ternyata pola pewarisan sifat Mendel tidak selalu benar, beberapa penemuan menyatakan bahwa terdapat penyimpangan terhadap hukum Mendel atau selanjutnya disebut sebagai “*penyimpangan semu hukum Mendel*”.

A. PERKAWINAN MONOHIBRID

Perkawinan monohibrid merupakan bentuk pewarisan yang sederhana dan merupakan dasar untuk memahami mekanisme pewarisan sifat. Perkawinan monohibrid adalah suatu perkawinan yang hanya memperhatikan satu sifat beda saja.

1. Prinsip-Prinsip Perkawinan Monohibrid

Adapun 3 prinsip pewarisan sifat menurut Mendel, yaitu sebagaimana berikut ini:

a. Unit faktor hadir berpasangan

Sifat genetik dikontrol oleh suatu faktor yang hadir berpasangan dalam setiap individu. Misalnya pada suatu persilangan monohibrid yang melibatkan tanaman berbunga ungu dan berbunga putih, terdapat faktor yang menentukan warna suatu tanaman. Faktor tersebut disebut sebagai alel. Setiap individu diploid akan menerima satu alel dari masing-masing induknya. Karena alel hadir berpasangan maka akan terdapat 3 kombinasi pada keturunannya, contohnya persilangan individu Mm dengan Mm akan menghasilkan keturunan MM, Mm dan mm.

b. Sifat dominan dan resesif

Bila terdapat dua alel yang bertanggungjawab terhadap munculnya sifat yang hadir dalam satu individu, maka akan ada satu alel yang bersifat dominan dan satu alel yang bersifat resesif.

c. Segregasi

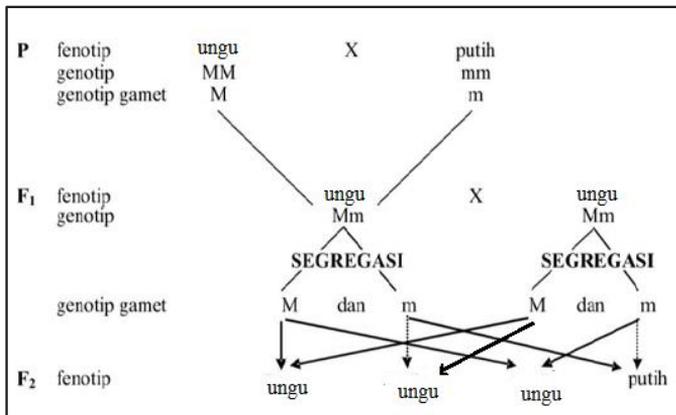
Dalam proses pembentukan gamet pasangan alel memisah secara random, sehingga setiap gamet akan memiliki salah satu dari pasangan alel yang memiliki kemungkinan sama. Prinsip ini sangat cocok untuk menjelaskan hasil perkawinan monohibrid.

2. Percobaan Perkawinan Monohibrid

Pada percobaannya perkawinan monohibrid, Mendel melakukan persilangan pada tanaman ercis dengan beberapa macam sifat, yaitu warna bunga (ungu-putih), warna kotiledon (hijau-kuning), warna biji (hijau-kuning), bentuk polong (rata-berlekuk), permukaan biji (halus-keriput), dan letak bunga (aksial-terminal). Tanaman yang dipilih adalah tanaman galur murni, yaitu tanaman yang jika melakukan penyerbukan sendiri tidak akan menghasilkan tanaman yang berbeda dengannya. Dalam hal ini contohnya adalah pada tanaman yang memiliki bunga ungu akan tetap menghasilkan tanaman bunga ungu, begitu juga dengan tanaman bunga putih akan selalu menghasilkan tanaman bunga putih.

Pada percobaan persilangan galur murni tanaman ercis berbunga ungu dengan galur murni tanaman ercis berbunga putih. Pada tanaman ercis berbunga ungu (MM) akan membentuk gamet M, sedangkan pada tanaman ercis berbunga putih (mm) membentuk gamet m. Pada generasi pertama (F1) diperoleh keturunan yang semuanya memiliki bunga ungu (Mm). Hal ini berarti bahwa bunga ungu disebut sebagai ciri sifat dominan, sedangkan bunga putih sebagai ciri sifat resesif.

Selanjutnya, tanaman ungu hasil persilangan tersebut dibiarkan menyerbuk sendiri atau dilakukan penyerbukan pada sesama generasi F1, hingga mendapat keturunan atau generasi kedua (F2). Berdasarkan percobaan yang dilakukan diperoleh generasi F2 dengan rasio fenotip tanaman berbunga ungu: putih adalah sebesar 3 : 1, untuk lebih jelasnya skema percobaan Mendel tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema perkawinan monohybrid

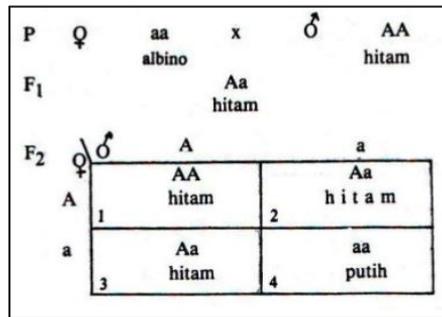
Pada persilangan individu F1, yang memiliki genotip Mm, akan menghasilkan gamet M dan gamet m, dimana gen M dan gen m akan dipisahkan (disegregasi). Prinsip inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum segregasi atau **Hukum Mendel I** “*Pada waktu berlangsung pembentukan gamet, tiap pasang gen akan disegregasi ke dalam masing-masing gamet yang terbentuk.*”

Walaupun Mendel menggunakan tanaman untuk menjelaskan mekanisme pewarisan sifat, namun hukum –hukum atau mekanisme pewarisan sifat tersebut juga dapat diterapkan pada organisme lain, seperti pada hewan maupun manusia.

Salah satu contoh perkawinan monohybrid pada hewan adalah perkawinan yang terjadi pada marmut berdasarkan warna rambut. Jika marmut yang memiliki warna rambut albino (aa) melakukan perkawinan dengan marmut yang memiliki warna rambut hitam Homozigot (AA), maka akan dihasilkan keturunan sebagai berikut:

- Marmut rambut hitam homozigot (AA) 25%
- Marmut rambut hitam heterozigot (Aa) sebesar 50% dan
- Marmut rambut albino (aa) sebesar 25%

Adapun rasio genotipnya adalah sebesar 1 AA: 2 Aa: 1 aa, sedangkan rasio fenotipnya adalah sebesar 3 hitam : 1 albino. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Skema perkawinan marmut albino dengan hitam

B. PERKAWINAN POLIHIBRID

Selanjutnya Mendel juga melakukan percobaan lain, yaitu melibatkan lebih dari satu sifat beda atau disebut sebagai persilangan polihybrid. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui apakah prinsip-prinsip pada persilangan monohybrid dapat berlaku juga pada persilangan dihibrid, tribibrid dan seterusnya.

1. Perkawinan Dihibrid

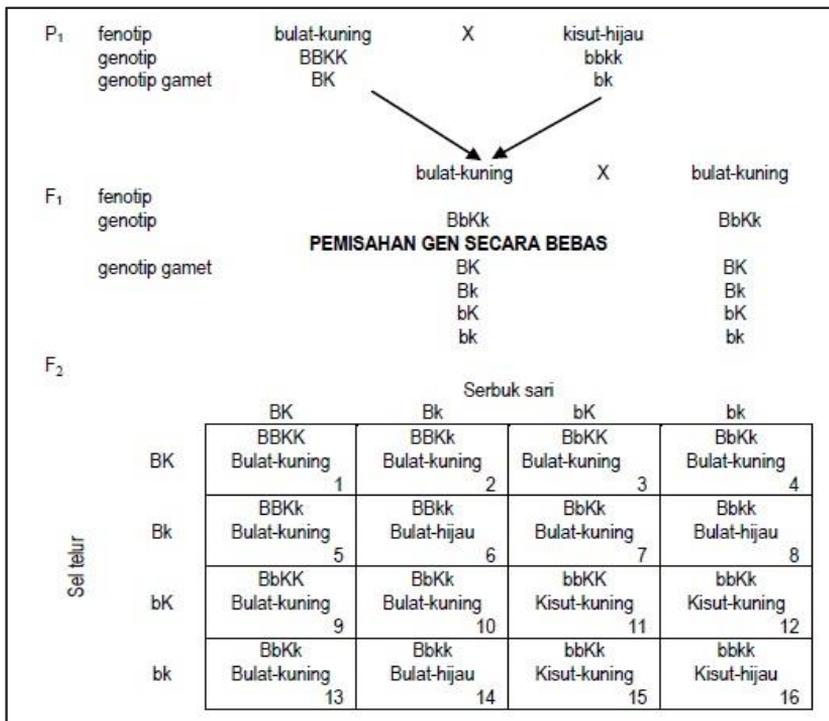
Perkawinan dihibrid merupakan perkawinan yang melibatkan pola perwarisan dua macam sifat sekaligus. Mendel melakukan percobaan perkawinan dihibrid menggunakan tanaman ercis. Ia melakukan percobaan persilangan dengan dua sifat beda atau dihibrid, yaitu galur murni tanaman ercis berbiji bulat kuning disilangkan dengan galur murni tanaman ercis berbiji keriput hijau. Mendel mengemukakan dua kemungkinan pada hasil persilangan F₂, yaitu:

- Ciri-ciri yang berasal dari satu induk akan diwariskan bersama-sama
- Ciri-ciri yang berasal dari satu induk akan diwariskan secara bebas satu sama lain.

Apabila kemungkinan a benar maka pada F₂ hanya akan dijumpai 2 macam biji, yaitu bulat kuning dan keriput hijau dengan rasio 3:1 sesuai dengan hukum pemisahan Mendel. Namun jika kemungkinannya b yang benar maka akan dijumpai 4 macam ciri biji yaitu biji bulat kuning, bulat hijau, keriput kuning dan keriput hijau dengan rasio 9 : 3 : 3 : 1. Ternyata berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan diperoleh 4 macam ciri biji, dimana didapatkan sebanyak:

- 315 biji bulat kuning
- 108 biji bulat hijau
- 101 biji keriput kuning dan
- 32 biji keriput hijau.

Sehingga didapatkan rasio mendekati 9 : 3 : 3 : 1 seperti pada kemungkinan b. Adapun hasil perkawinan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar

3. Skema perkawinan tanaman ercis bulat-kuning dengan kisut-hijau

Sebagai akibat terjadinya segregasi gen B dan K secara independen. Dengan demikian, gamet-gamet yang terbentuk dapat mengandung kombinasi gen dominan dengan gen dominan (BK), gen dominan dengan gen resesif (Bk dan bK), serta gen resesif dengan gen resesif (bk). Hal inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum pemilihan bebas (*the law of independent assortment*) atau **hukum Mendel II** “*Segregasi suatu pasangan gen tidak bergantung kepada segregasi pasangan gen lainnya, sehingga di dalam gamet-gamet yang terbentuk akan terjadi pemilihan kombinasi gen-gen secara bebas*”

2. Perkawinan Trihibrid

Perkawinan trihibrid adalah perkawinan yang melibatkan pola perwarisan tiga macam sifat sekaligus. Berikut ini merupakan contoh perkawinan trihibrid pada tanaman ercis biji bulat-kuning-tinggi dengan tanaman ercis biji keriput, hijau-pendek, adapun skema perkawinannya dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.

P1	TTKKBB		><		ttkkbb	
Fenotipe	Tinggi,kuning,bulat		><		Pendek,keriput,hijau	
Gamet	TKB		><		Tkb	
F1	TtKkBb		Tinggi,kuning,bulat		TtKkBb	
P2	TtKkBb		><		TtKkBb	
Gamet	TKB,TKb,TkB,Tkb,tKB,tKb,tkB,tkb		TKB,TKb,TkB,Tkb,tKB,tKb,tkB,tkb		TKB,TKb,TkB,Tkb,tKB,tKb,tkB,tkb	
F2	TKB	TKKBB	TTKKBB	TTKkBB	TtKKBB	TtKkBB
	TKb	TTKKBb	TTKKbb	TTKkbb	TtKKbb	TtKkbb
	TkB	TTKkBB	TTKkBB	TTkkBB	TtKkBB	TtKkBB
	Tkb	TTKkBb	TTKkbb	TTkkbb	TtKkbb	TtKkbb
	tKB	TtKKBB	TtKKBB	TtKkBB	ttKKBB	ttKkBB
	tKb	TtKKBb	TtKkbb	TtKkbb	ttKKbb	ttKkbb
	tkB	TtKkBB	TtKkBB	TtkkBB	ttKkBB	ttkkBB
	tkb	TtKkBb	TtKkbb	Ttkkbb	ttKkbb	ttkkbb

Gambar 4. Skema Perkawinan tanaman ercis tinggi-kuning-bulat dengan pendek keriput, hijau

Adapun hasil persilangan pada generasi F2 adalah sebagaimana berikut:

- T-K-B- : Batang Tinggi, Biji Bulat Warna Kuning = 27
- T-K-bb : Batang Tinggi, Biji Bulat Warna Hijau = 9
- T-kkB- : Batang Tinggi, Biji Keriput, Warna Kuning = 9
- ttK-B- : Batang pendek, Biji Bulat, Warna Kuning = 9
- T-kkbb : Batang Tinggi, Biji Keriput, Warna Hijau = 3
- ttK-bb : Batang Pendek, Biji Bulat, Warna Hijau = 3
- ttkkB- : Batang Pendek, Biji Keriput, Warna Kuning = 3
- ttkkbb : Batang pendek, biji keriput, warna hijau = 1
- Tinggi, Bulat, Kuning = 27
- Tinggi, Bulat, Hijau = 9
- Tinggi, Keriput, Kuning = 9
- Pendek, Bulat, Kuning = 9

- Tinggi, Keriput, Hijau = 3
- Pendek, Bulat, Hijau = 3
- Pendek, Keriput, Kuning = 3
- Pendek, Keriput, Hijau = 1

C. FORMULASI MATEMATIKA

Pada Individu F1 pada suatu persilangan monohybrid atau pada perkawinan monohybrid heterozigot, misalnya Aa, akan menghasilkan 2 macam gamet, yaitu A dan a. Gamet-gamet ini, baik dari individu jantan maupun betina, akan bergabung menghasilkan 3 macam genotip (AA, Aa, dan aa) dan 2 macam fenotipe dengan rasio 3 : 1.

Sementara itu, pada individu F1 hasil persilangan dihibrid atau perkawinan dihibrid heterozigot, misalnya AaBb, akan membentuk 4 macam gamet, masing-masing AB, Ab, aB dan ab. Gamet-gamet ini, baik dari individu jantan maupun betina, akan bergabung menghasilkan 16 individu yang terbagi ke dalam 4 macam fenotip dengan rasio sebesar 9 : 3 : 3 : 1.

Sedangkan pada individu F1 hasil persilangan trihibrid atau perkawinan trihibrid heterozigot, misalnya AaBbCc, akan membentuk 8 macam gamet, masing-masing ABC, ABc, AbC, Abc, aBC, aBc, abC dan abc. Gamet-gamet ini, baik dari individu jantan maupun betina, akan bergabung menghasilkan 64 individu yang terbagi dalam 8 macam fenotip dengan rasio sebesar 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1.

Ternyata semua bentuk perkawinan menghasilkan bilangan tetap 3 dan 1. Bilangan tetap 3 akan diulang semakin banyak seiring dengan terjadinya penambahan jumlah alel dominan yang terlibat pada perkawinan. Ternyata pengulangan ini sesuai dengan bilangan-bilangan pada segitiga pascal. Adapun ringkas dapat ditentukan berdasarkan formulasi matematika seperti Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Formulasi matematika pada macam-macam persilangan

Jenis persilangan	Macam gamet	Macam fenotip	Macam genotip	Jumlah individu	Formulasi atau rasio fenotip
Monohybrid	2	2	3	4	3 : 1
Dihybrid	4	4	9	16	9 : 3 : 3 : 1
Trihibrid	8	8	27	64	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1
N hibrid	2^n	2^n	3^n	4^n	$(3 + 1)^n$

Hubungan matematika akan diperoleh pula pada persilangan-persilangan yang melibatkan pasangan gen yang lebih banyak, yaitu tetrahibrid dan seterusnya.

D. PENYIMPANGAN SEMU HUKUM MENDEL

Menurut beberapa penelitian ternyata pola pewarisan sifat Mendel tidak selalu benar, beberapa penemuan menyatakan bahwa terdapat penyimpangan terhadap hukum mendel atau selanjutnya disebut sebagai “*penyimpangan semu hukum Mendel*”. Karena rasio fenotip seperti 3 : 1 dan 9 : 3 : 3 : 1, pada turunan F2 tidak selalu ditemukan, misalnya pada suatu perkawinan diperoleh hasil turunan F2 dengan rasio 9 : 7 atau 9 : 3 : 4, bukan 9 : 3 : 3 : 1. Penyimpangan yang terjadi seperti itu disebut sebagai penyimpangan semu dari temuan Mendel karena sebenarnya rasio yang diperoleh seperti di atas dapat dilihat sebagai rasio gabungan dari 9 : 3 : 3 : 1 yang ada. Rasio 9 : 7 berasal dari 9 : (3+3+1), dan rasio 9 : 3 : 4 berasal dari 9 : 3 : (3+1), dan seterusnya.

Selain rasio fenotip pada turunan F2 yang tidak sesuai dengan penemuan Mendel, muncul pula fenotip baru yang tidak sesuai dengan prinsip yang ditemukan oleh Mendel. Di bawah ini merupakan beberapa bentuk penyimpangan semu dari Hukum Mendel, yaitu sebagaimana berikut:

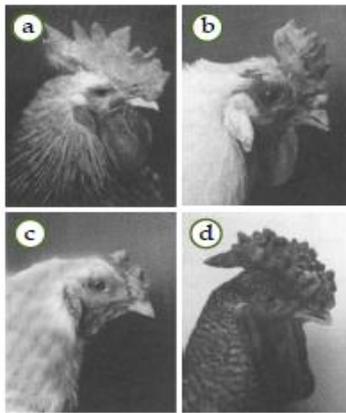
1. Atavisme

Atavisme adalah terjadinya interaksi dari beberapa gen, sehingga menghasilkan keturunan yang mempunyai fenotipe baru. Atavisme dapat ditemukan pada tipe pial (jengger) ayam, interaksi ini pertama kali diungkap oleh

ilmuan bernama W. Bateson dan R.C. Punnet. Diketahui bahwa terdapat empat tipe jengger ayam, yaitu :

- a. Ros (R-pp), terdapat pada ayam Wyandotte.
- b. Pea (rrP-), terdapat pada ayam Brahma
- c. Walnut (R-P-), terdapat pada ayam Malaya
- d. Single (rrpp), terdapat pada ayam Leghorn

Adapun untuk lebih jelasnya gambar keempat tipe ayam tersebut dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Bentuk jengger pada ayam, (a) singel, (b) pea, (c) walnut, dan (d) ros

Contoh bentuk atavisme adalah perkawinan antara ayam jantan berjengger *ros* disilangkan dengan ayam betina berjengger *pea*. Dari hasil persilangan tersebut, ternyata diperoleh bahwa seluruh F1 berjengger *walnut*. Kemudian jika generasi F1 disilangkan dengan sesamanya, diperoleh generasi F2 dengan rasio fenotip sebesar 9 Walnut : 3 Ros : 3 Pea : 1 Singel. Untuk lebih jelasnya skema perkawinan tersebut dapat dilihat pada gambar 6.

P	fenotipe :	♂ ros	×	pea ♀	
	genotipe :	RRpp	↓	rrPP	
	gamet :	Rp		rP	
F ₁	fenotipe :		RrPp		
	genotipe :		walnut		
F ₁ × F ₁	genotipe :	RrPp	×	RrPp	
	gamet :	RP, rP, Rp, rp		Rp, rP, Rp, rp	
F ₂ :	♀ \ ♂	RP	rP	Rp	rp
	RP	RRPP (walnut)	RrPP (walnut)	RRPp (walnut)	RrPp (walnut)
	rP	RrPP (walnut)	rrPP (pea)	RrPp (walnut)	rrPp (pea)
	Rp	RRPp (walnut)	RrPp (walnut)	RRpp (ros)	Rrpp (ros)
	rp	RrPp (walnut)	rrPp (pea)	Rrpp (ros)	rrpp (single)

Gambar 6. Perkawinan ayam berjengger Ros dengan ayam berjengger pea

Hasil perkawinan antara ayam berjengger ros dengan ayam berjengger pea berbeda dengan hasil perkawinan yang dilakukan oleh Mendel pada kacang ercis. Dengan adanya interaksi antara dua gen dominan dan gen resesif seluruhnya akan menghasilkan variasi fenotipe baru, yaitu walnut dan single. Terjadinya perbedaan bentuk jengger ayam pada generasi berikutnya ini dinamakan dengan atavisme.

2. Kriptomeri

Kriptomeri merupakan salah satu bentuk penyimpangan dari hukum Mendel. Kriptomeri adalah suatu peristiwa dimana suatu gen dengan sifat dominan yang tidak akan tampak pengaruhnya jika hanya muncul sendiri atau suatu gen dengan sifat dominan yang hanya akan tambak pengaruhnya jika muncul bersama dengan gen dominan lainnya yang bukan sealel.

Peristiwa ini pertama kali diamati oleh Correns pada saat pertama kali mendapatkan hasil perbandingan persilangan galur murni bunga *Linaria maroccana* warna merah dengan warna putih. Adapun Skema perkawinan antara bunga *Linaria maroccana* warna merah dengan warna putih dapat dilihat pada gambar 7.

P	fenotipe :	♂ merah	×	putih ♀	
	genotipe:	AAbb		aaBB	
	gamet :	Ab		aB	
F ₁	fenotipe :	AaBb			
	genotipe:	ungu			
F ₁ × F ₁	genotipe:	AaBb	×	AaBb	
	gamet :	AB, Ab, aB, ab		AB, Ab, aB, ab	
F ₂ :	♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
	AB	AABB (ungu)	AABb (ungu)	AaBB (ungu)	AaBb (ungu)
	Ab	AABb (ungu)	AAbb (merah)	AaBb (ungu)	Aabb (merah)
	aB	AaBB (ungu)	AaBb (ungu)	aaBB (putih)	aaBb (putih)
	ab	AaBb (ungu)	Aabb (merah)	aaBb (putih)	aabb (putih)

Gambar 7. Perkawinan bunga *Linaria maroccana* warna merah dengan warna putih (peristiwa kriptomeri)

Dari perkawinan tersebut dihasilkan generasi F1 yang seluruhnya berwarna ungu. Kemudian dari hasil persilangan antara generasi F1 dengan sesamanya, dihasilkan generasi F2 yang memiliki rasio fenotip sebesar 9 : 3 : 4, dengan keterangan sebagai berikut ini:

- AABB, 2 AABb, 2 AaBB, 4 AaBb = 9 ungu
- AAbb, 2 Aabb = 3 merah
- aaBB, 2 aaBb, aabb = 4 putih

Setelah dilakukan penelitian lebih lanjut, ternyata warna bunga merah ini disebabkan oleh adanya zat antosianin, yakni suatu pigmen yang berada dalam bunga. Bunga berwarna merah diidentifikasi sebagai bunga yang memiliki antosianin, sedangkan bunga berwarna putih merupakan bunga yang tidak memiliki antosianin. Bunga merah ini bersifat dominan terhadap bunga putih.

Dari penelitian tersebut menyatakan bahwa warna merah disebabkan oleh antosianin yang hadir dalam kondisi sel yang asam, namun jika antosianin hadir dalam kondisi basa maka akan dihasilkan bunga berwarna ungu. Sedangkan bunga tanpa antosianin akan tetap berwarna putih dalam kondisi asam ataupun basa.

Jadi bunga dengan antosianin adalah A dan bunga tanpa antosianin adalah a, sedangkan pengendali sifat sitoplasma basa adalah B dan pengendali sitoplasma bersuasana asam adalah b. Apabila pada genotip tanaman hanya terdapat gen A

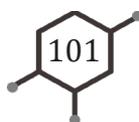
atau gen B saja maka tidak akan dihasilkan bunga berwarna ungu. Di sini dikatakan bahwa tanaman akan berbunga ungu apabila gen B berada bersama gen A atau dapat pula dikatakan bahwa gen B akan mempunyai pengaruh dalam pembentukan warna apabila berada bersama dengan gen A, Dikatakan di sini bahwa gen B itu tersembunyi atau disebut kriptomer (kriptos = tersembunyi).

3. Epistasis dan Hipostasis

Merupakan interaksi di mana satu gen menutupi gen lain yang bukan alelnya. Gen yang ditutupi itu disebut hipostasis, sedangkan gen yang menutupi disebut epistasis. Pasangan gen yang menutup sifat lain tersebut dapat berupa gen resesif atau gen dominan. Apabila pasangan gen dominan yang menyebabkan epistasis, prosesnya dinamakan dengan epistasis dominan, sedangkan jika penyebabnya adalah pasangan gen resesif, prosesnya dinamakan dengan epistasis resesif.

a. Epistatis dominan

Peristiwa epistasis ini dapat ditemukan pada pembentukan warna biji tanaman sejenis gandum. Pada pembentukan warna kulit biji gandum, Nelson Ehle menyilangkan dua varietas gandum warna kulit biji hitam dengan warna kulit biji kuning. Hasil pengamatannya menunjukkan bahwa pada generasi F1 dihasilkan 100% warna kulit biji berwarna hitam. Kemudian generasi F1 dikawinkan dengan sesamanya dan dihasilkan generasi F2 gandum dengan kulit biji berwarna hitam, kuning, dan putih, rasio fenotipenya adalah sebesar 12 : 3 : 1. Adapun skema perkawinan tersebut dapat dilihat pada gambar 8.



P	fenotipe :	hitam	×	kuning	
	genotipe:	HHkk	↓	hhKK	
	gamet :	Hk		hK	
F ₁	fenotipe :		HhKk		
	genotipe:		hitam		
F ₁ × F ₁	genotipe:	HhKk	×	HhKk	
	gamet :	Hk, hK, Hk, hk		Hk, hK, Hk, hk	
F ₂ :	♀ \ ♂	HK	Hk	hK	hk
	HK	HHKK (hitam)	HHKk (hitam)	HhKK (hitam)	HhKk (hitam)
	Hk	HHKk (hitam)	HHkk (hitam)	HhKk (hitam)	Hhkk (hitam)
	hK	HhKK (hitam)	HhKk (hitam)	hhKK (kuning)	hhKk (kuning)
	hk	HhKk (hitam)	Hhkk (hitam)	hhKk (kuning)	hhkk (putih)

Gambar 8. Perkawinan tanaman gandum warna kulit biji hitam dengan warna kulit biji kuning (epistasis dominan)

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa setiap kemunculan gen H dominan maka fenotipe yang dihasilkannya adalah berwarna biji hitam. Warna biji kuning hanya akan hadir apabila gen dominan K bertemu dengan gen resesif h, sedangkan warna putih disebabkan oleh interaksi sesama gen resesif. Dengan demikian, gen dominan H bersifat epistasis terhadap gen K sehingga peristiwa ini dinamakan dengan epistasis dominan.

b. Epistatis resesif

Peristiwa epistasis resesif terjadi apabila suatu gen resesif menutupi ekspresi gen lain yang bukan alelnya. Akibat peristiwa ini, pada generasi F₂ akan diperoleh rasio fenotipe 9:3:4. Contoh epistasis resesif dapat dilihat pada pewarisan warna mencit (*Mus musculus*). Dimana warna hitam pada warna bulu mencit disebabkan oleh adanya gen R dan C bersama, untuk warna krem disebabkan oleh gen rr dan C, sedangkan gen rr dan cc akan dihasilkan warna albino. Untuk lebih jelasnya skema perwakinan tersebut dapat dilihat pada gambar 9.

P	fenotipe :	hitam	×	albino	
	genotipe:	RRCC		rrcc	
	gamet :	RC		rc	
F ₁	fenotipe :	RrCc		hitam	
	genotipe:	RrCc	×	RrCc	
F ₁ × F ₁	genotipe:	RrCc		RrCc	
	gamet :	RC, Rc, rC, rc		RC, Rc, rC, rc	
F ₂ :	♀ \ ♂	RC	Rc	rC	rc
	RC	RRCC (hitam)	RRCc (hitam)	RrCC (hitam)	RrCc (hitam)
	Rc	RRCc (hitam)	RRcc (albino)	RrCc (hitam)	Rrcc (albino)
	rC	RrCC (hitam)	RrCc (hitam)	rrCC (krem)	rrCC (krem)
	rc	RrCc (hitam)	Rrcc (albino)	rrCc (krem)	rrcc (albino)

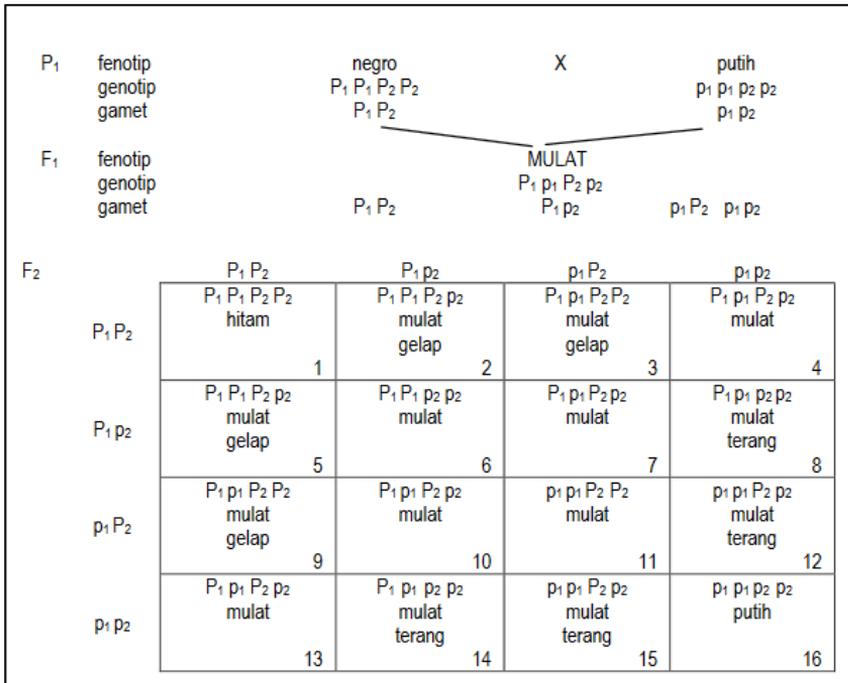
Gambar 9. Skema perkawinan mencit hitam dengan albino (Epistatis resesif)

Persilangan antara mencit berwarna hitam homozigot dengan albino menghasilkan generasi pertama F₁ tikus berwarna hitam semua. Kemudian berdasarkan hasil persilangan sesama generasi F₁, dihasilkan generasi F₂ yang memiliki rasio fenotipe 9 hitam : 3 krem : 4 albino.

Gen resesif cc menyebabkan warna albino, kombinasi gen dominan menyebabkan warna hitam, sedangkan gen dominan C menyebabkan warna krem. Dimana diketahui bahwa gen R merupakan gen yang dominan terhadap gen C. Hal ini membuat terjadinya peristiwa yang dinamakan sebagai epistatis resesif.

4. Polimeri

Polimetri yaitu interaksi dua gen atau lebih di mana masing-masing gen saling menguatkan satu sama lain. Peristiwa polimeri dapat dilihat pada manusia, yaitu hasil perkawinan orang negro (hitam) dan orang kulit putih. Dari hasil perkawinan tersebut diperoleh turunan F₁ yang berkulit mulat, yaitu berkulit tidak hitam seperti negro, dan tidak putih. Adaun skema perkawinan tersebut dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Skema perkawinan orang negro dengan orang kulit putih

Bila sesama generasi F₁ dikawinkan atau bila seseorang mulat kawin dengan seorang mulat lainnya, maka akan diperoleh turunan F₂ dengan rasio fenotip 1 kulit hitam : 4 mulat gelap : 6 mulat : 4 mulat terang : 1 kulit putih. Hal ini tergantung dari banyaknya gen P (gen untuk pigmen) yang dimiliki, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Genotip dan Fenotip pada warna kulit

Jumlah gen P	Genotip	Fenotip / warna kulit
0	p ₁ p ₁ p ₂ p ₂	Putih
1	P ₁ p ₁ p ₂ p ₂ p ₁ p ₁ P ₂ p ₂	Mulat terang
2	P ₁ P ₁ p ₂ p ₂ P ₁ p ₁ P ₂ p ₂	Mulat
3	P ₁ P ₁ P ₂ p ₂ P ₁ p ₁ P ₂ P ₂	Mulat gelap
4	P ₁ P ₁ P ₂ P ₂	Hitam

Pada perkawinan di atas makin banyak gen P, baik itu P1 maupun P2 pada suatu genotip seseorang maka akan membuat semakin gelap warna kulitnya, begitu pula sebaliknya jika semakin sedikit gen P, maka akan semakin terang warna kulitnya. Warna kulit putih tidak mempunyai gen P. Disini gen P1 dan gen P2 bersama-sama mempengaruhi warna kulit manusia.

Penyimpangan semu dari temuan Mendel, sebenarnya terjadi karena adanya gen yang saling berinteraksi (berhubungan) dan mempengaruhi suatu fenotip tanaman, hewan atau manusia, dengan hasil perbandingan pada turunan F2nya berbeda dengan temuan Mendel yaitu dengan rasio sebesar 3 : 1, 9 : 3 : 3 : 1, 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 dan seterusnya.

E. PERKAWINAN BERDASARKAN GOLONGAN DARAH

Diketahui bahwa terdapat beberapa tipe golongan darah yang dimiliki oleh manusia. Adapun tipe-tipe golongan darah manusia dapat dilihat pada tabel 3 beriku ini:

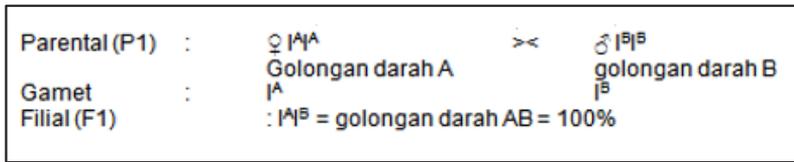
Tabel 3. Fenotip dan genotip pada golongan darah manusia

Fenotip	Genotip	Kemungkinan sel gamet
A	$I^A I^A$, $I^A I^o$	I^A dan I^o
B	$I^B I^B$, $I^B I^o$	I^B dan I^o
AB	$I^A I^B$	I^A dan I^B
O	$I^o I^o$	I^o

Dibawah ini merupakan contoh perkawinan berdasarkan pada golongan darah. Adapun penjelasannya adalah sebagaimana beriku ini:

1. Perkawinan golongan darah A homozigot dengan B homozigot

Diketahui bahwa golongan darah A homozigot ($I^A I^A$) akan menghasilkan satu gamet yaitu I^A dan pada golongan darah B homozigot ($I^B I^B$) akan menghasilkan satu gamet yaitu I^B . Dari hasil perkawinan tersebut akan diperoleh keturunan 100% memiliki golongan darah AB ($I^A I^B$). Adapun skema perkawinan tersebut dapat dilihat pada gambar 11.



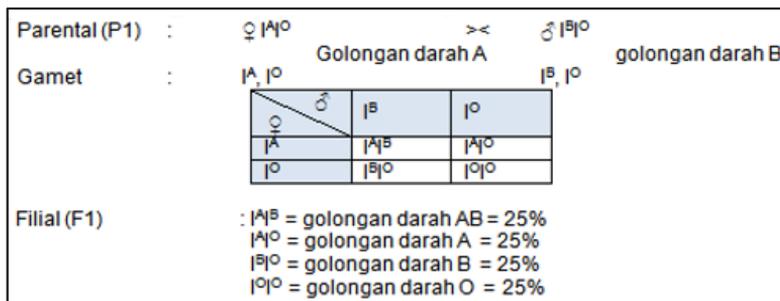
Gambar 11. Skema perkawinan golongan darah A homozigot dengan B homozigot

2. Perkawinan golongan darah A heterozigot dengan B heterozigot

Diketahui bahwa golongan darah A heterozigot ($I^A I^O$) akan menghasilkan dua gamet yaitu I^A dan I^O , sedangkan pada golongan darah B heterozigot ($I^B I^O$) akan menghasilkan dua gamet yaitu I^B dan I^O . Dari hasil perkawinan tersebut akan diperoleh keturunan sebagaimana berikut ini:

- Golongan darah AB ($I^A I^B$) = 25 %
- Golongan darah A ($I^A I^O$) = 25 %
- Golongan darah B ($I^B I^O$) = 25 %
- Golongan darah O ($I^O I^O$) = 25 %

Adapun skema perkawinan tersebut dapat dilihat pada gambar 12.



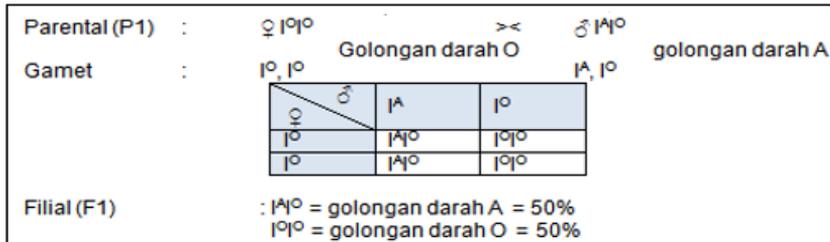
Gambar 12. Skema perkawinan darah A heterozigot dengan B heterozigot

3. Perkawinan golongan darah O dengan A heterozigot

Diketahui bahwa golongan darah O akan menghasilkan satu gamet yaitu I^O , sedangkan pada golongan darah A heterozigot ($I^A I^O$) akan menghasilkan dua gamet yaitu I^A dan I^O . Dari hasil perkawinan tersebut akan diperoleh keturunan sebagaimana berikut ini:

- Golongan darah A ($I^A I^O$) = 50 %
- Golongan darah O ($I^O I^O$) = 50 %

Adapun skema perkawinan tersebut dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Skema perkawinan golongan darah O dengan A heterozigot

LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Sebutkan dan jelaskan hukum-hukum mendel pada pola pewarisan sifat !
2. Jelaskan terjadinya proses penyimpangan semu pada hukum mendel !
3. Kerjakanlah contoh perkawinan di bawah ini:
 - a. Tanaman kacang kapri tinggi homozigot dikawinkan dengan tanaman kacang kapri pendek homozigot. Sebutkan hasil pada keturunan generasi F1 dan generasi F2 (perkawinan antara generasi F1 dengan sesamanya). Diketahui gen T untuk sifat tinggi dan gen t untuk sifat rendah. Sifat tinggi (T) dominan terhadap sifat rendah (t).
 - b. Tikus berbulu hitam berekor panjang homozigot dikawinkan dengan tikus berbulu putih berekor pendek homozigot. Sebutkan hasil pada keturunan generasi F1 dan generasi F2 (perkawinan antara generasi F1 dengan sesamanya). Diketahui gen H untuk sifat bulu hitam, gen h untuk bulu putih, kemudian gen P untuk ekor panjang dan gen p untuk ekor pendek. Sifat bulu hitam (H) dominan terhadap sifat bulu putih (h) dan sifat ekor panjang (P) dominan terhadap sifat ekor pendek (p).
 - c. Seseorang yang memiliki golongan darah AB dikawinkan dengan golongan darah O. Sebutkan hasil keturunan yang di peroleh dari perkawinan tersebut.

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Pola pewarisan sifat (hereditas) pada suatu organisme terbagi dalam beberapa tipe, yaitu perkawinan Monohybrid dan perkawinan polihybrid (dihybrid, trihibrid dan seterusnya). Perkawinan monohybrid merupakan bentuk pewarisan yang sederhana dan merupakan dasar untuk memahami mekanisme pewarisan sifat karena hanya memperhatikan satu sifat beda saja.

Mendel melakukan percobaan perkawinan monohybrid dengan mengawinkan galur murni tanaman ercis bunga ungu dengan bunga putih. Pada persilangan ini, nampak bahwa pada bunga ungu (MM) membentuk gamet M, sedang pada bunga putih (mm) membentuk gamet m. Dengan demikian, individu Mm pada F1 merupakan hasil penggabungan kedua gamet tersebut. Kemudian dilakukan penyerbukan pada sesama generasi F1, diperoleh generasi F2 yang mempunyai rasio fenotip ungu : putih adalah sebesar 3 : 1. Pada persilangan individu F1, yang memiliki genotip Mm, akan menghasilkan gamet M dan gamet m, dimana gen M dan gen m akan dipisahkan (disegregasi). Prinsip inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum segregasi atau **Hukum Mendel I** "*Pada waktu berlangsung pembentukan gamet, tiap pasang gen akan disegregasi ke dalam masing-masing gamet yang terbentuk.*"

Selanjutnya Mendel juga melakukan percobaan lain, yaitu melibatkan lebih dari satu sifat beda atau disebut sebagai persilangan polihybrid. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui apakah prinsip-prinsip pada persilangan monohybrid dapat berlaku juga pada persilangan dihibrid, trihibrid dan seterusnya.

Perkawinan dihibrid merupakan perkawinan yang melibatkan pola perwarisan dua macam sifat sekaligus. Mendel melakukan percobaan perkawinan dihibrid menggunakan tanaman ercis. Ia melakukan percobaan persilangan dengan dua sifat beda atau dihibrid, yaitu galur murni tanaman ercis berbiji bulat kuning

(BBKK) disilangkan dengan galur murni tanaman ercis berbiji keriput hijau (bbkk). Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan diperoleh 4 macam fenotip dengan rasio sebesar 9 biji bulat kuning : 3 biji bulat hijau : 3 biji keriput kuning : 1 biji keriput hijau.

Sebagai akibat terjadinya segregasi gen B dan K secara independen. Dengan demikian, gamet-gamet yang terbentuk dapat mengandung kombinasi gen dominan dengan gen dominan (BK), gen dominan dengan gen resesif (Bk dan bK), serta gen resesif dengan gen resesif (bk). Hal inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum pemilihan bebas (*the law of independent assortment*) atau **hukum Mendel II** “*Segregasi suatu pasangan gen tidak bergantung kepada segregasi pasangan gen lainnya, sehingga di dalam gamet-gamet yang terbentuk akan terjadi pemilihan kombinasi gen-gen secara bebas*”

Perkawinan trihibrid adalah perkawinan yang melibatkan pola perwarisan tiga macam sifat sekaligus. Berikut ini merupakan contoh perkawinan trihibrid pada tanaman ercis biji bulat-kuning-tinggi (TTKKBB) dengan tanaman ercis biji keriput-hijau-pendek (ttkkbb). Dihasilkan keturunan pada generasi F₂ dengan rasio fenotop sebesar 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1.

Pola pewarisan sifat berdasarkan hukum Mendel dapat diperkirakan menggunakan formulasi matematika. Namun menurut beberapa penelitian ternyata pola pewarisan sifat Mendel tidak selalu benar, beberapa penemuan menyatakan bahwa terdapat penyimpangan terhadap hukum Mendel atau selanjutnya disebut sebagai “penyimpangan semu hukum Mendel”. Adapun beberapa bentuk penyimpangan semu dari Hukum Mendel, yaitu:

1. Atavisme, adalah terjadinya interaksi dari beberapa gen, sehingga menghasilkan keturunan yang mempunyai fenotipe baru.
2. Kriptomeri, adalah suatu peristiwa dimana suatu gen dengan sifat dominan yang tidak akan tampak pengaruhnya jika hanya muncul sendiri atau suatu gen dengan sifat dominan yang hanya akan tampak pengaruhnya jika muncul bersama dengan gen dominan lainnya yang bukan sealel.
3. Epistasis dan Hipostasis, merupakan interaksi di mana satu gen menutupi gen lain yang bukan alelnya. Gen yang ditutupi itu disebut hipostasis, sedangkan gen yang menutupi disebut epistasis. Pasangan gen yang menutup sifat lain

tersebut dapat berupa gen resesif atau gen dominan. Apabila pasangan gen dominan yang menyebabkan epistasis, prosesnya dinamakan dengan epistasis dominan, sedangkan jika penyebabnya adalah pasangan gen resesif, prosesnya dinamakan dengan epistasis resesif.

4. Polimeri, yaitu interaksi dua gen atau lebih di mana masing-masing gen saling menguatkan satu sama lain.

Penyimpangan semu dari temuan Mendel, sebenarnya terjadi karena adanya gen yang saling berinteraksi (berhubungan) dan mempengaruhi suatu fenotip tanaman, hewan atau manusia, dengan hasil perbandingan pada turunan F₂nya berbeda dengan temuan Mendel yaitu dengan rasio sebesar 3 : 1, 9 : 3 : 3 : 1, 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 dan seterusnya.

Pola pewarisan sifat juga dapat diturunkan dengan melakukan perkawinan berdasarkan pada golongan darah. Diketahui bahwa terdapat beberapa tipe golongan darah yang dimiliki oleh manusia, yaitu A ($I^A I^A$, $I^A I^O$), B ($I^B I^B$, $I^B I^O$), AB ($I^A I^B$) dan O ($I^O I^O$). adapun salah satu contoh perkawinan berdasarkan pada golongan darah adalah Perkawinan golongan darah A homozigot ($I^A I^A$) dengan B homozigot ($I^B I^B$), dari hasil perkawinan tersebut akan diperoleh keturunan yang 100% memiliki golongan darah AB ($I^A I^B$).



TES FORMATIF

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Pada perkawinan monohibrid antara biji bulat (Bb) dengan biji kisut (bb) akan menghasilkan rasio fenotip biji bulat : biji kisut sebesar.....
 - a. 7 : 9
 - b. 9 : 7
 - c. 3 : 1
 - d. 2 : 2
 - e. 1 : 3

2. Perkawinan dihibrid pada tanaman bunga ungu tinggi (UUTT) dengan bunga putih rendah (uutt) BbTt x BbTt). Diketahui bahwa gen U dominan terhadap gen u, dan gen T dominan terhadap gen t. Maka hasil perkawinan tersebut akan menghasilkan generasi F₂ dengan rasio fenotip bunga ungu tinggi : ungu pendek : putih tinggi : putih pendek sebesar
- 3 : 3 : 3 : 1
 - 9 : 1 : 3 : 1
 - 9 : 3 : 2 : 1
 - 13 : 9 : 3 : 1
 - 9 : 3 : 3 : 1
3. Pada perkawinan trihibrid pada tanaman ercis biji bulat-kuning-tinggi dengan tanaman ercis biji keriput, hijau-pendek, akan menghasilkan individu pada generasi F₂ sebanyak....
- 27 individu
 - 16 individu
 - 9 individu
 - 64 individu
 - 68 individu
4. Perkawinan antara golongan darah A homozigot (I^AI^A) dengan B heterozigot (I^BI^O). Dari hasil perkawinan tersebut akan diperoleh keturunan yang memiliki golongan darah
- A 50 % : A 50 %
 - AB 50 % : A 50 %
 - AB 50 % : B 50 %
 - AB 75 % : O 25 %
 - AB 50 % : A 25 % : B 25 %

5. Hasil perkawinan antara ayam berjengger ros dengan ayam berjengger pea menghasilkan variasi fenotipe baru, yaitu walnut dan single. Karena adanya interaksi antara dua gen dominan dan gen resesif. Terjadinya perbedaan bentuk jengger ayam pada generasi berikutnya ini dinamakan dengan
 - a. Epistasis
 - b. Hipostasis
 - c. Kriptomeri
 - d. Atavisme
 - e. Polimeri
6. Kriptomeri adalah salah satu bentuk penyimpangan dari hukum Mendel. Kriptomeri merupakan.....
 - a. Suatu peristiwa dimana suatu gen dengan sifat dominan hanya akan tampak pengaruhnya jika muncul bersama dengan gen dominan lainnya yang bukan sealel
 - b. Terjadinya interaksi dari beberapa gen, sehingga menghasilkan keturunan yang mempunyai fenotipe baru.
 - c. Suatu peristiwa dimana suatu gen dengan sifat dominan yang akan tampak pengaruhnya jika hanya muncul sendiri
 - d. Interaksi di mana satu gen menutupi gen lain yang bukan alelnya
 - e. Interaksi dua gen atau lebih di mana masing-masing gen saling menguatkan satu sama lain
7. Di bawah ini merupakan gambar persilangan antara dua varietas gandum warna kulit biji hitam (HHkk) dengan warna kulit biji kuning (hhKK)

P	fenotipe :	hitam	×	kuning	
	genotipe :	HHkk		hhKK	
	gamet :	Hk	↓	hK	
F ₁	fenotipe :	HhKk			
	genotipe :	hitam			
F ₁ × F ₁	genotipe :	HhKk	×	HhKk	
	gamet :	Hk, hK, Hk, hk		Hk, hK, Hk, hk	
F ₂ :	♀ ♂	HK	Hk	hK	hk
HK	HHKK	HHKk	HhKK	HhKk	HhKk
	(hitam)	(hitam)	(hitam)	(hitam)	(hitam)
Hk	HHKk	HHkk	HhKk	Hhkk	Hhkk
	(hitam)	(hitam)	(hitam)	(hitam)	(hitam)
hK	HhKK	HhKk	hhKK	hhKk	hhKk
	(hitam)	(hitam)	(kuning)	(kuning)	(kuning)
hk	HhKk	Hhkk	hhKk	hhkk	hhkk
	(hitam)	(hitam)	(kuning)	(putih)	(putih)

- Pernyataan berikut ini yang tidak sesuai dengan gambar di atas adalah
- Setiap kemunculan gen H dominan maka fenotipe yang dihasilkannya adalah berwarna biji hitam
 - Warna biji kuning hanya akan hadir apabila gen dominan K bertemu dengan gen resesif h
 - Warna putih disebabkan oleh interaksi sesama gen resesif
 - Warna putih dihasilkan dari interaksi antara gen dominan dan resesif
 - Gen dominan H bersifat epistasis terhadap gen K
8. Persilangan antara tikus berwarna hitam homozigot (RRCC) dengan tikus berwarna albino (rrcc) menghasilkan generasi F₂ yang memiliki rasio fenotipe 9 hitam : 3 krem : 4 albino. Dimana gen resesif cc menyebabkan warna rambut tikus albino, kombinasi gen dominan menyebabkan warna hitam, sedangkan gen dominan C menyebabkan warna rambut tikus krem. Dimana diketahui bahwa gen R merupakan gen yang dominan terhadap gen C. Hal ini membuat terjadinya peristiwa yang dinamakan sebagai
- Epistatis dominan
 - Epistatis resesif
 - Kriptomeri
 - Atavisme
 - Polimeri
9. Pada individu yang memiliki genotip AaBb, akan menghasilkan berapa macam gamet
- 1 gamet
 - 2 gamet
 - 3 gamet
 - 4 gamet
 - 5 gamet

10. Contoh peristiwa polimetri adalah perkawinan antara

- a. Perkawinan orang negro (hitam) dan orang kulit putih, yang menghasilkan turunan F1 berkulit mulat, yaitu berkulit tidak hitam seperti negro, dan tidak putih.
- b. Perkawinan antara ayam jantan berjengger *ros* disilangkan dengan ayam betina berjengger *pea*. Dari hasil persilangan tersebut, ternyata diperoleh bahwa seluruh F1 berjengger walnut.
- c. Perkawinan galur murni bunga *Linaria maroccana* warna merah dengan warna putih, dihasilkan generasi F1 yang seluruhnya berwarna ungu.
- d. Perkawinan dua varietas gandum warna kulit biji hitam dengan warna kulit biji kuning. Hasil pengamatannya menunjukkan bahwa pada generasi F1 dihasilkan 100% warna kulit biji berwarna hitam
- e. Pewarisan pada mencit (*Mus musculus*) berwarna hitam homozigot dengan tikus berwarna albino menghasilkan generasi pertama F1 tikus berwarna hitam semua.

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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

Arti tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

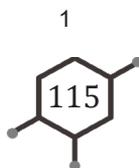
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Bab selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

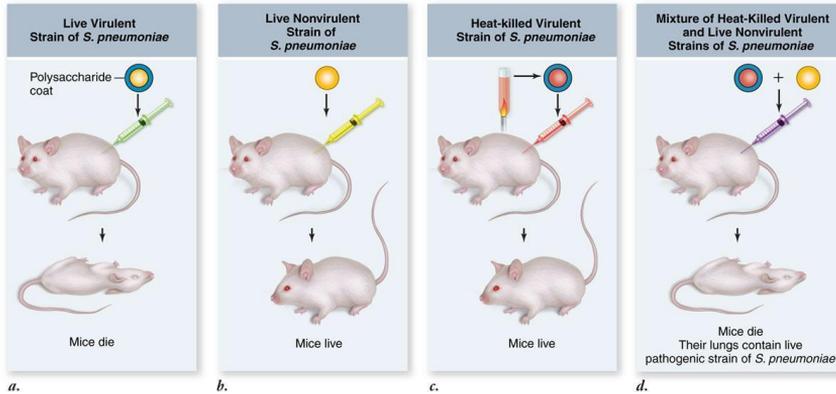
BAB 9

ASAM NUKLEAT & KODE GENETIKA

Manusia diciptakan oleh Allah SWT dengan segala kesempurnaan potensi yang dimiliki, berupa perwujudan fisik yang adaptif dan mampu mengoptimalkan proses interaksi dengan lingkungan dengan tubuh yang kuat serta mampu menyesuaikan diri dengan kondisi-kondisi ekstrem yang dihadapi dilengkapi pula dengan panca indera yang mampu mengolah berbagai stimulus dan tanda-tanda dari habitat manusia. Untuk menyempurnakan panca indera maka Allah SWT menitipkan pula organ istimewa yaitu otak, disinilah persepsi dan cara kita memaknai hidup diolah serta diproduksi, maka dengan potensi tersebut kita diperkenalkan dengan akhlak sebagai indicator iman dan keberhasilan dunia-akhirat. Otak dan jaringan syaraf berkembang dan terbentuk secara sistematis mengikuti hirarki molekuler yang terpadu sempurna oleh fungsi DNA. Semua potensi itu dikemas dan dianugerahkan kepada manusia antara lain dalam bentuk asam nukleat yang kemudian dikenal sebagai DNA, dan juga rantai RNA serta berbagai jenis asam amino baik yang esensial maupun yang non esensial sebagai “building block” (blok pembangun) kehidupan.

Sebagai tenaga Ahli Teknologi Laboratorium Medik (ATLM), anda tentu selalu dilibatkan dalam diagnosis beberapa penyakit yang berhubungan dengan keturunan, disaat berbicara tentang keturunan maka anda harus paham yang berperan dalam membawa sifat keturunan dari orang tua kepada keturunannya. Hal tersebut berhubungan dengan materi genetik. Apakah sebenarnya materi genetik tersebut, tersusun dari apakah materi genetik tersebut ?. banyak sekali penelitian yang dilakukan untuk menemukan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan tersebut diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Frederick Griffith (1928), meneliti *Streptococcus pneumoniae*, bakteri patogenik yang menyebabkan pneumonia, Terdapat 2 strains *Streptococcus*: strain S virulent dan strain R nonvirulent, Griffith menginfeksi tikus dengan strain *Streptococcus* bertujuan untuk memahami perbedaan antar strain.



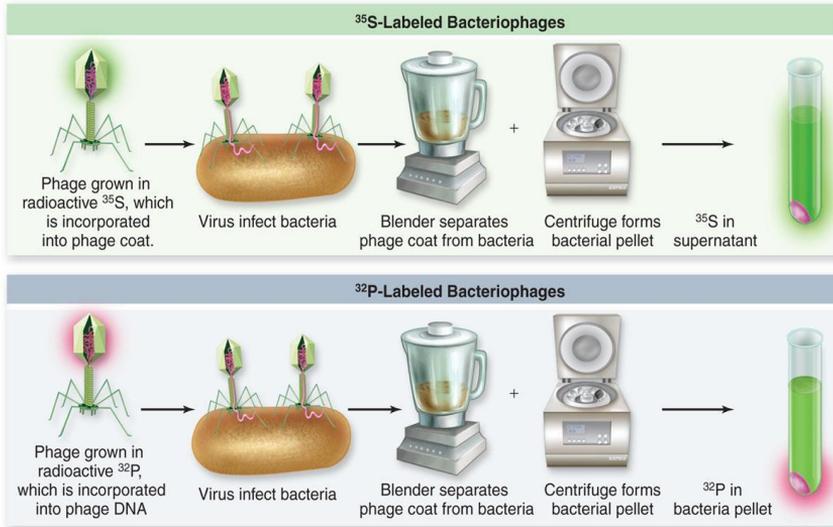


Gambar 1. Gambaran percobaan Griffith's pada hewan uji (Watson, D.J, et.all, 2008)

Griffith's menyimpulkan: Informasi spesifik virulensi ditransfer dari strain S yang mati ke strain sel R yang hidup, Griffith menyebut transfer informasi tersebut adalah **transformation**.

Avery, MacLeod, & McCarty, 1944, Mengulang eksperimen Griffith's menggunakan ekstrak sel murni dan menemukan bahwa : penghilangan semua protein dari materi transformasi tidak menghilangkan kemampuannya untuk merubah strain sel R, Enzim pemotong DNA mampu menghilangkan kemampuannya untuk merubah strain sel R, Materi transformasi tersebut adalah DNA.

Hershey & Chase, 1952, Meneliti **bacteriophages**: virus yang menginfeksi bakteri, dan menemukan bahwa bacteriophage hanya tersusun dari DNA dan protein. Mereka bertujuan untuk menentukan manakah diantaranya yang merupakan materi genetik. Bacteriophage DNA diberi label radioaktif fosfor (^{32}P), Bacteriophage protein diberi label radioaktif sulfur (^{35}S), Hanya bacteriophage DNA (diindikasikan dengan ^{32}P) memasuki bakteri dan digunakan untuk memproduksi bacteriophage, kesimpulan: DNA adalah materi genetik.



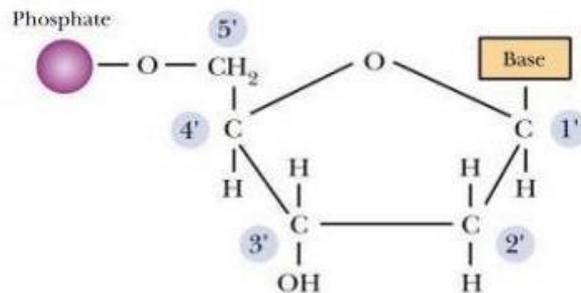
Gambar 2. Gambaran percobaan Hershey & Chase pada hewan uji (Watson, D.J, et.all, 2008)

Penemuan struktur DNA, Franklin memperoleh data difraksi sinar x (di awal tahun 1950s) yang menunjukkan adanya 2 periodisitas DNA, yakni 3.4 Å dan 34 Å. Watson dan Crick membuat model 3-D dari data tersebut.



Gambar 3 penemuan struktur DNA (Watson, D.J, et.all, 2008)

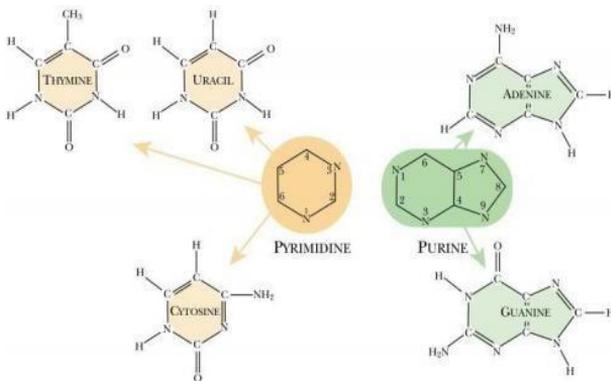
Istilah DNA dan RNA pasti sudah sering anda dengar, keduanya termasuk dalam asam nukleat. Apa kepanjangan DNA dan RNA? DNA kepanjangannya adalah Deoksiribonucleic Acid/Asam Deoksiribonukleat dan RNA kepanjangannya Ribonucleic Acid/Asam Ribonukleat. Asam nukleat merupakan satu dari empat makromolekul penyusun kehidupan (protein, karbohidrat, lemak & asam nukleat). Asam nukleat tersebut berfungsi biosintesis protein dan sebagai pembawa sifat keturunan dari orang tua ke keturunannya. Asam nukleat merupakan polymer dari mononukleotida. Mononukleotida merupakan monomer/penyusun dari asam nukleat. Mononukleotida tersusun dari 3 molekul yaitu :



Gambar 4 Mononukleotida (gugus fosfat, gula 5 karbon, basa nitrogen) (Coady 2010)

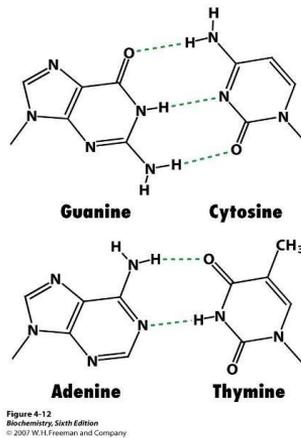
a. Basa Nitrogen, terdiri dari 2 kelompok yaitu basa Purin dan Pirimidin.

Basa Purin terdiri dari Adenin (A) dan Guanin (G). Basa Pirimidin terdiri dari: Timin (T), Uracil (U) dan Cytosin (C)



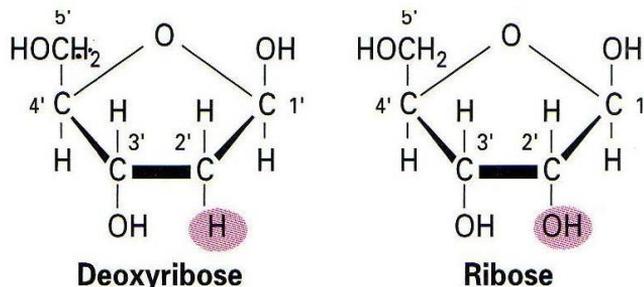
Gambar 5. Basa Purin dan Pirimidin (Coady 2010)

Basa nitrogen purin dan pirimidin memiliki sifat saling berpasangan karena adanya ikatan hydrogen yang terjadi antara purin-pirimidin. Pasangan purin-pirimidin tersebut selalu memiliki pasangan yang sama yaitu guanine selalu berpasangan dengan cytosine (G-C) dan adenine selalu berpasangan dengan Tymine (A-T) untuk molekul DNA dan adenine selalu berpasangan dengan Urasil (A-U) untuk molekul RNA. Ikatan pasangan basa nitrogen tersebut ditunjukkan dalam gambar 3.5



Gambar 6. Penemuan struktur DNA (Watson, D.J, et.all, 2008)

- b. **Gula**, Gula pentosa atau gula 5 karbon, karena ada 5 unsur C. Terdapat 2 jenis yaitu gula ribosa yang menyusun ribonukleotida (monomer RNA) dan gula 2-deoksiribosa yang menyusun deoxyribonucleotida (monomer



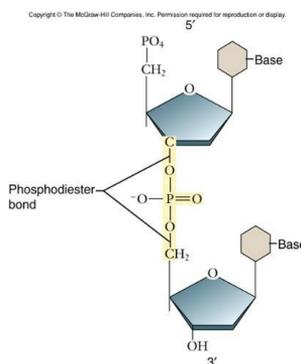
DNA). Gambar gula pentosa ditunjukkan dalam gambar berikut

Gambar 7. Gula Ribosa dan deoksiribosa (Coady 2010)

Perbedaan antara gula ribose dan deoksiribosa ditunjukkan pada atom C yang nomor 2, ribose saat berikatan dengan -OH dan deoksiribosa saat berikatan dengan H. Dengan terikatnya komponen basa pada gula terbentuknya struktur nukleosida.

c. Gugus fosfat

Nukleosida akan mendapat tambahan gugus fosfat, sehingga terbentuk nukleotida. Bila ada satu gugus fosfat disebut nukleosida monofosfat, bila ada 2 gugus fosfat disebut nukleosida difosfat, sedang 3 disebut N. trifosfat. Sebelum berikatan dengan fosfat, atom C5 memiliki gugus HOCH₂ disebelah atas dan satu H disebelah bawah (gambar 3.7) Pada saat berikatan dg gugus fosfat, atom OH dilepaskan dan diganti dg O milik fosfat. Atom O pada fosfat mula-mula berikatan pada P dan H, kemudian H dilepaskan diganti C-5' membentuk molekul H₂O. Sehingga setiap penggabungan satu gugus fosfat pada gula akan menghasilkan satu mol air. Gugus fosfat yang melekat pada C-5' disebut gugus α . Gugus α dapat mengikat gugus fosfat lain pada atom oksigen lain, gugus fosfat ini disebut gugus β , sedangkan gugus γ , mengikat satu lagi disebut gugus δ . Nama nukleotida yang terbentuk ditentukan oleh jenis basa dan jumlah atom P yang terikat. Bila adenine dan ada 3 gugus fosfat disebut adenosin trifosfat (ATP), bila 2 disebut adenosin difosfat dan seterusnya adenosin monofosfat (AMP). Bila basanya guanin maka disebut guanosin, bila timin disebut timidin, dan sitosin menjadi sitidin. Nama lengkapnya disebut deoksiadenosintrifosfat disingkat dATP atau disingkat adenosin trifosfat (ATP).



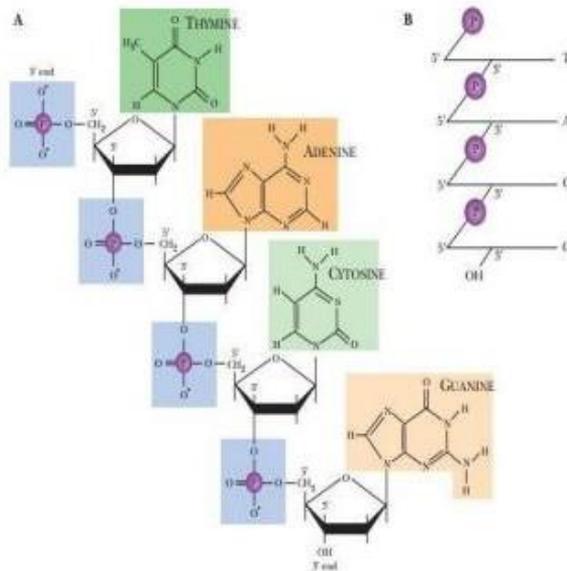
Gambar 8. Mononukleotida

Mononukleotida satu dengan mononukleotida yang lain dihubungkan oleh ikatan fosfodiester. Ikatan fosfodiester terbentuk antara gugus PO₄ pada atom C5 (gula pentosa) dari nukleotida satu dengan gugus OH pada atom C3 (gula pentosa) dari nukleotida yang lain. Dua nukleotida yang dihubungkan dengan satu ikatan fosfodiester disebut dengan istilah dinukleotida. Semakin banyak nukleotida tentu dihubungkan oleh banyak ikatan fosfodiester pula, disebut dengan istilah polinukleotida. Jadi polinukleotida adalah asam nukleat, yang terdiri dari DNA dan RNA. Dalam penulisan DNA maupun RNA ditulis dari 5' (lima prime) PO₄ ke ujung 3' (prime) OH.



Gambar 9. Cara Penulisan Asam Nukleat

Anda dapat pula melihat Gambar 3.9, rangkaian nukleotida beserta ikatan fosfodiester.



Gambar 10. A. Rangkaian dari 4 mononukleotida (basa nitrogen, gula pentosa dan gugus fosfat), B. Representasi penulisan polinukleotida dengan ujung 5' dan 3' serta adanya ikatan fosfodiester (Coady 2010)



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Apakah yang disebut sebagai materi genetik!
2. Jelaskan mengenai komponen penyusun dari asam nukleat?
3. Sebutkan apa saja monomer penyusun asam nukleat!

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Materi genetik adalah yang berperan dalam penerusan sifat pada keturunan. DNA merupakan materi genetik. Asam nukleat merupakan polymer dari nukleotida. Asam nukleat terdiri dari DNA dan RNA. Komponen penyusun asam nukleat adalah basa nitrogen, Gula pentose dan gugus fosfat. Basa nitrogen terdiri dari basa purin dan pirimidin. Gula pentose terbagi menjadi ribose dan deoksiribosa.



TES FORMATIF 1

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Materi genetik berperan penting dalam menurunkan sifat pada keturunannya yang merupakan materi genetika adalah . . .
 - a. Karbohidrat
 - b. Protein
 - c. Lemak
 - d. DNA
 - e. RNA

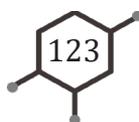
2. Yang TIDAK termasuk fungsi dari asam nukleat adalah . . .
 - a. Biosintesis Protein
 - b. Mengganti sel-sel yang telah rusak atau mati
 - c. Penurunan sifat
 - d. Sumber energi utama dalam proses metabolisme
 - e. Berperan dalam sintesis hemoglobin

3. Berikut yang bukan pasangan yang tepat dari pasangan basa purin-pirimidin adalah.....
 - a. Adenin-Timin
 - b. Adenin-Guanin
 - c. Adenin-Urasil
 - d. Jawaban A & B benar
 - e. Jawaban A & C benar

4. Yang bukan merupakan gula pentosa ribosa adalah . . .
 - a. Jumlah Atom C 5
 - b. Atom C nomor 2 mengikat H
 - c. Berbentuk siklik
 - d. Atom C nomor 2 mengikat OH
 - e. Atom C nomor 5 mampu membentuk ikatan fosfodiester

5. Ikatan yang menghubungkan antara satu nukleotida dengan nukleotida yang lain adalah . . .
 - a. Ikatan fosfodiester
 - b. Ikatan hidrogen
 - c. Ikatan ion
 - d. Ikatan kovalen
 - e. Ikatan jembatan van der Waals

6. Ikatan yang menghubungkan antara pasangan basa nitrogen adalah
 - a. Ikatan fosfodiester
 - b. Ikatan hidrogen
 - c. Ikatan ion
 - d. Ikatan kovalen
 - e. Ikatan jembatan van der Waals



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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

Arti tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

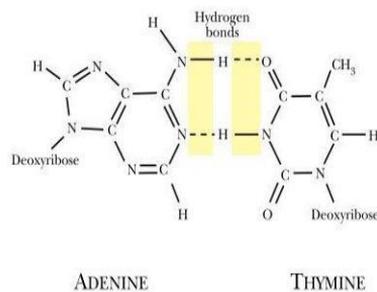
< 70% = kurang

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

A. DNA

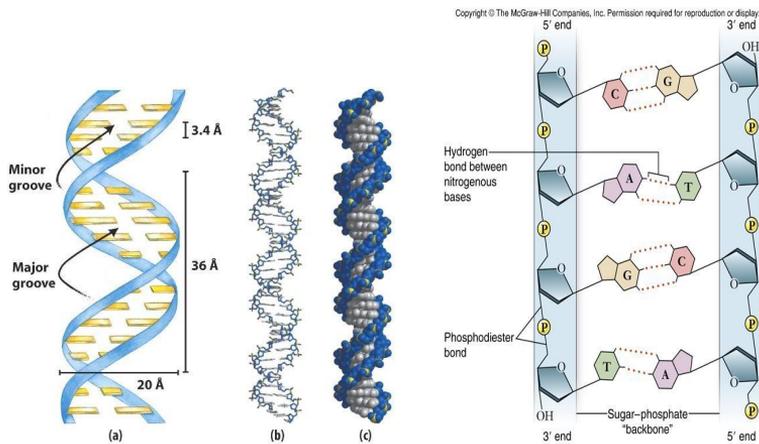
DNA terdapat dalam sel yaitu dalam inti sel dan mitokondria. Protein dan DNA membentuk serat (fiber) yang merupakan struktur kompleks yang disebut chromosome. Di dalam DNA terdapat materi genetik yang dapat ditransmisikan dari induk (orang tua) sel ke turunannya. DNA adalah suatu polimer, yang tersusun dari rantai monomer yang saling berikatan. Monomer DNA adalah nukleotida, dan polimernya disebut polinukleotida. Mononukleotida penyusun DNA terdiri dari satu basa nitrogen (Adenin, Guanin, Cytosin, Timin), satu gula 2-deoksi-D- Ribosa, dan satu gugus posphat, bila dirangkai menjadi polinukleotida (DNA).

Strukturanya double heliks atau double strand, strand satu dengan strand kedua bersifat komplementer atau berpasangan. Selain itu, kedua strand tersebut juga dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Apabila nukleotida pada strand pertama membawa basa Adenin, maka nukleotida tersebut akan berpasangan dengan nukleotida yang membawa basa Timin yang terdapat pada strand kedua. Kemudian antara kedua nukleotida tersebut akan terbentuk 2 ikatan hidrogen yang menghubungkan antara basa Adenin dengan Timin.



Gambar 1. Pasangan basa Adenin dengan Tymin yang dihubungkan oleh dua ikatan hidrogen (Coady 2010)

Bila nukleotida strand pertama membawa basa Cytosin, maka nukleotida tersebut akan berpasangan dengan nukleotida yang membawa basa Guanin yang terdapat pada strand kedua. Kemudian antara kedua nukleotida tersebut akan terbentuk 3 ikatan hidrogen yang menghubungkan antara basa Cytosin dengan Guanin (Gambar 3.12.) Kedua strand bersifat saling komplementer dan keduanya dihubungkan oleh ikatan hidrogen ternyata bentuknya mirip seperti jalan kereta api, namun tidak lurus dimana strand satu dan strand yang satunya hanya bersanding saja, tetapi kedua strand pada DNA terpilin ke kiri (gambar 3.12).



Gambar 3.12. struktur DNA (Watson, D.J, et.all, 2008)

B. RNA

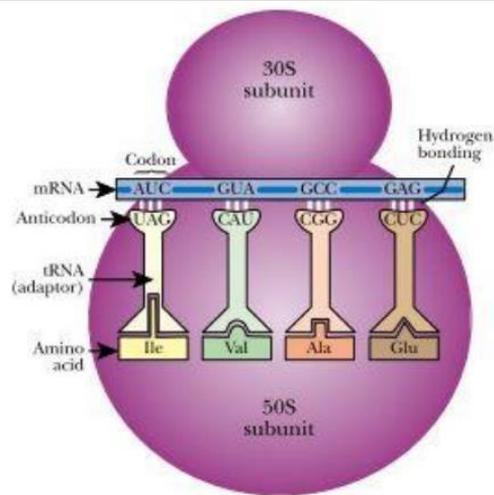
R

NA adalah juga merupakan rangkaian mononukleotida. DNA maupun RNA dapat diisolasi di laboratorium pula. Perbedaan komponen penyusunnya, strukturnya, dan macamnya apabila dibandingkan dengan DNA ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 3.1. Persamaan dan perbedaan antara DNA dan RNA

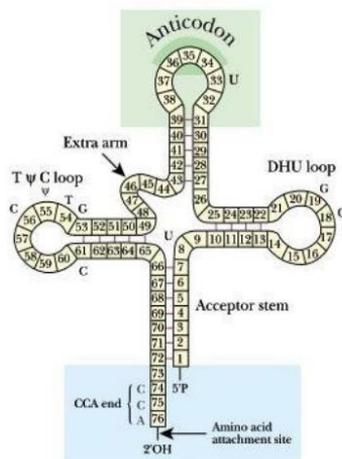
No	Uraian	DNA	RNA
1	Fungsi	Mengkode informasi genetik	Mempunyai peran informasional & fungsional dlm ekspresi gen
2	Jumlah untai	Terdiri dari 2 untai polynukleotida	Terdiri dari 1 untai polynukleotida
3	Basa Purin	Adenin, Guanin	Adenin, Guanin
4	Basa Pirimidin	Citosin, Timin	Citosin, Urasil
5	Gula Pentosa	D-Ribosa	2-Deoksi-D Ribosa
3	Ikatan Phosodiester	Ada	Ada
7	Ikatan Hidrogen	Ada	Tidak
8	Ikatan N-glikosidik	Ada	Ada
9	Jenis	1) DNA kromosom ada di dalam inti sel 2) DNA mitokondria ada di dalam mitokondria	1) mRNA, disintesis di dalam inti sel 2) tRNA ada di dalam sitoplasma 3) rRNA penyusun Ribosom, ada pada permukaan membran RE kasar

RNA memiliki struktur yang berbeda dengan DNA, RNA memiliki sturktur single helik sedangkan DNA memiliki struktur double helix. Isolasi RNA yang dilakukan di laboratorium harus dilakukan dengan hati-hati karena RNA mudah terdegradasi oleh enzim RNase yang terdapat pada kulit kita dan lingkungan. RNA terdapat 3 macam yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Ke3 macam RNA tersebut saling berhubungan dalam proses sintesis protein. Ketiga macam RNA tersebut adalah mRNA, rRNA, dan tRNA, tRNA membawa antikodon yang berpasangan dengan kodon yang ada pada mRNA, serta fungsi tRNA untuk mentransfer asam amino yang ada di sitoplasma ke mRNA yang terdapat pada Ribosom. Hubungan antara ke 3 Jenis RNAtersebut ditunjukkan dalam gambar 3.13.



Gambar 3.13. Hubungan antara mRNA, tRNA dan Ribosom yang disusun oleh rRNA (Coady 2010)

Bentuk tRNA yang berfungsi sebagai pembawa asam amino ditunjukkan dalam gambar 3.14 sebagai berikut :

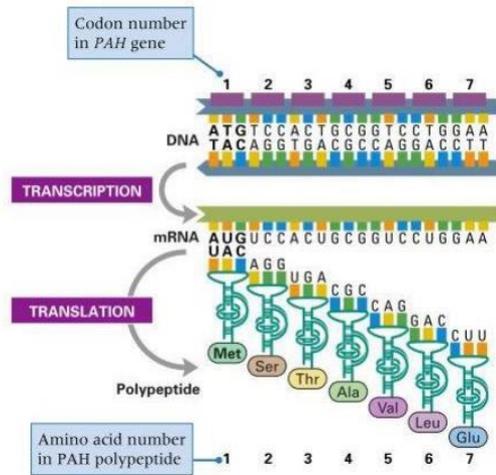


Gambar 3.14. Struktur tRNA dengan antikodon, serta bagian akhir dari rangkaian nukleotida terdapat CCA (Cytosin, Cytosin, Adenin) sebagai tempat perlekatan asam amino yang ditransfer ke mRNA (Coady 2010)



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!



Gambar 3.15. Proses sintesis protein yang dikode oleh gen PAH (Hartl & Jones 2001)

Dari Gambar 3.15, cobalah anda untuk menjelaskan mengenai komponen penyusun dari DNA, serta strukturnya. Kemudian sebutkan pula macam- macam ikatan yang ada pada DNA. Selain itu dapatkan Anda menjelaskan perbedaan struktur antara RNA dan DNA. Coba jelaskan pula fungsi dari tRNA pada proses tersebut, UAC yang ada pada gambar tersebut berfungsi sebagai apa ?

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

DNA adalah asam nukleat tersusun double strand yang saling berpasangan. Strand satu dengan strand yang lainnya dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Pasangan nukleotida yang membawa Adenin adalah nukleotida yang membawa Timin, dimana keduanya dihubungkan oleh dua ikatan hidrogen. Sedangkan pasangan nukleotida yang membawa basa Guanin adalah nukleotida yang membawa Cytosin, dimana dihubungkan oleh tiga ikatan hidrogen. Ada dua macam DNA yaitu DNA kromosom yang berada di dalam inti sel dan DNA maternal yang berada di dalam mitokondria dan asalnya dari ibunya, baik itu laki-laki ataupun perempuan.

RNA adalah salah satu dari asam nukleat, yang merupakan polimer dari ribonukleotida. Setiap satu molekul ribonukleotida tersusun dari satu basa nitrogen, satu gula pentosa (ribosa) dan satu gugus fosfat. Basa nitrogen yang menyusun RNA adalah Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C) dan Urasil (U). Ribonukleotida satu dengan ribonukleotida yang lain dihubungkan oleh ikatan fosfodiester. Ikatan fosfodiester terbentuk antara gugus OH pada atom C3 gula Ribosa dari ribonukleotida satu dengan gugus fosfat pada atom C5 pada gula Ribosa dari ribonukleotida yang lain. RNA tersusun single strand, ada 3 macam yaitu mRNA yang berada di dalam inti sel, kemudian dikeluarkan melalui membran inti dan bergabung pada ribosom, tRNA yang berada di dalam sitoplasma yang fungsinya mentransfer asam amino yang berasal dari sitoplasma ke mRNA yang ada pada ribosom dan rRNA sebagai penyusun ribosom. tRNA membawa antikodon, yang komplementer dengan kodon yang ada pada mRNA, dan pada bagian ujungnya yang membawa asam amino dari sitoplasma yang akan dibawa ke mRNA.



TES FORMATIF 2

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Sebutkan basa nitrogen yang hanya terdapat pada DNA. . .
 - a. Timin
 - b. Urasil
 - c. Adenin
 - d. Cytosin
 - e. Guanin
2. Sebutkan ikatan yang hanya terdapat pada DNA. . .
 - a. Ikatan phosfodiester
 - b. Ikatan Hidrogen
 - c. Ikatan N-glikosidik
 - d. Ikatan ion
 - e. Ikatan jembatan van der walls
3. Sebutkan 2 macam DNA pada manusia. . .
 - a. DNA Kromosom & DNA mitokondria
 - b. DNA mitokondria & DNA Ribosom
 - c. DNA Ribosom & DNA Kromosom
 - d. DNA Ribosom & DNA Lisosom
 - e. DNA Lisosom & DNA Kromosom
4. Sebutkan Basa nitrogen yang hanya terdapat pada RNA.
 - a. Timin
 - b. Urasil
 - c. Adenin
 - d. Cytosin
 - e. Guanin
5. Jenis RNA yang menyusun ribosom adalah. . .
 - a. tRNA
 - b. mRNA
 - c. rRNA
 - d. yRNA
 - e. sRNA

6. Struktur RNA berbeda dengan DNA, struktur RNA adalah . . .
 - a. Single stranded
 - b. double stranded
 - c. memiliki ikatan fosfodiester
 - d. memiliki ikatan N-glikosidik
 - e. memiliki basa nitrogen purin & pirimidin
7. Jenis RNA yang terdapat di sitoplasma, dan fungsinya mentransfer asam amino . . .
 - a. tRNA
 - b. mRNA
 - c. rRNA
 - d. yRNA
 - e. sRNA

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir Bab ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

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

BAB 11

KODE GENETIKA

Kode genetika atau yang dikenal juga sebagai kodon adalah cara pengkodean urutan nukleotida pada DNA atau RNA untuk menentukan urutan asam amino pada saat sintesis protein. Dalam setiap sel makhluk hidup terjadi ribuan reaksi kimia yang diatur jalannya reaksi tersebut oleh enzim. Enzim merupakan salah satu jenis dari protein, karena DNA memiliki peran dalam mengkode protein, maka DNA akan menentukan enzim apa yang diproduksi dan akhirnya akan menentukan reaksi kimia yang terjadi di dalam sel. Informasi pada kode genetik ditentukan oleh basa nitrogen pada rantai DNA yang akan menentukan susunan asam amino.

DNA hanya memiliki 4 macam basa sedangkan asam amino terdapat 20 macam asam amino. Jika tiap basa misalnya (A, G, U, C) dikode menjadi satu asam amino, hanya ada empat macam asam amino yang dapat dikode dari total 20 asam amino yang sudah kita ketahui. Jika duplet atau susunan tiap dua basa, misalnya CG, AG, GA, UC dan lainnya, dikode menjadi satu asam amino, kombinasi hanya akan menghasilkan $16 \{(4)^2\}$ macam asam amino. Jumlah kombinasi ini juga masih belum mencukupi jumlah 20 macam asam amino, yaitu ada 4 asam amino yang tidak dikode. Bila triplet atau susunan tiap 3 basa nukleotida, misalnya AGU, GAC, CGC, dan sebagainya menjadi 1 asam amino maka dari kombinasi basa-basa nukleotida tersebut akan menghasilkan $64 \{(4)^3\}$ macam asam amino. Jumlah asam amino ini melebihi jumlah 20 macam asam amino. Hal tersebut menyebabkan adanya suatu “kelimpahan” dalam kode genetika. Terdapat lebih dari 1 triplet mengkode suatu asam amino tersebut. Istilah yang diberikan oleh ahli genetika pada kelimpahan semacam ini adalah **degenerasi** atau **redundansi**.

		1st base					
		U	C	A	G		
2nd base	U	UUU Phenylalanine UUC Phenylalanine UUA Leucine UUG Leucine	UCU Serine UCC Serine UCA Serine UCG Serine	UAU Tyrosine UAC Tyrosine UAA Stop UAG Stop	UGU Cysteine UGC Cysteine UGA Stop UGG Tryptophan	3rd base	
	C	CUU Leucine CUC Leucine CUA Leucine CUG Leucine	CCU Proline CCC Proline CCA Proline CCG Proline	CAU Histidine CAC Histidine CAA Glutamine CAG Glutamine	CGU Arginine CGC Arginine CGA Arginine CGG Arginine		
	A	AUU Isoleucine AUC Isoleucine AUA Isoleucine AUG Methionine (Start)	ACU Threonine ACC Threonine ACA Threonine ACG Threonine	AAU Asparagine AAC Asparagine AAA Lysine AAG Lysine	AGU Serine AGC Serine AGA Arginine AGG Arginine		
	G	GUU Valine GUC Valine GUA Valine GUG Valine	GCU Alanine GCC Alanine GCA Alanine GCG Alanine	GAU Aspartic Acid GAC Aspartic Acid GAA Glutamic Acid GAG Glutamic Acid	GGU Glycine GGC Glycine GGA Glycine GGG Glycine		
		Nonpolar, aliphatic	Polar, uncharged	Aromatic	Positively charged	Negatively charged	

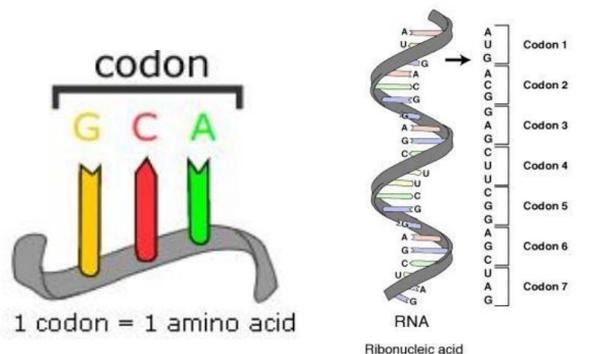
Gambar 3.16 Daftar kodon Asam amino

Dari table tersebut menunjukkan bahwa kode tersebut mengandung U (urasil) dan bukan T (timin) dalam susunan suatu triplet. Hal tersebut dikarenakan triplet-triplet yang dibawa oleh molekul-molekul RNAd sebagai komponen kode genetika, bukan yang dibawa DNA. Tiap triplet yang mewakili informasi bagi suatu asam amino tertentu dinyatakan sebagai **kodon**

A. Sifat-sifat kodon

Kode genetika memiliki sifat degeneratif dikarenakan 18 dari 20 macam asam amino ditentukan oleh lebih dari 1 kodon, yang disebut kodon **sinonimus**. Hanya **metionin** dan **triptofan** mempunyai kodon tunggal. Kodon sinonimus tidak ditempatkan secara acak, tetapi dikelompokkan seperti yang terlihat pada gambar diatas. Kodon sinonimus memiliki perbedaan pada urutan basa ketiga. Pada kasus apapun, bila posisi basa ketiga adalah suatu pirimidin, maka kodon-kodon akan mengarah atau menunjukkan asam amino yang sama (sinonimus). Misalnya pada kode genetika UAU dan UAC (Basa U dan C merupakan Pirimidin) yang menunjukkan asam aminotirosin. Bila posisi basa ketiga adalah suatu Purin, kodon-kodon juga akan sinonimus. misalnya pada kode genetika CAA dan

CAG (Basa A dan G merupakan Purin) menunjukkan asam amino Glutamin. Jika posisi basa kedua adalah suatu Pirimidin, secara umum kodon tersebut akan mengarah pada asam amino yang hidrofilik. Misalnya pada kode genetika CCC yang menunjukkan asam amino prolin yang hidrofilik, dan ACC yang menunjukkan asam amino treonin yang hidrofilik. Sebaliknya jika posisi basa kedua adalah suatu purin, secara umum kodon tersebut akan mengarah pada asam amino yang polar. Misalnya pada kode genetika GAU yang menunjukkan asam amino aspartat yang polar dan AGG yang menunjukkan asam amino arginin yang polar. Selain itu terdapat pula kodon-kodon yang memiliki fungsi yang sama. Misalkan fungsi kodon asam aspartat (GAU dan GAS) sama dengan fungsi kodon asam tirosin (UAU,UAS) dan juga triptopan (UGG). Hal ini justru sangat menguntungkan pada proses pembentukan protein karena dapat menggantikan asam amino yang kemungkinan rusak.



Gambar 3.17 Kodon

B. Kodon Awal dan Kodon Akhir

Kodon awal merupakan kodon pertama yang diterjemahkan pada saat translasi atau disebut juga kodon inisiasi (AUG yang menyandikan metionin). Selain kodon inisiasi, untuk memulai translasi diperlukan juga sekuen atau situs yang disebut Shine-Dalgarno untuk pengenalan oleh ribosom yang juga dibantu oleh faktor inisiasi (berupa tiga jenis protein).

Kodon akhir merupakan salah satu dari tiga kodon, yaitu UAG, UAA atau UGA. Kodon akhir disebut juga kodon terminal yang tidak menyandikan asam amino. Kodon akhir menyebabkan proses translasi berakhir dengan bantuan faktor pelepasan untuk melepas ribosom. Proses sintesis protein (polipeptida) baru akan diawali apabila ada kodon AUG yang mengkode asam amino metionin, karenanya kodon AUG disebut kodon permulaan (kode 'start'). Sedangkan berakhirnya proses sintesis polipeptida apabila terdapat kodon UAA, UAG, dan UGA (pada prokariotik) dan UAA (pada eukariotik). Kodon UAA, UAG, dan UGA tidak mengkode asam amino apapun dan merupakan agen pemotong gen (tidak dapat bersambung lagi dengan double helix asam amino) disebut sebagai kodon terminasi/kodon nonsense (kode 'stop').

Kode genetik berlaku **universal**, artinya kode genetik yang sama berlaku untuk semua jenis makhluk hidup. Dengan adanya kodon permulaan dan kodon terminasi, berarti tidak semua urutan basa berfungsi sebagai kodon. Yang berfungsi sebagai kodon hanyalah urutan basa yang berada di antara kodon permulaan dan kodon terminasi. Urutan basa yang terletak sebelum kodon permulaan dan setelah kodon penghenti tidak dibaca sebagai kodon.

C. Karakter Kode Genetik

Karakter kode genetik, antara lain sebagai berikut :

- 1) Kode genetik ini mempunyai banyak sinonim, sehingga hampir semua asam amino dinyatakan oleh lebih dari sebuah kodon. Contohnya, tiga asam amino (arginin, serin dan leusin) masing-masing mempunyai 3 kodon sinonim.
- 2) Untuk banyak kodon sinonim yang menyatakan asam amino yang sama, dua basa permulaan dan triplet adalah tetap sedangkan basa ketiga dapat berlainan. Contohnya , semua kodon yang dimulai dengan SS memperinci prolin (SSU, SSS, SSA dan SSG) dan semua kodon yang dimulai dengan AS memperinci treonin (ASU, ASS, ASA dan ASG).
- 3) Fleksibilitas dalam nukleotida dari suatu kodon ini dapat menolong membuat sekecil mungkin akibat adanya kesalahan. Tidak ada

tumpang tindih, artinya tiada satu basa tunggal pun yang dapat mengambil bagian dalam pembentukan lebih dari satu kodon, sehingga 64 kodon itu semua berbeda-beda nukleotidanya.

- 4) Kode genetik dapat mempunyai dua arti, yaitu kodon yang sama dapat memperinci lebih dari satu asam amino.
- 5) Kodon AUG disebut juga kodon permulaan, karena kodon ini memulai sintesa rantai polipeptida.
- 6) Beberapa kodon dinamakan kodon *non-sens* (tak berarti) karena kodon-kodon tersebut bukan merupakan kode untuk salah satu asam amino pun, misalnya UAA, UAG dan UGA.
- 7) Kode genetik itu ternyata universal karena kode yang sama berlaku untuk semua jenis organisme dari yang bersel tunggal sampai yang multiselular.



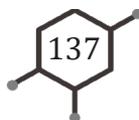
RANGKUMAN

Kode Genetik adalah cara pengkodean urutan nukleotida pada DNA atau RNA untuk menentukan urutan asam amino pada saat sintesis protein. Tiap triplet yang mewakili informasi bagi suatu asam amino tertentu dinyatakan sebagai **kodon**.

Kodon awal merupakan kodon pertama yang diterjemahkan pada saat translasi atau disebut juga kodon inisiasi (AUG yang menyandikan metionin).

Kodon akhir merupakan salah satu dari tiga kodon, yaitu UAG, UAA atau UGA.

Karakter kode genetik, adalah mempunyai banyak sinonim, Untuk banyak kodon sinonim yang menyatakan asam amino yang sama, dua basa permulaan dan triplet adalah tetap sedangkan basa ketiga dapat berlainan, Fleksibilitas dalam nukleotida dari suatu kodon, dapat mempunyai dua arti, yaitu kodon yang sama dapat memperinci lebih dari satu asam amino. Kodon AUG disebut juga kodon permulaan, karena kodon ini memulai sintesa rantai polipeptida. Beberapa kodon dinamakan kodon *non-sens* (tak berarti), Kode genetik itu ternyata universal.



TES FORMATIF 3

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Manakah yang merupakan start kodon ?
 - a. Arginin
 - b. Metionin
 - c. Serin
 - d. Phenylalanin
 - e. Valine

2. Berikut adalah sifat yang dimiliki oleh kode genetik, kecuali ? .
 - a. Bersifat Universal
 - b. Satu kodon bisa menyandi beberapa asam amino
 - c. Fleksibilitas dalam nukleotida dalam satu kodon
 - d. Tidak memiliki sinonim
 - e. Bersifat degeneratif

3. Manakah yang merupakan stop kodon. . .
 - a. UGC, UCG dan
 - b. UGG, UAG dan UAU
 - c. UAG, UAA dan UGA.
 - d. UCG, UCU dan UCA
 - e. UUA, UAG dan UGA

4. Asam amino Manakah yang merupakan kodon tunggal
 - a. Triptofan
 - b. Valin
 - c. Serin
 - d. Phenylalanin
 - e. Asam aspartat

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir Bab ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

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

BAB 12

REPLIKASI DNA

Replikasi DNA merupakan peristiwa sintesis DNA. Ketika sel membelah secara mitosis, tiap-tiap sel hasil dari pembelahan tersebut akan mengandung DNA penuh dan identik seperti induknya. Dengan demikian, DNA harus secara tepat direplikasi sebelum pembelahan dimulai. Replikasi DNA dapat terjadi dengan adanya sintesis rantai nukleotida baru dari rantai nukleotida lama. Proses komplementasi pasangan basa akan menghasilkan suatu molekul DNA baru yang sama dengan molekul DNA lama.

Corebima (2012) menegaskan tiga konsep penting terkait replikasi yang perlu direvisi adalah **konsep penting pertama**, selama ini definisi replikasi dinyatakan sebagai penggandaan untai ganda DNA. Saat ini telah diketahui bahwa bahan genetika makhluk hidup diketahui berupa DNA untai ganda dan DNA untai tunggal. Sebagaimana dinyatakan oleh Gardner dkk., 1991 bahwa contoh replikasi pada virus Φ X174 adalah DNA untai tunggal pada proses yang disebut *Rolling Circle Replication*. Proses *rolling circle* bukan hanya pada virus Φ X174 tetapi terjadi pada semua virus yang memiliki materi genetik berupa DNA tunggal. Sehingga konsep replikasi yang perlu diperbaiki adalah replikasi merupakan penggandaan DNA untai tunggal dan DNA untai ganda.

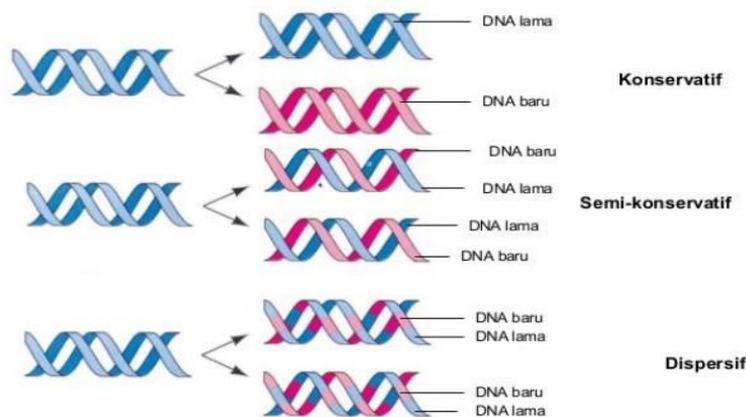
Konsep penting kedua terkait replikasi (Corebima,2012) bahwa selama ini dinyatakan replikasi adalah penggandaan DNA menjadi DNA. Ternyata saat ini telah diketahui bahwa replikasi terjadi pada makhluk hidup yang memiliki materi genetik DNA dan makhluk hidup yang memiliki materi genetik RNA. Makhluk hidup yang memiliki DNA mereplikasi DNA (genom induk) menjadi DNA (genom turunan). Makhluk hidup yang memiliki materi genetik RNA adalah beberapa virus dan retrovirus. Replikasi virus RNA dilakukan melalui replikasi RNA langsung menjadi RNA. Replikasi materi genetik RNA menjadi RNA contohnya adalah virus daun tembakau (TMV). Replikasi pada retrovirus dilakukan melalui *reverse transcription*. Pada *reverse transcription*, RNA genom induk diubah terlebih dahulu menjadi DNA tanpa intron disebut cDNA atau

compelementer DNA, kemudian melalui proses lanjutan cDNA menjadi RNA genom turunan.

Fenomena replikasi RNA menunjukkan bahwa model *central dogma* aliran informasi genetik perlu disesuaikan atau dimodifikasi yang lebih jelasnya akan dibicarakan pada bahasan tersendiri tentang ekspresi kerja gen.

Konsep penting ketiga berkenaan dengan waktu reproduksi materi genetik adalah replikasi DNA pada kelompok eukariotik yang berbiak secara seksual terjadi pada fase S dalam siklus sel baik mitosis maupun meiosis. Reproduksi materi genetik pada kelompok prokariotik dilakukan sebelum pembelahan sel. Reproduksi materi genetik pada kelompok aseluler virus dan retrovirus terjadi setiap kali menginfeksi sel inangnya.

Replikasi DNA

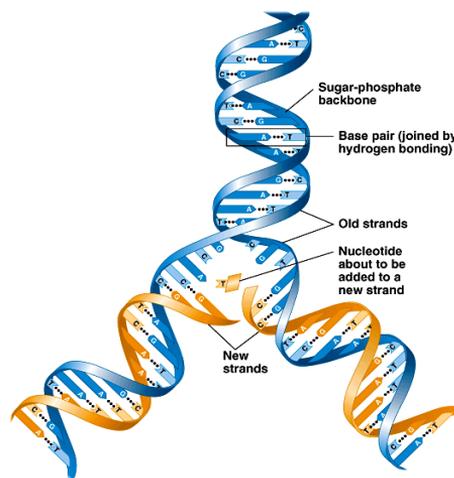


Gambar 4.1 model proses replikasi

Kemungkinan terjadinya replikasi dapat melalui tiga model, yaitu :

- 1) Model konservatif, yaitu dua rantai DNA lama tetap tidak berubah, berfungsi sebagai cetakan untuk dua dua rantai DNA baru
- 2) Model semikonservatif, yaitu dua rantai DNA lama terpisah dan rantai baru disintesis dengan prinsip komplementasi pada masing-masing rantai DNA lama tersebut
- 3) Model dispersif, yaitu beberapa bagian dari kedua rantai DNA lama digunakan sebagai cetakan untuk sintesis rantai DNA baru.

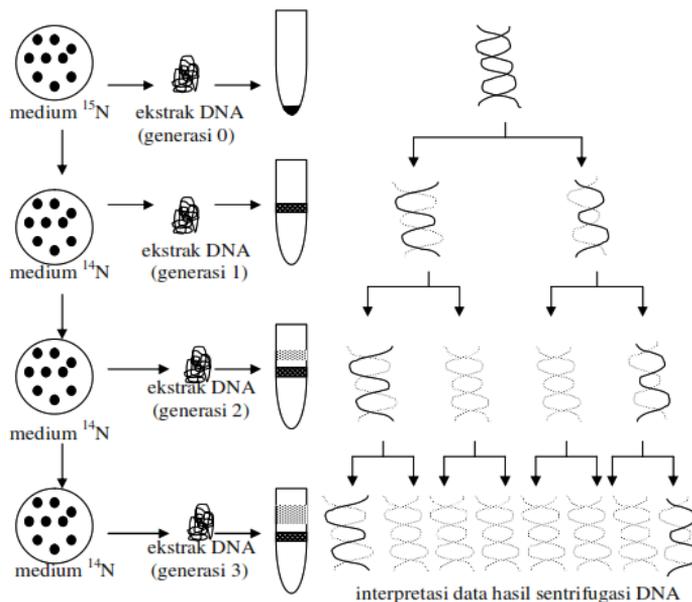
Pada replikasi konservatif seluruh tangga berpilin DNA awal tetap dipertahankan dan akan mengarahkan pembentukan tangga berpilin baru. Pada replikasi semikonservatif tangga berpilin mengalami pembukaan terlebih dahulu sehingga kedua untai polinukleotida akan saling terpisah. Masing-masing untai tetap dipertahankan dan akan bertindak sebagai cetakan (template) bagi pembentukan untai polinukleotida baru. Sedangkan, pada replikasi dispersif kedua untai polinukleotida mengalami fragmentasi di sejumlah tempat. Kemudian, fragmen-fragmen polinukleotida yang terbentuk akan menjadi cetakan bagi fragmen nukleotida baru sehingga fragmen lama dan baru akan dijumpai berselang-seling di dalam tangga berpilin yang baru. Dari ketiga hipotesis tersebut berdasarkan percobaan yang dilakukan pada tahun 1958 oleh M.S. Meselson dan F.W. Stahl dapat dibuktikan bahwa replikasi semi konservatif yang dapat diterima kebenarannya (Campbell, 2002).



Gambar 4.2. Replikasi Terbukti Berlangsung Secara Semikonservatif

Pada tahun 1958 oleh M.S. Meselson dan F.W. Stahl berhasil menunjukkan secara empirik bahwa replikasi DNA berlangsung dengan mekanisme secara semikonservatif menggunakan percobaan yang disebut *density transfer experiments*. Pertama *E.coli* ditumbuhkan dalam medium yang mengandung nitrogen “berat”, yakni isotop ^{15}N selama beberapa generasi. Efeknya, basa-basa nitrogen pada molekul DNA akan terlabel isotop berat. Setelah itu, bakteri ditumbuhkan kembali pada medium yang mengandung ^{14}N (nitrogen ringan). Pada waktu ter-

tentu setelah sel dipanen dan DNANYA diisolasi. Isolat DNA kemudian disentrifugasi dengan ultrasentrifugasi gradien CsCl (prosedur *equilibrium density-gradient centrifugation*) untuk menentukan densitas molekul DNANYA. Hasil pengukuran memperlihatkan pada generasi pertama semua DNA memiliki densitas molekul hibrid, yaitu densitas yang dihasilkan gabungan molekul DNA yang mengandung ^{14}N dan ^{15}N , sedangkan pada generasi selanjutnya, densitas molekul DNA terdiri dari kelompok DNA dengan densitas molekul hibrid dan kelompok DNA dengan densitas yang lebih rendah dari molekul hibrid. Kelompok kedua ini terdiri dari molekul DNA yang mengandung ^{14}N . Hal ini membuktikan terjadinya replikasi DNA secara semikonservatif.



Gambar 4.3 Diagram percobaan Meselson dan Stahl yang memperlihatkan replikasi DNA secara semikonservatif

Berdasarkan atas eksperimen seperti yang telah dijelaskan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa replikasi DNA berlangsung dengan model semikonservatif (Khusus untuk makhluk hidup eukariotik dan prokariotik). Meskipun demikian, tidak semua makhluk hidup melakukan replikasi dengan model semikonservatif seperti yang dilakukan oleh makhluk hidup eukariotik, karena ada beberapa makhluk hidup seperti virus ΦX174 yang melakukan replikasi

dengan model konservatif, karena virus ini memiliki genom DNA dengan untai tunggal, meskipun hanya pada tahapan tertentu dari proses replikasinya (Yuwono, 2005 hlm. 96)

A. Waktu dan Tempat Replikasi

Waktu replikasi pada makhluk hidup prokariotik berlangsung selama tenggang waktu antara satu pembelahan sel dengan pembelahan sel berikutnya. Gardner (1991) mengemukakan bahwa” ... *DNA synthesis occurs from time to time a new cell is formed by cell fission until the time that cell divides again*”.

Replikasi pada makhluk hidup eukariotik berlangsung selama interfase dari siklus sel, yaitu pada periode S (selang waktu antara G1 dan G2). Sedangkan waktu replikasi pada makhluk hidup aseluler, berdasarkan buku-buku acuan yang ada belum ada informasi tentang waktu replikasi, Demikian pula tidak ada informasi waktu replikasi pada organel-organel makhluk hidup eukariotik, yang saat ini sudah diketahui memiliki DNA.

Tempat replikasi. Makhluk hidup prokariotik, replikasi DNA berlangsung di dalam sitoplasma. Pada makhluk hidup eukariotik, replikasi DNA berlangsung di dalam inti sel serta didalam organel-organel yang telah diketahui memiliki DNA. Pada mitokondria, replikasi berlangsung di dalam matriks mitokondria. Pada makhluk hidup aseluler, replikasi DNA berlangsung di dalam sitoplasma makhluk hidup seluler yang diinfeksi.

B. Komponen-komponen Penting dalam Replikasi DNA dan RNA

Komponen utama yang diperlukan pada saat proses replikasi materi genetik baik DNA dan RNA antara lain:

- a. Cetakan (template), yaitu molekul DNA atau RNA yang akan direplikasi.
- b. Molekul deoksiribonukleotida yaitu dATP, dTTP, dCTP, dan dGTP. Deoksiribonukleotida terdiri tiga komponen yaitu: basa purin atau pirimidin, gula deoksiribosa, dan gugus fosfat.
- c. Enzim DNA polymerase, yaitu enzim yang mengkatalisis proses polimerisasi nukleotida menjadi untai DNA. Pada *E. coli* ada 3 macam enzim polymerase yaitu DNA polimerase I, DNA polymerase II, dan DNA polymerase III. Pada organisme eukariotik terdapat lima macam DNA polymerase yaitu DNA poly-

merase α , DNA polymerase δ , DNA polymerase ϵ , DNA polymerase β , dan DNA polymerase γ .

- d. Enzim primase, yaitu enzim pengkatalisis primer untuk memulai replikasi DNA. Pada *E.coli* enzim ini disebut primosom yang terdiri atas beberapa macam protein.
- e. Enzim pembuka ikatan DNA induk yaitu enzim helikase dan enzim lain yang membantu proses tersebut yaitu enzim girase.
- f. Molekul protein yang menstabilkan untai DNA yang sudah terbuka, yaitu protein SSB (single strand binding protein)
- g. Enzim DNA ligase, yaitu suatu enzim yang berfungsi untuk menyambung fragmen-fragmen DNA.

Enzim-enzim yang berperan dalam Replikasi RNA (Yuwono, 2005) antara lain:

- h. Enzim RNA-direct RNA Polymerase atau sering disebut enzim replikase adalah enzim yang bekerja dalam proses replikasi dari kategori virus yang memiliki RNA sebagai genomnya, contohnya virus *Tobacco Mosaik Virus* TMV. Enzim ini berfungsi untuk mensintesis RNA tipe negative dari RNA virus induk, fungsi dari RNA negative berfungsi untuk menjadi template atau cetakan bagi untai RNA positif baru yang identik dengan RNA virus induk yang pertama kali diinfeksi ke sel inang.
- i. Enzim RNA-direct DNA polymerase atau disebut juga reverse transcriptase (transcriptase balik) adalah enzim yang bekerja pada proses replikasi retrovirus, misalnya HIV. Fungsi dari enzim ini adalah untuk mensintesis cDNA dengan menggunakan genom retrovirus yang berupa RNA sebagai cetakannya.
- j. Enzim integrase adalah enzim yang bekerja dalam proses penyatuan atau mengintegrasikan cDNA dari retrovirus ke dalam DNA sel inang.



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Berikan penjelasan 3 konsep penting/hipotesis dalam model replikasi !
2. Jelaskan manakah model replikasi yang paling sesuai untuk organisme prokariot dan eukariot !
3. Dimanakah terjadinya proses replikasi?
4. Faktor-faktor apa sajakah yang berperan dalam replikasi ?

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Definisi replikasi dinyatakan sebagai penggandaan unting ganda DNA, replikasi terjadi pada makhluk hidup yang memiliki materi genetik DNA dan makhluk hidup yang memiliki materi genetik RNA, reproduksi materi genetik adalah replikasi DNA pada kelompok eukariotik yang berbiak secara seksual terjadi pada fase S dalam siklus sel baik mitosis maupun meiosis. Reproduksi materi genetik pada kelompok prokariotik dilakukan sebelum pembelahan sel. Reproduksi materi genetik pada kelompok aseluler virus dan retrovirus terjadi setiap kali menginfeksi sel inangnya. Replikasi DNA berlangsung dengan model semikonservatif (Khusus untuk mahluk hidup eukariotik dan prokariotik). Meskipun demikian, tidak semua makhluk hidup melakukan replikasi dengan model semikonservatif seperti yang dilakukan oleh makhluk hidup eukariotik, karena ada beberapa makhluk hidup seperti virus $\Phi X174$ yang melakukan replikasi dengan model konservatif, karena virus ini memiliki genom DNA dengan untai tunggal, meskipun hanya pada tahapan tertentu dari proses replikasinya. Replikasi pada makhluk hidup eukariotik berlangsung selama interfase dari siklus sel, yaitu

pada periode S (selang waktu antara G1 dan G2). Sedangkan waktu replikasi pada makhluk hidup aseluler, berdasarkan buku-buku acuan yang ada belum ada informasi tentang waktu replikasi, Demikian pula tidak ada informasi waktu replikasi pada organel-organel makhluk hidup eukariotik, yang saat ini sudah diketahui memiliki DNA. Makhluk hidup prokariotik, replikasi DNA berlangsung di dalam sitoplasma. Pada makhluk hidup eukariotik, replikasi DNA berlangsung di dalam inti sel serta didalam organel-organel yang telah diketahui memiliki DNA. Komponen utama yang diperlukan pada saat proses replikasi materi genetik baik DNA dan RNA antara lain: Cetakan (template), , molekul deoksiribonukleotida yaitu dATP, dTTP, dCTP, dan dGTP., Enzim DNA polymerase, Enzim pembuka ikatan DNA induk yaitu enzim helikase dan enzim lain yang membantu proses tersebut yaitu enzim girase. Molekul protein yang menstabilkan untaian DNA yang sudah terbuka, yaitu protein SSB (single strand binding protein)., Enzim DNA ligase, yaitu suatu enzim yang berfungsi untuk menyambung fragmen-fragmen DNA.



TES FORMATIF 1

.....

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Manakah dari pernyataan berikut yang tidak sesuai untuk replikasi . . .
 - a. Replikasi dinyatakan sebagai penggandaan unting ganda DNA Protein
 - b. Replikasi adalah reproduksi materi genetik DNA
 - c. Replikasi DNA berlangsung dengan model semikonservatif (Khusus untuk mahluk hidup eukariotik dan prokariotik).
 - d. Replikasi dinyatakan sebagai penggandaan unting ganda DNA dan RNA
 - e. Replikasi DNA pada kelompok eukariotik yang berbiak secara seksual terjadi pada fase S dalam siklus sel baik mitosis maupun meiosis.

2. Model Replikasi yang sesuai untuk organisme prokariotik menurut hasil riset dari Mathew Meselson dan Franklin Stahl adalah . . .
 - a. Model konserfatif
 - b. Model semikonservatif
 - c. Model dispersif
 - d. Model konservatif dan model semikonservatif
 - e. Model konservatif dan model disfersif
3. Tempat terjadinya replikasi pada organisme eukariot adalah.....
 - a. Sitoplasma
 - b. Inti Sel
 - c. Ribosom
 - d. Lisosom
 - e. organel-organel yang telah diketahui memiliki DNA
4. Manakah yang bukan merupakan komponen utama dalam proses replikasi DNA organisme prokariot dan eukariot ?
 - a. Template DNA
 - b. Enzin DNA Polimerase
 - c. Enzim RNA Polimerasi
 - d. Enzim Ligase
 - e. Single Stranded Binding protein (SSB)
5. Komponen utama dalam proses replikasi yang berfungsi sebagai pemecah ikatan hirogen pada untai DNA adalah . . .
 - a. Enzim Helikase
 - b. Enzin DNA Polimerase
 - c. Enzim RNA Polimerasi
 - d. Enzim Ligase
 - e. Single Stranded Binding protein (SSB)

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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

Arti tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

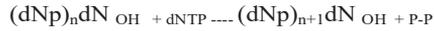
70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

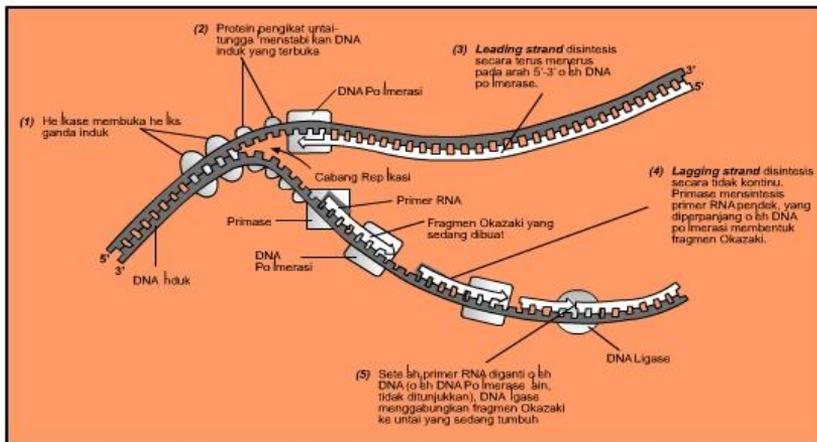
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan ke kegiatan belajar selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar ini, terutama bagian yang belum dikuasai.

BAB 13 MEKANISME REPLIKASI

Mekanisme Replikasi yang terjadi pada organisme prokariot dan eukariot Terjadi Secara Bidireksional dan Selalu dalam Arah 5'—3'. Secara umum rumus reaksi replikasi DNA (Ayala, 1984) adalah:

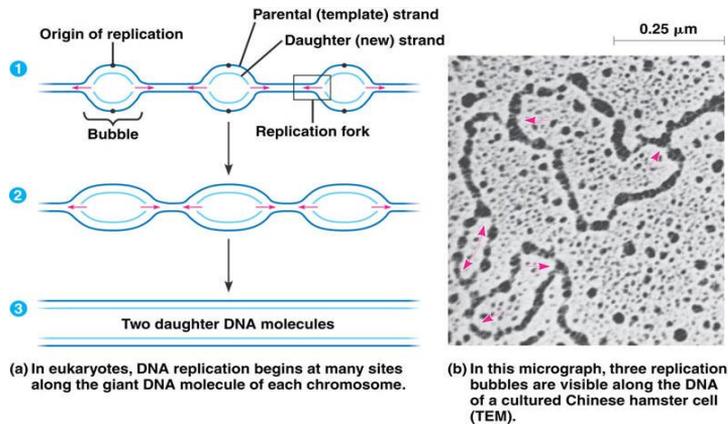


Replikasi pada prokariot dan eukariot terjadi secara bidirectional yakni 2 arah, dan selalu dengan arah 5'—3'. Replikasi bidireksional artinya replikasi berlangsung dalam dua arah yang berlawanan (*bidirectional replication*). Dengan cara ini akan terbentuk garpu replikasi yang bergerak ke arah berlawanan. (Gambar 4.3).



Gambar 4.4 Garpu Replikasi (Sumber: Campbell, 1999)

Bagian DNA yang membuka dari ORI semakin lama semakin besar membentuk struktur serupa gelembung yang disebut gelembung replikasi (*replication bubble*) hingga tercapai suatu ujung (terminal). Lihat gambar 4.5.



Bagan 4.5 The Origin of Bidirectional Replication
(Sumber: Replication.pdf.Adobe Reader, 2011)

Pada sel eukariot terdapat ratusan bahkan ribuan ORI sepanjang molekul DNA raksasa pada setiap kromosomnya. ORI terentang secara lateral sementara replikasi DNA bergerak ke dua arah. Pada akhirnya gelembung replikasi (ORI) akan menyatu (tengah) dan sintesis untai DNA anapun selesai (bawah).

Polymerisasi nukleotida pada replikasi DNA (untuk seluruh makhluk hidup, berlangsung selalu dalam arah 5'---3' artinya penambahan gugus nukleotida baru, berlangsung pada gugus -OH dari karbon 3 gula deoksiribosa. Penambahan selalu pada ujung 5' ke ujung 3' gula deoksiribosa dan tidak bisa sebaliknya sehingga arah selalu 5'—3' Dengan arah 5'—3' maka terbentuklah untai DNA yang terus menerus (*leading strand*). Satu unting pasangannya akan mengalami replikasi dengan arah yang sama 5'—3', akibatnya untai DNA yang dihasilkan terputus putus atau *lagging strand* (Gardner dkk., 1991).

Deskripsi replikasi DNA pada prokariot dijelaskan yang terjadi pada *E. coli*. Deskripsi replikasi *E. coli* ini dipandang mewakili proses replikasi yang terjadi pada makhluk hidup prokariotik. *E. coli* maupun makhluk hidup prokariotik lainnya mempunyai DNA sirkuler yaitu DNA berbentuk cincin. Proses replikasi pada prokariot sama dengan yang terjadi pada eukariot dengan perbedaan terkait enzim yang berperan selama polimerisasi DNA dan enzim yang mengakhiri replikasi.

A. Tahapan Replikasi

a. Pemisahan Untai DNA

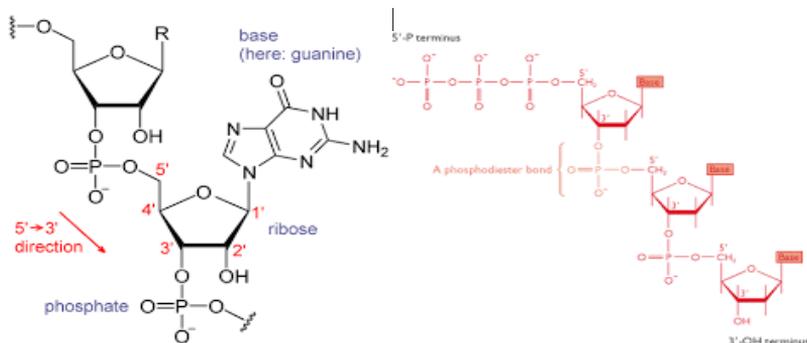
Pemisahan kedua untai DNA induk yang akan direplikasi dilakukan oleh **DNA helikase**. Diketahui bahwa ada empat macam DNA helikase yang bekerja yaitu helikase *rep*, DNA helikase I, DNA helikase II dan Protein DnaB. Study penelitian menunjukkan bahwa enzim helikase yang bekerja dalam pemisahan untai DNA adalah protein DnaB. Proses ini ditandai oleh memisahkannya kedua untai DNA, yang masing-masing akan berperan sebagai cetakan bagi pembentukan untai DNA baru. Enzim untuk membuka untai DNA double heliks adalah enzim yang disebut helikase dengan dibantu enzim lain gyrase. DNA girase tergolong enzim topoisomerase, yakni enzim yang dapat mengubah topologi molekul DNA dengan cara memutuskan ikatan hidrogen pada salah satu atau kedua untai DNA sementara (transient). Untai DNA tunggal hasil pemisahan oleh helikase selanjutnya diselubungi oleh protein pengikat untai tunggal atau single-strand binding protein (SSB) untuk melindungi DNA untai tunggal dari kerusakan fisik dan mencegah renaturasi.

b. Inisiasi Replikasi DNA

Replikasi DNA bermula dari satu titik awal. Sebelum terjadinya polimerisasi yang bermula dari suatu tempat tertentu di dalam molekul DNA yang dinamakan titik awal replikasi atau *origin of replication* (ORI). Pada sel eukariot terdapat ratusan bahkan ribuan ORI sepanjang molekul DNA raksasa pada setiap kromosomnya. ORI terentang secara lateral sementara replikasi DNA bergerak ke dua arah. Pada akhirnya gelembung replikasi (ORI) akan menyatu (tengah) dan sintesis untai DNA anapun selesai (bawah). **Perhatikan!** Replikasi berlangsung bukan setelah 2 untai DNA terpisah atau saling lepas. Replikasi berlangsung pada banyak tempat membentuk gelembung replikasi.

c. Proses Pemanjangan (Polimerisasi) Molekul DNA

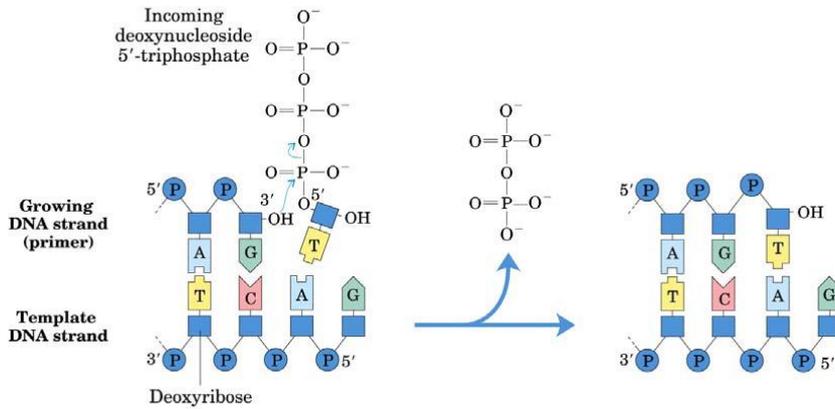
Polymerisasi nukleotida pada replikasi DNA (untuk seluruh makhluk hidup, selalu berlangsung dalam arah 5'---3' atau artinya penambahan gugus nukleotida baru, berlangsung pada gugus -OH dari karbon 3 gula deoksiribosa.



Gambar 4.6 Penambahan Nukleotida baru berlangsung pada gugus OH dari karbon 3 gula deoksiribosa

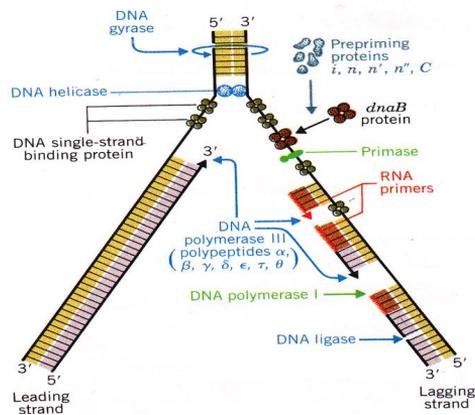
Pemanjangan untai DNA dimulai jika tersedia molekul primer. Dalam proses replikasi DNA *in vivo*, primer berupa molekul RNA yang berukuran 10-12 nukleotida. Fungsi primer adalah menyediakan ujung 3'-OH yang akan digunakan untuk menempelkan molekul DNA pertama dalam proses polimerisasi.

Pemanjangan untai DNA dilakukan dari ujung primer. Pada prokariota, proses polimerisasi untai DNA baru dikatalisis oleh enzim **DNA polimerase III**. Sedangkan pada eukariota dilakukan oleh **DNA polimerase α** (untaian DNA lambat/fragmen Okazaki) dan **DNA polimerase δ** (untaian DNA awal). Bahan baku sintesis DNA ini adalah deoksiribonukleotida. RNA primer selanjutnya akan didegradasi oleh aktivitas eksonuklease 5'→3' yang ada pada **DNA polimerase I**. Bagian RNA yang terdegradasi selanjutnya digantikan dengan molekul DNA oleh aktivitas polimerase 5'→3' yang dimiliki DNA polimerase I.



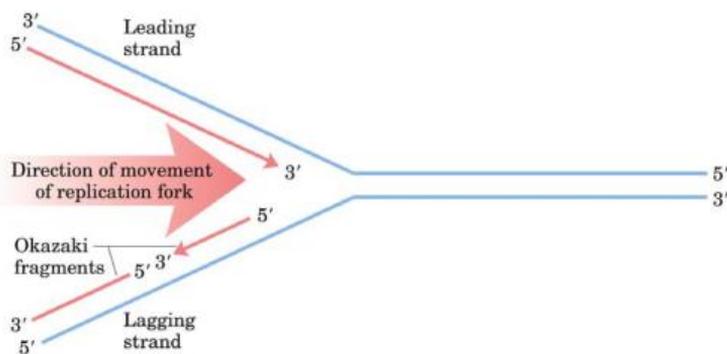
Gambar 4.7 Reaksi polimerisasi. P = gugus fosfat; A = adenin; T = timin; C = sitosin; T = timin; PPi = pirofosfat

Adanya 2 untai DNA yang orientasinya berlawanan, maka terdapat 2 macam sintesis DNA. Pertama sintesis kontinu (sintesis DNA baru yang searah dengan pembukaan garpu replikasi) atau disebut *leading strand*, dan sintesis diskontinu (sintesis DNA baru yang berlawanan arah dengan arah pembukaan garpu replikasi) atau disebut *lagging strand*.



Gambar 4.6 Sintesis DNA Berjalan Secara Kontinu (*leading strand*) dan Tidak Kontinu (*lagging strand*) (Sumber: Gardner, dkk., 1991)

Sintesis DNA pada untai yang tidak berjalan kontinyu menghasilkan fragmen terputus-putus, yang masing-masing mempunyai arah 5'→ 3'. Terjadinya sintesis DNA yang tidak kontinyu sebenarnya disebabkan oleh sifat enzim DNA polimerase yang hanya dapat mensintesis DNA dari arah 5' ke 3'. Fragmen-fragmen DNA yang dihasilkan dari sintesis yang tidak kontinyu dinamakan fragmen Okazaki, sesuai dengan nama penemunya. Fragmen-fragmen Okazaki akan disatukan menjadi sebuah untai DNA yang utuh dengan bantuan enzim DNA ligase.



Gambar 4.7 Proses replikasi dan fragmen Okazaki

d. Ligasi Fragmen-fragmen DNA

Pada untai DNA yang telah mengalami penggantian primer RNA dengan DNA, masih terdapat celah, yakni celah antara 1 primer pada suatu fragmen pendek, dengan fragmen pendek berikutnya. Celah-celah antara fragmen DNA yang terbentuk dari proses penggantian RNA menjadi DNA, disambungkan oleh **DNA ligase**.

e. Terminasi Sintesis DNA

Proses replikasi DNA diakhiri dengan terminasi replikasi. Titik tempat pengakhiran replikasi disebut titik terminasi. Pada *E.coli* sisi terminal adalah suatu urutan basa DNA yang berikatan dengan suatu protein spesifik yang disebut protein Tus (Terminus Utilization Substance). Pada molekul DNA prokariot yang berbentuk lingkaran, terminasi replikasi akan terjadi jika kedua garpu replikasi yang bergerak ke arah berbeda bertemu pada sisi terminasi.

Ketika replikasi selesai, kedua lingkaran hasil replikasi masih menyatu. Pemisahan dilakukan oleh enzim topoisomerase IV. Masing-masing lingkaran hasil replikasi kemudian disegregasikan ke dalam kedua sel hasil pembelahan.

Terminasi pada eukariot, keadaannya berbeda karena molekul DNANYa linear. Masalahnya muncul pada ujung kromosom (telomer). Jika primer yang terletak di ujung kromosom didegradasi, maka tidak dapat dilakukan pengisian bagian kosong bekas tempat penempelan primer (RNA) karena sintesis DNA tidak dapat berlangsung dengan arah $3' \rightarrow 5'$. Molekul-molekul DNA kromosomal eukariot memiliki urutan nukleotida khusus yang disebut telomer pada ujung-ujungnya. Telomer tidak mengandung gen, sebaliknya DNA nya terdiri dari banyak pengulangan (100-1000) urutan nukleotida pendek. Blackburn dkk, menunjukkan replikasi telomer eukariot dilakukan dengan menggunakan aktivitas enzim telomerase. Telomerase adalah enzim khusus yang mengkatalisis pemanjangan telomer. RNA bertindak sebagai cetakan bagi telomerase untuk memperpanjang ujung telomer pada ujung $3'$.

Diketahui bahwa telomere jasad eukariotik tersusun atas urutan nukleotida spesifik yang berbeda antara organisme yang satu dengan organisme yang lain. Contohnya pada manusia sekuensnya adalah TTAGGG/AATCCC. Spesifitas telomere tersebut ditentukan oleh telomerase dan suatu molekul RNA kecil yang ada pada kompleks telomerase. Molekul RNA tersebut digunakan untuk sintesis telomere baru. Telomerase akan menambahkan banyak sekuens spesifik seperti di atas pada ujung kromosom sehingga sekuens tersebut dapat digunakan sebagai primer dalam sintesis telomere. Dengan cara ini kromosom tidak akan memendek (Yuwono, 2005).

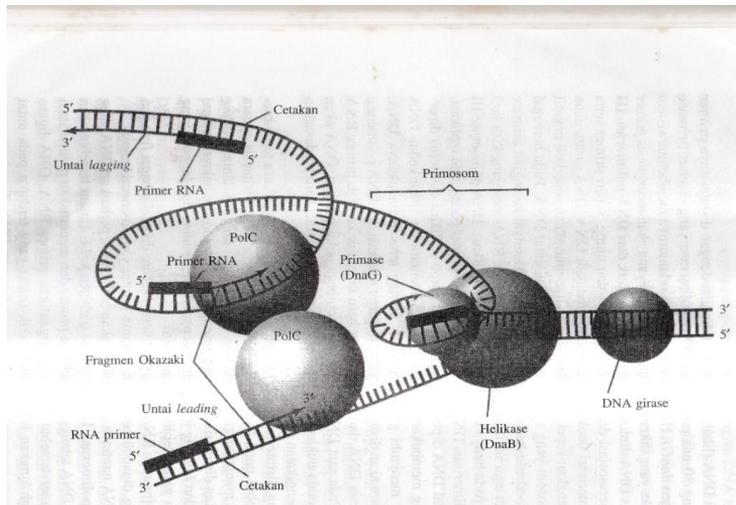
B. Replikasi DNA Sel Prokariotik

Replikasi Kromosom sel prokariotik seperti pada *Escherhicia coli* dimulai dari titik awal replikasi (*oriR*) yang berlangsung ke dua arah menuju situs terminasi yang terletak di tengah kromosom sirkuler (pasmid). Selama replikasi untaian ganda DNA dalam keadaan terbuka. Berikut prosesnya;

1. Replikasi dimulai pada saat protein (polimer asam amino) yang dikode oleh Dna-A berikatan dengan sekuen berulang sepanjang 9-mer pada titik awal replikasi (*oriR*).

2. Selanjutnya enzim helikase sebagai Dna-B dan protein inhibitor Dna-C berikatan dengan sekuen repetitif (berulang) sepanjang 13-mer. Helikase (Dna-B) bergerak dari 5'-3' untuk membuka pilinan DNA. Terbukanya pilinan DNA ini mendorong membentuk superheliks pada pilinan DNA yang belum terbuka akibat terdesak. Untuk mengurai superheliks diberi enzim DNA-girase. Sedangkan Protein pengikat berantai tunggal (Singel-stranded binding protein, SSBP) berperan menstabilkan pilinan DNA yang sedang terbuka.
3. Kemudian enzim Primase dikode dengan Dna-G bersama enzim helikase membentuk sistem enzim kompleks yaitu primosom yang mensintesis primer.
4. Sebanyak 2 PolC (DNA polimerase III) bergabung dengan cetakan DNA ujung 3' dan memulai polimerisasi menjadi untaian DNA. Pada saat berlangsung DNA-girase terus menerus bertugas menghilangkan superheliks. Cetakan DNA memberi sinyal pada primase pada primosom untuk melakukan polimerisasi primer RNA sepanjang 30 nukleotida satu garpu replikasi.
5. PolC melakukan polimerisasi dari ujung 5'-3' dari setiap garpu replikasi sehingga mencetak nukleotida DNA. Sementara untaian kedua DNA polimerisasi menjauhi garpu replikasi.
6. Seiring terus membukanya pilinan DNA, satu primer baru akan disintesis menjauhi garpu replikasi dan DNA polimerase akan mencetak DNA dari primer baru yang berasal dari RNA polimerase. DNA akan memilih nukleotida sesuai dengan komplementernya ini yang disebut fragmen atau untai Leading. Sedangkan untainya terputus-putus disebut fragmen atau untai Lagging atau fragmen Okazaki.
7. Primer RNA akan dihilangkan oleh enzim DNA polimerase I dengan kode PolA. Enzim ini akan menggunakan DNA tetangga sebagai primer dan meneruskan polimerisasi DNA.
8. Di akhir replikasi, celah-celah (nick) yang terdapat dalam untaian DNA akan disambung oleh enzim DNA ligase sehingga fragmen-fragmen DNA tersambung. Jika semua kegiatan replikasi DNA ini selesai, maka akan

masuk enzim topoisomerase IV yang akan memisahkan kromosom baru yang terbentuk. Maka selesailah replikasi DNA pada bakteri tersebut.



Gambar 4.8 Replikasi pada Prokariot

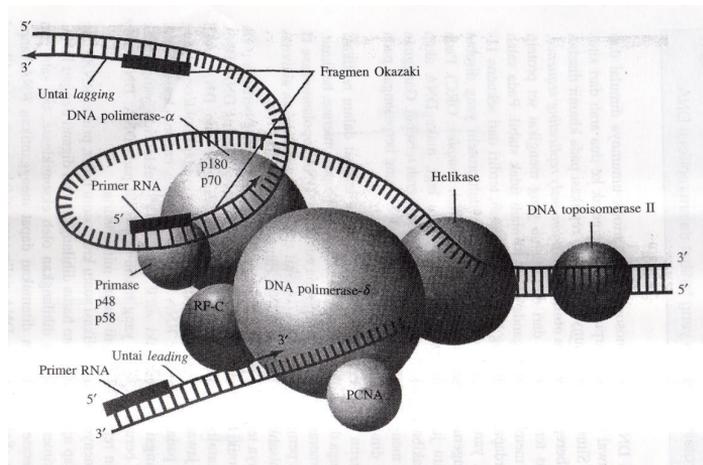
C. Replikasi DNA Sel Eukariotik

Replikasi Kromosom sel eukariotik contohnya pada jamur umumnya dimulai dari situs titik awal replikasi otonom (ARS). Berikut proses replikasi DNA sel eukariotik.

1. Pertama garpu replikasi ke dua arah situs awal tersebut. sekuen situs titik awal replikasi otonom (ARS) ini memiliki dua kawasan yang mengikat set protein berbeda yang membuat pilinan ganda DNA tidak stabil. Pada salah satu kawasannya terdapat kawasan lestari yang disebut origin recognition complex (ORC) yang memiliki 11-mer berulang saling berikatan membengkok dengan kawasan protein non lestari yang mengakibatkan terpisahnya untai DNA pada situs ARS. Maka dimulailah replikasi sistesa primer RNA.
2. Enzim-enzim yang terlibat dalam Replikasi DNA sel eukarotik sama dengan enzim yang terlibat pada replikasi DNA pada sel prokariotik.
3. Selanjutnya prosesnya adalah sama, dimana enzim Topoisomerase, helikase dan RNA polimerase akan melakukan tugasnya seperti pada replikasi DNA sel prokariotik. DNA Topoisomerase I terlibat dalam penguraian super salenoid

pada DNA yang sedang membuka. Sedangkan helikase membuka pilinan untai DNA.

4. Ada 5 jenis enzim DNA polimerase berbeda yang terlibat pada replikasi DNA sel eukariotik yaitu;
 - DNA pol α yang bertugas mensintesa untai lagging DNA.
 - DNA pol δ yang bertugas mensintesa untai leading DNA.
 - DNA pol δ dan DNA pol β sebagai enzim ligase menyambung atau menghilangkan gap (nik) antara nukleotida timbul saat primer RNA hilang oleh enzim pemotong yakni endonuklease.
 - DNA pol γ melaksanakan replikasi DNA dalam mitokondria.
5. Selanjutnya primer RNA yang terdapat di setiap ujung kromosom hilang dan diganti dengan DNA. Dalam hal ini diperlukan primer DNA. DNA polimerase adalah enzim telomerase yang bertugas mencetak untai DNA telomer yang berfungsi menjaga ukuran panjang kromosom. Tahap akhir Replikasi DNA eukariota tersambung nya untai DNA baru. Maka selesai proses Replikasi DNA pada sel eukaryota



Gambar 4.9 Replikasi pada Eukariot



LATIHAN

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.

1. Jelaskan tahapan-tahapan yang terjadi pada proses replikasi !
2. Jelaskan perbedaan pada replikasi yang terjadi pada organisme prokariot dan eukariot



RANGKUMAN

Replikasi pada prokariot dan eukariot terjadi secara *bidirectional* yakni 2 arah, dan selalu dengan arah 5'--3'. Replikasi bidireksional artinya replikasi berlangsung dalam dua arah yang berlawanan (*bidirectional replication*). Dengan cara ini akan terbentuk garpu replikasi yang bergerak ke arah berlawanan. Tahapan dari proses replikasi meliputi (1) Pemisahan kedua untai DNA induk yang akan direplikasi dilakukan oleh DNA helikase. (2) Inisiasi Replikasi DNA Sebelum terjadinya polymerisasi yang bermula dari suatu tempat tertentu di dalam molekul DNA yang dinamakan titik awal replikasi atau *origin of replication* (ORI). , (3) Proses Pemanjangan (Polimerisasi) Molekul DNA penambahan gugus nukleotida baru, berlangsung pada gugus -OH dari karbon 3 gula deoksiribosa, yang dikatalis oleh DNA polimerase, (4) Ligasi Fragmen-fragmen DNA Celah-celah antara fragmen DNA yang terbentuk dari proses penggantian RNA menjadi DNA, disambungkan oleh DNA ligase. (5) Terminasi Sintesis DNA, Titik tempat pengakhiran replikasi disebut titik terminasi. Pada *E.coli* sisi terminal adalah suatu urutan basa DNA yang berikatan dengan suatu protein spesifik yang disebut protein Tus (Terminus Utilization Substance).

TES FORMATIF 2

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

1. Proses replikasi terjadi secara . . .
 - a. Berlawanan arah dengan arah pertumbuhan DNA 5'--3'
 - a. Berlawanan arah dengan arah arah pertumbuhan DNA 3'--5'
 - b. Searah dengan arah arah pertumbuhan DNA 5'--3'
 - c. Searah dengan arah arah pertumbuhan DNA 3'--5'
 - d. Berlawanan arah dengan pertumbuhan DNA
2. Tahap awal terjadinya proses replikasi dikenal sebagai. . .
 - a. inisiasi
 - b. Elongasi
 - c. Terbentuknya Origin of replication (ORI)
 - d. Pemisahan untai DNA oleh Helikase
 - e. Terminasi
3. Untai DNA Baru yang terbentuk secara kontinue disebut sebagai. . .
 - a. DNA Lagging Strand
 - b. Okazaki Fragmen
 - c. DNA Leading Strand
 - d. DNA Template
 - e. DNA Polimerase
4. Tahapan penyambungan Celah-celah antara fragmen DNA yang terbentuk dari proses penggantian RNA menjadi DNA, terjadi dalam tahap
 - a. Inisiasi
 - b. Elongasi
 - c. Terminasi
 - d. Ligasi
 - e. Pengenalan ORI

5. Enzim yang berperan dalam penghilangan RNA dalam untai DNA baru adalah. . .
 - a. Helikase
 - b. DNA Polimerase III
 - c. DNA Polimerase I
 - d. Telomerase
 - e. Ligase

6. Enzim yang berperan dalam sintesis DNA baru pada tahap elongasi adalah. . .
 - a. Helikase
 - b. DNA Polimerase III
 - c. DNA Polimerase I
 - d. Telomerase
 - e. Ligase

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir Bab ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

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

BAB 14

SINTESIS PROTEIN

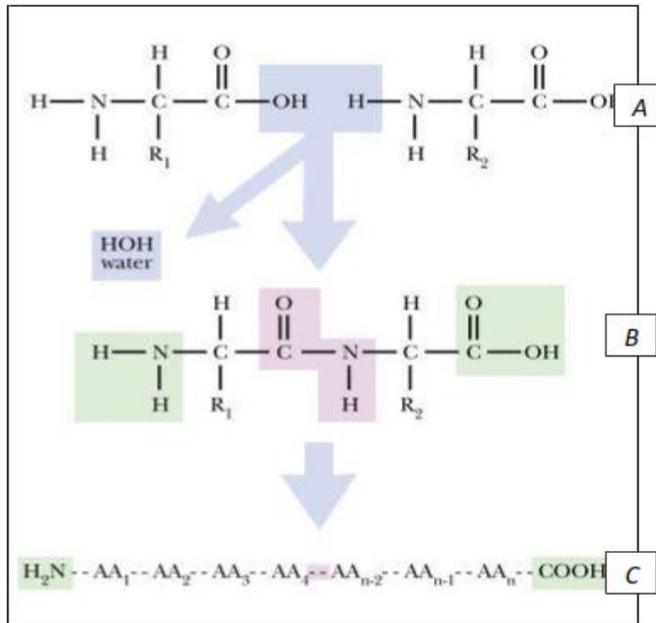
Protein adalah makromolekul yang paling berlimpah. Protein ditemukan dalam semua sel dan pada semua bagian sel dalam tubuh. Protein penting untuk Anda pelajari sebagai Ahli TLM, karena protein akan dijumpai pada semua bagian dari bahan pemeriksaan laboratorium, seperti pemeriksaan yang menggunakan serum untuk pemeriksaan antibodi maupun untuk pemeriksaan antigen, darah untuk pemeriksaan hemoglobin, pemeriksaan HIV, DB, jaringan untuk pemeriksaan cancer dan masih banyak lagi. Protein di dalam tubuh manusia maupun hewan memegang peranan yang penting. Protein berperan sebagai komponen penyusun struktur sel Protein juga berfungsi sebagai antibodi, protein hemoglobin, protein myoglobin, sebagai hormon, protein sebagai enzim. Protein juga sebagai bahan baku energi.

Enzim adalah satu protein yang berperan sebagai biokatalisator dalam reaksi kimia yang berlangsung di dalam tubuh manusia maupun di dalam organisme yang lain seperti hewan, tumbuhan, mikroorganisme seperti bakteri, dan jamur. Enzim β -Galaktosidase yang dimiliki oleh bakteri yang memfermentasikan laktosa seperti *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*. Enzim β -Galaktosidase mampu menghidrolisa laktosa sebagai disakarida menjadi dua monosakarida yaitu glukosa dan galaktosa Contohnya koloni *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae* pada media Mac-Conkey (MC) warna merah jambu, karena menghasilkan Enzim β -Galaktosidase, sehingga mampu menghidrolisa laktosa yang terdapat pada media MC menjadi glukosa dan galaktosa, kemudian glukosa difermentasi hasilnya asam, pada suasana asam indikator neutral red pada MC berwarna merah jambu, sehingga koloni bakteri tersebut berwarna merah jambu.

Selain itu, protein juga berfungsi sebagai penyusun hormon. Anda pasti sudah mengetahui bahwa hormon insulin berperan dalam regulasi pengaturan jumlah glukosa dalam darah. Saat ini banyak penderita Diabetes Mellitus (DM) - orang awam menyebutnya sakit gula-. Cukup banyak penderita DM yang harus mendapatkan suntikan insulin dalam tubuhnya. Hormon insulin terbentuk dari

protein, yang dihasilkan oleh pankreas. Dimana gen insulin yang ada pada sel pankreas akan mensintesis protein yang merupakan hormon insulin. Dan hormon insulinlah yang berperan dalam pengaturan kadar gula di dalam darah, apabila insulin ada masalah maka berakibat pada kadar gula darah yang dialami oleh penderita DM.

Protein berasal dari kata *protos* atau *proteos* yang berarti utama. Protein merupakan salah satu dari 4 makromolekul komponen utama penyusun kehidupan di dunia, baik manusia, hewan, tumbuhan serta mikroorganisme seperti bakteri, jamur, virus dan parasit. Protein merupakan polimer dari asam-asam amino di mana asam amino satu dengan asam amino lain dihubungkan dengan suatu ikatan yang disebut sebagai ikatan peptida. Protein mempunyai banyak ikatan peptida sehingga protein sering disebut pula sebagai polipeptida (G. B. Waite 2007). Ikatan peptida terbentuk antara gugus karboksil dari satu asam amino dengan gugus amina dari asam amino yang lain. Apabila ada dua asam amino dihubungkan oleh satu ikatan peptida maka disebut sebagai dipeptida dan akan terbentuk adanya N terminal atau ujung N (NH_2) di salah satu ujung dan C terminal atau ujung C (COOH) di ujung yang lain, serta dibebaskannya molekul H_2O (air)



Gambar 5.1 A).Terbentuknya ikatan peptida dari dua asam amino, dan membebaskan H₂O, B). Ikatan peptida sudah terbentuk, C) Terbentuknya N terminal dan C terminal (Coady 2010).

Semua protein dibangun dari subunit dasar yang sama yaitu asam α -L-amino. Meskipun telah dapat diisolasi lebih dari 100 jenis asam amino, hanya terdapat 20 macam asam α -L- amino penyusun protein padamamalia. Sel dapat membentuk berbagai jenis protein dengan merangkai ke-20 macam asam amino melalui ikatan kovalen. Variasi dalam kombinasi, urutan dan jumlah asam-asam amino tersebut menghasilkan protein yang memiliki berbagai ragam sifat dan aktivitas yang berbeda-beda, seperti enzim, hormon, racun, jaringan pembangun, dan lain-lain. Untuk memahami keragaman protein, perlu dipahami terlebih dahulu sifat kimia asam amino.

A. Asam Amino

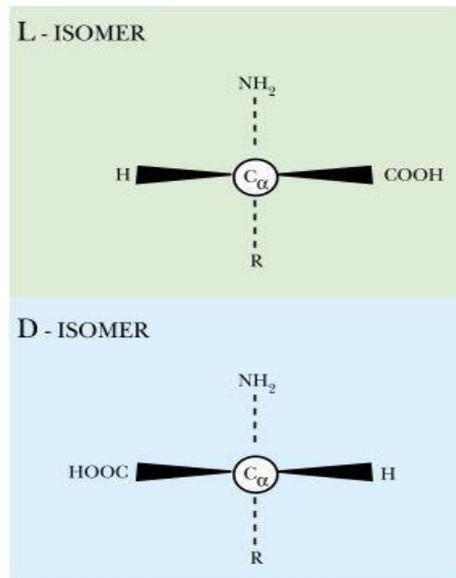
Asam amino adalah asam alkanoat yang mengandung gugus amino. Ke-20 macam asam amino pembentuk protein memiliki kesamaan struktur (kecuali prolin) yaitu gugus karboksilat dan amino terikat pada atom C yang sama yaitu pada atom C- α . Perbedaan satu asam amino dengan asam amino yang lain terletak pada rantai

sampingnya (gugus R), yang bervariasi dalam struktur, ukuran, dan muatan listriknya. Variasi sifat gugus R menentukan kelarutan asam amino dalam air. Ciri struktur umum asam amino terlihat pada Gambar 5.2



5.2. Struktur umum asam amino. Kecuali pada prolin (asam amino siklik), struktur ini sama untuk semua asam amino, dimana gugus karboksilat dan amino terikat pada atom C posisi α . Rantai samping (R) juga terikat pada C- α . Ke-20 macam asam amino berbeda dalam struktur gugus R.

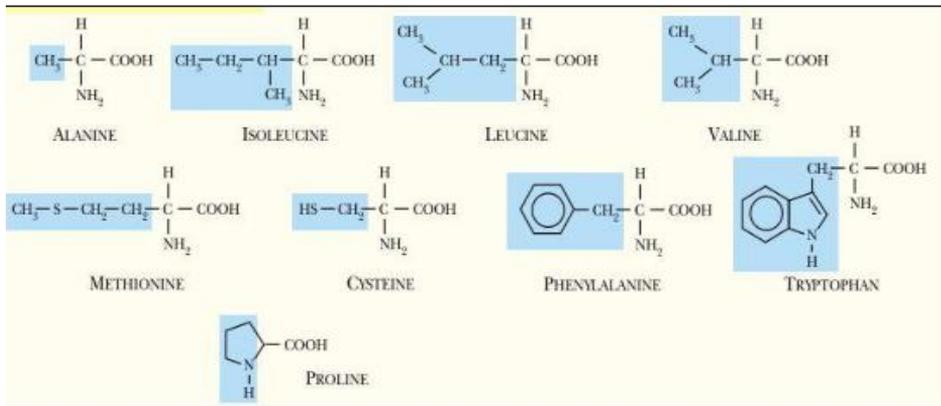
Asam amino mempunyai kemampuan untuk memutar bidang cahaya terpolarisasi, oleh karena itu asam amino mempunyai 2 macam konfigurasi yaitu D dan L (Gambar 4.7). Asam amino mempunyai konfigurasi L apabila gugus NH_2 terdapat di sebelah kiri atom karbon alpha, dan konfigurasi D apabila gugus NH_2 terdapat di sebelah kanan atom karbon alpha, tetapi asam-asam amino yang terdapat pada protein dalam tubuh manusia pada umumnya mempunyai konfigurasi L. Asam amino dengan konfigurasi D dapat dijumpai pada mikroorganisme misalnya pada asam glutamate yang terdapat pada *Bacillus anthracis*



Gambar 5.3 Konfigurasi L dan D dari Asam amino (Coady 2010)

B. Macam-macam asam amino

Protein tersusun dari 20 macam asam amino standar, yang dapat dikelompokkan menjadi 2 berdasarkan sifatnya terhadap air, yaitu asam amino bersifat 1) **Hidrofilik** (suka dengan air), terdiri dari 10 macam asam amino terdiri dari 2 macam asam amino bersifat asam dan bermuatan negatif, 3 macam asam amino bersifat basa dan bermuatan positif, dan 5 macam asam amino bersifat netral dan bermuatan netral pula. 2) **Bersifat Hidrofobik** (takut terhadap air), terdiri dari 10 macam asam amino dan semuanya bersifat netral. Berdasarkan muatan listrik dan keasaman dari asam amino maka dapat dikelompokkan menjadi asam amino bermuatan negatif (bersifat asam) dapat dilihat pada Gambar 5.4, Asam amino bermuatan positif (bersifat basa), dapat dilihat pada Gambar 5.5, asam amino bersifat netral (bersifat netral) dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan 5.7. Asam amino yang bersifat netral, yaitu asam amino yang mengandung 1 gugus amino ($-NH_2$) dan 1 gugus karboksil ($-COOH$) dalam molekulnya. Asam amino yang bersifat asam, yaitu asam amino yang mengandung 2 gugus karboksil dan satu gugus amino. Asam amino yang bersifat basa, yaitu asam amino yang

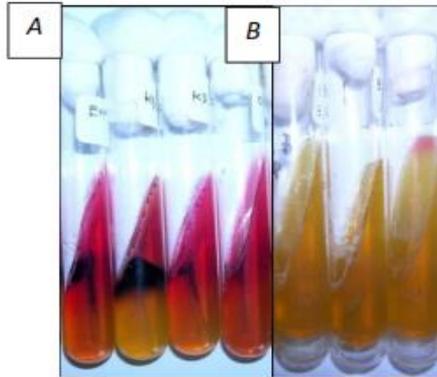


Gambar 5.7 Asam amino bersifat netral serta bersifat Hidrofobik (Coady 2010)



Gambar 5.8 Asam amino glycine serta bersifat Hidrofobik (Coady 2010)

Ada 2 macam asam amino yang mengandung gugus S (sulfhydryl) yaitu Cystein dan Metionin. Ingatkah Anda, ketika identifikasi bakteri menggunakan media TSIA, di mana hasil uji dari bakteri *Salmonella typhi* akan menghasilkan endapan hitam. Endapan hitam tersebut adalah senyawa FeS yang berasal dari H₂S yang dihasilkan dalam proses hidrolisis asam amino metionin dan cystein (Gambar 5.9 A). Tetapi untuk uji TSIA dari bakteri *Escherichia coli* tidak didapatkan endapan hitam (Gambar 5.9 B.). Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua mikroorganismenya mampu menghidrolisis metionin dan cystein. Jadi *Salmonella typhi* mampu menghidrolisis kedua macam asam amino tersebut sedangkan *Escherichia coli* tidak.



Gambar 5.9. A. Hasil uji TSIA *Salmonella typhi*, B. Hasil uji TSIA *Escherichia coli*

Berdasarkan kemampuan tubuh untuk mensintesis asam amino, maka dikelompokkan menjadi dua pula, yaitu asam amino yang dapat disintesa di dalam tubuh yang disebut asam amino non esensial dan asam amino yang tidak dapat disintesa di dalam tubuh yang dapat diperoleh dari makanan baik dari hewan maupun dari tumbuhan yang disebut asam amino esensial. Perhatikan Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Asam Amino Esensial dan Non Esensial Yang Terdapat Dalam Protein

Nama asam amino	Simbul	Esensial/ Non Esensial
Kelompok (1)		
Glisin	Gly	Non Esensial
Alanin	Ala	Non Esensial
Valin	Val	Esensial
Leusin	Leu	Esensial
Isoleusin	Ile	Esensial
Kelompok (2)		
Serin	Ser	Non Esensial
Treonin	Thr	Esensial
Kelompok (3)		

Sistein Metionin	Cys Met	Non Esensial Esensial
Kelompok (4)		
Asam aspartat	Asp	Non Esensial
Asparagin	Asn	Non Esensial
Asam Glutamat	Glu	Non Esensial
Glutamin	Gln	Non Esensial
Kelompok (5)		
Arginin	Arg	Non Esensial
Lisin	Lys	Esensial
Histidin	His	Esensial
Kelompok (6)		
Fenilalanin	Phe	Esensial
Tirosin	Tyr	Non Esensial
Triptofan	Trp	Esensial
Kelompok (7)		
Prolin	Pro	Non Esensial

Berdasarkan struktur gugus -R (rantai samping), asam amino dapat dikelompokkan menjadi 7 yaitu:

1. Asam amino dengan rantai samping yang merupakan rantai karbon alifatik (Glisin, Alanin, Valin, Leusin, Isoleusin)
2. Asam amino dengan rantai samping yang mengandung gugus hidroksil (Serin dan Treonin)
3. Asam amino dengan rantai samping yang mengandung atom belerang (Sistein dan Metionin)
4. Asam amino dengan rantai samping yang mengandung asam atau amidanya (Asam aspartat, Asparagin, Asam glutamate dan Glutamin)
5. Asam amino dengan rantai samping yang mengandung gugus basa (Arginin, Lisin, Histidin)
6. Asam amino dengan rantai samping yang mengandung cincin aromatic (Fenil alanin, Tirosin dan Triptofan)
7. Membentuk ikatan dengan atom N pada gugus amino (Prolin)

Prolin. Prolin adalah asam amino yang dapat diperoleh dari hidrolisis kasein, kasein dapat diperoleh di dalam susu dan keju. Selain itu prolin dan hidropsiprolin dapat diperoleh di dalam kolagen yang dapat diperoleh dari daging hewan. Tyrosin, adalah asam amino yang mempunyai gugus fenol dan bersifat asam lemah. Tyrosin dapat diperoleh dari kasein. Tryptophan, adalah asam amino

heterosiklik yang mula-mula diperoleh dari hasil pencernaan kasein oleh cairan pancreas. Serin, asam amino yang mempunyai gugus alkohol, yang dapat diperoleh dari hasil hidrolisis gelatin yang berasal dari sutera alam.

Treonin, dapat diperoleh dari hidrolisis fibrin darah. Metionin, diperoleh dari hidrolisis kasein, dan merupakan asam amino esensial. Glutamin, asam amino yang terdapat dalam protein di dalam terigu. Asparagin, dapat diperoleh dari protein di dalam tumbuhan. Lisin, dapat diperoleh dari hidrolisis kasein Histidin, dapat diperoleh dari hidrolisis sperma

Ada beberapa asam amino yang tidak terdapat di dalam protein. Asam amino tersebut merupakan hasil antara dalam proses metabolisme atau merupakan pembentuk hormon. Asam-asam amino tersebut adalah : ornithin yaitu zat antara dalam biosintesa urea, homosistein yaitu zat antara dalam biosintesis metionin, homoserin, yaitu zat antara dalam metabolisme treonin, aspartat dan metionin, sitrulin yaitu zat antara dalam biosintesa urea, 3,5-diiodotirosin yaitu sebagai pembentuk hormone tyroid, 3,4dihidroksi fenilalanin yaitu sebagai pembentuk melanin.



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Jelaskan pengertian protein!
2. Sebutkan unsur-unsur kimia yang menyusun asam amino & Sebutkan ciri-ciri molekul asam amino
3. Jelaskan apa yang dimaksud asam amino esensial dan asam amino nonesensial.
4. Bagaimana perbedaan struktur kimia antara asam amino yang bersifat asam, basa dan netral.
5. Sebutkan Asam amino yang rumus molekulnya paling sederhana
6. Sebutkan dua macam asam amino yang mengandung gugus S.
7. Jelaskan terbentuknya ikatan peptida antara dua asam amino.
8. Sebutkan 3 komponen tubuh yang tersusun dari protein

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Protein sebagai salah satu makromolekul yang dibutuhkan oleh organisme termasuk dibutuhkan oleh manusia, sebagai enzim, hormon, protein transmembran, antibodi, hemoglobin, myoglobin dsb. Protein merupakan polimer dari asam amino. Asam amino satu dengan asam amino yang lainnya dihubungkan oleh ikatan peptida. Ikatan peptida terbentuk antara gugus amino dari satu asam amino dengan gugus karboksil dari asam amino yang lain dengan dihasilkan molekul H₂O sebagai sampingannya. Apabila dua asam amino dihubungkan oleh satu ikatan peptida disebut dipeptida, jika tiga asam amino dihubungkan dengan 2 ikatan peptida disebut tripeptida, jika banyak asam amino dihubungkan oleh banyak ikatan peptida disebut polipeptida. Rangkaian asam amino dengan ikatan peptida akan menghasilkan dua ujung, yang pertama ujung N yang sering disebut N terminal, dan ujung yang satunya adalah ujung C yang sering disebut C terminal. Protein tersusun dari banyak asam amino yang dihubungkan pula oleh banyak ikatan peptida, maka protein disebut pula dengan istilah polipeptida. Ada 20 macam asam amino standar yang menyusun protein yang dapat dikelompokkan menjadi asam amino esensial yang tidak dapat disintesis di dalam tubuh sehingga harus diperoleh dari makanan atau minuman dan non esensial yaitu asam amino yang dapat disintesis di dalam tubuh. Asam amino dilihat dari struktur kimianya ada asam amino yang bersifat asam yaitu asam amino yang bermuatan negatif dan mengandung satu gugus amina dan dua gugus karboksil, bersifat basa yaitu asam amino yang bermuatan positif dan mengandung dua gugus amina dan satu gugus karboksil, dan yang bersifat netral yaitu asam amino yang bermuatan netral karena mengandung satu gugus amina dan satu gugus karboksil. Selain 20 macam asam amino standar, terdapat asam

amino yang merupakan hasil antara dalam proses metabolisme atau merupakan pembentuk hormon antara lain: ornithin, homoserin, homosistein, sitrulin, 3,5-diodotirosin, dan 3,4-dihidroksifenilalanin.



TES FORMATIF 1

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

- 1) Protein adalah.....
 - A. Rangkaian monosakarida
 - B. Rangkaian asam lemak
 - C. Rangkaian asam amino
 - D. Rangkaian nukleotida
- 2) Molekul asam amino memiliki ciri
 - A. Adanya gugus karboksil dan amina
 - B. Adanya gugus metyl dan hidroksil
 - C. Adanya gugus hidroksil dan gugus phospat
 - D. Adanya gugus hidroksil dan amina
- 3) Ikatan yang menghubungkan asam amino satu dengan asam amino yang lainnya adalah ikatan....
 - A. Phospodiester
 - B. Glikosidik
 - C. Hidrogen
 - D. Peptida
- 4) Asam amino yang paling sederhana adalah
 - A. Leusin
 - B. Glysin
 - C. Isoleusin
 - D. Tyrosin

- 5) Dua macam asam amino yang mengandung gugus S adalah
- Cystein dan treonin
 - Cystein dan serin
 - Cystein dan histidin
 - Cystein dan metionin
- 6) Asam amino yang bersifat basa adalah tersebut di bawah ini, kecuali...
- Aspartat
 - Histidin
 - Lysin
 - Arginin
- 7) Dua asam amino yang dihubungkan oleh satu ikatan peptida disebut...
- Monopeptida
 - Dipeptida
 - Tripeptida
 - Oligopeptida
- 8) Terdapat di bawah ini tersusun oleh protein, kecuali...
- Ptilin
 - Insulin
 - Myoglobin
 - Glykogen

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

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

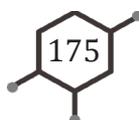
Arti tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang



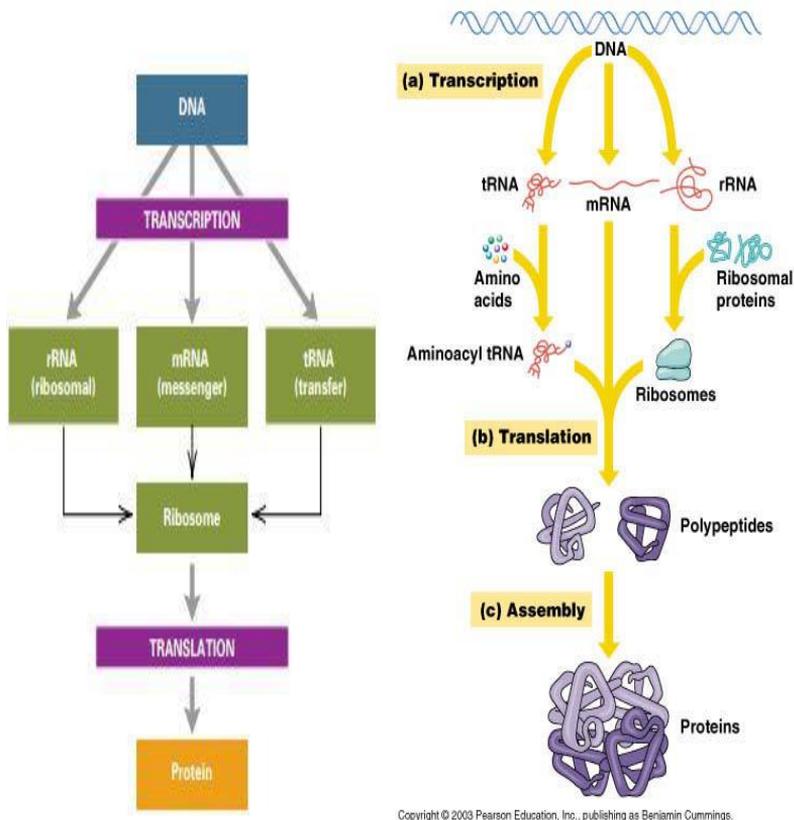
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan ke kegiatan belajar selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar ini, terutama bagian yang belum dikuasai.

BAB 15

SINTESIS PROTEIN PADA ORGANISME EUKARIOT

Sintesis protein memerlukan DNA. DNA tersusun dari banyak gen dan setiap gen akan menghasilkan protein. Gen yang berbeda akan menghasilkan protein yang berbeda pula. Protein A akan dihasilkan oleh gen A, dan protein B akan dihasilkan oleh gen B. Gen merupakan bagian dari DNA, dan merupakan urutan nukleotida tertentu pada DNA yang mengkode protein tertentu. Selain itu, gen berfungsi sebagai pembawa sifat keturunan dari orang tua ke keturunannya. Dengan demikian, kita ketahui bahwa protein adalah ekspresi dari gen, protein yang berbeda tentu diekspresikan oleh gen yang berbeda pula. Jumlah nitrogen dari protein yang diserap dan yang diekskresikan jumlahnya harus seimbang.

Gen sebagai cetakan menghasilkan mRNA, sedangkan proses sintesis mRNA dengan DNA (gen) sebagai cetakannya disebut sebagai proses Transkripsi. Selanjutnya mRNA berfungsi sebagai cetakan yang hasil cetakannya disebut sebagai protein. Proses sintesis protein dengan mRNA sebagai cetakannya disebut sebagai proses Translasi. Dogma sintesis protein dapat Anda lihat pada Gambar 5.10. Perlu Anda ketahui bahwa tidak semua gen pada DNA dapat menjadi protein. Gen yang dapat ditranskripsikan dan kemudian ditranslasikan sampai menjadi protein adalah Gen kelas II. Sedang 2 gen yang lain yaitu Gen Kelas I dan III hanya ditranskripsikan. Gen kelas I ditranskripsikan menjadi rRNA yang merupakan penyusun ribosom dan terletak pada permukaan RE kasar dan berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Gen kelas III ditranskripsikan menjadi tRNA yang berada pada sitoplasma yang berfungsi untuk mentransfer asam amino yang ada di sitoplasma menuju Ribosom sebagai tempat translasi



Copyright © 2003 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

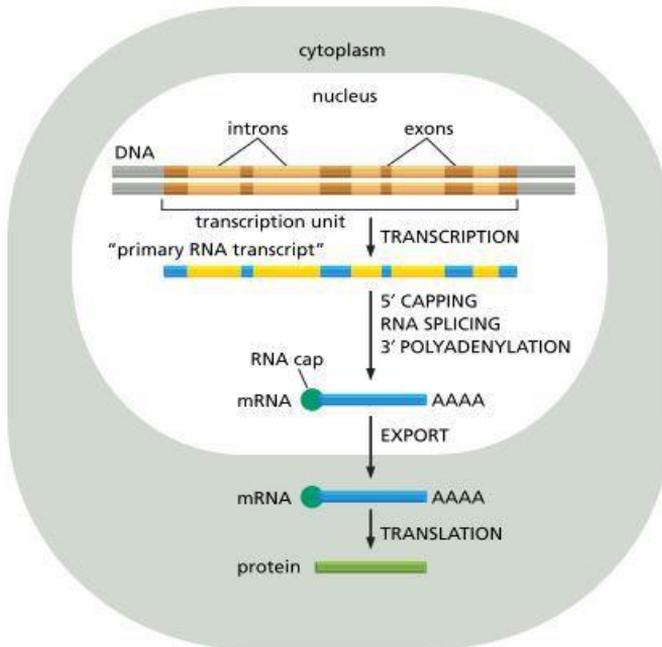
Gambar 5.10 Dogma sentral (proses transkripsi, translasi dan assembly)

1. Sintesis protein pada sel eukaryot

Masih ingatkah Anda struktur ultra sel eukaryot, di mana di dalamnya mengandung macam-macam organella yang antara lain berperan dalam proses sintesis protein? Gen merupakan urutan nukleotida tertentu yang terdapat pada DNA, dan DNA berada di dalam inti sel. Pada sel eukaryot satu gen terdiri dari satu promotor yang disebut dengan monosistronik. Ini berbeda dengan bakteri, di mana banyak gen dengan hanya satu promotor (polisistronik).

Proses sintesis protein pada sel eukaryot contohnya dapat kita lihat pada diri kita sebagai manusia melalui beberapa tahapan yaitu: 1) transkripsi gen kelas II akan menghasilkan mRNA yang terjadi di dalam inti sel. Proses transkripsi terjadi dalam 2 tahap: tahap pertama dihasilkan mRNA yang belum

masak, ukurannya panjang. Kemudian dilanjutkan ke tahap kedua transkripsi akhir yang menghasilkan mRNA masak yang ukurannya lebih pendek. mRNA masak hasil transkripsi akhir dikeluarkan dari dalam inti sel melalui pori-pori membran inti sel menuju pada ribosom. Anda perhatikan gambar 5.11.



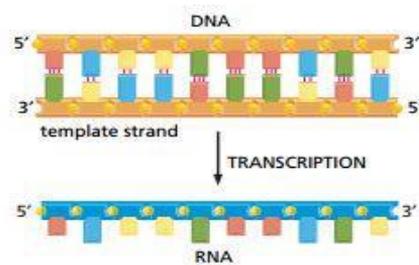
Gambar 5.11. Proses Sintesis Protein Pada Sel Eukaryot
(Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts
2008)

Ribosom berada pada permukaan membran retikulum endoplasma kasar, dan ribosom penyusunnya adalah rRNA. Pada Ribosom terjadilah proses translasi yang membutuhkan tRNA, hasil dari translasi tersebut adalah protein, namun protein belum dapat berfungsi. Setelah proses translasi selesai akan menghasilkan protein yang belum dapat digunakan, karena hanya merupakan rangkaian asam amino belaka dan belum sempurna. Penyempurnaan protein setelah proses translasi terjadi pada badan golgi. Proses penyempurnaan yang terjadi di badan golgi adalah proses folding (melipat-lipat membentuk struktur yang globuler), asetilasi (penambahan gugus asetil), metilasi (penambahan

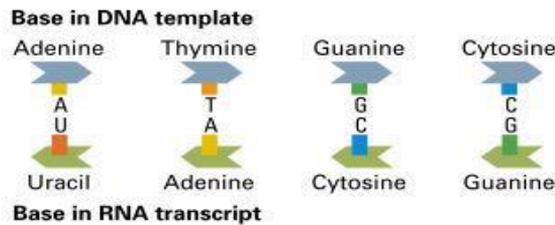
gugus metil), karbosisasi (penambahan gugus karboksil). Setelah protein sempurna, ia akan disimpan pada lysosom dan siap untuk digunakan. Bila digunakan di luar sel, maka akan disekresikan ke luar sel.

a. Transkripsi

Transkripsi adalah proses sintesis RNA dengan DNA sebagai cetaknya ditunjukkan pada Gambar 5.12A dan Gambar 5.12B. Apabila transkripsi terjadi pada gen kelas II maka berlangsung di dalam inti sel dan menghasilkan mRNA. Proses transkripsi tentu harus diawali dengan ketersediaan cetakan DNA. Cetakan akan tersedia diawali dengan terjadinya denaturasi. Anda perlu ingat bahwa tidak semua gen pada DNA akan mengalami denaturasi, hanya gen tertentu yang akan ditranskripsikan. Proses denaturasi dalam sel kita terjadi dengan adanya enzim Gyrase yang akan memotong ikatan hidrogen, sehingga DNA tersebut akan menjadi 2 strand yang terpisah, dan masing masing strand akan menjadi cetakan

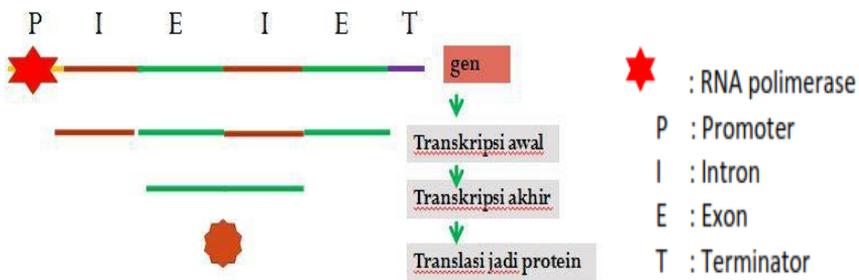


Gambar 5.12 A. Transkripsi Dengan DNA Sebagai Cetaknya (Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts 2008)



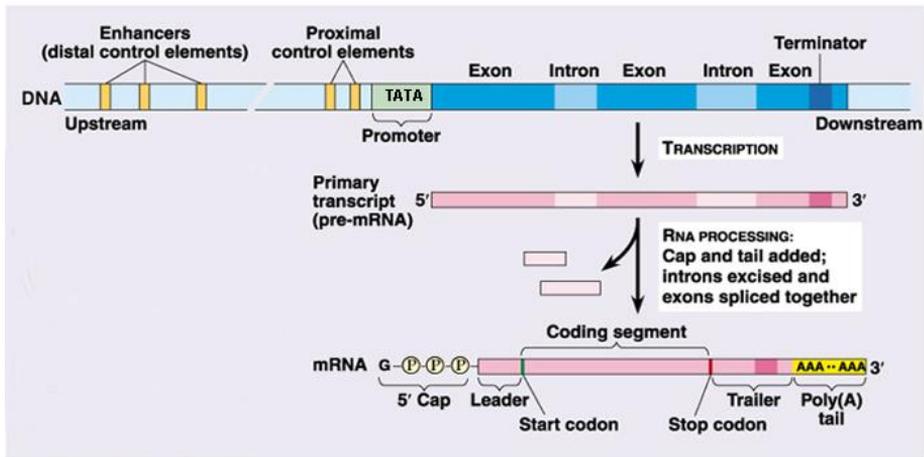
Gambar 5.12.B. Pasangan basa pada DNA dan Basa Pada RNA (A-U, T-A, G-C, C-G) (Hartl & Jones 2001)

Proses transkripsi awal menghasilkan mRNA immatur, yang ukurannya panjang, karena semua bagian gen struktural (Intron dan Exon) ditranskripsikan. Sedangkan transkripsi akhir akan terjadi pemotongan pada mRNA immatur pada bagian yang diekspresikan oleh bagian Intron dari gen struktural, sehingga dihasilkanlah mRNA matur yang ukurannya lebih pendek (Gambar 5.13)



Gambar 5.13 Bagian-bagian dari Gen dan Transkripsi Pada Sel Eukaryot

Gen organisme prokariot pada umumnya mempunyai struktur yang berbeda dengan gen organisme eukariot. Gen organisme prokariot bersifat kontinyu, artinya seluruh nukleotida menspesifikasi asam amino, sedangkan gen organisme eukariot bersifat tidak kontinyu, artinya tidak seluruh urutan nukleotida mengkode asam amino. Bagian gen yang mengkode asam amino disebut ekson, sedangkan yang tidak mengkode asam amino disebut intron. Ekson dan intron letaknya bergantian. Hasil transkripsi gen organisme prokariot dapat langsung ditranslasi menjadi protein, sedangkan transkrip gen organisme eukariot pada umumnya masih harus melalui proses tambahan untuk menghilangkan intron. Transkrip mRNA yang mengandung intron disebut transkrip primer (pre mRNA). Proses penghilangan intron terjadi di dalam nukleus dan disebut dengan splicing. Transkrip bebas intron ini berfungsi sebagai mRNA yang kemudian ditranslasi menjadi protein. mRNA eukariot juga mengalami modifikasi pada kedua ujungnya. Pada ujung 5' ditambahkan beberapa residu guanilat yang termodifikasi yang disebut 5'cap (5'-kepala) Sementara ujung 3' dipotong dan ditambahkan 80-250 residu adenilat untuk membentuk ekor poli-A.



Gambar 5.14. Transkripsi pada eukariot

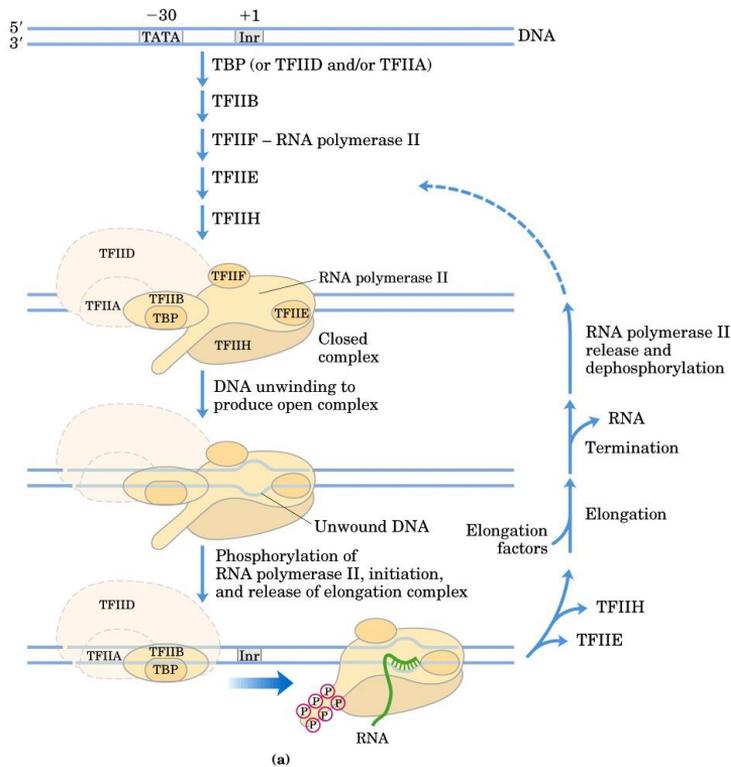
Pada eukariot terdapat tiga macam RNA polimerase yang terlibat pada poses transkripsi. Ketiga RNA polimerase ini menginisiasi transkripsi dengan adanya kombinasi spesifik dan faktor transkripsi dan aktivator transkripsi. RNA polimerase (Pol I) terlibat dalam transkripsi gen 5,8S, 28S dan 18S rRNA. Polimerase ini biasanya berasosiasi dengan kromosom pada inti. RNA polimerase I memiliki sisi pengikatan yang bervariasi. RNA polimerase II (Pol II) terlibat dalam sintesis pre-mRNA yang terdiri atas coding region (ekson) dan non-coding region (intron). Pre-mRNA disintesis dalam inti menjadi mRNA matang yang ditranslasi ke protein dalam sitoplasma. Sintesis pre-mRNA menyebabkan eliminasi semua intron dan splicing ekson. Situs pengikatan RNA polimerase II pada umumnya berupa urutan TATA yang disebut boks TATA. RNA polimerase III (Pol III) mengenali promotor yang mengontrol sintesis RNA pendek seperti 5S rRNA, transfer RNA (tRNA), small nuclear RNA (snRNA) dan signal recognition particle RNA (srpRNA). 5S rRNA merupakan bagian dari subunit ribosom 60S.

2. Faktor transkripsi pada eukariot.

Protein yang diperlukan untuk proses inisiasi pada transkripsi tetapi tidak merupakan bagian RNA polimerase didefinisikan sebagai faktor transkripsi. Faktor transkripsi ini mirip dengan faktor sigma pada prokariot. Faktor transkripsi

adalah aktivator yang berfungsi dalam sebuah promotor dan selalu berinteraksi secara langsung dengan RNA polimerase. Faktor transkripsi (TFs) mengenali situs pengikatan aktifator dalam daerah promotor dan menstimulasi RNA polimerase yang berikatan dengan promotor. Faktor transkripsi diproduksi secara konstitutif karena sejumlah gen bergantung kepada faktor ini untuk ekspresinya.

Pengikatan RNA polimerase pada promotor bergantung pada protein yang disebut faktor transkripsi (TFs) seperti TFIID yang mengenali boks TATA. TFIID adalah factor transkripsi pertama yang berikatan sangat dekat dengan promotor pada daerah inisiasi, sekitar -20 sampai -10 pasangan basa sebelum sisi awal transkripsi. Promotor dan factor transkripsi bekerja bersama-sama dalam menentukan RNA polimerase mana yang diikat dan gen yang ditranskripsi. TFIID berikatan dengan boks TATA, oleh karena itu disebut juga TATA-box binding protein (TBP). Boks TATA adalah urutan nukleotida yang khas terdapat dalam daerah promotor sel eukariot. Boks TATA berlokasi di sekitar -30 pasangan basa dari sisi pengikatan RNA polimerase dengan ketentuan urutan 5'T(C/G)TATA(T/A) AAA(T/C)A3'. TFIID berfungsi mengorganisasikan faktor transkripsi yang lain yang dibutuhkan untuk inisiasi sintesis RNA. Salah satu bagian TFIID adalah TFIIA sementara bagian lain merupakan faktor jaringan tertentu (tissue-specificity factor). Faktor ini merupakan suatu protein yang hanya diproduksi dalam sel eukariot yang memiliki tipe jaringan tertentu. Pada transkripsi tingkat dasar terbentuk kompleks antara TFIIA dengan TFIIB, TFIID, TFIIE dan RNA polimerase II (Gambar 5.15).



Gambar 5.15. Faktor transkripsi pada eukariot.

Elongasi rantai RNA oleh RNA polimerase pada bakteri maupun eukariot dapat dihambat oleh antibiotik actinomycin D. Antibiotik ini masuk diantara pasangan basa G-C pada DNA sehingga menghambat pergerakan RNA polimerase sepanjang template. Antibiotik acridin bekerja dengan mekanisme yang sama. Rifampisin menghambat sintesis RNA bakteri dengan mengikat subunit β RNA polimerase bakteri.

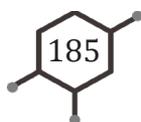
Proses transkripsi terjadi melalui 3 (tiga) tahapan, yaitu: 1) inisiasi transkripsi atau pengawalan, 2) elongasi transkripsi atau pemanjangan, 3) terminasi transkripsi atau pengakhiran. **Inisiasi transkripsi** adalah awal mulainya transkripsi, di mana protein regulator dan RNA polimerase mulai menempel pada promotor dari gen yang merupakan bagian dari DNA. Inisiasi transkripsi mulai dari ujung 5' ke arah 3'. Pada proses transkripsi, selain dibutuhkan enzim RNA polimerase, juga dibutuhkan substrat dari enzim tersebut. Substratnya adalah

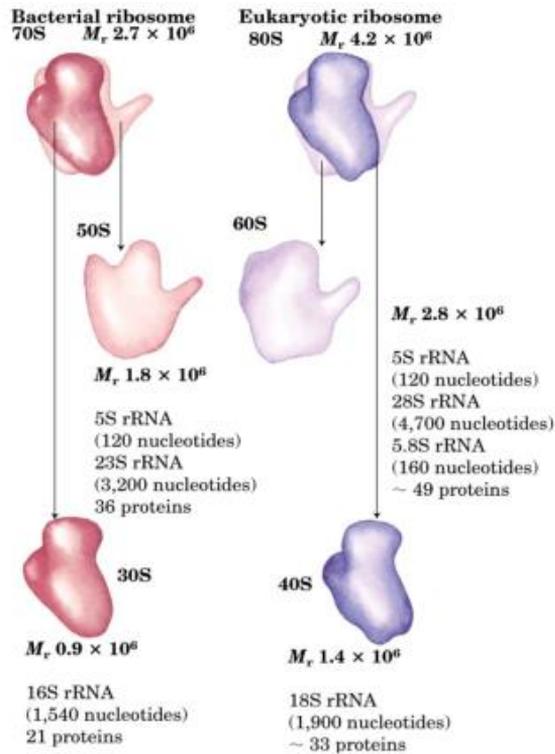
ribonukleotida yaitu nukleotida yang komponen gula pentosanya adalah ribosa, yang biasanya sering diberi nama NTP (nukleotida trifosfat) yaitu nukleotida dengan tiga gugus fosfat. Macam-macam NTP adalah (1) GTP (Guanosin trifosfat), (2) CTP (Citosin trifosfat), (3) UTP (...trifosfat), (4) ATP (Adenosin trifosfat). Enzym RNA polimerase yang menentukan kapan proses transkripsi dimulai dan kapan pula transkripsi harus berakhir. **Elongasi transkripsi:** setelah inisiasi transkripsi selesai maka dilanjutkan dengan proses elongasi transkripsi. Setelah Enzym RNA polimerase bergerak, sampai gen struktural diikuti dengan menempelnya ribonukleotida bebas (gugus fosfat yang terletak pada atom C5 dari gula ribosa) pada gugus OH yang terletak pada atom C3 dari ribonukleotida pada molekul RNA yang sedang tumbuh (hasil dari inisiasi transkripsi). Setelah RNA polimerase sampai pada urutan nukleotida tertentu yang disebut terminator maka proses penambahan ribonukleotida akan berhenti, yang disebut sebagai **terminasi transkripsi**. Transkripsi awal telah selesai yang menghasilkan mRNA immatur.

Kemudian dilanjutkan dengan proses pemotongan mRNA immatur pada sekuens yang diekspresikan oleh bagian intron. Akhirnya mRNA menjadi lebih pendek, disebut sebagai mRNA matur. mRNA matur kemudian dikeluarkan dari dalam inti sel melalui pori-pori membran inti menuju pada ribosom yang terletak pada membran RE kasar.

Translasi

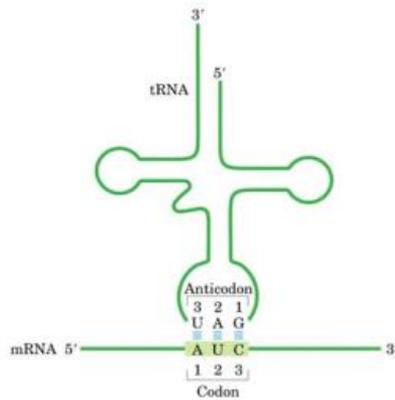
Translasi adalah proses sintesis protein dengan mRNA sebagai cetakannya. Proses translasi ini memerlukan (1) mRNA, (2) ribosom, (3) tRNA dan (4) asam amino. Proses translasi terjadi pada ribosom yang terletak pada permukaan retikulum endoplasma kasar (RE kasar). Ribosom merupakan tempat sintesis protein. E. coli mengandung lebih dari 15.000 ribosom yang terdapat bebas di sitoplasma. Ribosom merupakan kompleks antara protein dan rRNA dan terdiri dari dua subunit, yaitu subunit besar dan subunit kecil. Pada bakteri subunit kecil mempunyai ukuran 30S dan subunit besar 50S, sementara pada eukariot subunit kecil 40S dan subunit besar 60S. Ribosom bakteri mengandung sekitar 65% rRNA dan 35% protein. Pada ribosom terdapat tiga situs untuk mengikat aminoasil tRNA yaitu: situs aminoasil (A), situs peptidil (P) dan situs exit (E).





Gambar 5.16. Ribosom bakteri dan eukariot

Proses tranlasi dibantu oleh tRNA yang letaknya di dalam sitoplasma. tRNA berfungsi untuk mentransfer asam amino dari sitoplasma ke ribosom. Pada tRNA terdapat urutan tiga basa yang disebut antikodon. Antikodon ini komplemen dengan salah satu kodon. Sedangkan pada ujung 3' tRNA terikat asam amino spesifik. tRNA yang sudah mengikat asam amino disebut aminoasil tRNA. Paling kurang terdapat 61 jenis tRNA di sitoplasma yang membawa asam amino yang berbeda. tRNA akan membawa asam amino dari sitoplasma ke ribosom, tempat dimana sintesis protein terjadi, dan anticodon akan mengenali kodon komplemennya.



Gambar 5.17. Struktur tRNA

Asam amino yang ada pada sitoplasma setiap sel berasal dari makanan atau minuman yang bentuknya protein. Dalam proses penguraian menjadi asam-asam amino yang dibawa oleh darah dan diedarkan pada setiap sel yang membutuhkan. Asam amino akhirnya sampailah pada sitoplasma yang merupakan bahan untuk sintesis protein. Urutan nukleotida yang terdapat pada mRNA hanyalah kode, artinya bahwa setiap 3 basa pada mRNA mengkode satu asam amino yang disebut sebagai kodon. Jadi kodon adalah setiap tiga basa pada mRNA yang mengkode satu macam asam amino yang daftarnya dapat dilihat pada daftar treeplet kodon. Setiap asam amino bisa memiliki kodon lebih dari satu, contohnya asam amino serin memiliki kodon sejumlah 4: UCU, UCC, UCA, UCG. Asam amino Isoleucin memiliki 3 kodon yaitu: AUU, AUC, AUD. Asam amino Histidin memiliki 2 kodon (CAU dan CAC).

Selain kodon dari asam amino dijumpai pula Star kodon AUG yang kebetulan mengkode asam amino metionin. Setiap sintesis protein diawali dengan asam amino metionin. Selain star kodon dijumpai pula 3 macam Stop kodon yaitu: UAA, UAG, UGA. Ketika enzim polimerase sudah sampai pada salah satu stop kodon tersebut, maka proses elongasi transkripsi akan berhenti. Siapakah yang mampu untuk membaca kodon tersebut? Yang dapat membaca adalah tRNA yang membawa antikodon. Kodon dan antikodon saling berpasangan, pasangan U-A, G-C, atau sebaliknya A-U, C-G. Dalam hal ini, kodon ada pada mRNA dan

antikodon ada pada tRNA (Gambar 5.14)

		Second nucleotide in codon					
		U	C	A	G		
First nucleotide in codon (5' end)	U	UUU Phe F Phenylalanine	UCU Ser S Serine	UAU Tyr Y Tyrosine	UGU Cys C Cysteine	Third nucleotide in codon (3' end)	U
		UUC Phe F Phenylalanine	UCC Ser S Serine	UAC Tyr Y Tyrosine	UGC Cys C Cysteine		C
		UUA Leu L Leucine	UCA Ser S Serine	UAA Termination	UGA Termination		A
		UUG Leu L Leucine	UCG Ser S Serine	UAG Termination	UGG Trp W Tryptophan		G
	C	CUU Leu L Leucine	CCU Pro P Proline	CAU His H Histidine	CGU Arg R Arginine		U
		CUC Leu L Leucine	CCC Pro P Proline	CAC His H Histidine	CGC Arg R Arginine		C
		CUA Leu L Leucine	CCA Pro P Proline	CAA Gln Q Glutamine	CGA Arg R Arginine		A
		CUG Leu L Leucine	CCG Pro P Proline	CAG Gln Q Glutamine	CGG Arg R Arginine		G
	A	AUU Ile I Isoleucine	ACU Thr T Threonine	AAU Asn N Asparagine	AGU Ser S Serine		U
		AUC Ile I Isoleucine	ACC Thr T Threonine	AAC Asn N Asparagine	AGC Ser S Serine		C
		AUA Ile I Isoleucine	ACA Thr T Threonine	AAA Lys K Lysine	AGA Arg R Arginine		A
		AUG Met M Methionine	ACG Thr T Threonine	AAG Lys K Lysine	AGG Arg R Arginine		G
G	GUU Val V Valine	GCU Ala A Alanine	GAU Asp D Aspartic acid	GGU Gly G Glycine	U		
	GUC Val V Valine	GCC Ala A Alanine	GAC Asp D Aspartic acid	GGC Gly G Glycine	C		
	GUA Val V Valine	GCA Ala A Alanine	GAA Glu E Glutamic acid	GGA Gly G Glycine	A		
	GUG Val V Valine	GCG Ala A Alanine	GAG Glu E Glutamic acid	GGG Gly G Glycine	G		

Codon Three-letter and single-letter abbreviations

Gambar 5.18. Treeplet Kodon (Hartl & Jones 2001)

3. Mekanisme translasi

Proses translasi berlangsung pada ribosom dan merupakan proses sintesis protein berdasarkan informasi yang berada pada mRNA. mRNA yang ditranslasi harus terikat pada ribosom dan pada organisme prokariot pada ujung 5'nya terdapat suatu urutan yang mengenali ribosom. Urutan ini dikenal sebagai situs pengikatan ribosom atau ribosome binding site (RBS). Proses translasi terdiri atas tiga sub proses, yaitu inisiasi, elongasi dan terminasi.

Inisiasi translasi pada organisme eukariot mirip dengan inisiasi pada organisme prokariot tetapi urutannya berbeda dan melibatkan faktor inisiasi yang lebih banyak. Perbedaan tersebut disebabkan oleh karena perbedaan struktur ribosom dan kedua organisme. Faktor inisiasi translasi untuk organisme eukariot dinamai eIFs (eukaryote Initiation Factor). Komponen pada tahap inisiasi organisme eukariot adalah kodon inisiasi (AUG), lima faktor inisiasi (eIF1, eIF2, eIF3, eIF4, eIF5), tRNA inisiator (met-tRNA), ribosom subunit 40S dan 60S, GTP dan ATP. Pada eukariot tRNA inisiator met-tRNA, GTP dan eIF2 membentuk kompleks terlebih dahulu sebelum berikatan dengan subunit 40S. Setelah kompleks inisiasi terbentuk proses translasi dilanjutkan dengan pemanjangan rantai polipeptida (tahap elongasi).

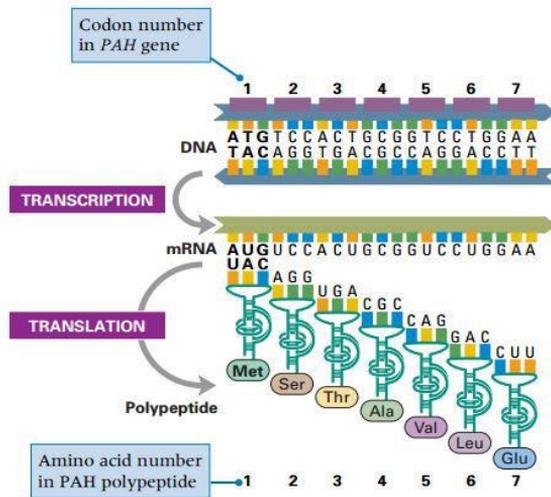
Mekanisme elongasi pada organisme eukariot mirip dengan mekanisme elongasi pada organisme prokariot. Tahap awal elongasi adalah pengikatan

aminoasil-tRNA pada situs A melalui penggabungan dengan kodon kedua mRNA. Aminoasil-tRNA memasuki ribosom dengan bantuan faktor elongasi eEF-1 membentuk kompleks dengan GTP. Faktor elongasi merupakan protein yang berasosiasi terus menerus dengan ribosom selama penambahan asam amino pada rantai polipeptida. Pemanjangan rantai polipeptida berlangsung terus menerus sampai mencapai kodon yang tidak dikenali oleh anti kodon yang dibawa oleh tRNA.

Sel prokariot dan sel eukariot juga tidak memiliki tRNA dengan antikodon yang komplemen dengan sinyal terminasi, tetapi memiliki faktor terminasi (release factor, RF) yang mengenali sinyal terminasi sintesis protein. Pada organisme eukariot hanya terdapat satu faktor terminasi yaitu RF yang mengenali ketiga kodon stop UAG, UAA dan UGA. RF berikatan dengan kodon terminasi pada situs A ribosom dan menstimulasi hidrolisis ikatan tRNA dan rantai polipeptida pada situs P yang menyebabkan rantai polipeptida lepas dari ribosom, tRNA dilepaskan serta subunit ribosom dan templat mRNA berdisosiasi. Pada bakteri, proses transkripsi dan translasi bisa terjadi bersamaan, karena DNA berada di sitoplasma dan semua proses replikasi, transkripsi dan translasi terjadi di sitoplasma. Bahkan mRNA yang belum selesai di transkripsi sudah mulai di translasi. Tapi pada eukariot keadaannya berbeda, karena replikasi dan transkripsi terjadi di dalam inti. mRNA kemudian di bawa ke sitoplasma untuk di translasi.

Tahap akhir dari sintesis protein adalah pelipatan dan pemrosesan. Polipeptida hasil translasi memerlukan struktur yang tepat untuk berfungsinya. Proses pelipatan protein meliputi pembentukan ikatan hidrogen, interaksi van der Waals, ikatan ionik, interaksi hidrofobik dan jembatan disulfida. Sehingga polipeptida hasil translasi yang awalnya satu dimensi membentuk struktur tiga dimensi. Selain itu beberapa protein prokariot dan eukariot juga mengalami modifikasi pasca translasi, seperti: pemotongan peptida sinyal, glikosilasi, fosforilasi, asetilasi dan metilasi

LATIHAN



Gambar 5.19. Transkripsi Sampai Translasi Pada Sel Eukaryot (Hartl & Jones 2001)

Petunjuk Jawaban Latihan

Perhatikanlah gambar 5.19. Dapatkah Anda menjelaskan proses transkripsi dari gen PAH dan proses translasinya, baik mekanisme maupun komponen yang dibutuhkan serta lokasi terjadinya setiap proses? Tuliskan jawaban Anda pada kotak di bawah ini, bila Anda mengalami kesulitan, Anda dapat mempelajari kembali uraian di atas.



RANGKUMAN

Proses sintesis protein pada sel eukaryot: diawali dengan transkripsi (proses sintesis mRNA dengan DNA sebagai cetaknya. DNA untuk menjadi cetakan harus menjadi dua strand yang terpisah, melalui proses denaturasi oleh enzim gyrase. Enzim gyrase akan memotong ikatan hidrogen sehingga kedua strand DNA dapat terpisah dan masing-masing akan menjadi cetakan. Setelah DNA menjadi cetakan kemudian enzim RNA polimerase akan segera menempel pada bagian promoter dari gen yang dibantu oleh protein regulator yang disebut inisiasi transkripsi. Setelah itu terjadi elongasi transkripsi dengan ketersediaan NTP (ATP, UTP, GTP,CTP) sehingga terbentuklah mRNA immatur, kemudian terjadi pemotongan mRNA immatur tersebut menghasilkan mRNA matur. Proses transkripsi sampai menghasilkan mRNA matur terjadi di dalam inti sel. Kemudian mRNA matur dikirimkan ke luar intisel melalui pori-pori membran inti menuju ribosom yang terdapat pada permukaan membran RE kasar, selanjutnya terjadi translasi. Translasi adalah proses sintesis protein dengan mRNA sebagai cetaknya. Setiap 3 basa pada mRNA yang mengkode satu macam asam amino adalah kodon, dan yang mampu membaca kodon pada mRNA tersebut adalah tRNA yang membawa antikodon. Kodon dan anti kodon saling berpasangan. Setelah mRNA bergabung dengan Ribosom, selanjutnya mulai terjadi proses translasi. Proses translasi terjadi dengan mulainya rangkaian asam-asam amino yang dibawa oleh tRNA dari sitoplasma menuju kodon pada mRNA. Terjadilah rangkaian asam-asam amino oleh ikatan peptida. Namun protein belum sempurna, penyempurnaan protein terjadi di badan golgi. Penyempurnaan yang terjadi adalah folding (melipat-lipat), asetilasi, metilasi, dan karboksilasi. Setelah sempurna badan golgi membentuk tunas yang di dalamnya menyimpan protein yang siap untuk digunakan. Oleh karena itu kita membutuhkan makanan yang mengandung protein, karena untuk sintesis protein dibutuhkan asam-asam amino yang berasal dari protein pula, selain asam-asam amino yang dapat disintesis oleh tubuh kita.



TES FORMATIF 2

Jawablah pertanyaan pada kolom yang telah tersedia

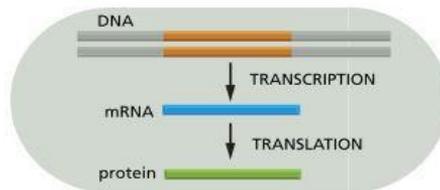
No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Proses sintesis mRNA dengan DNA sebagai cetaknya adalah....	.....
2.	Proses sintesis protein dengan mRNA sebagai cetaknya adalah....	.....
3.	Proses sintesis mRNA terjadi di dalam....	.....
4.	mRNA immatur dihasilkan pada proses....	.....
5.	Proses translasi terjadi di dalam....	.....
6.	Enzym yang berperan dalam menghidrolisa ikatan hidrogen pada DNA sehingga dapat menjadi cetakan adalah....	.....
7.	Setiap tiga basa pada mRNA yang mengkode satu macam asam amino adalah....	.....
8.	Yang berperan dalam mentransfer asam amino dari sitoplasma ke mRNA yang ada pada ribosom adalah....	.....
9.	Proses penyempurnaan hasil sintesis protein terjadi di dalam....	.....
10.	Pasangan kodon AUG adalah....yang terdapat pada tRNA	.....

BAB 16

SINTESIS PROTEIN PADA ORGANISME PROKARIOT

Masih ingatkah Anda bahwa struktur ultra sel bakteri tidak memiliki inti sel sejati? Kromosom berada di dalam sitoplasma yang tampak lebih kental dibandingkan komponen di sekitarnya. Kromosomnya pun berbeda dengan sel eukaryot, yaitu berbentuknya sirkuler dan supercoil. Sementara, sel eukaryot berbentuk linear.

Pada bakteri selain DNA kromosom dijumpai pula DNA plasmid, yaitu DNA ekstra kromosom, bentuknya sirkuler, double strand, dan mengkode protein fungsional. Selain itu, sel bakteri tidak memiliki organella-organella seperti pada sel eukarot. Susunannya lebih sederhana, tetapi memiliki ribosom yang berfungsi untuk proses translasi. Lalu, bagaimanakah mekanisme sintesis protein pada sel bakteri? Dogma sintesis protein pada sel bakteri sama pula dengan pada sel eukaryot. DNA mengalami denaturasi, menghasilkan dua macam cetakan, dengan cetakan tersebut terjadilah proses transkripsi (proses sintesis mRNA dengan DNA sebagai cetakannya). Proses transkripsi ini terjadi di dalam sitoplasma. Transkripsi belum selesai sebagian mRNA yang sudah jadi bergabung pada ribosom untuk melakukan translasi. Jadi baik transkripsi maupun translasi terjadi di dalam sitoplasma (Gambar 5.20). Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 5.20. Mekanisme Sintesis Protein Sel Bakteri (Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts 2008)

Kita lanjutkan dengan pembahasan berikut ini. Gen pada sel prokaryot memiliki bagian-bagian sebagai berikut, yaitu: 1) promotor, 2) gen struktural dan 3) terminator. Bedanya gen struktural pada prokaryot semua akan

ditranslasikan menjadi asam amino, sehingga tidak ada sekuens gen yang tidak ditranslasikan. Dengan demikian, seandainya ada gen struktural pada sel prokaryot yang terdiri dari 1500 nukleotida, maka gen tersebut akan menghasilkan 500 asam amino. Berbeda dengan sel eukaryot yang terdapat Intron pada gen strukturalnya yang tidak mengkode asam amino, sehingga ada proses pemotongan pada proses transkripsi akhir.

Pada sel prokaryot juga dijumpai adanya 3 kelompok gen yaitu: 1) gen yang mengkode protein, 2) gen yang mengkode rRNA dan 3) gen yang mengkode tRNA. Selain itu perbedaan struktur gen pada sel eukaryot dengan prokaryot, pada eukaryot satu gen, satu promoter, satu protein. Pada prokaryot, satu promoter, banyak gen, dan banyak macam proteinnya.

1. Transkripsi

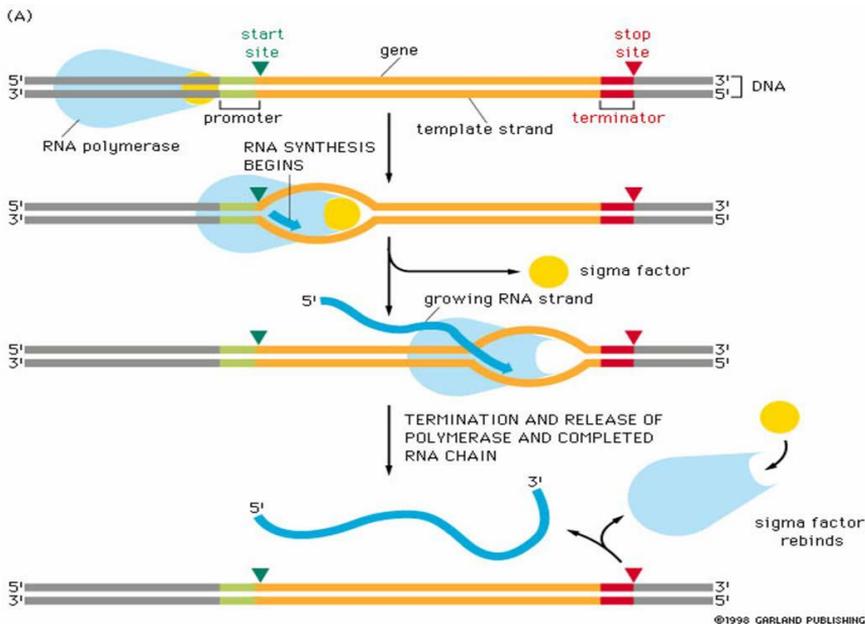
Masih ingatkah Anda proses transkripsi yang terjadi pada sel eukaryot? Transkripsi pada sel eukaryote terjadi di dalam inti sel. Proses transkripsi pada bakteri terjadi di dalam sitoplasma, karena prokaryot tidak memiliki inti sejati, kromosomnya berada pada sitoplasma yang tampak lebih kental dibanding sitoplasma di sekitarnya. Transkripsi terjadi melalui tiga tahapan, yaitu tahap inisiasi transkripsi, elongasi transkripsi dan terminasi transkripsi.

Proses Inisiasi transkripsi diawali dengan menempelnya enzim RNA polymerase pada promoter. Selain dibutuhkan adanya enzim RNA polimerase, dibutuhkan pula adanya prekursor dari RNA yaitu ribonukleotida triphospat (ATP, GTP, UTP, dan CTP). Ketika terjadi polimerisasi, maka akan terlepas dua gugus phospat yang juga menghasilkan energi yang tinggi. DNA cetakan bentuknya pun double strand. Terjadinya inisiasi transkripsi pada bakteri berbeda dengan inisiasi transkripsi pada eukaryot. Demikian pula RNA polimerase pada bakteri juga berbeda dengan RNA polymerase pada eukaryot. RNA polimerase pada bakteri sangat kompleks, terdiri dari empat subunit. Anda dapat mempelajari contoh RNA polimerase pada *Escherichia coli*. Empat subunit protein tersebut adalah α , β , β' , σ /sigma dan α tampak 2 kopi. Keempat subunit tersebut saling berinteraksi sehingga membentuk enzim yang aktif, tetapi

sub unit σ /sigma tidak berikatan kuat dibandingkan dengan ketiga subunit yang lainnya. Ketiga subunit α , β , β' yang berikatan erat tersebut disebut sebagai core enzym. RNA polimerase bersama-sama dengan subunit σ (disebut holoenzim) akan berjalan sepanjang molekul DNA untuk menemukan lokasi awal transkripsi. Fungsi subunit σ adalah membantu RNA polimerase untuk mengenali suatu urutan tertentu pada molekul DNA yang menandai tempat awal transkripsi (awal suatu gen) yang dikenal sebagai promotor. Pada tahap inisiasi, RNA polimerase bersama-sama subunit σ mengikat daerah promotor dengan kuat dan memisahkan untai ganda DNA agar inisiasi transkripsi dapat terjadi. Inisiasi transkripsi ini menentukan laju transkripsi, namun kadangkala inisiasi transkripsi ini dihambat dengan kehadirannya antibiotik rifampisin. Jadi Rifampisin dapat menghambat sintesis protein pada tingkat inisiasi transkripsi, namun rifampisin tidak menghambat proses elongasi transkripsi.

Proses Elongasi transkripsi: Setelah RNA polimerase mencapai gen struktural mulailah terjadi penambahan nukleotida pada mRNA yang tumbuh dengan DNA sebagai cetaknya, pada proses ini dapat dihambat oleh antibiotik streptolidigin. Rantai RNA disintesis, subunit σ terlepas dari RNA polimerase (RNA polimerase tanpa subunit σ disebut core enzyme) dan transkripsi berlangsung terus sampai mencapai suatu daerah pada akhir gen yang disebut terminator. Urutan terminator menandai tempat akhir transkripsi (akhir suatu gen)

Proses Terminasi transkripsi: RNA polimerase setelah sampai pada terminator dari gen maka transkripsi akan berhenti. Namun bedanya dengan eukaryot, proses translasi akan terjadi setelah transkripsi selesai sempurna. Pada sel prokaryot terjadi proses yang berbeda, yaitu proses transkripsi belum selesai sudah, namun proses translasi dimulai pada ribosom. Pada E. Coli, terdapat dua mekanisme terminasi yaitu: adanya protein ρ (rho) yang membantu melepaskan RNA atau terminasi tanpa bantuan protein ρ (rho-independent) dimana pada daerah terminator membentuk seperti loop (gambar 5.21).

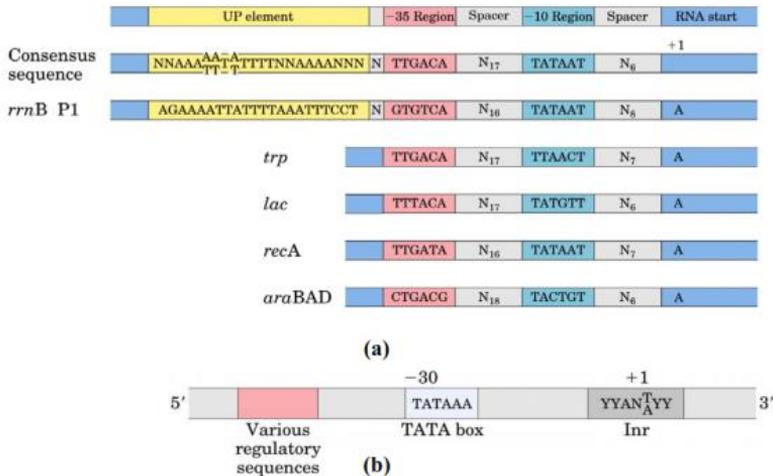


Gambar 5.21. Mekanisme transkripsi pada prokariot.

RNA polimerase tidak mempunyai aktifitas proofreading (pembacaan kembali) eksonuklease 3'→5' (seperti yang dimiliki oleh DNA polimerase), sehingga sekitar satu kesalahan terjadi setiap $10^4 - 10^5$ ribonukleotida yang dimasukkan selama transkripsi RNA. Karena di dalam sel diproduksi banyak copy RNA dari satu gen dan semua RNA segera di degradasi dan diganti, maka kesalahan pada molekul RNA tidak terlalu berpengaruh terhadap sel dibandingkan kesalahan pada informasi yang tersimpan dalam DNA.

Setiap gen organisme mempunyai sinyal transkripsi (promotor dan terminator) yang spesifik. Untuk kesepakatan daerah sebelum awal gen (start site) diberi penomoran negatif, dan daerah dalam gen diberi penomoran positif. Pada *E. coli*, RNA polimerase mengikat sekitar 70 basa sebelum start site sampai sekitar 30 basa setelah start site. Berdasarkan penelitian pada promotor-promotor gen-gen *E. coli* ditemukan urutan yang selalu ada (urutan konsensus) yaitu TTGACA (sekitar daerah -35) dan TATAAT (sekitar daerah -10). Selain itu sebelum promotor (daerah -40 sampai -60) juga terdapat daerah yang disebut UP element yang berfungsi

untuk mengikat subunit α RNA polimerase. Sedangkan promotor untuk eukariot adalah urutan variabel TATAAA (daerah -30) dan urutan Inr (inisiator) yang berada dekat dengan start site (Gambar 5.22).



Gambar 5.22. (a) Tipikal promotor *E. coli* yang dikenali oleh RNA polimerase; (b) promotor pada eukariot yang dikenali oleh RNA polimerase

II

Nah sekarang Anda perlu berpikir, bagaimana proses inisiasi transkripsi, elongasi dan terminasi transkripsi terjadi pada bakteri? Anda ketahui bahwa proses ini melibatkan DNA yang bentuknya supercoil dan double strand, RNA polimerase (core enzym), dan subunit σ /sigma, dan tentunya prekursor dari RNA (ATP, GTP, UTP, dan CTP).

Perhatikan urutannya sebagai berikut:

1. DNA double strand
2. Subunit σ /sigma akan mengenali sekuens pada DNA double strand, yang merupakan site inisiasi transkripsi dan kemudian akan menempel pada site tersebut. Site inisiasi tersebut adalah promotor.
3. Enzym RNA polimerase (core enzym), akan menempel pada bagian sekuens DNA yang ditempel oleh Subunit σ /sigma tersebut.

4. Subunit σ /sigma akan melepaskan diri setelah RNA polimerase menempel pada bagian sekuens inisiasi, dan RNA polimerase (core enzym) berjalan untuk proses elongasi sampai terminasi.
5. DNA akan membuka ketika ada RNA polimerase, tetapi akan menutup kembali ketika RNA polimerase sudah bergerak meninggalkan. Strand DNA yang menjadi cetakan dan ditranskripsikan hanya satu strand saja.
6. Ketika RNA polimerase sampai pada sekuens terminator maka transkripsi akan berhenti.
7. RNA polimerase dan mRNA akan melepaskan diri dari DNA cetakan.

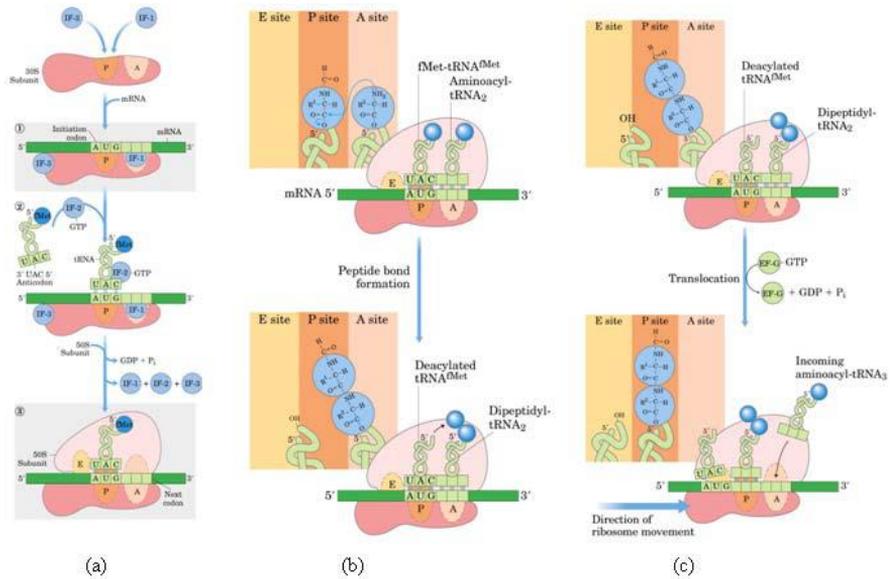
Setelah transkripsi selesai, maka dihasilkan mRNA, yang kemudian bergerak ke ribosom untuk melanjutkan proses translasi.

2. Translasi

Translasi terjadi pada ribosom (rangkaiannya rRNA) yang terdapat pada sitoplasma. Proses translasi terjadi dengan tiga tahapan, yaitu: 1) inisiasi translasi, 2) elongasi translasi dan, 3) terminasi translasi. Pada proses translasi selain melibatkan mRNA, rRNA yang menyusun ribosom juga dibutuhkan tRNA yang terletak pada sitoplasma dan berfungsi untuk mentransfer asam amino yang berada pada sitoplasma ditransfer ke mRNA.

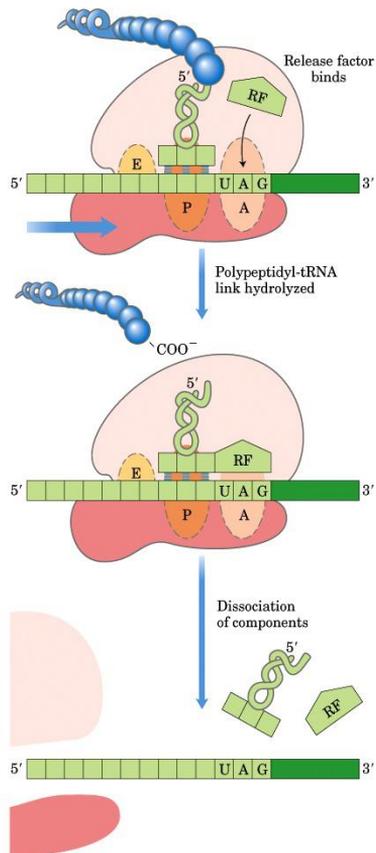
Komponen pada tahap inisiasi organisme prokariot meliputi kodon inisiasi (AUG), tiga faktor inisiasi (IF1, IF2 dan IF3), tRNA inisiator (fMet-tRNA), ribosom subunit 30S dan 50S, dan GTP. Setelah diaktifasi oleh faktor inisiasi, tRNA inisiator yang membawa anti kodon CAU akan menempati situs P pada ribosom. tRNA kedua yang membawa anti kodon untuk kodon kedua memasuki situs A pada ribosom. Asam amino yang dibawa oleh tRNA kedua akan membentuk ikatan peptida dengan asam amino pertama.

Setelah ikatan peptida terbentuk, tRNA yang membawa kedua asam amino akan bertranslokasi dari situs A ke situs P (Gambar 5.23). Hal ini berlangsung terus menerus sampai mencapai stop kodon (UAG. UAA. UGA).



Gambar 5.23. Translasi pada prokariot. (a) Inisiasi, (b) Elongasi, (c) Translokasi.

Tidak ada antikodon yang mengenali kodon terminasi. Translasi berhenti dengan adanya protein yang disebut Release Factor (RF) yang mengenali kodon terminasi. Pada prokariot terdapat tiga faktor terminasi yaitu, RF1 yang mengenali kodon UAA dan UAG dan RF2 yang mengenali kodon UGA dan UAA, sementara RF3 belum diketahui fungsinya. Pengikatan RF ini memberikan sinyal bahwa proses translasi telah berhenti. Kedua subunit ribosom akan berdisosiasi dari mRNA dan polipeptida dibebaskan dari tRNANYa (gambar 5.24).



Gambar 5.24. Terminasi translasi pada prokariot.



LATIHAN

- 1) Jelaskan dogma sintesis protein yang terjadi pada bakteri.
- 2) Jelaskan proses transkripsi pada bakteri, dari inisiasi transkripsi sampai dengan terminasi transkripsi.
- 3) Sebutkan empat macam subunit protein penyusun RNA polimerase
- 4) Jelaskan proses translasi pada bakteri.



RANGKUMAN

Proses sintesis protein pada sel prokaryot diawali oleh transkripsi, transkripsi adalah proses sintesis mRNA dengan DNA sebagai cetaknya. Transkripsi melalui tiga tahapan, yaitu inisiasi transkripsi yang terjadi ketika sigma menempel pada promoter dari gen yang kemudian disusul oleh core enzym. Selanjutnya diikuti dengan proses elongasi transkripsi di mana terjadi rangkaian ribonukleotida yang merupakan pasangan dari DNA cetakan oleh core enzym. Ketika core enzym sudah mencapai terminator maka proses transkripsi sampailah ke tahap terminasi transkripsi, yang menghasilkan mRNA. Sintesis mRNA belum selesai proses translasi sudah bisa berlangsung. Hal inilah yang berbeda dengan proses transkripsi pada sel eukaryot. Proses translasi terjadi pada ribosom yang ada di dalam sitoplasma. Proses transkripsi maupun translasi baik pada eukaryot maupun prokaryot melalui tiga tahapan, yaitu inisiasi, elongasi dan terminasi.



TES FORMATIF 3

Jawablah pertanyaan pada kolom yang telah tersedia

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Tempat proses transkripsi pada bakteri adalah.....	
2.	Pada proses transkripsi diawali dengan inisiasi transkripsi. Inisiasi transkripsi diawali dengan menempelnya.....pada promoter.	
3.	Kemudian disusul dengan menempelnya... yang merupakan gabungan dari 3 subunit protein dari RNA polimerase	
4.	Prekursor RNA polimerase untuk proses elongasi transkripsi adalah...	
5.	Elongasi transkripsi akan berhenti apabila RNA polimerase sampai pada daerah...dari gen.	
6.	Proses translasi terjadi pada...yang terdapat di dalam sitoplasma	
7.	Proses translasi melibatkan 3 macam RNA, sebutkan.	

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir Bab ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

Arti tingkat penguasaan:

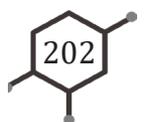
90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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



BAB 17 MUTASI

Mutasi adalah perubahan yang terjadi pada bahan genetik (DNA maupun RNA), baik pada taraf urutan gen (disebut mutasi titik) maupun pada taraf kromosom. Mutasi pada tingkat kromosomal biasanya disebut aberasi. Mutasi pada gen dapat mengarah pada munculnya alel baru dan menjadi dasar bagi kalangan pendukung evolusi mengenai munculnya variasi-variasi baru pada spesies.

Istilah mutasi pertama kali digunakan oleh Hugo de Vries, untuk mengemukakan adanya perubahan fenotipe yang mendadak pada bunga *Oenothera lamarckiana* dan bersifat menurun. Ternyata perubahan tersebut terjadi karena adanya penyimpangan dari kromosomnya. Seth wright juga melaporkan peristiwa mutasi pada domba jenis Ancon yang berkaki pendek dan bersifat menurun. Penelitian ilmiah tentang mutasi dilakukan pula oleh Morgan (1910) dengan menggunakan *Drosophila melanogaster* (lalat buah). Akhirnya murid Morgan yang bernama Herman Yoseph Muller berhasil dalam percobaannya terhadap lalat buah, yaitu menemukan mutasi buatan dengan menggunakan sinar X (Anonim, 2009).

Peristiwa terjadinya mutasi disebut mutagenesis. Makhluk hidup yang mengalami mutasi disebut mutagen. Mutasi bersifat acak, 90% sesungguhnya bersifat merugikan bagi individu atau populasi suatu spesies. Dikatakan merugikan karena mutasi menimbulkan perubahan suatu karakter dari keadaan yang biasanya padahal karakter itu sudah beradaptasi selama jutaan tahun terhadap lingkungan. Dengan adanya perubahan, maka makhluk itu harus beradaptasi lagi.

Pada umumnya, mutasi itu merugikan, mutannya bersifat letal dan homozigot resesif. Namun mutasi juga menguntungkan, diantaranya, melalui mutasi, dapat dibuat tumbuhan poliploid yang sifatnya unggul. Contohnya, semangka tanpa biji, jeruk tanpa biji, buah stroberi yang besar, dll. Mutasi ini juga menjadi salah satu kunci terjadinya evolusi di dunia ini. Terbentuknya tumbuhan poliploid ini menguntungkan bagi manusia, namun merugikan bagi tumbuhan

yang mengalami mutasi, karena tumbuhan tersebut menjadi tidak bisa berkembang biak secara generatif.

A. Penyebab Mutasi

Mutasi terjadi karena adanya perubahan lingkungan yang luar biasa. Sesungguhnya mutasi itu dimaksudkan untuk menghadapi perubahan alam yang sewaktu-waktu akan timbul. Kalau perubahan itu sudah terjadi, maka sifat yang bermutasi tersebut kemungkinan akan lebih mudah beradaptasi daripada sifat yang asli. Bagi makhluk yang tidak dapat menyesuaikan diri, maka mereka secara perlahan akan menyusut selanjutnya akan punah. Untuk bertahan hidup dan menjaga kelestarian spesies itu di alam, maka makhluk hidup harus selalu mengikuti perubahan sesuai dengan sifat alam sekelilingnya yang selalu mengalami perubahan. Perubahan ini dinamakan dengan evolusi yang sumbernya adalah mutasi. Sedangkan pelaksanaannya disebut dengan seleksi alam.

Penyebab mutasi disebut dengan mutagen (agen mutasi). Kebanyakan mutagen adalah bahan fisika, kimia atau biologi yang memiliki daya tembus yang kuat sehingga dapat mencapai bahan genetik dalam inti sel. Contohnya: zat radioaktif, zat kimia yang keras dan virus. Namun, ada juga mutagen yang tidak begitu jelas.

Mutasi terjadi pada frekuensi rendah di alam, biasanya lebih rendah daripada 1:10.000 individu. Mutasi di alam dapat terjadi akibat zat pembangkit mutasi (mutagen, termasuk karsinogen), radiasi surya, radioaktif, sinar ultraviolet, sinar X, serta loncatan energi listrik seperti petir. Individu yang memperlihatkan perubahan sifat (fenotipe) akibat mutasi disebut mutan. Dalam kajian genetik, mutan biasa dibandingkan dengan individu yang tidak mengalami perubahan sifat (individu tipe liar atau "wild type").

Bahan-bahan yang menyebabkan terjadinya mutasi (mutagen) dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Mutagen bahan kimia

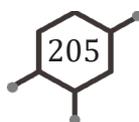
Contohnya adalah kolkisin dan zat digitonin. Kolkisin adalah zat yang dapat menghalangi terbentuknya benang-benang spindel pada proses anafase dan dapat menghambat pembelahan sel pada anafase. Penyebab mutasi dalam lingkungan yang bersifat kimiawi disebut juga mutagen kimiawi. Mutagen-

mutagen kimiawi tersebut dapat dipilah menjadi 3 kelompok, yaitu analog basa, agen pengubah basa, agen penyela.

- a) Senyawa yang merupakan contoh analog basa adalah 5Bromourasil (5BU). 5-BU adalah analog timin. Dalam hubungan ini posisi karbon ke-5 ditempati oleh gugus brom padahal posisi itu sebelumnya ditempati oleh gugus metil. Keberadaan gugus brom mengubah distribusi muatan serta meningkatkan peluang terjadinya tautomerik.
- b) Senyawa yang tergolong agen pengubah basa adalah mutagen yang secara langsung mengubah struktur maupun sifat kimia dari basa, yang termasuk kelompok ini adalah agen deaminasi, agen hidroksilasi serta agen alkilasi. Perlakuan dengan asam nitrit, misalnya, terhadap sitosin akan menghasilkan urasil yang berpasangan dengan adenin sehingga terjadi mutasi dari pasangan basa S-G menjadi T-A. Agen hidroksilasi adalah mutagen hydroxammin yang bereaksi khusus dengan sitosin dan mengubahnya sehingga sitosin hanya dapat berpasangan dengan adenin. Sebagai akibatnya terjadi mutasi dari SG menjadi TA. Agen alkilasi mengintroduksi gugus alkil ke dalam basa pada sejumlah posisi sehingga menyebabkan perubahan basa yang akibatnya akan terbentuk pasangan basa yang tidak lazim.
- c) Senyawa yang tergolong agen interkalasi akan melakukan insersi antara basa-basa yang berdekatan pada satu atau kedua untai DNA. Contoh agen interkalasi adalah proflavin, aeridine, ethidium bromide, dioxin dan ICR-70.

2. Mutagen bahan fisika

Contoh mutagen bahan fisika adalah sinar ultraviolet, sinar radioaktif, dan sinar gamma. Sinar ultraviolet dapat menyebabkan kanker kulit. Penyebab mutasi dalam lingkungan yang bersifat fisik adalah radiasi dan suhu. Radiasi sebagai penyebab mutasi dibedakan menjadi radiasi pengion dan radiasi bukan pengion. Radiasi pengion adalah radiasi berenergi tinggi sedangkan radiasi bukan pengion adalah radiasi berenergi rendah. Contoh radiasi pengion adalah radiasi sinar X, sinar gamma, radiasi sinar kosmik. Contoh radiasi bukan pengion adalah radiasi sinar UV. Radiasi pengion mampu menembus jaringan



atau tubuh makhluk hidup karena berenergi tinggi. Sementara radiasi bukan pengion hanya dapat menembus lapisan sel-sel permukaan karena berenergi rendah. Radiasi sinar tersebut akan menyebabkan perpindahan elektron-elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi. Atom-atom yang memiliki elektron-elektron sedemikian dinyatakan tereksitasi. Molekul-molekul yang mengandung atom yang berada dalam keadaan tereksitasi maupun terionisasi secara kimiawi lebih reaktif daripada molekul yang memiliki atom-atom yang berada dalam kondisi stabil. Aktivitas yang meningkat tersebut mengundang terjadinya sejumlah reaksi kimia, terutama mutasi. Radiasi pengion dapat menyebabkan terjadinya mutasi gen dan pemutusan kromosom yang berakibat delesi, duplikasi, insersi, translokasi serta fragmentasi kromosom umumnya.

3. Mutagen bahan biologi

Virus dan bakteri diperkirakan dapat menyebabkan terjadinya mutasi. Bagian virus yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi adalah DNA-nya.

B. Macam-macam Mutasi

Mutasi adalah peristiwa perubahan genetik (gen atau kromosom) dari suatu individu yang bersifat menurun.

1. Berdasarkan sel yang bermutasi dapat dibedakan menjadi 2 jenis:

- Mutasi somatik, mutasi yang terjadi pada sel somatik, yaitu sel tubuh seperti sel kulit. Mutasi ini tidak akan diwariskan pada keturunannya
- Mutasi gametik, mutasi yang terjadi pada sel gamet yaitu sel organ reproduksi yang meliputi sperma dan ovum pada manusia. Karena terjadinya di sel gamet, maka akan diwariskan kepada keturunannya

2. Berdasarkan tempat terjadinya mutasi dapat dibagi 2 jenis :

- Mutasi besar (gross mutation) adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom
- Mutasi kecil (point mutation) adalah perubahan yang terjadi pada susunan molekul (DNA gen). Lokus gen itu sendiri tetap. Mutasi jenis inilah yang menimbulkan alel. Mutasi dapat terjadi pada tingkat DNA, Gen dan kromosom. Perubahan pada sekuens basa DNA akan menyebabkan perubahan pada protein yang dikode oleh gen. Contohnya, bila gen yang

mengkode suatu enzim mengalami mutasi, maka enzim yang dikode oleh gen mutan tersebut akan menjadi inaktif atau berkurang keaktifannya akibat perubahan sekuens asam amino. Namun mutasi dapat pula menjadi menguntungkan bila enzim yang berubah oleh gen mutan tersebut justru meningkat aktivitasnya dan menguntungkan bagi sel.

C. Mutasi Gen

Mutasi gen pada dasarnya merupakan mutasi titik (point mutation). Pada mutasi ini terjadi perubahan kimiawi pada satu atau beberapa pasangan basa dalam satu gen tunggal yang menyebabkan perubahan sifat individu tanpa perubahan jumlah dan susunan kromosomnya. Peristiwa yang terjadi pada mutasi gen adalah perubahan urutan-urutan DNA atau lebih tepatnya mutasi titik merupakan perubahan pada basa N dari DNA atau RNA.

Penggantian/substitusi pasangan basa terjadi karena penggantian satu nukleotida dengan pasangannya di dalam untaian DNA komplementer dengan pasangan nukleotida lain. Pasangan basa nitrogen (basa N) pada DNA antara timin dengan adenine atau antara guanine dengan sitosin dihubungkan oleh ikatan hydrogen yang lemah. Atom-atom hydrogen dapat berpindah dari satu posisi ke posisi lain pada purin atau pirimidin. Perubahan kimia yang seperti itu disebut dengan perubahannya tautomer. Misalnya secara tidak normal, adenine berpasangan dengan sitosin dan timin dengan guanine. Peristiwa perubahan genetik seperti itu disebut dengan mutasi gen karena hanya terjadi di dalam gen. Contoh: anemia bulan sabit.

Mutasi titik relatif sering terjadi namun efeknya dapat dikurangi oleh mekanisme pemulihan gen. Mutasi titik dapat berakibat berubahnya urutan asam amino pada protein, dan dapat mengakibatkan berkurangnya, berubahnya atau hilangnya fungsi enzim. Teknologi saat ini menggunakan mutasi titik sebagai marker (disebut SNP) untuk mengkaji perubahan yang terjadi pada gen dan dikaitkan dengan perubahan fenotipe yang terjadi.

Mutasi gen disebabkan oleh adanya perubahan dalam urutan nukleotida perubahan genotif. Bahan-bahan penyebab terjadinya mutasi disebut dengan mutagen. Sedangkan individu yang memperlihatkan perubahan sifat (fenotipe)

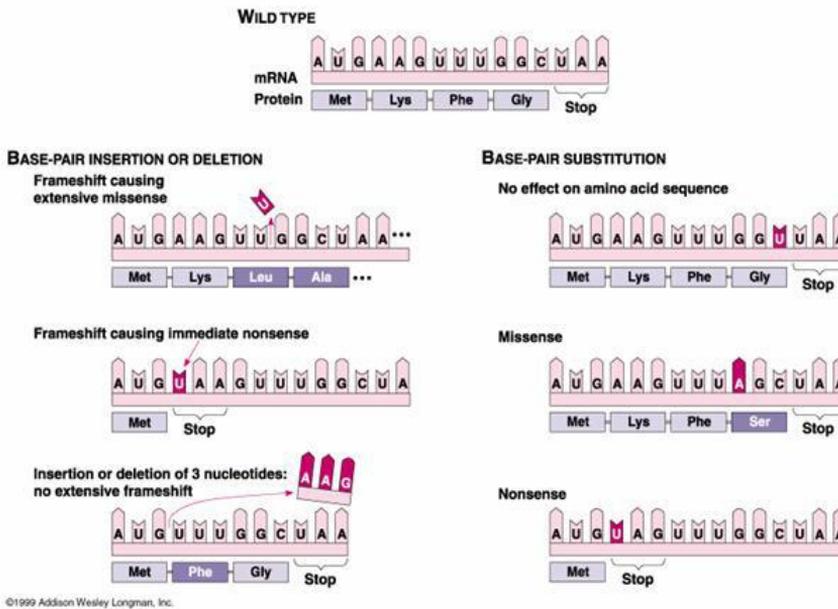
akibat mutasi disebut mutan. Contoh mutasi gen adalah reaksi asam nitrit dengan adenin menjadi zat hipoxanthine. Zat ini akan menempati tempat adenin asli dan berpasangan dengan sitosin, bukan lagi dengan timin.

Mutasi gen yaitu perubahan pasangan basa pada satu gen. Bila melibatkan satu pasang basa maka disebut mutasi titik. Mutasi titik dapat dibedakan lagi menjadi: substitusi (penggantian), delesi (penghapusan), insersi (penyisipan) dan duplikasi (pengulangan). Mutasi yang terjadi dalam gen akan merubah kodon sehingga merubah asam amino yang dikode oleh kodon tersebut, sehingga dapat merubah polipeptida.

Namun tidak semua mutasi yang merubah kodon akan merubah asam amino, karena adanya asam amino yang di kode oleh beberapa kodon. Mutasi gen dapat juga dibedakan berdasarkan pengaruhnya terhadap kodon, yaitu: mutasi mis-sense (mutasi yang merubah asam amino), mutasi same-sense (mutasi yang tidak merubah asam amino), dan mutasi non-sense (mutasi yang merubah asam amino menjadi stop kodon) (Gambar 5.1).

Mutasi same-sense tidak akan berpengaruh terhadap fungsi protein. Mutasi mis-sense yang merubah asam amino penyusun protein akan memberikan dampak yang berbeda-beda terhadap protein, tergantung dari posisi asam amino tersebut dalam protein dan sifat asam amino penggantinya. Bila asam amino tersebut tidak berada pada sisi aktif, mungkin tidak akan berpengaruh terhadap fungsi protein, namun bila asam amino tersebut berada pada sisi aktif, dan sifat asam amino penggantinya berbeda, maka mungkin fungsi protein tersebut akan berubah. Sementara mutasi non-sense yang merubah kodon pengkode asam amino menjadi kodon terminasi akan menghasilkan protein yang tidak lengkap. Sehingga protein tersebut menjadi tidak berfungsi dan menyebabkan efek yang serius terhadap organisme.

Mutasi insersi dan delesi satu pasang basa dapat merubah pola pembacaan (reading frame) urutan pengkode polipeptida. Mutasi ini akan merubah asam-asam amino penyusun protein, sehingga protein tersebut tidak akan berfungsi lagi. Mutasi yang merubah pola pembacaan ini dikenal juga dengan istilah mutasi frameshift.



Gambar 6.1 : Mutasi satu pasang basa pada gen

D. Jenis-jenis Mutasi Gen

1. Berdasarkan kejadiannya

- a). Spontan (spontaneous mutation), adalah mutasi (perubahan materi genetik) yang terjadi akibat adanya sesuatu pengaruh yang tidak jelas, baik dari lingkungan luar maupun dari internal organisme itu sendiri. Mutasi ini terjadi di alam secara alami (spontan), dan secara kebetulan.
- b). Induksi (induced mutation), adalah mutasi yang terjadi akibat paparan dari sesuatu yang jelas, misalnya paparan sinar UV. Secara mendasar tidak terdapat perbedaan antara mutasi yang terjadi secara alami dan mutasi hasil induksi.

2. Berdasarkan jenis sel yang bermutasi

- a) Mutasi somatik, adalah mutasi yang terjadi pada sel-sel somatik. Mutasi somatik dapat diturunkan dan dapat pula tidak diturunkan. Mutasi somatik dapat dialami oleh embrio/janin maupun orang dewasa. Mutasi somatik pada embrio/janin menyebabkan cacat

bawaan , Mutasi somatik pada orang dewasa cenderung menyebabkan kanker

- b) Mutasi gametik germinal adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet. Karena terjadinya di sel gamet, maka akan diwariskan oleh keturunannya. Mutasi gametik disebut mutasi germinal. Bila mutasi tersebut menghasilkan sifat dominan, akan terekspresi pada keturunannya. Bila resesif maka ekspresinya akan tersembunyi.

3. Berdasarkan perubahan kode genetik

- a). Mutasi salah arti (missense mutation), yaitu perubahan suatu kode genetik (umumnya pada posisi 1 dan 2 pada kodon) sehingga menyebabkan asam amino yang terkait pada rantai polipeptida berubah. Perubahan pada asam amino dapat menghasilkan fenotip mutan apabila asam amino yang berubah merupakan asam amino esensial bagi protein tersebut. Jenis mutasi ini dapat disebabkan oleh peristiwa transisi dan tranversi.

Contoh missense mutation

TACAACGTCACCATT

Untai sense mRNA

AUGUUGCAGUGGUA

Metionin-fenilalanin-glisin-triptofan

TACAACtTCACCATT

AUGUUGaAGUGGUA

Metionin-fenilalanin-lisin- triptofan

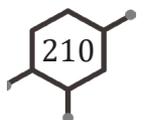
- b). Mutasi diam (silent mutation), yaitu perubahan suatu pasangan basa dalam gen (pada posisi 3 kodon) yang menimbulkan perubahan satu kode genetik tetapi tidak mengakibatkan perubahan atau pergantian asam amino yang dikode. Mutasi diam biasanya disebabkan karena terjadinya mutasi transisi dan tranversi.

Contoh Silent mutation :

TACAACGTCACCATT

Untai sense mRNA

AUGUUGCAGUGGUA



Metionin-**fenilalanin**-glisin-triptofan

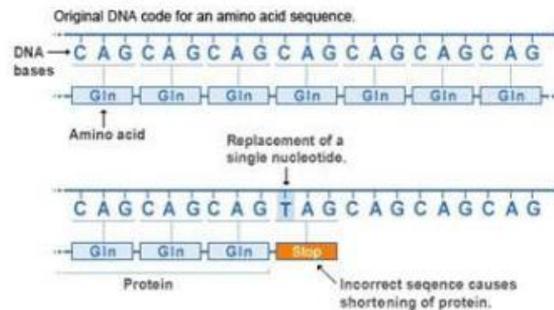
TACAAGTCCACCATT

Untai sense mRNA

AUGUUcCAGUGGUAA

Metionin-**fenilalanin**-glisin-triptofan

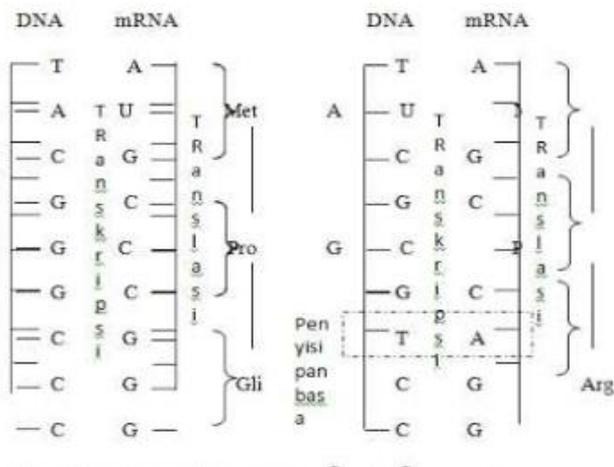
- c). Mutasi tanpa arti (nonsense mutation), yaitu perubahan, kodon asam amino tertentu menjadi kodon stop, yang mengakhiri rantai, mengakibatkan berakhirnya pembentukan protein sebelum waktunya selama translasi. Dengan kata lain pada mutasi tanpa arti terjadi perubahan kodon (triplet) dari kode basa N asam amino tetapi tidak mengakibatkan kesalahan pembentukan protein. Hasilnya adalah suatu polipeptida tak lengkap yang tidak berfungsi. Hampir semua mutasi tanpa arti mengarah pada inaktifnya suatu protein sehingga menghasilkan fenotip mutan. Mutasi ini dapat terjadi baik oleh tranversi, transisi, delesi, maupun insersi.



Gambar 6.2 Nonsense mutation

- d) Mutasi Pergeseran Kerangka/perubahan rangka baca (frameshift mutation). Mutasi ini merupakan akibat penambahan atau kehilangan satu atau lebih nukleotida di dalam suatu gen. Hal ini mengakibatkan bergesernya kerangka pembacaan. Selama berlangsungnya sintesis protein, pembacaan sandi genetik dimulai dari satu ujung acuan protein yaitu mRNA, dan dibaca sebagai satuan tiga basa secara berurutan. Karena itu mutasi pergeseran kerangka pada umumnya menyebabkan terbentuknya protein yang tidak berfungsi sebagai

akibat disintesisnya rangkaian asam amino yang sama sekali baru dari pembacaan rangkaian nukleotida mRNA yang telah bergeser kerangkanya (yang ditranskripsikan dari mutasi pada DNA sel). Tipe mutasi ini digambarkan pada gambar di bawah ini (Gambar 6.3)



Gambar 6.3 Mutan Pergeseran Kerangka

Gambar di atas merupakan mutasi pergeseran kerangka, sebagai akibat penyisipan satu nukleotida pada suatu gen. Penyisipan satu nukleotida pada suatu gen mengakibatkan transkripsi satu nukleotida tambahan pada mRNA. Ini mengakibatkan pergeseran kerangka ketika kodon-kodon dibaca selama berlangsungnya translasi sehingga semua kodon setelah penyisipan menjadi berubah dan semua asam amino yang disandikan menjadi berubah pula. Mutasi pergeseran kerangka sebagai akibat delesi satu nukleotida pada pokoknya akan mempunyai efek yang sama.



LATIHAN

.....
Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Jelaskan pengertian Mutasi Genetik!
2. Sebutkan beberapa contoh dari mutagen ?
3. Jelaskan macam-macam mutasi berdasarkan pada tempat terjadinya mutasi
4. Apakah yang dimaksud dengan mutasi gen ?
5. Berikan penjelasan mengenai jenis-jenis dari mutasi genetik !

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

.....
Mutasi adalah perubahan yang terjadi pada bahan genetik (DNA maupun RNA), baik pada taraf urutan gen (disebut mutasi titik) maupun pada taraf kromosom. Mutasi pada tingkat kromosomal biasanya disebut aberasi. Penyebab mutasi disebut dengan mutagen (agen mutasi). Kebanyakan mutagen adalah bahan fisika, kimia atau biologi yang memiliki daya tembus yang kuat sehingga dapat mencapai bahan genetik dalam inti sel. Macam-macam Mutasi **Berdasarkan sel yang bermutasi** dapat dibedakan menjadi Mutasi somatik, mutasi yang terjadi pada sel somatik, yaitu sel tubuh seperti sel kulit. Mutasi ini tidak akan diwariskan pada keturunannya dan Mutasi gametik, mutasi yang terjadi pada sel gamet yaitu sel organ reproduksi yang meliputi sperma dan ovum pada manusia. Karena terjadinya di sel gamet, maka akan diwariskan kepada keturunannya. **Berdasarkan tempat terjadinya mutasi** dapat dibagi 2 menjadi Mutasi besar (gross mutation) adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom dan Mutasi kecil (point mutation) adalah perubahan yang terjadi pada susunan molekul (DNA gen). Mutasi gen yaitu perubahan pasangan basa pada satu gen. Bila melibatkan satu pasang basa maka disebut mutasi titik. Mutasi titik dapat dibedakan lagi menjadi: substitusi (penggantian), delesi

(penghapusan), insersi (penyisipan) dan duplikasi (pengulangan). Mutasi yang terjadi dalam gen akan merubah kodon sehingga merubah asam amino yang dikode oleh kodon tersebut, sehingga dapat merubah polipeptida. **Jenis-jenis Mutasi Gen 1) Berdasarkan kejadiannya, Spontan** (spontaneous mutation), adalah mutasi (perubahan materi genetik) yang terjadi akibat adanya sesuatu pengaruh yang tidak jelas, baik dari lingkungan luar maupun dari internal organisme itu sendiri. Mutasi ini terjadi di alam secara alami (spontan), dan secara kebetulan. **Induksi (induced mutation)**, adalah mutasi yang terjadi akibat paparan dari sesuatu yang jelas. **2) Berdasarkan jenis sel yang bermutasi**, Mutasi somatik, adalah mutasi yang terjadi pada sel-sel somatik dan Mutasi gametik germinal adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet. **3) Berdasarkan perubahan kode genetik, Mutasi salah arti (missense mutation)**, yaitu perubahan suatu kode genetik (umumnya pada posisi 1 dan 2 pada kodon) sehingga menyebabkan asam amino yang terkait pada rantai polipeptida berubah. **Mutasi diam (silent mutation)**, yaitu perubahan suatu pasangan basa dalam gen (pada posisi 3 kodon) yang menimbulkan perubahan satu kode genetik tetapi tidak mengakibatkan perubahan atau pergantian asam amino yang dikode. **Mutasi tanpa arti (nonsense mutation)**, yaitu perubahan, kodon asam amino tertentu menjadi kodon stop, yang mengakhiri rantai, mengakibatkan berakhirnya pembentukan protein sebelum waktunya selama translasi



TES FORMATIF 1

.....

Pilihlah salah satu jawaban yang benar!

- 1) Manakah yang bukan merupakan salah satu penyebab terjadinya mutasi genetik
- A. Bakteri
 - B. Virus
 - C. sinar UV
 - D. asam Asorbat
 - E. Petir

- 2) Mutasi di alam dapat terjadi akibat zat pembangkit mutasi, manakah yang merupakan mutagen fisik tersebut ?
- A. petir, sinar Gamma, radiasi surya
 - B. Petir, sinar UV, sinar Visible
 - C. Petir, radiasi surya, Sinar Visibel
 - D. Petir, sinar X, gelombang mikro
 - E. Petir, radioaktif, gelombang mikro
- 3) Jenis mutasi gen berdasarkan pada kejadiannya adalah ...
- A. Mutasi Somatik dan mutasi spontan
 - B. Mutasi somatic dan mutasi gametik
 - C. mutasi spontan dan mutasi induksi
 - D. mutasi induksi dan mutasi gametic
 - E. Mutasi somatic dan mutasi induksi
- 4) Jenis mutasi gen berdasarkan pada jenis sel yang bermutasi adalah ...
- A. Mutasi Somatik dan mutasi spontan
 - B. Mutasi somatic dan mutasi gametik
 - C. mutasi spontan dan mutasi induksi
 - D. mutasi induksi dan mutasi gametik
 - E. Mutasi somatic dan mutasi induksi
- 5) Mutasi yang mengarah pada inaktifnya suatu protein sehingga menghasilkan fenotip mutan adalah ...
- A. Mutasi gametik
 - B. Mutasi diam
 - C. Mutasi salah arti
 - D. Mutasi tanpa arti
 - E. Mutasi somatik

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.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar} \times 100\%}{\text{Jumlah soal}}$$

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 ke kegiatan belajar selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar ini, terutama bagian yang belum dikuasai.

BAB 18

Mutasi Kromosom

S istilah mutasi pada umumnya digunakan untuk perubahan gen, sedangkan perubahan kromosom yang dapat diamati dikenal sebagai variasi kromosom atau aberasi. Mutasi kromosom, sering juga disebut dengan mutasi besar/gross mutation atau aberasi kromosom adalah perubahan jumlah kromosom dan struktur (susunan atau urutan) gen dalam kromosom. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan meiosis dan sedikit dalam mitosis.

A. Jenis-jenis mutasi kromosom pada sel gamet:

1. Mutasi autosomal, Mutasi sel kelamin yang terjadi pada kromosom autosom. Mutasi jenis ini menghasilkan mutasi yang dominan dan mutasi yang resesif.
2. Mutasi tertaut kelamin, Mutasi sel kelamin yang terjadi pada kromosom seks (kromosom kelamin), berupa tertautnya beberapa gen dalam kromosom kelamin.

Mutasi kromosom yaitu mutasi yang disebabkan karena perubahan struktur kromosom atau perubahan jumlah kromosom. Istilah mutasi pada umumnya digunakan untuk perubahan gen, sedangkan perubahan kromosom yang dapat diamati dikenal sebagai variasi kromosom atau mutasi besar/ gross mutation atau aberasi. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan pada meiosis maupun pada mitosis.

Pada prinsipnya, **mutasi kromosom digolongkan rnenjadi dua**, yaitu:

1. **Mutasi Kromosom Akibat Perubahan Jumlah Kromosom**, Mutasi kromosom yang terjadi karena perubahan jumlah kromosom (ploid) melibatkan kehilangan atau penambahan perangkat kromosom (genom) disebut euploid, sedang yang hanya terjadi pada salah satu kromosom dari genom disebut aneuploid. Euploid (eu = benar; ploid = unit) yaitu jenis mutasi dimana terjadi perubahan pada jumlah n . Makhluk hidup yang terjadi dari perkembangbiakan secara kawin, pada umumnya bersifat diploid, memiliki 2 perangkat kromosom atau 2 genom pada sel somatisnya ($2n$)

kromosom). Organisme yang kehilangan 1 set kromosomnya sehingga memiliki satu genom atau satu perangkat kromosom (n kromosom) dalam sel somatisnya disebut monoploid. Sedangkan organisme yang memiliki lebih dari dua genom disebut poliploid. Misalnya: triploid ($3n$ kromosom); tetraploid ($4n$ kromosom); heksaploid ($6n$ kromosom). Poliploid yang terjadi pada tumbuhan misalnya pada apel dan tebu. Poliploid pada hewan misalnya pada daphnia, rana esculenta dan ascaris.

Mutasi poliploid ada dua, yaitu:

- a) Autopoliploid yang terjadi akibat n -nya mengganda sendiri karena kesalahan meiosis dan terjadi pada kromosom homolog, misalnya semangka tak berbiji.
- b) Alopoliploid yang terjadi karena perkawinan atau hybrid antara spesies yang berbeda jumlah set kromosomnya dan terjadi pada kromosom non homolog, misalnya Rhabanobrassica (akar seperti kol, daun mirip lobak).

Aneuploid (an = tidak; eu = benar; Ploid = Unit) yaitu jenis mutasi dimana terjadi perubahan jumlah kromosom atau perubahan jumlah n -nya. Dalam hal ini, " n " menandakan jumlah set kromosom. Sebagai contoh, sel tubuh manusia memiliki 2 paket kromosom sehingga disebut $2n$, dimana satu paket n manusia berjumlah 23 kromosom.

Mutasi kromosom ini tidak melibatkan seluruh genom yang berubah, melainkan hanya terjadi pada salah satu kromosom dari genom. Mutasi ini disebut juga dengan istilah **aneusomik**. Penyebab mutasi ini adalah anafase lag (peristiwa tidak melekatnya benang-benang spindel ke sentromer) dan nondisjunction (gagal berpisah).

Aneuploid/Aneusomi pada manusia dapat menyebabkan:

- ❖ Sindrom Turner, dengan kariotipe ($22AA+X0$). Jumlah kromosomnya 45 dan kehilangan 1 kromosom kelamin. Penderita Sindrom Turner berjenis kelamin wanita, namun ovumnya tidak berkembang (ovicular disgenesis).
- ❖ Sindrom Klinefelter, kariotipe ($22 AA+XXY$), mengalami trisomik pada kromosom gonosom. Penderita Sindrom Klinefelter berjenis

kelamin laki-laki, namun testisnya tidak berkembang (testicular disgenesis) sehingga tidak bisa menghasilkan sperma (aspermia) dan mandul (gynaecomastis) serta payudaranya tumbuh.

- ❖ Sindrom Jacobs, kariotipe ($22AA+XYY$), trisomik pada kromosom gonosom. Penderita sindrom ini umumnya berwajah kriminal, suka menusuk-nusuk mata dengan benda tajam, seperti pensil, dll dan juga sering berbuat kriminal. Penelitian di luar negeri mengatakan bahwa sebagian besar orang-orang yang masuk penjara adalah orang-orang yang menderita Sindrom Jacobs.
- ❖ Sindrom Patau, kariotipe ($45A+XX/XY$), trisomik pada kromosom autosom. kromosom autosomnya mengalami kelainan pada kromosom nomor 13, 14, atau 15.
- ❖ Sindrom Edward, kariotipe ($45A+XX/XY$), trisomik pada autosom. Autosom mengalami kelainan pada kromosom nomor 16,17, atau 18. Penderita sindrom ini mempunyai tengkorak lonjong, bahu lebar pendek, telinga agak ke bawah dan tidak wajar.

Macam-macam aneusomik antara lain sebagai berikut.

- ❖ Monosomik ($2n-1$); yaitu mutasi karena kekurangan satu kromosom, misalnya Sindrom Turner pada manusia dimana jumlah kromosomnya 45 dan kehilangan 1 kromosom kelamin ($22AA+X0$).
- ❖ Nullisomik ($2n-2$); yaitu mutasi karena kekurangan dua kromosom trisomik ($2n + 1$, misalnya Sindrom Klinefelter pada manusia.
- ❖ Trisomik ($2n + 1$); yaitu mutasi karena kelebihan satu kromosom
- ❖ Tetrasomik ($2n + 2$); yaitu mutasi karena kelebihan dua kromosom

2. **Mutasi Kromosom Akibat Perubahan Struktur Kromosom**, Mutasi karena perubahan struktur kromosom atau kerusakan pada bentuk kromosom. Mutasi ini disebut juga dengan istilah **aberasi (kerusakan) pada bentuk kromosom**.

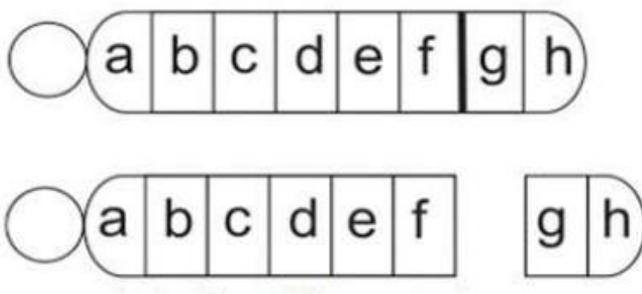
Macam-macam aberasi adalah:

- a) **Delesi atau defisiensi**, Delesi adalah mutasi karena kekurangan segmen kromosom. Hal ini yang terjadi karena sebagian segmen kromosom lenyap sehingga kromosom kekurangan segmen. Delesi terjadi ketika sebuah

fragmen kromosom patah dan hilang pada saat pembelahan sel. Kromosom tempat fragmen tersebut berasal kemudian akan kehilangan gen-gen tertentu. Namun dalam beberapa kasus, fragmen patahan tersebut dapat berikatan dengan kromosom homolog menghasilkan Duplikasi. Fragmen tersebut juga dapat melekat kembali pada kromosom asalnya dengan arah terbalik dan menghasilkan Inversi. Defisiensi dapat menyebabkan kematian, separuh kematian, atau menurunkan viabilitas. Pada tanaman, defisiensi yang ditimbulkan oleh perlakuan bahan mutagen (radiasi) sering ditunjukkan dengan munculnya mutasi klorofil. Kejadian mutasi klorofil biasanya dapat diamati pada stadium muda (seedling stag), yaitu dengan adanya perubahan warna pada daun tanaman.

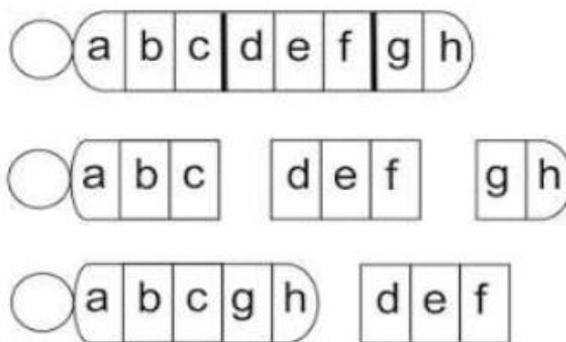
Macam-macam delesi antara lain:

- ❖ Delesi terminal, ialah delesi yang kehilangan ujung segmen kromosom



Gambar 6.4 Defisiensi/delesi terminal

- ❖ Delesi interstitial, ialah delesi yang kehilangan bagian tengah kromosom.



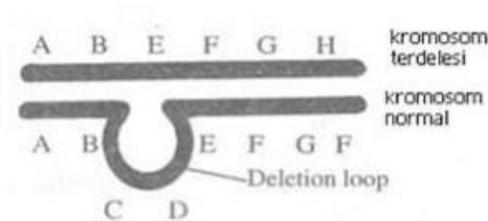
Gambar 6.5 Delesi interstitial

- ❖ Delesi cincin: ialah delesi yang kehilangan segmen kromosom sehingga berbentuk lingkaran seperti cincin.



Gambar 6.5 Delesi Cincin

- ❖ Delesi loop; ialah delesi cincin yang membentuk lengkungan pada kromosom lainnya.



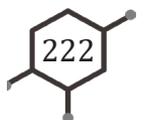
Gambar 6.6 Delesi loop

b) Duplikasi, Mutasi karena kelebihan segmen kromosom. Duplikasi terjadi karena adanya segmen kromosom yang mengakibatkan jumlah segmen kromosom lebih banyak dari kromosom aslinya. Mutasi ini terjadi pada waktu meiosis, sehingga memungkinkan adanya kromosom lain (homolognya) yang tetap normal. Duplikasi menampilkan cara peningkatan jumlah gen pada kondisi diploid. Duplikasi dapat terjadi melalui beberapa cara seperti: pematahan kromosom yang kemudian diikuti dengan transposisi segmen yang patah, penyimpangan dari mekanisme crossing-over pada meiosis (fase pembelahan sel), rekombinasi kromosom saat terjadi translokasi, sebagai konsekuensi dari inversi heterosigot, dan sebagai konsekuensi dari perlakuan bahan mutagen. Beberapa kejadian duplikasi telah dilaporkan dapat meningkatkan viabilitas tanaman. Pengaruh radiasi terhadap duplikasi kromosom telah banyak dipelajari pada bermacam

jenis tanaman seperti jagung, kapas, dan barley.

c) **Translokasi**, adalah pemindahan sebagian dari segmen kromosom ke kromosom lainnya yang bukan kromosom homolognya atau mutasi yang mengalami pertukaran segmen kromosom ke kromosom non homolog. Macam-macam translokasi antara lain sebagai berikut :

- ❖ Translokasi tunggal. Translokasi ini terjadi jika kromosom yang patah pada satu tempat, kemudian bagian yang patah tersebut bersambungan dengan kromosom lain yang bukan homolognya
- ❖ Translokasi perpindahan Terjadi jika kromosom patah di dua tempat dan patahannya bersambungan dengan kromosom lain yang bukan homolognya
- ❖ Translokasi resiprok Terjadi jika dua buah kromosom yang bukan homolognya patah pada tempat tertentu, kemudian patahan tersebut saling tertukar. Translokasi resiprok dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu sebagai berikut :
 - i. Translokasi resiprok homozigot, ialah translokasi yang mengalami pertukaran segmen dua kromosom homolog dengan segmen dua kromosom non homolog.
 - ii. Translokasi resiprok heterozigot, ialah translokasi yang hanya mengalami pertukaran satu segmen kromosom ke satu segmen kromosom nonhomolognya.
 - iii. Translokasi Robertson, ialah translokasi yang terjadi karena penggabungan dua kromosom akrosentrik menjadi satu kromosom metasentrik, maka disebut juga fusion (penggabungan). Translokasi terjadi apabila dua benang kromosom patah setelah terkena energi radiasi, kemudian patahan benang kromosom bergabung Kembali dengan cara baru. Patahan kromosom yang satu berpindah atau bertukar pada kromosom yang lain sehingga terbentuk kromosom baru yang berbeda dengan kromosom aslinya. Translokasi dapat terjadi baik di dalam satu kromosom (intrachromosome) maupun antar kromosom (interchromosome). Translokasi sering mengarah pada ketidakseimbangan gamet sehingga dapat menyebabkan

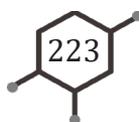


kemandulan (sterility) karena terbentuknya chromatids dengan duplikasi dan penghapusan. Alhasil, pemasangan dan pemisahan gamet jadi tidak teratur sehingga kondisi ini menyebabkan terbentuknya tanaman aneuploidi. Translokasi dilaporkan telah terjadi pada tanaman *Aegilops umbellulata* dan *Triticum aestivum* yang menghasilkan mutan tanaman tahan penyakit.

d). **Inversi**, mutasi yang terjadi karena selama meiosis kromosom terpilin dan terjadinya kiasma, sehingga terjadi perubahan letak/kedudukan gen-gen atau dengan kata lain inversi ialah mutasi yang mengalami perubahan letak gen-gen, karena selama meiosis kromosom terpilin. Inversi terjadi karena kromosom patah dua kali secara simultan setelah terkena energi radiasi dan segmen yang patah tersebut berotasi 180° dan menyatu kembali. Kejadian bila sentromer berada pada bagian kromosom yang terinversi disebut perisentrik, sedangkan bila sentromer berada di luar kromosom yang terinversi disebut parametik. Inversi perisentrik berhubungan dengan duplikasi atau penghapusan kromatid yang dapat menyebabkan aborsi gamet atau pengurangan frekuensi rekombinasi gamet. Perubahan ini akan ditandai dengan adanya aborsi tepung sari atau biji tanaman, seperti dilaporkan terjadi pada tanaman jagung dan barley. Inversi dapat terjadi secara spontan atau diinduksi dengan bahan mutagen, dan dilaporkan bahwa sterilitas biji tanaman heterozigot dijumpai lebih rendah pada kejadian inversi daripada translokasi. Macam-macam inversi antara lain sebagai berikut.

- i. Inversi parasentrik, terjadi pada kromosom yang tidak bersentromer.
- ii. Inversi perisentrik, terjadi pada kromosom yang bersentromer.

e). **Isokromosom**, Isokromosom ialah mutasi kromosom yang terjadi pada waktu menduplikasikan diri, pembelahan sentromernya mengalami perubahan arah pembelahan sehingga terbentuklah dua kromosom yang masing-masing berlingan identik (sama). Dilihat dari pembelahan sentromer maka isokromosom disebut juga fision, jadi peristiwanya berlawanan dengan translokasi Robertson (fusion) yang mengalami



penggabungan.

- f). **Katenasi**, Katenasi ialah mutasi kromosom yang terjadi pada dua kromosom non homolog yang pada waktu membelah menjadi empat kromosom, saling bertemu ujung-ujungnya sehingga membentuk lingkaran.

C. Dampak mutasi genetik pada manusia dan ternak

Yaitu penyakit yang disebabkan oleh mutasi DNA. Penyakit yang akan dibahas disini adalah yang disebabkan oleh mutasi pada satu gen. Penyakit genetik dapat dibagi dua : (1) penyakit yang diturunkan, yaitu: kerusakan informasi genetik terjadi dalam sel reproduksi (dalam banyak kasus berarti terdapat dalam semua sel dan mempengaruhi individu) dan diturunkan dari orang tua ke anak, (2) somatik disorder, yaitu: disebabkan oleh mutasi dalam sel non reproduksi dan hanya diteruskan ke sel lain selama mitosis (tidak ke anak), contohnya penyakit kanker.

Penyakit genetik bisa bersifat resesif atau dominan, dan gen yang berhubungan dengan penyakit tersebut bisa merupakan autosom (selain kromosom sex) atau kromosom sex

a) Dampak mutasi genetik pada manusia

1. **Kanker**, Sel kanker adalah sel normal yang mengalami mutasi/perubahan genetik dan tumbuh tanpa terkoordinasi dengan sel-sel tubuh lain. Proses pembentukan kanker (karsinogenesis) merupakan kejadian somatik dan sejak lama diduga disebabkan karena akumulasi perubahan genetik dan epigenetik yang menyebabkan perubahan pengaturan normal kontrol molekuler perkembangbiakan sel. Sel kanker yang takmampu berinteraksi secara sinkron dengan lingkungan dan membelah tanpa kendali bersaing dengan sel normal dalam memperoleh bahan makanan dari tubuh dan oksigen. Tumor dapat menggantikan jaringan sehat dan terkadang menyebar ke bagian lain dari tubuh yakni suatu proses pemendekan umur yang lazim disebut metastasis. Potensi metastasis ini diperbesar oleh perubahan genetik yang lain. Jika tidak diobati, kebanyakan kanker mengarah ke pesakitan dan bahkan kematian. Kanker muncul melalui perubahan genetik rangkap/ganda

dalam sel induk dari organ tubuh. Sebagian perubahan yang tidak dapat dihapuskan akan terus menumpuk bersamaan dengan bertambahnya umur dan tidak dapat dihindari, akan tetapi predisposisi genetik, faktor lingkungan dan yang paling banyak yakni gaya hidup adalah faktor-faktor yang penting. Beberapa orang lahir dengan mutasi tertentu dalam DNA-nya yang dapat mengarah ke kanker. Sebagai contoh, seorang Wanita lahir dengan mutasi pada gen yang disebut BRCA1 akan membentuk kanker payudara atau rahim jauh lebih banyak daripada wanita yang tidak mempunyai mutasi demikian. Karsinogen eksogen (dari luar) dan proses biologik endogen dapat menyebabkan mutasi delesi, insersi atau substitusi basa baik transisi maupun transversi. Mekanisme endogen kerusakan DNA yang telah diketahui dengan baik adalah fenomena deaminasi 5-metil-sitosin. Metilasi DNA adalah merupakan mekanisme epigenetik yang melibatkan pengaturan ekspresi suatu gen. Residu sitosin dan 5-metil-sitosin masing-masing dapat secara spontan dideaminasi menjadi urasil dan timin yang jika tidak diperbaiki akan menyebabkan mutasi transisi G:C→A:T. Mutasi ini paling banyak terjadi pada dinukleotida CpG (sitosin diikuti oleh guanin) yang seringkali mengalami metilasi. Studi spektrum mutasi menyatakan adanya corak khas perubahan DNA yang diinduksi oleh mutagen endogen dan eksogen tertentu dalam gen yang berhubungan dengan kanker.

2. **Sindrom Turner**, (Ditemukan oleh H.H. Turner tahun 1938)

Ciri-ciri :

- a. Kariotipe : 45 X 0 (44 autosom + satu kromosom X) diderita oleh wanita
- b. Tinggi badan cenderung pendek
- c. Alat kelamin terlambat perkembangannya
- d. Sisi leher tumbuh tambahan daging
- e. Bentuk kaki X
- f. Kedua puting susu berjarak melebar
- g. Keterbelakangan mental

3. **Sindrom Klinefelter**, Ditemukan oleh Klinefelter tahun 1942

Ciri-ciri :

- a. Kariotipe : 47. XXY (kelebihan kromosom seks X) diderita oleh pria
- b. Bulu badan tidak tumbuh
- c. Testis mengecil, mandul (steril)
- d. Buah dada membesar
- e. Tinggi badan berlebih
- f. Jika jumlah kromosom X lebih dari dua mengalami keterbelakangan mental

4. **Sindrom Jacob**, Ditemukan oleh P.A. Jacobs tahun 1965

Ciri-ciri:

- a. Kariotipe 47.XYY (kelebihan sebuah kromosom seks Y) diderita oleh pria
- b. Berperawakan tinggi
- c. Bersifat antisocial, agresif

5. **Sindrom Down**, Ditemukan oleh Longdon Down tahun 1866

Ciri-ciri :

- a. Kariotipe 47,XX atau 47, XY
- b. Mongolism, telapak tebal seperti telapak kera
- c. Mata sipit miring ke samping
- d. Bibir tebal, lidah menjulur, liur selalu menetes
- e. Gigi kecil-kecil dan jarang
- f. IQ rendah (± 0)

6. **ADA defisiensi**. Adenosin deaminase (ADA) defisiensi, disebabkan oleh tidak adanya enzim adenosin deaminase yang berfungsi untuk menghancurkan kelebihan adenosin. Tanpa enzim ini dATP (deoksiadenosin trifosfat) akan terakumulasi di dalam darah dan mengganggu pembentukan sistem kekebalan tubuh. Sehingga pasien dengan ADA defisiensi juga akan mengalami SCID (severe combined immunodeficiency disease). Anak-anak dengan penyakit ini harus selalu berada dalam tempat steril untuk mencegah infeksi.

7. **PKU.** Phenylketonuria disebabkan oleh tidak adanya enzim fenilalanin hidrolase yang diperlukan untuk mendegradasi asam amino fenilalanin. Bila enzim ini tidak ada, maka asam amino fenilalanin akan berlebih dalam darah, sehingga menyebabkan keterbelakangan mental dalam beberapa bulan setelah kelahiran.
8. **Anemia sel sabit.** Yaitu penyakit dimana bentuk sel darah merah berubah dari berbentuk bulat menjadi berbentuk bulan sabit sehingga mengganggu aliran darah ke jaringan tubuh. Keadaan ini menyebabkan anemia dan kerusakan jaringan tubuh. Sampai saat ini orang yang mengidap penyakit ini jarang yang bertahan hidup. Penyakit ini disebabkan oleh mutasi satu basa pada gen yang mengkode hemoglobin (protein sel darah merah yang membawa oksigen). Perubahan terjadi dari A menjadi T yang menyebabkan perubahan kodon GAG (asam glutamat) menjadi GTG (valin). Perubahan asam amino dalam hemoglobin menyebabkan perubahan struktur hemoglobin
9. **Autosomal Dominan Disorder Buta warna.** Termasuk penyakit genetik yang berhubungan dengan kromosom X. Gen untuk visualisasi pigmen yang diperlukan untuk melihat warna terdapat pada kromosom X. Buta warna merah-hijau disebabkan oleh rusaknya gen ini. Buta warna lebih banyak di derita oleh laki-laki dibanding perempuan.
10. **Hemofilia.** Termasuk golongan penyakit yang mempengaruhi pembekuan darah. Mekanismenya melibatkan sejumlah darah, protein selular dan platelet yang bertanggung jawab terhadap pembentukan benang fibrin. Dua gen yang mengkode protein yang terlibat pada pembekuan darah terdapat dalam kromosom X. Sehingga laki-laki akan sangat dipengaruhi oleh mutasi dalam gen ini karena hanya mempunyai satu kromosom X.

Meskipun secara biologi sebagian terbesar mutasi menyebabkan gangguan pada kebugaran (fitness) individu, bahkan kematian, mutasi sebenarnya adalah salah satu kunci bagi kemampuan beradaptasi suatu jenis (spesies) terhadap lingkungan baru atau yang berubah. **Sisi positif** ini dimanfaatkan oleh sejumlah bidang biologi terapan.

1. **Terapi sel-sel tumor**, Aplikasi radiasi sinar mengion (dikenal sebagai radioterapi, seperti penyinaran dengan sinar X) dan kemoterapi untuk menghambat perkembangan sel-sel tumor dan kanker pada dasarnya, adalah menginduksi mutasi pada sel-sel kanker sebagai targetnya. Agensia mutasi tersebut akan menyebabkan sel-sel target berhenti tumbuh karena tidak mampu lagi memperbanyak diri.
2. **Pemuliaan**, Pemaparan tanaman terhadap radiasi sinar mengion, seperti sinar gamma dari Co-60, atau terhadap beberapa kemikalialia, seperti EMS dan DS, dalam waktu dan kadar tertentu juga digunakan untuk menginduksi mutasi. Dalam penerapan ini, mutasi tidak ditujukan untuk mematikan sel, tetapi untuk mengubah susunan basa nitrogen pada DNA atau untuk menyebabkan mutasi segmental. Harapannya adalah ada beberapa sel yang akan mengalami mutasi yang menguntungkan. Dengan demikian, tidak hanya sedikit yang dipaparkan, tetapi ribuan sampai ratusan ribu individu. Cara pemuliaan dengan bantuan mutasi ini kebanyakan dilakukan terhadap tanaman hortikultura, seperti tanaman sayuran dan tanaman hias (ornamental). Batan telah menghasilkan beberapa kultivar unggul padi yang dirakit melalui mutasi.



LATIHAN

Untuk memahami lebih dalam materi diatas, silahkan Anda mengerjakan latihan berikut!

1. Jelaskan pengertian Mutasi kromosom!
2. Berikan penjelasan terkait Mutasi Kromosom Akibat Perubahan Jumlah Kromosom ?
3. Berikan penjelasan jenis-jenis dari Mutasi Kromosom Akibat Perubahan Struktur Kromosom !
4. Sebutkan beberapa contoh dari penyakit genetik akibat dari mutasi !

Petunjuk Jawaban Latihan

Pertanyaan diatas dapat dijawab bila Anda membaca bagian yang berkaitan erat dengan pertanyaan, jika perlu Anda dapat membandingkan atau mencari sumber buku lain yang sesuai.



RANGKUMAN

Mutasi kromosom, sering juga disebut dengan mutasi besar/gross mutation atau aberasi kromosom adalah perubahan jumlah kromosom dan struktur (susunan atau urutan) gen dalam kromosom. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan meiosis dan sedikit dalam mitosis mutasi kromosom digolongkan menjadi dua yaitu 1) Mutasi Kromosom Akibat Perubahan Jumlah Kromosom, Mutasi kromosom yang terjadi karena perubahan jumlah kromosom (ploidi) melibatkan kehilangan atau penambahan perangkat kromosom (genom) disebut euploidi, sedang yang hanya terjadi pada salah satu kromosom dari genom disebut aneuploidi. 2) Mutasi Kromosom Akibat Perubahan Struktur Kromosom, Mutasi karena perubahan struktur kromosom atau kerusakan pada bentuk kromosom. Mutasi ini disebut juga dengan istilah aberasi (kerusakan) pada bentuk kromosom, Macam-macam aberasi Delesi atau defisiensi, Duplikasi, Translokasi (Translokasi tunggal, Translokasi perpindahan, Translokasi resiprok), Inversi (Inversi parasentrik dan Inversi perisentrik), Isokromosom, Katenasi. Penyakit genetik dapat dibagi dua : (1) penyakit yang diturunkan, yaitu: kerusakan informasi genetik terjadi dalam sel reproduksi (dalam banyak kasus berarti terdapat dalam semua sel dan mempengaruhi individu) dan diturunkan dari orang tua ke anak, (2) somatik disorder, yaitu: disebabkan oleh mutasi dalam sel non reproduksi dan hanya diteruskan ke sel lain selama mitosis (tidak ke anak). Dampak mutasi genetik pada manusia adalah kanker, Sindrom Turner, Sindrom Klinefelter, Sindrom Jacob, Sindrom Down, Adenosin deaminase (ADA) defisiensi, Phenylketonuria, Anemia sel sabit, Autosomal Dominan Disorder Buta warna, Hemofilia. Sisi positif ini dimanfaatkan oleh sejumlah bidang biologi terapan adalah Terapi sel-sel tumor dan pemuliaan tanaman.



TES FORMATIF 2

Jawablah pertanyaan pada kolom yang telah tersedia

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan yang terjadi pada proses ?	.....
2	Mutasi kromosom yang terjadi karena perubahan jumlah kromosom (ploidi) melibatkan kehilangan atau penambahan perangkat kromosom (genom) disebut ?	.....
3	Apakah jenis mutasi dimana terjadi perubahan jumlah kromosom atau perubahan jumlah n-nya?	.....
4	Apakah Mutasi yang disebabkan karena perubahan struktur kromosom atau kerusakan pada bentuk kromosom?	.....
5	Aberasi dengan pemindahan sebagian dari segmen kromosom ke kromosom lainnya yang bukan kromosom homolognya atau mutasi yang mengalami pertukaran segmen kromosom ke kromosom non homolog disebut ?	.....
6	Apakah Mutasi yang terjadi karena selama meiosis kromosom terpinil dan terjadinya kiasma, sehingga terjadi perubahan letak/kedudukan gen-gen ?	.....
7	Mutasi kromosom yang terjadi pada dua kromosom non homolog yang pada waktu membelah menjadi empat kromosom, saling bertemu ujung-ujungnya sehingga membentuk lingkaran, disebut ?	.....
8	mutasi kromosom yang terjadi pada waktu menduplikasikan diri, pembelahan sentromernya mengalami perubahan arah pembelahan sehingga terbentuklah dua kromosom yang masing masing berlingan identik (sama).	.....

9	Penyakit ini disebabkan oleh mutasi satu basa pada gen yang mengkode hemoglobin (protein sel darah merah yang membawa oksigen).	.....
10	Apakah Penyakit genetik dengan Kariotipe 47.XYY (kelebihan sebuah kromosom seks Y) diderita oleh pria	.....

Kunci Jawaban Tes Formatif

BAB 1 :

1. D
2. A
3. C
4. D
5. C
6. C
7. A
8. C
9. B
10. E

BAB 2 :

1. B
2. B
3. A
4. D
5. E
6. D
7. E
8. E
9. E
10. E

BAB 3 :

1. D
2. B
3. D
4. E
5. C
6. E
7. B
8. C
9. C
10. A

BAB 4 :

1. A
2. B
3. E
4. A
5. B
6. D
7. B
8. C
9. B
10. E

BAB 5 :

1. E
2. C
3. E
4. C
5. A
6. B
7. C
8. D
9. B
10. B

BAB 6 :

1. B
2. D
3. C
4. D
5. B
6. E
7. D
8. D
9. E
10. C

Kunci Jawaban Tes Formatif

BAB 1 :

1. D
2. A
3. C
4. D
5. C
6. C
7. A
8. C
9. B
10. E

BAB 2 :

1. B
2. B
3. A
4. D
5. E
6. D
7. E
8. E
9. E
10. E

BAB 3 :

1. D
2. B
3. D
4. E
5. C
6. E
7. B
8. C
9. C
10. A

BAB 4 :

1. A
2. B
3. E
4. A
5. B
6. D
7. B
8. C
9. B
10. E

BAB 5 :

1. E
2. C
3. E
4. C
5. A
6. B
7. C
8. D
9. B
10. B

BAB 6 :

1. B
2. D
3. C
4. D
5. B
6. E
7. D
8. D
9. E
10. C

BAB 7 :

1. B
2. E
3. A
4. B
5. B
6. E
7. C
8. C
9. E
10. B

BAB 8 :

1. C
2. E
3. D
4. B
5. D
6. A
7. D
8. B
9. D
10. A

BAB 9 :

1. D
2. D
3. B
4. D
5. A
6. B

BAB 10 :

1. A
2. B
3. A
4. B
5. C
6. A
7. A

BAB 11 :

1. B
2. D
3. C
4. A

BAB 12 :

1. D
2. B
3. E
4. C
5. A

BAB 13 :

1. A
2. D
3. A
4. D
5. C
6. B

BAB 14 :

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

BAB 15 :

1. Transkripsi
2. Translasi
3. Inti sel
4. Transkripsi awal
5. Ribosom
6. Enzim gyrase
7. Kodon
8. tRNA
9. Badan Golgi
10. UAC

BAB 16 :

1. Sitoplasma
2. Faktor sigma
3. Core enzim
4. ATP, UTP, GTP dan CTP
5. Terminator
6. Ribosom
7. mRNA, rRNA dan tRNA

BAB 17 :

1. D
2. A
3. C
4. B
5. A

BAB 18 :

1. Meiosis
2. euploid
3. Aneuploid
4. Aberasi
5. Translokasi
6. Inversi
7. Katenasi
8. Isokromosom
9. Anemia sel sabit
10. Sindrom Jacob

Glossarium

Amitosis	: Pembelahan sel yang tidak melalui siklus sel. Pembelahan ini biasa disebut pembelahan sederhana.
Apoptosis	: Proses kematian sel yang diprogram oleh tubuh
Kematian sel	: Peristiwa penting dalam perkembangan dan pertumbuhan suatu makhluk hidup. Kematian sel merupakan proses homeostasis
Meiosis	: Pembelahan sel khusus yang terdapat pada organ atau alat reproduksi, menghasilkan gamet atau sel kelamin yang memiliki jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom induknya
Mitosis	: Proses pembelahan sel somatis yang melalui proses siklus sel, yaitu melalui tahapan Profase, Metafase, Anafase, dan Telofase
Nekrosis	: Proses kematian sel karena sel injury
Perkembangan	: Proses bertambah dewasa sel atau individu
Pertumbuhan	: Proses memperbanyak jumlah sel
Siklus sel	: Proses yang menggambarkan pembelahan sel yang diawali dengan replikasi kromosom, dilanjutkan dengan pemisahan kromosom dan diakhiri pembelahan sel
DNA	: Deoxyribonucleic acid
RNA	: Ribonucleic acid
mRNA	: messenger RNA
tRNA	: transfer RNA
rRNA	: ribosomal RNA
Kodon amino	: 3 huruf urutan basa nitrogen yang menyandi asam

Daftar Pustaka

- Arisuryanti, A., Handayani, N.S.N., Daryono, B.S. 2007. Buku Ajar Genetika. Yogyakarta : Laboratorium Genetika, Fakultas Biologi UGM.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Robert, K., Walter, P. 2008. Molecular Biology of the The Cell. Garland Science, taylor and Francis Group.
- Berg, J.M., Timoczko, J. L. Stryer, L., Fifth edition. Biochemistry. W. H. Freeman and Company
- Bourgaize, D., Jewel, T.R, Buiser, R.G. 2000. “Biotechnology” Demystifying the Concepts, Benjamin Cummings, San Francisco.
- Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, P.W., 2008. Molekular Biologi of The Cell,
- Campbell, Reece, Mitchel. 2002. **Biologi**. Jakarta: Erlangga
- Coady, D., 2010. Molecular Biology, Elsevier Academic Press.
- Cooper. G. M., 2000, The Cell: A Molecular Approach, 2 nd ed, ASM Press, Washington D.C.
- Gardner, *et all*.1991. **Principles of Genetiks Eighth Edition**. New York. Chichester Brisbane Toronto Singapore.
- Glick, B.R., Pasternak, J.J. 2003. Molecular Biotechnology, Principles and Application of Recombinant DNA, 3nd ed. ASM Press, Washington DC.
- Hartl, D.L. & Jones, E.W., 2001. Introduction to Molecular Genetics and Genomics,
- Kumar, Vinay; Ramzi S. Cotran; Stanley L. Robbins. 2007. Buku Ajar Patologi Robbins, Ed.7, Vol.1. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Lehninger, A.L. 2005. Principles of Biochemistry, 4nd ed. Worth Publisher Inc, New York.
- Mathew,C.K., van Holde, K.E. & Ahern, K.G. 2000. Biochemistry, International Edition, Addison-Wesley Publishing Company, San Francisco
- Maulik, S., Patel, S.D. 2000. Molecular Biotechnology, Therapeutic Application and Strategies, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Murray, R.K., Granner, D.K., Mayes, P.A., Rodwell, V.W. 2003. Harper Illustrated Biochemistry, 26nd ed, McGraw Hill, New York.

- Newton, C.R. and Graham, A. 1994. PCR Introduction to Biotechniques, Bios Scientific Publisher Ltd., Oxford.
- Nurhayati, B & Darmawati, S. 2017. Bahan ajar TLM Biologi sel & molekuler. Penerbit Kemenkes RI.
- Nusantari, E. 2012. *Kajian Miskonsepsi Genetika dan Perbaikannya Melalui Perubahan Struktur Didaktik Bahan Ajar Genetika Berpendekatan Konsep di Perguruan Tinggi*. Disertasi. PPS Universitas Negeri Malang
- Pringgoutomo, S.; S. Himawan; A. Tjarta. 2002. Buku Ajar Patologi I. Jakarta: Sagung Seto
- Sarjadi. 2003. Patologi Umum. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Smith, J.E., 1996, Biotechnology, 3rd ed, Cambridge University Press.
- Smith, C., Marks, A.D., and Lieberman, M. 2005. Basic Medical Biochemistry, 2nd ed, Lippincott William & Wilkins, Philadelphia.
- Stowell, Dan. 2009. *The Molecule of HIV*. www.mclld.co.uk/hiv. diakses tanggal 9 Maret 2011)
- Suryo. 2008. Genetika Strata 1. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Suryo. 2010. Genetika Manusia. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Turner, P.C., McLennan, A.G., Bates, A.D., & White, M.R.H. 2000 Instant Notes Molecular Biology, 2nd ed., Springer Verlag, Hong Kong Ltd.
- Yuwono, Triwibowo. 2005. *Biologi Molekular*. Jakarta: Erlangga.



Universitas Muhammadiyah Surabaya



Morally, Intellectually, and Comprehensively

surabaya

Jl. sutorejo no. 59 Mulyorejo Surabaya
Telp. (+62 87701798766)
Email: p3i@um-surabaya.ac.id
www.p3i.um-surabaya.ac.id

ISBN 978-623-433-102-8



9 786234 331028