



KEMENTERIAN  
KESEHATAN  
REPUBLIK  
INDONESIA

612.11  
Ind  
b

PUSAT PENDIDIKAN SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN  
BADAN PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN  
SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN  
EDISI TAHUN 2019

BAHAN AJAR  
TEKNOLOGI  
BANK DARAH (TBD)

# BIOLOGI SEL DAN GENETIKA

Rodhi Hartono  
Rudina Azimata



**Katalog Dalam Terbitan. Kementerian Kesehatan RI**

612.11

Ind

b

Indonesia. Kementerian Kesehatan RI. Badan Pengembangan  
dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan  
**Bahan ajar teknologi bank darah (TBD) : biologi sel dan  
genetika.**— Jakarta : Kementerian Kesehatan RI. 2019

ISBN 978-602-416-873-5

1. Judul            I. BLOOD BANKS  
                         II. CELL BIOLOGY                            III. GENETICS



KEMENTERIAN  
KESEHATAN  
REPUBLIK  
INDONESIA

PUSAT PENDIDIKAN SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN  
BADAN PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN  
SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN  
EDISI TAHUN 2019

BAHAN AJAR  
TEKNOLOGI  
BANK DARAH (TBD)

# BIOLOGI SEL DAN GENETIKA

Rodhi Hartono  
Rudina Azimata

Hak Cipta © dan Hak Penerbitan dilindungi Undang-undang

Cetakan pertama, November 2019

*Penulis* : Rodhi Hartono, SKP, NS, M.Biomed  
Rudina Azimata Rosyidah, S.Si, M.Biomed

*Pengembang Desain Intruksional* : Ir. Anang Suhardianto, M. Si

*Desain oleh Tim P2M2* :

*Kover & Ilustrasi* : Sunarti, S.Des.

*Tata Letak* : Restu Mawardi, S.T.

Jumlah Halaman : 314

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>BAB 1: TINJAUAN UMUM KONSEP DASAR BIOLOGI SEL</b>	<b>1</b>
<b>Topik 1.</b>	
<b>Pengantar Perkembangan Biologi Sel .....</b>	<b>3</b>
Latihan .....	8
Ringkasan .....	8
Tes 1 .....	9
<b>Topik 2.</b>	
<b>Biologi Sel .....</b>	<b>11</b>
Latihan .....	33
Ringkasan .....	34
Tes 2 .....	36
<b>KUNCI JAWABAN TES .....</b>	<b>37</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>38</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>39</b>
<b>BAB 2: STRUKTUR DAN FUNGSI ORGANELA SEL</b>	<b>41</b>
<b>Topik 1.</b>	
<b>Struktur dan Fungsi Organel Sel .....</b>	<b>43</b>
Latihan .....	78
Ringkasan .....	79
Tes 1 .....	82
<b>Topik 2.</b>	
<b>Dinding dan Membran Sel .....</b>	<b>84</b>
Latihan .....	105
Ringkasan .....	106

Tes 2.....	107
<b>Topik 3.</b>	
<b>Nukleus/Inti Sel .....</b>	<b>110</b>
Latihan .....	119
Ringkasan.....	119
Tes 3.....	120
<b>KUNCI JAWABAN TES .....</b>	<b>121</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>122</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>123</b>
<b>BAB 3: REPRODUKSI SEL/PEMBELAHAN SEL</b>	<b>125</b>
<b>Topik 1.</b>	
<b>Jenis Pembelahan Sel .....</b>	<b>127</b>
Latihan .....	137
Ringkasan.....	138
Tes 1.....	139
<b>Topik 2.</b>	
<b>Identifikasi Jenis Perbedaan Pembelahan Sel .....</b>	<b>141</b>
Latihan .....	150
Ringkasan.....	150
Tes 2.....	152
<b>KUNCI JAWABAN TES .....</b>	<b>154</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>155</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>156</b>

<b>BAB 4: REGULASI SIKLUS SEL</b>	<b>157</b>
<b>Topik 1.</b>	
<b>Konsep Dasar Regulasi Siklus Sel .....</b>	<b>159</b>
Latihan .....	163
Ringkasan .....	163
Tes 1 .....	164
<b>Topik 2.</b>	
<b>Tahap Regulasi Siklus Sel .....</b>	<b>166</b>
Latihan .....	173
Ringkasan .....	174
Tes 2 .....	175
<b>Topik 3.</b>	
<b>Sel Kanker .....</b>	<b>177</b>
Latihan .....	187
Ringkasan .....	188
Tes 3 .....	189
<b>KUNCI JAWABAN TES .....</b>	<b>191</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>192</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>194</b>
<b>BAB 5: TINJAUAN UMUM KONSEP DASAR GENETIKA</b>	<b>195</b>
<b>Topik 1.</b>	
<b>Konsep Dasar Genetika .....</b>	<b>197</b>
Latihan .....	207
Ringkasan .....	208
Tes 1 .....	208
<b>Topik 2.</b>	
<b>Konsep Gen, Alel dan Kromosom .....</b>	<b>211</b>
Latihan .....	224

Ringkasan.....	224
Tes 2.....	225
<b>Topik 3.</b>	
<b>Teknik Rekayasa Genetika .....</b>	<b>228</b>
Latihan .....	232
Ringkasan.....	233
Tes 3.....	233
<b>Topik 4.</b>	
<b>Genetika Golongan Darah Manusia .....</b>	<b>235</b>
Latihan .....	244
Ringkasan.....	245
Tes 4.....	246
<b>KUNCI JAWABAN TES .....</b>	<b>249</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>250</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>251</b>
<b>BAB 6: KONSEP MENDEL, PEWARISAN SIFAT, DAN PENYAKIT KELAINAN GENETIKA</b>	<b>253</b>
<b>Topik 1.</b>	
<b>Hukum Mendel dan Non Mendel .....</b>	<b>255</b>
Latihan .....	266
Ringkasan.....	267
Tes 1.....	267
<b>Topik 2.</b>	
<b>Kelainan Genetika dan Penyakit yang diturunkan dari Kromosom Autosomal Resesif dan Dominan .....</b>	<b>271</b>
Latihan .....	282
Ringkasan.....	282
Tes 2.....	283

**Topik 3.**

<b>Kelainan Genetika dan Penyakit yang diwariskan dari Kromosom Gonosom (<i>X-Linked</i> dan <i>Y-Linked</i>) dan Pengaruh Mutasi/ Aberasi Kromosom .....</b>	<b>286</b>
Latihan .....	299
Ringkasan .....	300
Tes 3 .....	301
<b>KUNCI JAWABAN TES .....</b>	<b>304</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>305</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>306</b>



# Bab 1

## TINJAUAN UMUM KONSEP DASAR BIOLOGI SEL

*Rodhi Hartono, SKP, NS, M.Biomed*  
*Rudina Azimata Rosyidah, S.Si, M.Biomed*

### Pendahuluan

**S**elamat berjumpa, selamat mempelajari bahan ajar Biologi Sel dan Genetika. Bab 1 yang sedang Anda pelajari ini merupakan materi yang menguraikan tentang tinjauan umum konsep dasar biologi sel sehingga akan memberikan gambaran mendasar tentang ilmu biologi sel, ilmuwan yang memelopori penemuan ilmu biologi sel dan genetika, cara pengamatan sel sampai tentang jenis, ukuran, struktur dan organel yang ada pada sel. Bab 1 ini akan diuraikan dalam 2 topik pembelajaran sehingga memudahkan Anda untuk dapat memahaminya, yaitu:

1. Topik 1 : Pengantar Perkembangan Biologi Sel
2. Topik 2 : Biologi Sel

Materi dalam Bab 1 ini akan memberikan manfaat bagi Anda sebagai landasan dasar dalam memahami bab lanjutan sehingga akan memberikan ketertarikan untuk mempelajarinya. Agar diperoleh hasil yang optimal maka dalam mempelajari Bab 1 ini Anda disarankan untuk:

1. Mempelajari Topik 1 terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan Topik 2 dan seterusnya. karena Topik 1 merupakan dasar Anda untuk memahami uraian pada Topik 2 dan selanjutnya.
2. Mengerjakan Latihan tanpa melihat isi uraian Bab 1.
3. Melihat ringkasan dalam setiap topik dan bandingkan dengan pemahaman Anda saat mempelajari materi yang diuraikan.
4. Mengerjakan Tes tanpa melihat isi uraian Bab 1

Biologi sebagai ilmu dan ciri-ciri kehidupan yang terdiri dari dua kata, bio dari Bahasa latin “*bios*” yang berarti hidup atau kehidupan dan logi dari kata “*logos*” yang artinya adalah ilmu atau pengetahuan. Jadi arti kata biologi secara keseluruhan adalah suatu ilmu atau

pengetahuan yang mempelajari tentang sesuatu yang hidup atau yang mempelajari makhluk hidup.

Biologi menyangkut pembahasan tentang makhluk hidup yang paling sederhana sampai makhluk hidup yang paling kompleks yaitu manusia, terutama bagi teknisi pelayanan darah yang langsung menggunakan manusia sebagai obyek tranfusi darah. Biologi merupakan ilmu dasar yang wajib dipelajari bagi mahasiswa kesehatan termasuk di Program Studi Diploma 3 Teknologi Bank Darah.

Darah merupakan salah satu contoh sel yang sangat berperan dalam kehidupan manusia dan seorang teknisi pelayanan darah harus mengetahui ilmu dasar mengenai sel, bagian sel, reproduksi sel dan regulasi sel. Biologi sel sebagai bagian dari bidang ilmu Biologi Kedokteran sangat penting berkontribusi dalam pelayanan darah sebagai dasar mempelajari ilmu lainnya seperti Biologi Manusia, Genetika Dasar, Immunologi Dasar, Biologi Molekuler dan sebagainya. Pembahasan tentang isi sel dan proses-proses yang terjadi dalam sel berkaitan dengan kaidah yang berlaku dalam ilmu biokimia. Peran biologi sel merupakan dasar dalam mempelajari ilmu kedokteran lebih lanjut dan bagi mahasiswa Teknologi Bank Darah perlu menguasai konsep dasar Biologi Sel sebagai landasan pengetahuan yang melengkapi keterampilan dalam pelayanan dan pengelolaan darah.

Sel merupakan unit terkecil organisme/makhluk hidup yang dapat melaksanakan fungsi hidup sendiri dan bereplikasi atau memperbanyak diri. Sel merupakan penyusun tubuh organisme yang terulang unsur-unsurnya, baik pada tumbuhan, hewan, dan manusia. Berdasarkan jumlah sel yang dimiliki makhluk hidup, organisme dibedakan menjadi dua tingkatan, yaitu organisme uniseluler dan organisme multiseluler. Pada organisme uniseluler, tubuhnya terdiri atas satu sel sehingga seluruh kegiatan hidupnya dilaksanakan oleh sel itu sendiri. Contohnya: *Amoeba*, *Paramecium*, dan Bakteri. Pada organisme multiseluler, tubuhnya tersusun atas banyak sel yang memiliki fungsi masing-masing.

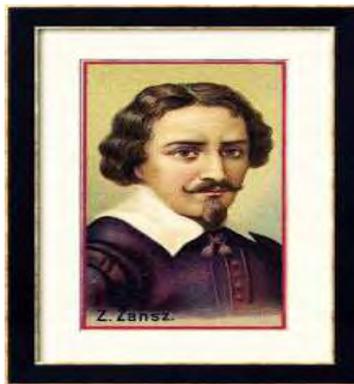
**SELAMAT BELAJAR DAN SUKSES SELALU!**

# Topik 1

## Pengantar Perkembangan Biologi Sel

**P**erkembangan ilmu tentang sel didukung dengan penemuan alat-alat optik yang membantu dalam pemeriksaan sel yang berukuran mikroskopis dan disimpulkan bahwa sel adalah struktur dasar dan unit fungsional dari makhluk hidup. Dengan mempelajari sejarah perkembangan sel diharapkan mahasiswa Prodi D III Teknologi Bank Darah mampu menjelaskan bagaimana munculnya biologi sel sebagai ilmu baru dan perkembangannya sampai saat ini.

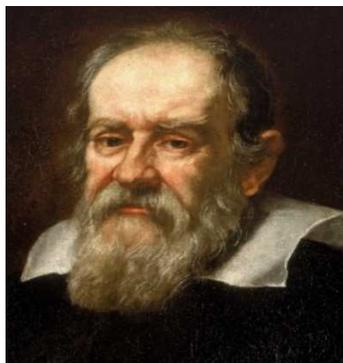
Ilmuwan pertama yang membuat Mikroskop dan Lensa pembesar adalah Zacharias Jansen pada pertengahan Tahun 1500, lalu pada awal abad 17 Galileo Galilei menemukan alat dua lensa yang menggambarkan struktur tipis dari mata serangga.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 1.1**

Zacharias Jansen



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 1.2**

Galileo Galilei

Pada Tahun 1665 Robert Hooke melakukan pengamatan pertama mengenai sel pada irisan jaringan gabus ubi kayu. Dari penelitiannya memperkenalkan istilah latin “Cellulae” yang berarti ruangan kecil atau rongga kosong sehingga disimpulkan bahwa gabus merupakan bangunan yang berlubang-lubang kecil seperti sarang lebah. Hal ini terjadi karena jaringan gabus yang diamati oleh Robert Hooke merupakan jaringan mati dan sejak saat itulah dikenal istilah sel sehingga Robert Hooke dikukuhkan sebagai penemu sel.



(*Sumber* : Image.google.co.id)

**Gambar 1.3**

Robert Hooke

Tahun 1674 selanjutnya Antonie Van Leeuwenhoek dengan menggunakan mikroskop yang masih sangat sederhana dengan menggunakan rendaman air jerami dapat meneliti sel-sel yang bebas dan melihat adanya bangunan ditengah sel yang sekarang dikenal dengan istilah Inti sel.



(*Sumber* : Image.google.co.id)

**Gambar 1.4**

Antonie Van Leeuwenhoek

Robert Brown (1831) menyatakan sel merupakan suatu ruangan kecil yang dibatasi oleh membran yang didalamnya terdapat cairan sitoplasma (protoplasma). Pada tahun 1839, fisiolog Purkinje memperkenalkan istilah protoplasma bagi zat hidup dari sel. Istilah protoplasma Purkinje tidak memberi pengertian kimiawi dan fisik yang jelas, tetapi dapat dipakai untuk menyebut semua zat yang terorganisasi dalam sel.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 1.5**

Robert Brown

Rudolf Virchow pada tahun 1857 menyatakan bahwa sel berasal dari sel yang ada sebelumnya. Sel membelah menjadi dua sel (berkembang biak) dan mengemukakan tentang teori biogenesis “ life from life” . Teori ini menumbangkan teori Generatio Spontanea. Matthias Schleiden (ahli Botani) menyatakan bahwa semua tumbuhan tersusun dari sel dan Theodore Schwann (ahli Zoologi) pada tahun 1839 menyatakan bahwa sel adalah bagian dari organisme dan semua makhluk hidup tersusun atau terdiri atas sel-sel yang disebut sebagai teori sel. Jadi semua makhluk hidup merupakan kumpulan dari sel-sel atau sel merupakan elemen dasar dari makhluk hidup. Kedua ilmuwan tersebut sebagai bapak sitologi modern membuktikan bahwa sel hidup berisi cairan sitoplasma untuk segala aktivitas dasar makhluk hidup. Pembuktian ini berkembang menjadi teori sel yang menyatakan bahwa semua tubuh hewan dan tumbuhan terdiri atas sel-sel, yaitu unit dasar dari kehidupan.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 1.6**

Rudolf Virchow - Matthias Schleiden - Theodore Schwann

## A. CARA PENGAMATAN SEL

Berdasarkan penemuan dari beberapa ilmuwan yang mendukung tentang pemeriksaan sel, untuk saat ini telah dikembangkan untuk mengidentifikasi sel melalui beberapa cara pengamatan sel sebagai berikut:

### 1. Mikroskop

Kata mikroskop berasal dari gabungan dua kata yakni “micro” yang berarti kecil dan “scopein” yang berarti melihat. Mikroskop merupakan alat yang digunakan untuk mengamati mikroorganisme yang tidak bisa dilihat dengan mata. Mikroskop dapat memperbesar obyek pengamatan hingga 40 kali, 100 kali hingga 1000 kali lipat. Saat ini terdapat dua jenis mikroskop yaitu mikroskop cahaya sebagai sumber penyinaran dan mikroskop elektron yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya. Mikroskop sendiri pertama kali ditemukan oleh Antonie van Leewenhoek ketika melakukan pengamatan pada mikroorganisme pada rendaman air jerami.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 1.7**

Mikroskop dan Bagianya

### 2. Mikroteknik

Merupakan alat yang digunakan untuk membuat sediaan sel dan jaringan baik pada tumbuhan maupun pada hewan. Mikrotom membuat preparat lebih jelas untuk diamati karena diperoleh preparat tipis sehingga lebih memudahkan dalam melakukan pengamatan.



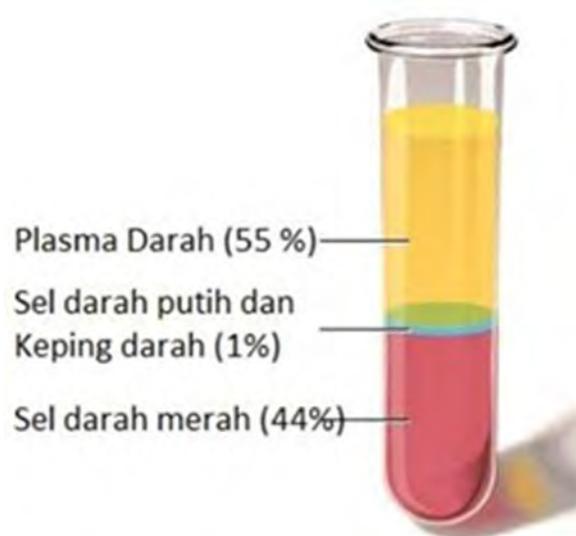
(*Sumber* : Image.google.co.id)

**Gambar 1.8**

Mikrostom

### 3. Teknik fraksinasi

Teknik yang digunakan untuk mengisolasi atau memisahkan suatu komponen sel misalnya mengisolasi sel darah sehingga dapat dibedakan antar masing masing sel.



(*Sumber* : Image.google.co.id)

**Gambar 1.9**

Teknik Fraksinasi pada Sel Darah

## Latihan

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

- 1) Buatlah ringkasan sejarah biologi sel dengan menggunakan tabel di bawah ini:

Jenis Penemuan	Ilmuwan	Tahun Penemuan	Keterangan

- 2) Untuk dapat memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!
- Istilah sel untuk pertama kalinya diperkenalkan oleh.....
  - Jelaskan teori biogenesis yang memunculkan istilah “life from life”?
  - Jelaskan beberapa cara dalam pengamatan sel!

## Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk dapat membuat ringkasan sejarah biologi sel Anda harus mempelajari materi di atas dengan baik.
- 2) Untuk dapat mengerjakan soal nomor 2 ikuti petunjuk di bawah ini.
- Anda dapat memperhatikan materi perkembangan ilmu tentang sel Robert Hooke.
  - Anda dapat memperhatikan teori tentang Rudolf Virchow.
  - Anda dapat memperhatikan tentang Materi Cara pengamatan sel.

## Ringkasan

- Sel merupakan penyusun tubuh organisme sebagai unit terkecil organisme yang dapat melaksanakan fungsi hidup sendiri dan berreplikasi atau memperbanyak diri.
- Istilah sel pertama kali dipakai oleh Robert Hooke, pada Tahun 1665, untuk ruang-ruang kecil seperti kotak yang dilihatnya pada waktu mengamati gabus dan bahan tumbuhan lain di bawah mikroskop.
- Serangkaian penemuan ilmuwan menggambarkan perkembangan tentang keberadaan sel makhluk hidup. Teknik pengamatan sel dapat melalui beberapa cara yaitu menggunakan Mikroskop, Mikroteknik dan Teknik Fraksinasi.

## Tes 1

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Ilmuwan yang mengemukakan teori sel adalah.....
  - A. Robert Hooke
  - B. Robert Brown
  - C. Schleiden dan Schwann
  - D. Antonie van Leewenhoek
  
- 2) Mikroskop sebagai alat untuk mengamati sel dan organelnya pada awalnya sangat sederhana dan pertama kali ditemukan oleh.....
  - A. Robert Hooke
  - B. Robert Brown
  - C. Schleiden dan Schwann
  - D. Antonie van Leewenhoek
  
- 3) Suatu cara pengamatan sel dengan alat yang digunakan untuk membuat sediaan sel dan jaringan baik pada tumbuhan maupun pada hewan adalah.....
  - A. Mikroskop
  - B. Plasmolisis
  - C. Mikroteknik
  - D. Teknik fraksinasi
  
- 4) Teori Biogenesis "Life from Life" menyatakan.....
  - A. Sel membelah menjadi dua sel
  - B. Sel adalah unit terkecil makhluk hidup
  - C. Sel berasal dari sel yang ada sebelumnya
  - D. Sel yang hidup akan berakhir dengan kematian
  
- 5) Arti bahasa latin "Cellulae" adalah.....
  - A. Benda kecil
  - B. Ruang kecil
  - C. Benda mati
  - D. Benda hidup

- 6) Teknik Fraksinasi adalah teknik pengamatan sel yang digunakan untuk.....
- A. Benda mati
  - B. Memisahkan sel
  - C. Mencari bentuk sel
  - D. menggabungkan antar sel
- 7) Alat yang digunakan untuk pembentukan preparat sel sedemikian tipis adalah.....
- A. Mikrotom
  - B. Mikroskop
  - C. Mikroplate
  - D. Mikroteknik
- 8) Semua Tumbuhan hidup tersusun dari sel adalah pendapat dari ahli botani.....
- A. Robert Brown
  - B. Rudolf Virchow
  - C. Mathias Schleiden
  - D. Theodore Schwann
- 9) Istilah Protoplasma diperkenalkan oleh.....
- A. Mathias Schleiden
  - B. Rudolf Virchow
  - C. Robert Brown
  - D. Purkinje
- 10) Amoeba merupakan contoh organisme.....
- A. Metaselluler
  - B. Multiselluler
  - C. Unselluler
  - D. Uniselluler

# Topik 2

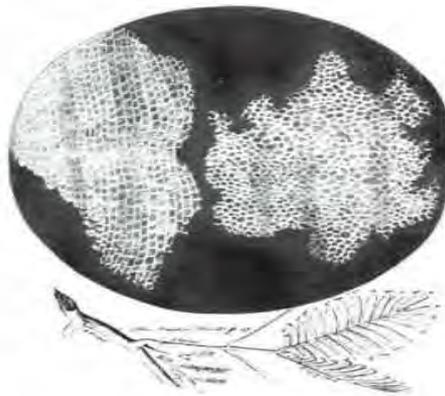
## Biologi Sel

**S**el tersusun atas senyawa organik dan anorganik. Senyawa organik terdiri 10-20% di dalam sel tersusun atas protein, karbohidrat, dan unsur mineral. Senyawa-senyawa ini terlarut di dalam sitoplasma. Protein sangat diperlukan dalam pembentukan DNA dan RNA sebagai materi genetik yang mewariskan sifat induk kepada keturunannya. Senyawa anorganik terdiri atas air 75-85 %. Air yang terdapat di dalam sel harus dalam keadaan isotonic atau seimbang. Jika kadar air dalam sel terlalu rendah maka akan menyebabkan terjadinya krenasi (sel mengkerut) dan plasmolisis (lepasnya membran sel dari dinding sel), jika kadar air di dalam sel terlalu tinggi hal ini dapat menyebabkan lisis (pecah).

### A. KONSEP BIOLOGI SEL DAN BIOLOGI MOLEKULER

Setiap organisme yang hidup tersusun dari sel sebagai unit terkecil penyusun tubuh manusia atau organisme baik sebagai makhluk hidup uniseluler (satu sel) maupun sebagai makhluk hidup multiseluler (banyak sel). Sel adalah komponen terkecil dalam kehidupan yang memiliki morfologi atau bentuk dan ukuran beragam. Sebagai contoh makhluk hidup uniseluler adalah bakteri dan protozoa sedangkan manusia, hewan dan tumbuhan adalah makhluk hidup dengan banyak sel atau multiseluler. Secara struktural, tubuh manusia tersusun atas sel-sel sehingga sel disebut sebagai satuan structural makhluk hidup. Sedangkan secara fungsional, tubuh manusia atau makhluk hidup dapat menyelenggarakan kehidupan jika sel-sel tersebut sebagai penyusun tubuh dapat berfungsi dengan baik sehingga sel disebut juga sebagai satuan fungsional makhluk hidup.

Biologi sel disebut juga dengan istilah Sitologi berasal dari bahasa Yunani "Kytos" yaitu wadah merupakan ilmu yang mempelajari tentang sel baik pengertiannya, sifat fisiologis sel seperti struktur dan ragam organel atau perangkat sel yang terdapat di dalam sel, daur hidup sel, pembelahan sel dan fungsi sel sampai tahap kematian sel. Robert Hooke merupakan penemu sel pertama kali melalui pengamatan menggunakan mikroskop. Lahir di Freshwater, Isle of Wight Inggris pada 18 Juli 1635 sebagai ahli kimia dan matematika, arsitek serta filsafat. Pada Tahun 1665, Robert Hooke mengamati sayatan gabus dari batang *Quercus Suber* menggunakan mikroskop dan menemukan adanya gambaran ruang kosong yang dibatasi dinding tebal dalam pengamatannya. Ruang kosong tersebut disebut dengan istilah *Cellulae* yang artinya sel. Sedangkan orang yang pertama kali mengamati dan mendeskripsikan organisme uniseluler atau bersel satu melalui mikroskop adalah Antony Philips Van Leeuwenhoek berasal dari Negara Belanda dan disebut sebagai bapak Biologi.

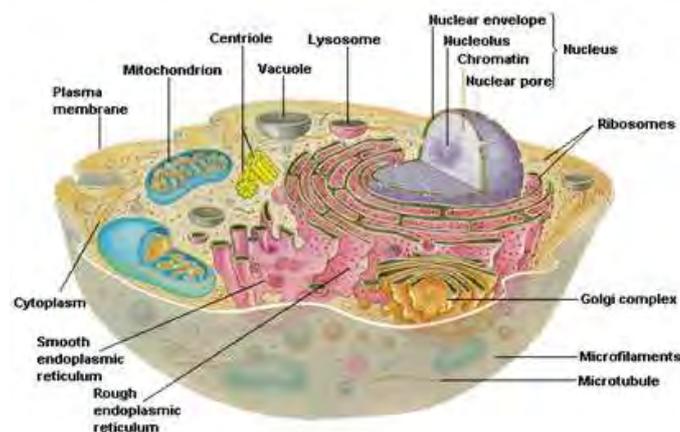


(Sumber : [Image.google.co.id](http://Image.google.co.id))

**Gambar 1.10.**

Struktur Gabus Micrographia

Perkembangan selanjutnya, Robert Hooke menemukan perbedaan antara sel gabus dengan sel yang masih hidup. Ternyata dalam sel yang masih hidup terdapat cairan pekat yang dikemudian hari disebut dengan nama protoplasma berasal dari bahasa Yunani “protos” yang berarti pertama dan “plasma” yang berarti hal terbentuk. Sehingga sel merupakan tempat berongga “cytos” dalam bahasa Yunani dan kantong yang berisi “cella” dalam bahasa Romawi.



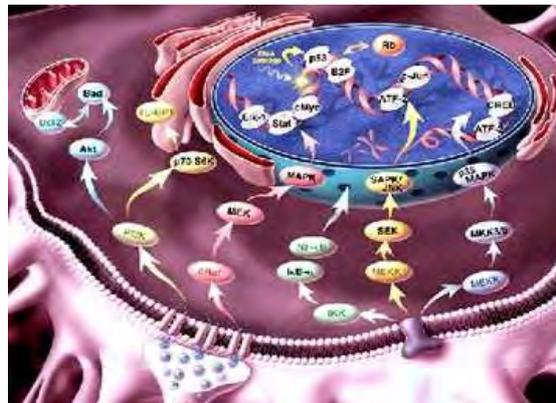
(Sumber : [Image.google.co.id](http://Image.google.co.id))

**Gambar 1.11**

Gambaran Sel Manusia

Biologi Molekuler atau Biologi Molekul merupakan salah satu cabang ilmu Biologi yang mempelajari mengenai fungsi dan organisasi pada makhluk hidup ditinjau dari struktur dan regulasi molekuler unsur atau komponen penyusunnya seperti interaksi molekul dalam

kehidupan mahluk, interaksi DNA, RNA dan sintesis protein serta bagaimana interaksi tersebut diatur. Salah satu teknik dasar biologi molekuler adalah teknologi kloning. Biologi molekuler merupakan ilmu multidisiplin karena mencakup biokimia, biologi sel dan genetika. Pengertian biologi molekuler pertama kali dikemukakan oleh William Astbury pada Tahun 1945.

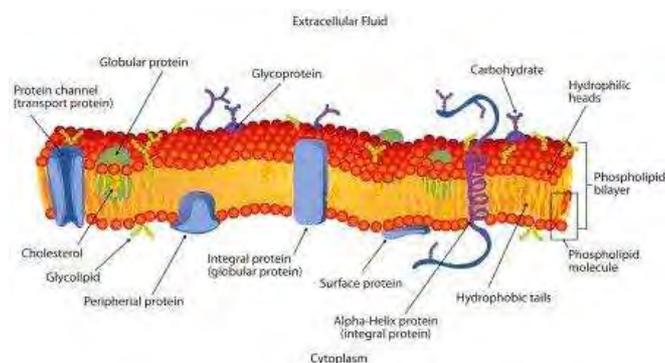


(Sumber : [Image.google.co.id](http://Image.google.co.id))

**Gambar 1.12**

Interaksi molekuler antar membrane dan inti sel

Proses interaksi molekuler pada sel terlihat sangat menarik jika kita memperhatikan struktur membrane sel yang terdiri atas lapisan komponen glycoprotein, lipid yang bersifat hidrofobik atau tidak dapat ditembus oleh air dan bagian luar yang bersifat hidrofilik dan karbohidrat yang memungkinkan terjadinya pertukaran secara molekuler berbagai zat yang dibutuhkan oleh kehidupan sel dan sekaligus barrier atau pelindung terhadap pertukaran atau masuknya molekul yang tidak diharapkan oleh sel. Seperti terlihat pada gambar Gambar 1.13.



(Sumber : [Image.google.co.id](http://Image.google.co.id))

**Gambar 1.13**

Lapisan Membran Sel

## **B. JENIS SEL BERDASAR STRUKTUR ULTRA SEL**

Setiap makhluk hidup tersusun atas sel sebagai unit terkecil yang terdiri atas inti sel, membran sel dan sitoplasma. Akan tetapi berdasarkan struktur ultra sel maka sel terbagi menjadi dua jenis yaitu Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik.

### **1. Sel Prokariotik**

Sel Prokariotik adalah sel yang tidak memiliki membran internal sitoplasma baik pada inti sel maupun pada organel sel sehingga inti sel tersebar di dalam sitoplasma atau dengan kata lain sel prokariotik merupakan sel yang tidak memiliki membran baik pada inti sel maupun pada organel sel. Sehingga sel prokariotik tidak memiliki organel sel seperti Mitokondria dan organel lainnya hanya memiliki ribosom sebagai organel sel prokariotik. Contoh sel prokariotik terkecil adalah Nanobacterium yang memiliki diameter 200 nanometer. Sedangkan contoh sel prokariotik terbesar adalah Thiomargarita Namibiensis dengan diameter 0,1 - 0,3 mm.

Kelompok yang tergolong sel prokariotik adalah organisme tingkat rendah dari filum monera contohnya bakteri dan alga biru (Cyanophyta). Organel-organel sel yang dimiliki prokariotik sangat sederhana dibandingkan dengan sel eukariotik. Beberapa organel yang tidak dimiliki oleh sel prokariotik tapi terdapat pada sel eukariotik antara lain retikulum endoplasma, kompleks golgi, mitokondria, lisosom, dan sentriol.

Organel sel prokariotik antara lain meliputi dinding sel, membran plasma, sitoplasma, ribosom, mesosom, flagela, plasmid, DNA dan RNA. Karakteristik gambaran organel sel Prokariotik sebagai berikut :

#### **a. Dinding sel**

Tersusun atas polisakarida, lipid dan protein yang berfungsi sebagai pelindung sel dan memberi bentuk yang konstan. Pada dinding sel terdapat pori-pori sebagai jalan keluarnya molekul.

#### **b. Membran plasma**

Tersusun atas lipid bilayer serta protein yang berfungsi sebagai pelindung sel terhadap lingkungan serta mengatur lalu lintas molekul dan ion yang keluar masuk ke sel.

#### **c. Sitoplasma**

Sitoplasma merupakan plasma sel yakni cairan yang berada di dalam sel. Cairan sel ini tersusun atas tersusun atas air, mineral, lemak, protein, ion dan nukleotida, enzim yang berfungsi sebagai katalisator dalam proses metabolisme sel, baik anabolisme (pembentukan/sintesis) maupun katabolisme (penguraian/perombakan)

d. Mesosom

Berfungsi sebagai tempat terjadinya respirasi untuk menghasilkan energi. Biasanya mesosom terletak dekat dinding sel yang baru terbentuk pada saat pembelahan biner sel bakteri. Mesosom merupakan pengganti organel mitokondria yang tidak dimiliki oleh sel prokariotik. Baik mesosom maupun mitokondria memiliki fungsi yang sama yaitu untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP (Adenine Tri Phospat). Energi yang dihasilkan oleh mesosom hanya 2 ATP saja, sangat rendah di bandingkan dengan mitokondria yang dapat menghasilkan energi hingga 38 ATP. Hal ini karena energi yang dibutuhkan untuk hidup pada kelompok sel prokariotik sangat sedikit dibandingkan oleh kelompok sel prokariotik.

e. Ribosom

Berfungsi sebagai tempat sintesa protein. Di dalam *Eschericia coli* terkandung 15.000 butir ribosom atau 25 % massa total sel bakteri. Baik sel prokariotik maupun eukariotik memiliki organel ribosom karena fungsinya yang sangat penting dalam proses pembentukan protein yang sangat diperlukan untuk pembentukan DNA, RNA dan pertumbuhan makhluk hidup.

f. DNA dan RNA

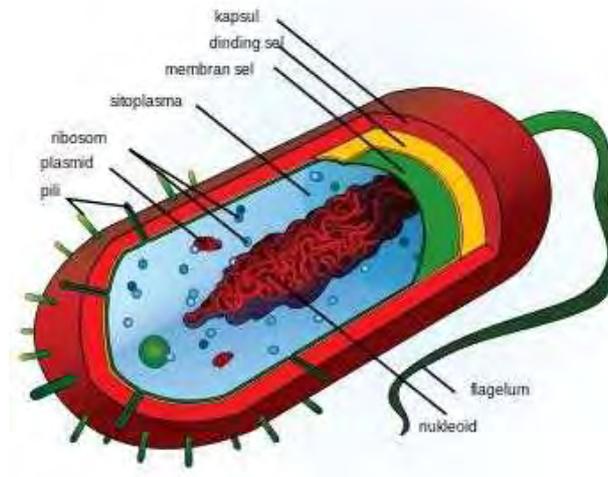
Deoksiribo Nucleat Acid (DNA) berfungsi membawa informasi genetik yakni sifat yang akan diwariskan kepada keturunannya, sementara Ribo Nucleat Acid merupakan senyawa hasil transkripsi DNA. Baik DNA maupun RNA tersusun atas fosfat, gula pentosa dan basa nitrogen. Pembahasan perbedaan dua senyawa ini akan dibahas pada pertemuan berikutnya.

g. Plasmid

Merupakan cincin DNA bakteri berbentuk sirkular (bulat), dapat bereplikasi serta digunakan untuk pertahanan. Plasmid digunakan sebagai vektor dalam pembuatan hormon insulin untuk mengobati penyakit Diabetes mellitus. Teknik rekayasa genetika yakni pembentukan insulin untuk mengobati Diabetes mellitus oleh bakteri *Eschericia coli* lebih detail akan diberikan pada materi berikutnya.

h. Flagella dan Filli Sel

Flagella digunakan sebagai alat gerak sementara filli sebagai alat untuk menempel pada sel hospes.



(Sumber : [Image.google.co.id](http://Image.google.co.id))

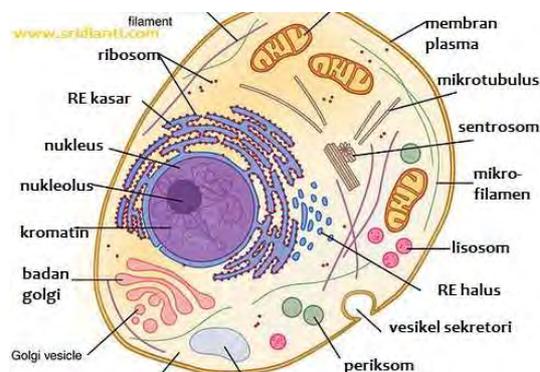
**Gambar 1.14**

Struktur Sel Prokariotik

## 2. Sel Eukariotik

Sel Eukariotik adalah sel yang memiliki membran inti sehingga inti sel terkumpul pada daerah inti sel dan memiliki dua jenis organel yaitu organel bermembran dan tidak bermembran. Sel eukariotik merupakan sel yang memiliki membran nukleus (inti sel) sehingga bahan inti berada di dalam nukleus. Sel eukariotik umumnya dimiliki oleh makhluk hidup multiseluler sehingga memiliki organel yang lebih lengkap dibandingkan dengan sel tipe prokariotik (uniseluler). kelompok yang tergolong eukariotik adalah sel hewan, sel tumbuhan, fungi, protista.

Organel sel eukariotik antara lain terdiri dari membran plasma, sitoplasma, nukleus, sentriol, retikulum endoplasma, kompleks golgi, lisosom, peroksisom, mitokondria, mikrotubulus dan mikrofilamen.



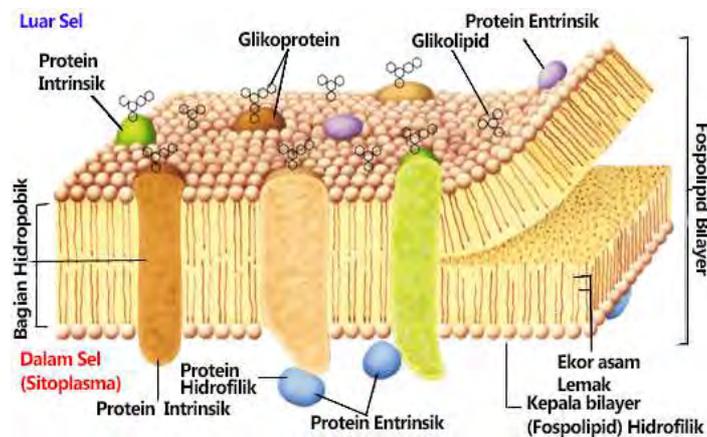
(Sumber : [www.Sridianti.com](http://www.Sridianti.com))

**Gambar 1.15**

Gambaran Organel Sel

a. Membran plasma

Membran plasma tersusun atas lipid dan protein, glikolipid, glikoprotein, polisakarida. Membran plasma terdiri atas lipid bilayer yakni dua lapis lipid yang ditengahnya terdapat protein (teori model membran mozaik cair). Lipid tersusun atas kepala (head) yang bersifat hidrofilik (mendekati air) dan ekor (tail) yang bersifat hidropobik (menjauhi air). Protein terdiri atas protein perifer (tepi) dan protein integral. Protein perifer merupakan protein yang terdapat pada bagian tepi luar dan dalam membran. Protein integral menembus masuk ke dalam lapisan lipid. Molekul gula berdasarkan tempatnya terbagi atas dua yaitu gula yang melekat pada lipid dinamakan glikolipid, sementara gula yang melekat pada protein dinamakan glikoprotein. Membran plasma berfungsi mengatur keluar masuknya molekul, melindungi isi sel dan menerima rangsangan dari luar.



(Sumber : <http://www.informasi-pendidikan.com>)

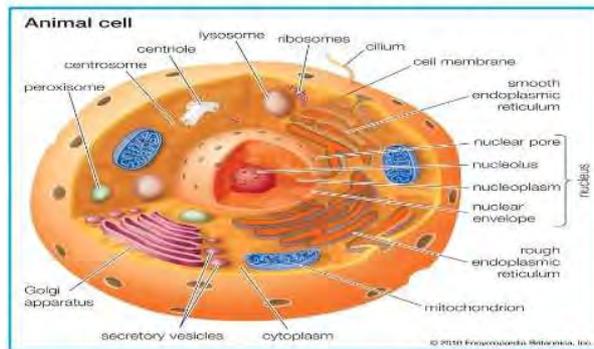
**Gambar 1.16**

Struktur Membran Sel

b. Sitoplasma

Sitoplasma sebagian besar tersusun atas air dan berisi bahan kimia baik yang bermolekul besar maupun kecil seperti protein, enzim, ion organik dan anorganik, gula, lemak, nucleotida dll. Semua senyawa yang tersuspensi di dalam sitoplasma berguna dalam proses metabolisme sel dalam mempertahankan hidupnya.

# SITOPLASMA



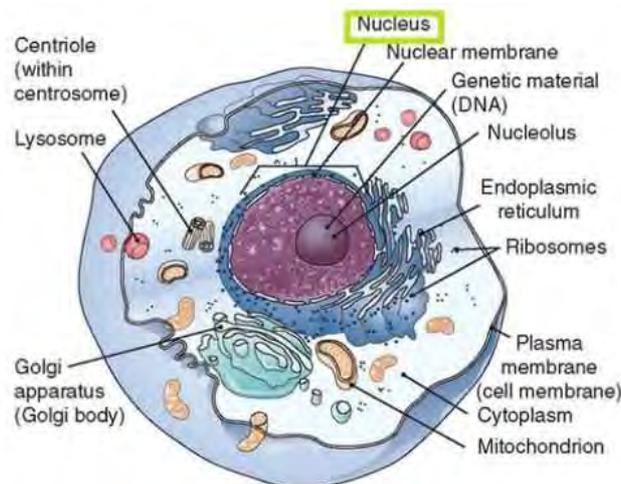
(Sumber : <https://www.dosenpendidikan.co.id/fungsi-sitoplasma>)

**Gambar 1.17**

Sitoplasma Sel

## c. Nucleus

Nucleus merupakan organel paling besar di dalam sel yang berperan dalam mengatur aktivitas sel dan pembawa informasi genetik. Nucleus terdapat kromatin, nucleolus, protein, asam nucleat, beberapa unsur seperti Mg, Ca, Na, K, P. Nucleus terbagi atas 3 bagian yakni membran nucleus, nucleoplasma (cairan nucleus) sebagai tempat beradanya kromosom, serta nucleolus sebagai tempat terjadinya transkripsi dalam proses sintesis protein.



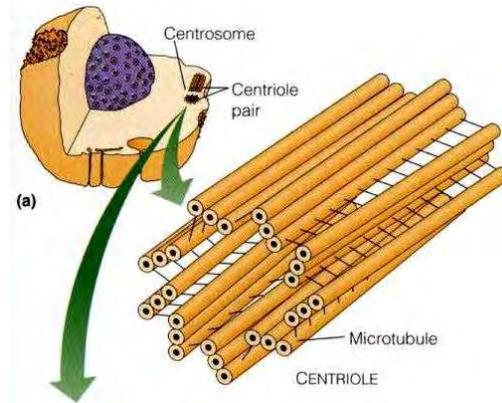
(Sumber : <https://ekosistem.co.id/fungsi-nukleus>)

**Gambar 1.18**

Gambaran Nukleus Sel

d. Sentriol

Merupakan organel yang berperan dalam pembelahan sel. Sentriol terdiri atas sepasang yang pada saat pembelahan sel akan terbagi menjadi dua, masing masing bagian akan menuju ke kutub sel sehingga terbentuk benang spindel yang menarik kromosom menuju kutub yang berlawanan.



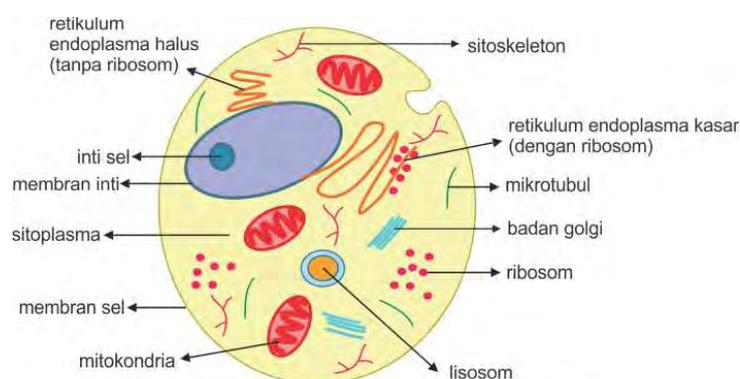
(Sumber : [https:// docplayer.info/Kerangka-sel](https://docplayer.info/Kerangka-sel))

**Gambar 1.19**

Sentriol Sel

e. Ribosom

Ribosom sangat berperan dalam sintesa protein. Baik sel prokariotik dan eukariotik sama sama memiliki organel ini. Terdiri atas ribosom bebas yang tersebar di dalam sitoplasma dan ribosom terikat yang melekat dalam di Retikulum Endoplasma.



Gambar Ilustrasi Sel Hewan (sumber: [www.siswapeda.com](http://www.siswapeda.com))

(Sumber : <https://www.siswapeda.com>)

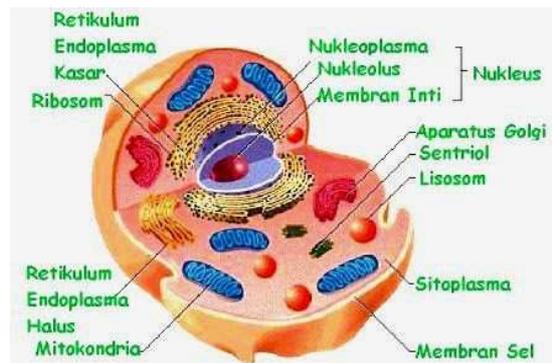
**Gambar 1.20**

Ribosom pada Sel

f. Retikulum Endoplasma (RE)

Retikulum endoplasma merupakan organel yang berfungsi dalam proses transportasi protein. Membran RE menyatu dengan membran nucleus sehingga hasil sintesa protein pada nucleus akan langsung dibawa ke sitoplasma melewati RE. RE dibedakan menjadi:

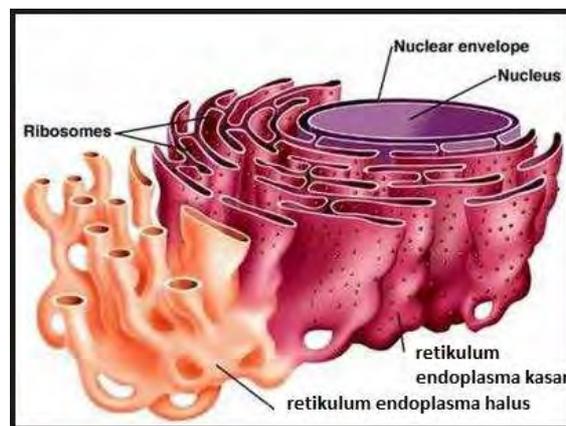
- 1) RE kasar merupakan RE yang ditempeli ribosom. RE kasar ditemukan pada sel yang memproduksi protein.
- 2) RE halus/RE merupakan RE yang tidak ditempeli ribosom berfungsi sebagai tempat metabolisme asam lemak misalnya pada sel pankreas.



(Sumber : [https:// medium.com](https://medium.com))

**Gambar 1.21**

Gambaran Retikulum Endoplasma dalam Sel



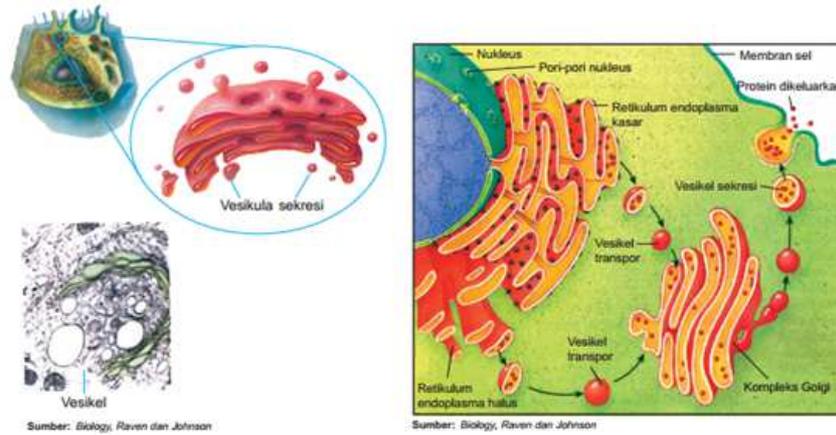
(Sumber : [https:// hisham.id](https://hisham.id))

**Gambar 1.22**

Retikulum Endoplasma Kasar dan Halus

g. Kompleks Golgi

Merupakan organel sekretori dan mengatur keluar suatu senyawa dari sel sehingga terdapat antara RE dan membran plasma. Kompleks golgi memiliki membran pipih, berpembuluh, jika di amati di bawah mikroskop bentuknya seperti mangkuk



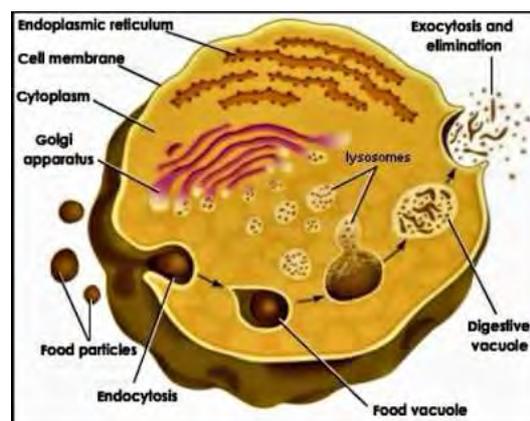
(Sumber : [https:// www.plengdut.com/kompleks-golgi](https://www.plengdut.com/kompleks-golgi))

**Gambar 1.23**

Kompleks Golgi

h. Lisosom

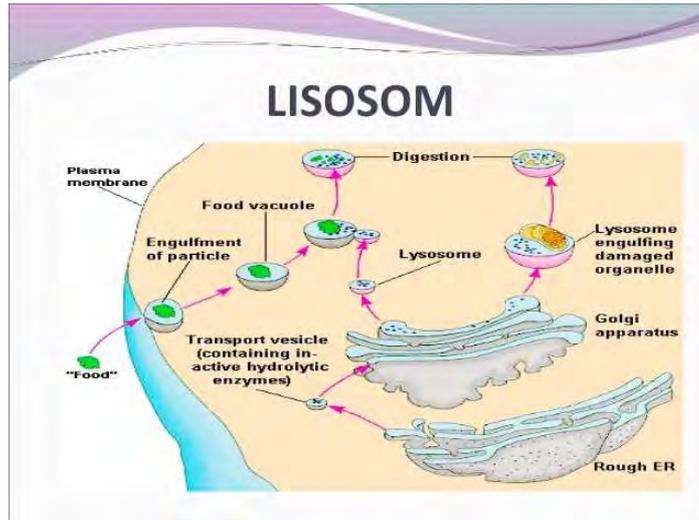
Berperan dalam pencernaan intraseluler yang mengandung enzim hidrolitik bernama lisosom. Enzim ini bertugas zat yang masuk kedalam sel. Sebagai contoh benda asing misalkan bakteri masuk kedalam sel, maka bakteri akan dimasukan kedalam vakuola. Selanjutnya lisosom akan datang dan mencerna bakteri tersebut. Penyakit rematik terjadi karena kegagalan lisosom mencerna asam urat yang dihasilkan dari makanan.



(Sumber : [https:// www.slideshare.net/retno05](https://www.slideshare.net/retno05))

**Gambar 1.24**

Lisosom



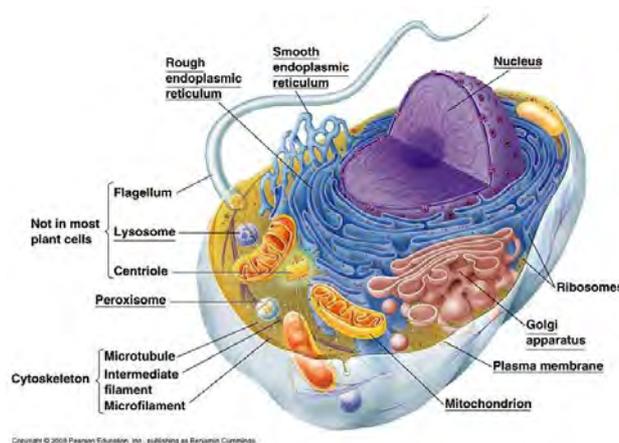
(Sumber : [https:// www. slideshare.net/retno05](https://www.slideshare.net/retno05))

**Gambar 1.25**

Gambaran peran Lisosom

i. Peroksisom

Peroksisom mengandung enzim katalase yang berfungsi memecah hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$ . Hidrogen peroksida merupakan hasil samping dari proses respirasi sel yang bersifat racun. Salah satu cara untuk mencegah hidrogen peroksida membahayakan tubuh adalah dengan melisis senyawa tersebut. Enzim katalase yang dihasilkan peroksisom akan memecah hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) menjadi  $H_2O$  dan  $O_2$  sehingga tidak membahayakan bagi tubuh. Sel yang banyak mengandung peroksisom dapat kita jumpai pada sel hati yang bertugas untuk menetralkan racun.



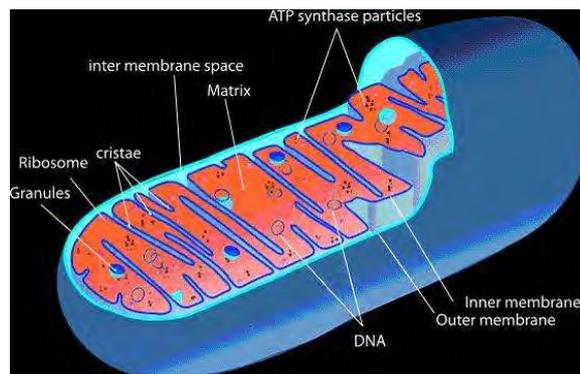
(Sumber : [https:// balubu.com](https://balubu.com))

**Gambar 1.26**

Peroksisom

j. Mitokondria

Merupakan organel sel yang berfungsi sebagai tempat respirasi sel untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP (Adenine Tri Phospat). Mitokondria merupakan organel yang mempunyai DNA. Organel lain yang punya DNA adalah inti sel (nucleus) dan plastida. Mitokondria tersusun atas membran rangkap yakni membran dalam dan membran luar. Respirasi terjadi pada membran dalam mitokondria tepatnya pada cristae untuk proses tranpor elektron dan pada matrik untuk siklus kreb dan dekarboksilasi oksidatif pada proses respirasi.



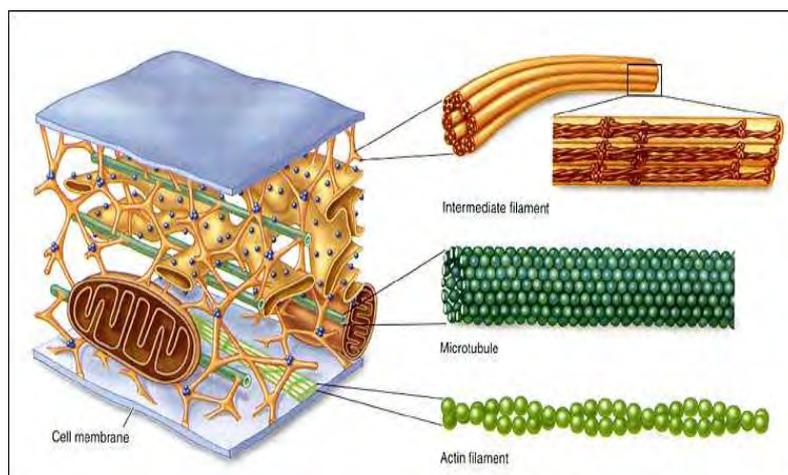
(Sumber : [https:// budisma.net](https://budisma.net))

**Gambar 1.27**

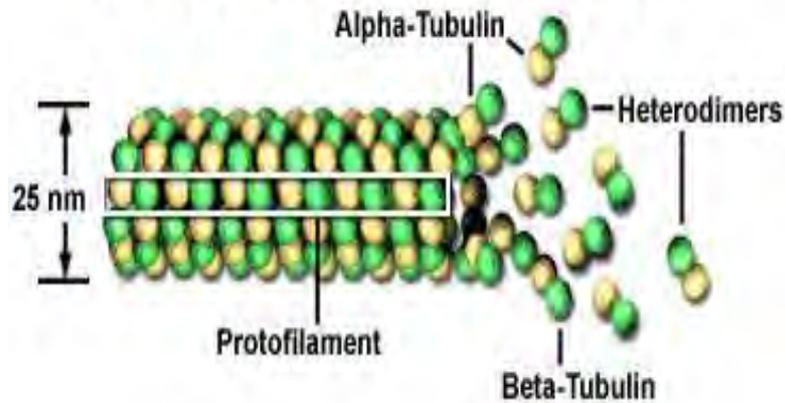
Mitokondria

k. Mikrotubulus & Mikrofilamen

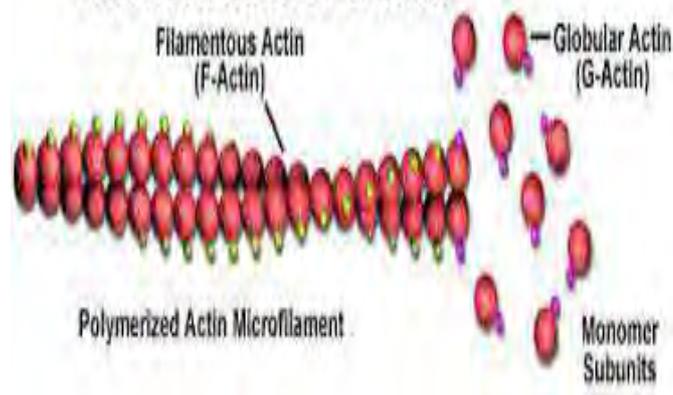
Mikrotubulus berfungsi sebagai penyusun sentriol yang sangat berperan dalam pembelahan sel, sementara mikrofilamen berfungsi dalam pembentukan flagela dan silia sebagai pergerakan sel.



## STRUKTUR MIKROTUBULUS



## STRUKTUR MIKROFILAMEN



(Sumber : <https://biomagz.com>)

**Gambar 1.28**

Mikrotubulus dan Mikrofilamen

Sistem klasifikasi/penggolongan makhluk hidup mengalami dinamika perubahan sesuai dengan perkembangan teknologi ilmu pengetahuan. Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan akan menghasilkan perkembangan data berupa karakter/ciri-ciri suatu organisme yang digunakan oleh para ahli taksonomi. Berdasarkan urutannya, saat ini terdapat sistem klasifikasi sampai 8 generasi seperti yang disajikan dalam Tabel 2.1. di bawah ini.

**Tabel 1.2**  
**Perkembangan Sistem klasifikasi Makhluk Hidup**

Linnaeus (1735)	Haeckel (1866)	Chatton (1937)	Copeland (1938)	Whittaker (1969)	Whose (1990)	Cacalier-Smith (1998)	Ruggiero (2015)
Dua Kingdom	Tiga Kingdom	Dua Super kingdom	Empat Kingdom	Lima Kingdom	Tiga Domain	Enam Kingdom	Tujuh Kingdom
Belum dikenal	Protista	Prokariota	Monera	Monera	Bacteria	Bacteria	Bacteria
					Archaea		Arcahea
		Eukariota	Protista	Protista	Eukarya	Protozoa	Protozoa
						Chromista	Chromista
			Fungi	Fungi			
			Plantae	Plantae			
Animalia	Animalia						

Sel yang dimiliki oleh manusia termasuk ke dalam kelompok Eukaryot. Dalam pengambilan sampel darah pasien, Untuk itulah Anda harus mempelajari tentang sel manusia. Selain itu, Anda juga harus mempelajari tentang struktur ultra sel bakteri yang termasuk kelompok prokaryot. Berdasarkan struktur ultra sel maka sel dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu sel Eukaryot dan sel Prokaryot. Penggolongan ini dilakukan oleh Chatton (1937). Semua sel baik eukaryot maupun prokaryot memiliki komponen tersebut di bawah ini:

- 1) Membran plasma yang berperan sebagai barrier, yang sifatnya selektif.
- 2) Cytosol, yang bentuknya semifluid, seperti jelly, yang ada di dalam sel, di dalamnya tersuspensi semua komponen sel.
- 3) Kromosom, membawa gen yang terangkai di dalam DNA.
- 4) Ribosom, sebagai tempat sintesis protein.

**Tabel 1.3**  
**Perbedaan Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik**

No	Kategori	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
1	Diameter Sel	0,2-2,0 $\mu\text{m}$	10-100 $\mu\text{m}$
2	Membran Inti Sel	Membran Inti Tidak ada	Membran Inti ada
3	Organel sel	Hanya memiliki organel tidak bermembran seperti ribosom,	Organel sel bermembran ganda, tunggal dan tidak bermembran

No	Kategori	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
		karboksisom (bakteri fotosintetik)	
4	Flagella / Alat gerak	Flagellum, bergerak dengan cara putaran/rotary	Flagella, bergerak dengan cara mencambung
		Tersusun atas protein flagellin	Tersusun atas Tubulin
5	Kompleksitas Dinding Sel	Dinding sel sangat kompleks mengandung Peptidoglikan dan senyawa lain	Dinding sel sederhana tidak mengandung Peptidoglikan
		Tidak memiliki sellulosa	Memiliki Sellulosa
6	Pembelahan Sel	Pembelahan Sel Binari Fisi	Pembelahan Sel Mitosis
7	Membran Sel	Tidak mengandung karbohidrat dan hanya mengandung sedikit steroid atau sterol	Mengandung banyak Sterol / Steroid dan Karbohidrat yang berperan sebagai Reseptor
8	Keadaan sitoplasma	Tidak terdapat aliran sitoplasma	Pasti terdapat aliran sitoplasma dan Sitoskeleton
9	Kromosom	Kromosom tidak memiliki Histon sehingga DNA tersusun membentuk kromosom sirkular	Kromosom memiliki Histon, kromosom membentuk struktur multiple linear sehingga sangat padat
10	Proses Transkripsi	Transkripsi DNA dan Translasi DNA dapat terjadi secara simultan	Transkripsi terjadi dalam Nukleus, sedangkan Translasi terjadi di Sitoplasma
11	Wilayah Genetik Kopian Gen	Hanya memiliki Satu gen yang menentukan sifat karena Haploid	Memiliki minimal sepasang gen yang menentukan sifat yang sama karena Diploid
12	Wilayah Genetik Kehadiran Ekstra kromosomal Plasmid	Tidak Terdapat kromosom Plasmid ekstrakromosomal	Terdapat kromosom Plasmid ekstrakromosomal
13	Pembelahan Sel	Pembelahan sel dengan cara Binari Fisi	Pembelahan Sel dengan cara Mitosis dan cara lain
14	Lapisan Glikokaliks	Lapisan Glikokaliks dalam bentuk kapsul atau lapisan Lendir	Hanya terdapat pada sel yang tidak memiliki dinding sel seperti pada sel epithelia usus
15	Klorofil	Klorofil tersebar dalam Sitoplasma	Klorofil terdapat dalam organel Kloroplas



(Sumber : [https:// image.google.co.id](https://image.google.co.id))

**Gambar 1.29**

Gambaran Perbedaan Sel Prokariotik dan Eukariotik



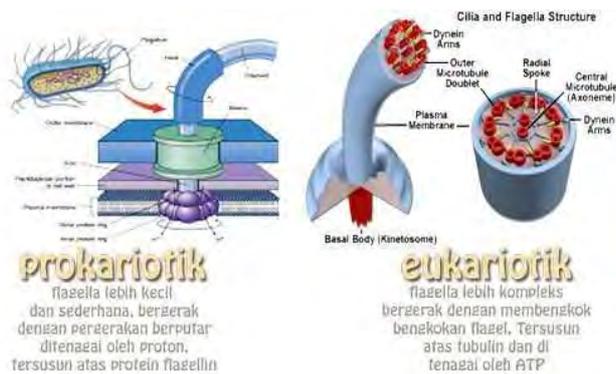
**prokariotik**  
Materi inti (DNA) prokariotik tersebar di sitoplasma

**eukariotik**  
Materi inti (DNA) eukariotik terkumpul di dalam inti sel yang bermembran

(Sumber : [https:// image.google.co.id](https://image.google.co.id))

**Gambar 1.30**

Perbedaan letak DNA pada Sel Prokariotik dan Eukariotik



**prokariotik**  
flagella lebih kecil dan sederhana, bergerak dengan pergerakannya berputar ditenzai oleh proton, tersusun atas protein flagellin

**eukariotik**  
flagella lebih kompleks bergerak dengan membekok bengkakan flagel. Tersusun atas tubulin dan di tenagai oleh ATP

(Sumber : [https:// image.google.co.id](https://image.google.co.id))

**Gambar 1.31**

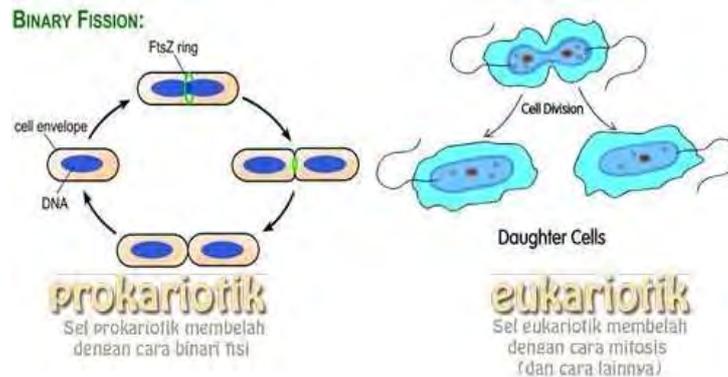
Perbedaan Flagella pada Sel Prokariotik dan Eukariotik



(Sumber : [https:// image.google.co.id](https://image.google.co.id))

**Gambar 1.32**

Perbedaan Dinding Sel pada Sel Prokariotik dan Eukariotik



(Sumber : <https:// image.google.co.id>)

**Gambar 1.33**

Perbedaan cara pembelahan pada Sel Prokariotik dan Eukariotik



(Sumber : <https:// image.google.co.id>)

**Gambar 1.34**

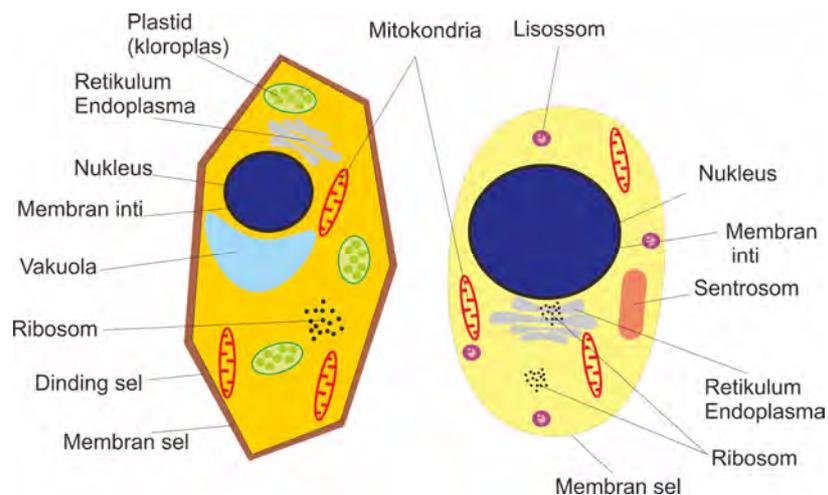
Perbedaan Ukuran Ribosom pada Sel Prokariotik dan Eukariotik

### 3. Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan

Sel hewan dan sel tumbuhan merupakan jenis sel eukariotik tetapi kedua sel ini memiliki perbedaan. Ada beberapa organel yang dimiliki oleh sel tumbuhan tapi tidak dimiliki sel hewan, begitu juga sebaliknya. Contohnya organel plastida berfungsi untuk proses fotosintesis yang hanya terdapat pada sel tumbuhan tapi tidak terdapat pada sel hewan. Berikut tabel perbandingan antara sel hewan dan sel tumbuhan.

**Tabel 1.4**  
**Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan**

NAMA ORGANEL	SEL HEWAN	SEL TUMBUHAN
Dinding sel	Tidak ada	ada
plastida	Tidak ada	ada
vakuola	Tidak ada	ada
lisosom	Ada	Tidak ada
Sentriol	Ada	Tidak ada



(Sumber : [https:// goo.gl/images.com](https://goo.gl/images.com))

**Gambar 1.35**

Perbedaan Sel Tumbuhan (Kiri) dan Sel Hewan (Kanan)

### C. BENTUK, UKURAN DAN METABOLISME SEL

Sel merupakan unit terkecil secara struktural, fungsional dan reproduktif setiap makhluk hidup dengan berkembangnya mikroskop cahaya, terlebih setelah dikembangkannya mikroskop elektron, pengkajian terhadap sel semakin tumbuh berkembang pula. Sayatan organ hewan maupun tumbuhan bila diamati dengan mikroskop terlihat bahwa terdiri atas

sejumlah sel. Sel-sel tersebut ada yang terkemas rapat satu dengan lainnya, ada pula yang terpisahkan oleh senyawa yang disebut substansi antarsel atau matriks ekstrasel (MES). Umumnya setiap sel memiliki garis tengah antara 5–20 mikrometer. Struktur internal sebuah sel sulit diamati. Sel memiliki keanekaragaman baik bentuk dan ukurannya.

Bentuk sel dapat berbentuk bulat, bulat panjang, memanjang berbentuk segi lima, segi enam, persegi banyak, pipih atau berbulu. Pada umumnya sel berukuran sangat kecil atau mikroskopik antara 5-100 dengan Skala pengukurannya menggunakan  $\mu\text{m}$  atau mikrometer sama dengan mikron. Satu mikrometer sama dengan seperseribu mm. Berdasarkan contoh sel bakteri berukuran 4-10  $\mu\text{m}$  sedangkan sel protozoa dapat dilihat dengan mata tanpa bantuan mikroskop.

Ukuran sel-sel prokaryota pada umumnya kecil, dengan panjang hanya beberapa mikrometer, sedangkan diameternya satu mikrometer atau kurang. Hampir semua sel prokaryota memiliki dinding sel dan kapsula. Dinding sel bersifat kaku berada di permukaan luar selaput sel. Kapsula berupa cairan sangat kental dan bersifat kenyal. Dinding sel dan kapsula berperan sebagai pelindung sel.

Selaput sel prokaryota memiliki beragam peran. Peran yang terpenting adalah mengatur lalu-lintas senyawa yang melewatinya. Selain itu, sebagian besar sistem molekuler yang memecah bahan bakar untuk menjadi tenaga, juga berada di selaput sel. Pada bakteri fotosintetis dan sianobakteri, molekul-molekul penyerap dan pengubah cahaya menjadi tenaga kimia, berada pula di selaput sel beserta turunannya yang berupa lipatan-lipatan disebut **mesosom**. Pada selaput sel terdapat protein-protein yang berperan sebagai reseptor dan pengikat molekul-molekul khas yang berada di sekitarnya. Pengikatan molekul-molekul tersebut memicu terjadinya reaksi-reaksi interna yang memungkinkan sel memberi tanggapan pada lingkungannya. Selaput sel prokaryota, berperan pula pada proses replikasi dan pembelahan senyawa pembawa warisan.

Nukleoid prokaryota, berada di sitoplasma tanpa dibatasi oleh suatu selaput. Bentuk nukleoid tidak teratur. Nukleoid berisi sejumlah serabut yang sangat halus. Ketebalan serabut tersebut berkisar antara 3 sampai 5 nanometer. Nukleoid berisi sebuah molekul DNA besar yang berbentuk lingkaran. Pada *Escherichia coli* panjang DNA adalah 1360 mikrometer, sedangkan pada beberapa bakteri lainnya berkisar antara 250–1500 mikrometer. Molekul DNA sepanjang ini terkemas di dalam sebuah sel yang berukuran antara 1–2 mikrometer.

Sitoplasma yang memiliki nukleoid, pada umumnya terlihat berwarna pekat di elektromikrograf. Kenampakan tersebut disebabkan oleh kehadiran ribosom dalam jumlah besar. Ribosom merupakan zarah kecil berbentuk membulat dengan diameter 20–30 nanometer. Pada bakteri, ribosom terdiri atas 50 macam protein dan beberapa macam RNA. Badan-badan kecil yang rumit tersebut merupakan tempat perakitan asam amino menjadi

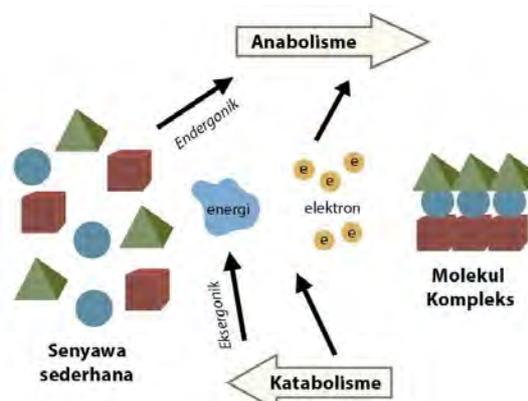
protein. Pada beberapa prokaryota yang lebih berkembang, selain ribosom terdapat pula vesikuli atau vakuola. Isi vakuola bervariasi sesuai jenisnya.

Metabolisme Sel adalah merupakan proses kimia yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup atau sel. Melibatkan pertukaran zat atau organisme dengan lingkungannya dimana pada proses ini memungkinkan sebuah organisme untuk melakukan umpan balik dengan lingkungannya, memproses energi, tumbuh dan berkembang biak untuk mempertahankan hidup. Proses metabolisme sel akan terus dialami oleh semua makhluk hidup yang dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu:

### 1. Katabolisme / Diassimilasi.

Merupakan proses atau reaksi pemecahan / pembongkaran senyawa kimia kompleks yang mengandung energi tinggi menjadi senyawa lebih sederhana. Reaksi katabolisme adalah reaksi yang melepaskan energi. Tujuan pokok proses katabolisme adalah membebaskan energi yang terkandung dalam senyawa sumber. Jika penguraian suatu zat dalam lingkungan yang memiliki cukup oksigen (aerob) maka dinamakan dengan proses Respirasi, namun jika terjadinya pada lingkungan yang tidak memiliki atau tanpa oksigen (anaerob) maka disebut dengan Fermentasi.

Respirasi adalah Proses pembebasan energi yang terdapat dalam zat sumber energi melalui proses kimia yang dilakukan dengan menggunakan oksigen. Dari proses respirasi akan menghasilkan sebuah energi kimia ATP yang berfungsi sebagai bekal untuk kegiatan hidup. Sebagai contoh sintesis (anabolisme), gerak dan tumbuh. Umumnya respirasi yang terjadi pada tumbuhan dan hewan adalah respirasi aerob. Akan tetapi dapat berlangsung dalam respirasi anaerob sehingga tumbuhan maupun hewan tersebut melakukan proses fermentasi yaitu kegiatan pembebasan energi tanpa adanya oksigen atau biasa disebut dengan istilah respirasi anaerob.



(Sumber : [https:// seimbang.net/metabolism-sel/](https://seimbang.net/metabolism-sel/))

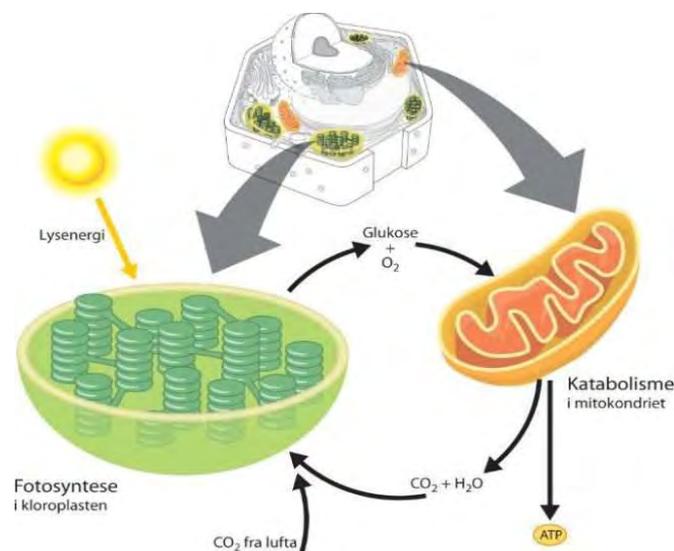
**Gambar 1.36**  
Proses Anabolisme

## 2. Anabolisme / Asimilasi / Sintesis.

Anabolisme adalah proses pembentukan atau sintesis molekul yang kompleks dari senyawa organik sederhana menjadi makromolekul kompleks dengan menggunakan energi tinggi. Reaksi anabolisme adalah reaksi yang membutuhkan energi. Makromolekul kompleks yang dimaksud adalah komponen dari sel itu sendiri. Misalnya karbohidrat, protein, lemak dan asam nukleat. Reaksi dari proses anabolisme disebut sebagai reaksi endorgenik karena pada proses pembentukannya membutuhkan energi bebas.

Pada proses terjadinya anabolisme juga melalui dua tahapan yaitu Fotosintesis dan Kemosintesis. Untuk proses sintesis dari zat makanan ini membutuhkan bahan dasar berupa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan energi. Apabila dalam proses sintesis tersebut menggunakan energi dari cahaya, maka prosesnya disebut dengan fotosintesis. Akan tetapi apabila pada proses sintesis tersebut menggunakan energi dari bahan atau zat kimia maka nama prosesnya adalah Kemosintesis.

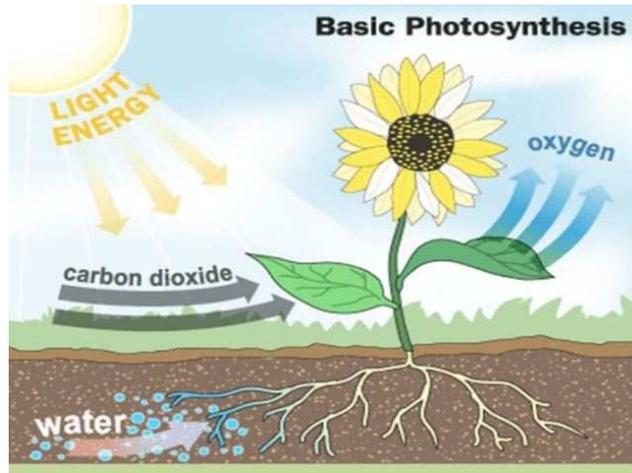
Proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan melibatkan dua tahapan reaksi yaitu Reaksi Terang dan Reaksi gelap. Pada reaksi terang berlangsung lintas elektron siklik ataupun nonsiklik. Hal ini menyesuaikan terhadap panjangnya gelombang cahaya yang sampai pada kloroplas. Pada reaksi terang juga terjadi pemecahan air yang menghasilkan ATP dan NADPH (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate). Sedangkan reaksi gelap akan terjadi pengikatan gas karbon dioksida /  $\text{CO}_2$  yang kemudian menghasilkan karbohidrat.



(Sumber : [https:// seimbang.net/metabolism-sel/](https://seimbang.net/metabolism-sel/))

**Gambar 1.37**

Proses Katabolisme



(Sumber : [https:// seimbang.net/metabolism-sel/](https://seimbang.net/metabolism-sel/))

**Gambar 1.38**

Proses Fotosintesis

## Latihan

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

- Pasangkanlah kalimat di dalam tabel ini dengan membuat garis lurus sesuai:

A	Pasangkanlah A dengan B dengan menghubungkan menggunakan garis !	B
Tidak memiliki membrane internal sitoplasma		Eukaryot
Sebagai barrier selektif sel dari dunia luar		Nukleus
Reaksi pembongkaran menjadi senyawa yang lebih sederhana		Membrane sel
Proses anabolisme yang menggunakan energi cahaya		prokaryot
Katabolisme Anaerob		Fotosintesis
Sebagai sintesis protein		Ribosom
Unit terkecil penyusun tubuh manusia		Fermentasi
		Katabolisme sel
	Anabolisme	

## Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk dapat mengerjakan latihan tersebut diatas, maka Anda harus mempelajari dan memahami Topik 2 dengan baik!
- 2) Pelajari Jenis Sel: Prokaryot dan Eukaryot.
- 3) Anada dapat memperhatikan tentang Materi Metabolisme Sel.

## Ringkasan

Setelah mempelajari kegiatan belajar pertama pada Bab 1 Topik 2, anda dapat menguraikan tentang :

- 1) Setiap organisme yang hidup tersusun dari sel sebagai unit terkecil penyusun tubuh manusia atau organisme baik sebagai makhluk hidup uniseluler (satu sel) maupun sebagai makhluk hidup multiseluler (banyak sel) yang memiliki morfologi atau bentuk dan ukuran beragam.
- 2) Biologi sel disebut juga Sitologi berasal dari bahasa Yunani "Kytos" yaitu wadah merupakan ilmu yang mempelajari tentang sel baik pengertiannya, sifat fisiologis sel seperti struktur dan ragam organel atau perangkat sel yang terdapat di dalam sel, daur hidup sel, pembelahan sel dan fungsi sel sampai tahap kematian sel.
- 3) Biologi Molekuler merupakan salah satu cabang ilmu Biologi yang mempelajari mengenai fungsi dan organisasi pada makhluk hidup ditinjau dari struktur dan regulasi molekuler unsur atau komponen penyusunnya seperti interaksi molekul dalam kehidupan makhluk, interaksi DNA, RNA dan sintesis protein serta bagaimana interaksi tersebut diatur.
- 4) Berdasarkan struktur ultra sel maka sel terbagi menjadi dua jenis yaitu Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik
- 5) Sel Prokariotik adalah sel yang tidak memiliki membran internal sitoplasma baik pada inti sel maupun pada organel sel sehingga inti sel tersebar di dalam sitoplasma atau dengan kata lain sel prokariotik merupakan sel yang tidak memiliki membran baik pada inti sel maupun pada organel sel.
- 6) Sel Eukariotik adalah sel yang memiliki membran inti sehingga inti sel terkumpul pada daerah inti sel dan memiliki dua jenis organel yaitu organel bermembran dan tidak bermembran. Sel eukariotik merupakan sel yang memiliki membran nukleus (inti sel) sehingga bahan inti berada di dalam nukleus. Sel eukariotik umumnya dimiliki oleh makhluk hidup multiseluler sehingga memiliki organel yang lebih lengkap dibandingkan dengan sel tipe prokariotik (uniseluler).

- 7) Semua sel eukaryot maupun prokaryot memiliki komponen Membran plasma yang berperan sebagai barier, yang sifatnya selektif. Cytosol, yang bentuknya semifluid, seperti jelli, yang ada di dalam sel, di dalamnya tersuspensi semua komponen sel. Kromosom, membawa gen yang terangkai di dalam DNA. Ribosom, sebagai tempat sintesis protein.
- 8) Bentuk sel dapat berbentuk bulat, bulat panjang, memanjang berbentuk segi lima, segi enam, persegi banyak, pipih atau berbulu. Pada umumnya sel berukuran sangat kecil atau mikroskopik antara 5-100 dengan Skala pengukurannya menggunakan  $\mu\text{m}$  atau mikrometer sama dengan mikron.
- 9) Katabolisme adalah proses atau reaksi pemecahan / pembongkaran senyawa kimia kompleks yang mengandung energi tinggi menjadi senyawa lebih sederhana. Reaksi katabolisme adalah reaksi yang melepaskan energi. Tujuan pokok proses katabolisme adalah membebaskan energi yang terkandung dalam senyawa sumber. Jika penguraian suatu zat dalam lingkungan yang memiliki cukup oksigen (aerob) maka dinamakan dengan proses Respirasi, namun jika terjadinya pada lingkungan yang tidak memiliki atau tanpa oksigen (anaerob) maka disebut dengan Fermentasi.
- 10) Respirasi adalah Proses pembebasan energi yang terdapat dalam zat sumber energi melalui proses kimia yang dilakukan dengan menggunakan oksigen. Dari proses respirasi akan menghasilkan sebuah energi kimia ATP yang berfungsi sebagai bekal untuk kegiatan hidup. Sebagai contoh sintesis (anabolisme), gerak dan tumbuh. Umumnya respirasi yang terjadi pada tumbuhan dan hewan adalah respirasi aerob.
- 11) Anabolisme adalah proses pembentukan atau sintesis molekul yang kompleks dari senyawa organik sederhana menjadi makromolekul kompleks dengan menggunakan energi tinggi. Reaksi anabolisme adalah reaksi yang membutuhkan energi. Makromolekul kompleks yang dimaksud adalah komponen dari sel itu sendiri. Misalnya karbohidrat, protein, lemak dan asam nukleat. Reaksi dari proses anabolisme disebut sebagai reaksi endorgenik karena pada proses pembentukannya membutuhkan energi bebas.
- 12) Proses anabolisme melalui dua tahapan yaitu Fotosintesis dan Kemosintesis. Untuk proses sintesis dari zat makanan ini membutuhkan bahan dasar berupa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan energi. Apabila dalam proses sintesis tersebut menggunakan energi dari cahaya, maka prosesnya disebut dengan fotosintesis. Akan tetapi apabila pada proses sintesis tersebut menggunakan energi dari bahan atau zat kimia maka nama prosesnya adalah Kemosintesis.
- 13) Proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan melibatkan dua tahapan reaksi yaitu Reaksi Terang dan Reaksi gelap. Pada reaksi terang berlangsung lintas elektron siklik ataupun nonsiklik. Hal ini menyesuaikan terhadap panjangnya gelombang cahaya yang

sampai pada kloroplas. Pada reaksi terang juga terjadi pemecahan air yang menghasilkan ATP dan NADPH (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate). Sedangkan reaksi gelap akan terjadi pengikatan gas karbon dioksida / CO<sub>2</sub> yang kemudian menghasilkan karbohidrat.

## Tes 2

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!**

- 1) Respirasi adalah proses katabolisme yang....
  - A. Membutuhkan oksigen
  - B. Tidak memerlukan oksigen
  - C. Selalu membutuhkan energy
  - D. Proses pembentukan molekul
  
- 2) Ciri dari sel Eukariotik adalah....
  - A. Memiliki satu gen haploid
  - B. Terdapat pada makluk multi seluler
  - C. Sel yang tidak memiliki membran inti
  - D. Bergerak dengan cara rotary/putaran
  
- 3) Proses katabolisme adalah....
  - A. Fermentasi dan respirasi
  - B. Respirasi dan fotosintesis
  - C. Fotosintesis dan fermentasi
  - D. Kemosintesis dan fotosintesis
  
- 4) Proses Anabolisme adalah....
  - A. Fermentasi dan respirasi
  - B. Respirasi dan fotosintesis
  - C. Fotosintesis dan fermentasi
  - D. Kemosintesis dan fotosintesis
  
- 5) Proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat dari pengikatan dengan CO<sub>2</sub> adalah....
  - A. Reaksi gelap
  - B. Reaksi terang
  - C. Lintas electron siklik
  - D. Lintas electron non siklik

# Kunci Jawaban Tes

## Tes 1

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

## Tes 2

- 1) A
- 2) B
- 3) A
- 4) A
- 5) A

# Glosarium

- Alel : gen untuk sifat khusus terletak pada suatu lokus tertentu pada sepasang kromosom homolog.
- Dominan : sifat yang tampak penuh pada fenotip.
- Eukariotik : Makhluk hidup multiselluler dengan ciri khas inti sel ber membrane.
- Faktor : sifat yang diturunkan menurut Mendel.
- Kingdom : Tingkatan paling atas dari tingkatan klasifikasi makhluk hidup.
- Mikrotom : Mesin untuk mengiris specimen biologi menjadi bagian yang sangat tipis untuk pemeriksaan mikroskop.
- Prokariotik : Makhluk hidup uniselluler dengan ciri khas inti sel tidak ber membran.

# Daftar Pustaka

- Ayala, F. J. and Kiger, J.A. 1984. Modern Genetics. 2nded. Menlo Park: The Benjamin/Cunning Publ.Co., Inc.
- Campbell NA, dkk. 2000. Biologi. Edisi Kelima. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Juwono., Juniarto, A.Z. 2003. Biologi Sel., EGC. Jakarta
- Kimbal, John W. 1994. Biologi. Jilid 1, 2, dan 3. Edisi kelima. Jakarta: Erlangga
- Yatim, W., 2003. Biologi Modern, Biologi Sel. PT. Tarsito, Bandung.



# Bab 2

## STRUKTUR DAN FUNGSI ORGANELA SEL

*Rodhi Hartono, SKP, NS, M.Biomed*

*Rudina Azimata Rosyidah, S.Si, M.Biomed*

### Pendahuluan

Selamat atas semangat Anda dalam mempelajari bahan ajar ini, sehingga masuk ke bab berikutnya yaitu Bab 2. Bab yang sedang Anda pelajari ini merupakan materi yang akan menguraikan tentang struktur sel beserta perangkatnya dalam mempertahankan fungsi kehidupan yaitu organel sel serta tinjauan tentang sifat, struktur virus dan cara reproduksi serta manfaat dan kerugian virus. Agar lebih mudah dalam memahami materi di Bab 2 ini, maka proses pembelajaran akan diuraikan menjadi 3 topik pembelajaran sehingga memudahkan Anda untuk dapat memahaminya, yaitu :

- Topik 1 : Struktur dan Fungsi Organel Sel
- Topik 2 : Dinding Sel dan Membran Sel
- Topik 3 : Nukleus/Inti Sel.

Sel merupakan kesatuan struktural dari makhluk hidup dan semua makhluk hidup tersusun atas sel. Materi ini akan memberikan manfaat bagi Anda sebagai landasan dasar dalam memahami bab berikutnya sehingga akan memberikan ketertarikan untuk mempelajarinya. Agar diperoleh hasil yang optimal maka dalam mempelajari Bab 2 ini Anda disarankan untuk:

- Mempelajari Topik 1 terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan Topik 2 dan seterusnya. karena Topik 1 merupakan dasar Anda untuk memahami uraian pada Topik 2 dan selanjutnya.
- Mengerjakan Latihan tanpa melihat isi uraian Bab 2.
- Melihat ringkasan dalam setiap topik dan bandingkan dengan pemahaman Anda saat mempelajari materi yang diuraikan.
- Mengerjakan Tes tanpa melihat isi uraian Bab 2.

Sel sebagai unit terkecil penyusun organisme/makhluk hidup di dalamnya berisi suatu zat hidup yang dinamakan protoplasma. Protoplasma merupakan gabungan dua kata yang berasal dari Bahasa Yunani, yakni protos artinya pertama dan plasma artinya bentuk. Secara

umum sudah disampaikan pada Bab 1, struktur sel makhluk hidup terbagi dalam dua jenis, meliputi sel prokariotik dan sel eukariotik. Prokariotik (prokaryote) berasal dari bahasa Yunani, yakni pro artinya 'sebelum' dan karyon artinya 'kernel' atau 'nukleus'. Berdasarkan asal kata tersebut, sel prokariotik diartikan sebagai sel makhluk hidup yang tidak bernukleus. Ciri-ciri sel prokariotik adalah materi genetiknya berada di dalam nukleoid, tidak bermembran, dan tidak memiliki beberapa organel khusus, seperti mitokondria, kloroplas, retikulum endoplasma, aparatus Golgi, lisosom, dan peroksisom

Di samping itu, sel prakoriotik memiliki materi genetik seperti DNA dan RNA, DNA plasmid, dan beberapa organel sel, semisal ribosom, dinding sel, mesosom, dan kromatofor yang berfungsi sama dengan kloroplas dan mitokondria. Makhluk hidup yang berjenis sel prakoriotik, misalnya bakteri dan alga hijau biru. Sebaliknya, sel eukariotik (Yunani: eu, berarti sebenarnya) merupakan sel makhluk hidup bernukleus yang diselaputi membran. Di dalam membran ini terdapat cairan yang disebut sitoplasma. Contoh sel eukariotik adalah protozoa (seperti amoeba, flagellata, ciliata), sel hewan, dan sel tumbuhan.

Materi dalam Bab 2 ini akan memberikan manfaat bagi Anda tentang gambaran struktur sel secara jelas yang terdiri atas perangkat sel untuk mempertahankan kehidupan yang dikenal sebagai organel sel serta peranan dari masing-masing organel sel. Anda juga akan mempunyai gambaran secara jelas tentang bentuk, struktur membran sel sebagai pelindung sel yang tersusun atas lapisan lipid dan protein serta peranan membran sel dan gambaran detail tentang inti sel atau nukleus dalam menjalankan fungsinya.

Setelah Anda mempelajari materi dalam Bab 2 ini dengan bersungguh-sungguh maka di akhir pembelajaran Anda diharapkan akan dapat menguraikan tentang jenis dan peranan organel sel, mengidentifikasi lapisan yang ada pada membran sel dan menjelaskan tentang peranan inti sel secara benar. Dalam mempelajari Bab 2 yang terdiri atas 3 topik ini disarankan Anda untuk:

- Mempelajari Topik 1, 2, dan 3 secara berurutan agar mendapatkan pemahaman secara sekuen/urut.
- Mengerjakan Latihan soal tanpa harus melihat isi uraian pada Bab 2.
- Mengerjakan Tes tanpa melihat isi uraian pada Bab 2.
- Mencocokkan hasil pekerjaan Anda dengan kunci jawaban.
- memberikan penilaian pada hasil pekerjaan Anda. Anda dikatakan sudah menguasai materi apabila jawaban benar soal Tes Anda lebih dari 80%.

Semangat dalam belajar merupakan kunci untuk mendapatkan pemahaman secara baik dan benar dalam mempelajari modul ini. **Selamat untuk Anda atas semangat belajarnya!**

# Topik 1

## Struktur dan Fungsi Organel Sel

### A. SEL

Sel berasal dari bahasa latin yaitu Cella yang berarti ruangan kecil, yang ditemukan oleh Robert Hooke terhadap pengamatan sayatan gabus dengan gambaran ruangan-ruangan kecil. Sel merupakan suatu ruangan kecil yang dibatasi oleh membran, dan di dalamnya terdapat cairan/protoplasma. Sedangkan protoplasma terdiri atas plasma sel/sitoplasma dan inti sel/nukleus, di dalam inti sel terdapat plasma inti atau nukleoplasma. Sel merupakan satuan terkecil makhluk hidup yang dapat melaksanakan kehidupan sebagai unit terkecil penyusun makhluk hidup secara struktural dan secara fungsional. Sel berfungsi untuk menjalankan fungsi kehidupan yaitu menyelenggarakan kehidupan jika sel-sel penyusunnya berfungsi untuk membentuk organisme.

Kandungan sel tersusun atas senyawa organik dan anorganik. Senyawa organik berkisar antara 10 – 20 % di dalam sel tersusun atas protein, karbohidrat, dan unsur mineral. Senyawa-senyawa tersebut terlarut di dalam sitoplasma. Protein sangat diperlukan dalam pembentukan DNA dan RNA sebagai materi genetik yang mewariskan sifat induk kepada keturunannya. Senyawa anorganik terdiri atas air 75 – 85 %. Air yang terdapat di dalam sel harus dalam keadaan isotonik atau seimbang. Jika kadar air dalam sel terlalu rendah maka akan menyebabkan terjadinya krenasi yaitu kondisi sel mengkerut dan plasmolisis yang ditandai dengan lepasnya membran sel dari dinding sel. Sebaliknya jika kadar air di dalam sel terlalu tinggi hal ini dapat menyebabkan lisis atau pecahnya sel.

Struktur Sel terdiri dari bagian membran sel, organel sel, dan sitoplasma. Struktur sel prokariotik dan eukariotik berbeda, begitu pula struktur sel tumbuhan dan sel hewan atau manusia. Akan tetapi, semua jenis struktur sel tersebut adalah sama, yaitu berfungsi untuk menjalankan fungsi sel seperti metabolisme, penyimpanan gen, pembelahan sel, dan sintesis DNA.

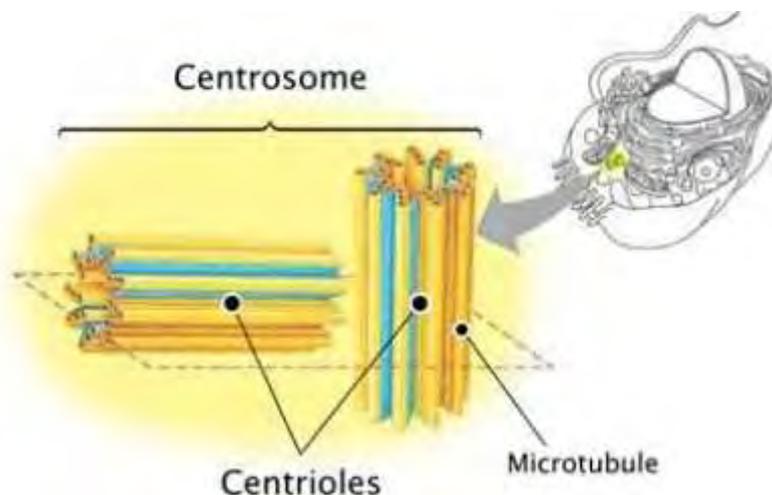
Organel sel adalah komponen komponen yang menyusun sel seperti halnya organ dalam tubuh manusia. Organel sel sangat penting karena berguna untuk mendukung seluruh kegiatan dan fungsi sel. Organel sel pada umumnya terdiri atas :

#### 1. Sitoskeleton

Sitoskeleton adalah sebuah kerangka yang terkandung di dalam sitoplasma sel. Fungsinya adalah untuk menyokong struktur sel dan organel lain pada sel. Sitoskeleton juga membentuk sentriol, yaitu struktur berbentuk tabung yang terdapat dalam kebanyakan sel

eukariotik. Sentriol terlibat dalam pembelahan sel serta pembentukan silia dan flagella. Sepasang sentriol teratur secara sejajar dan dikelilingi oleh sejumlah materi padat membentuk struktur gabungan yang disebut sentrosom. Sitoskeleton terdiri atas mikrofilamen, filamen tengah, dan mikrotubulus. Sitoskeleton ada dalam semua sel. Awalnya banyak yang menganggap bahwa sitoskeleton hanya terdapat di dalam sel eukariotik, tetapi penelitian terbaru menunjukkan bahwa sitoskeleton juga terdapat di dalam sel prokariotik. Sitoskeleton berupa jaring berkas-berkas protein. Dengan adanya sitoskeleton, sel dapat memiliki bentuk yang kokoh, dapat berubah bentuk, mampu mengatur posisi organel, berenang, serta merayap di permukaan.

Sel-sel eukariota mengandung tiga jenis filamen sitoskeleton, yaitu mikrotubulus, filamen intermediat, dan mikrofilamen. Ketiga filamen ini terhubung satu sama lain dan saling berkoordinasi. Sitoskeleton memberikan struktur dan bentuk pada sel, dan oleh makromolekul dari beberapa sitosol menambah tingkat berkumpunya makromolekul di dalam kompartemen. Unsur-unsur sitoskeletal berinteraksi erat dengan membran seluler. Sejumlah kecil molekul obat-obatan sitoskeletal telah berinteraksi dengan aktivitas mikrotubulus. Senyawa ini telah terbukti berguna dalam mempelajari sitoskeleton dan mengaplikasikannya secara klinis.



(Sumber : <https://fungsi-sentriol.co.id>)

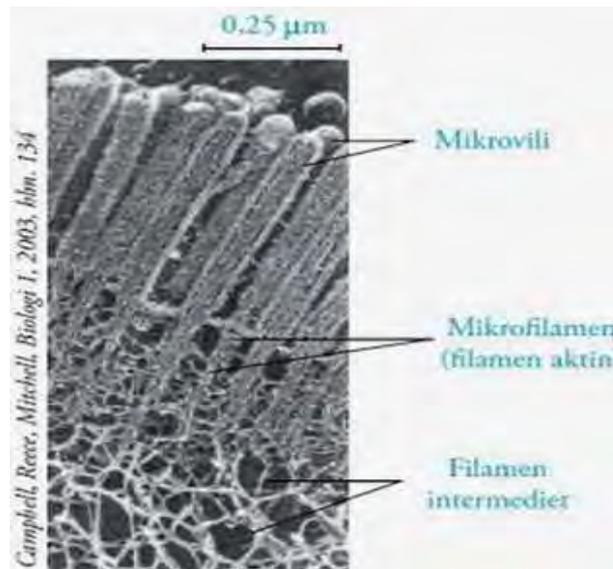
**Gambar 2.1**

Sentriol

## 2. Mikrofilamen (Filamen Aktin)

Mikrofilamen adalah filamen tertipis dari sitoskeleton. Mikrofilamen berbentuk tongkat solid yang terbuat dari protein globular yang disebut dengan actin, oleh karena itu mikrofilamen sering disebut juga filamen aktin. Aktin berfungsi membentuk permukaan sel.

Filamen aktin seringkali dijumpai sebagai jaring-jaring trimata yang kaku. Hal ini disebabkan karena filamen aktin sangat terikat dengan protein pengikat silang (cross-linking). Struktur mikrovili dikendalikan oleh rho untuk kontraksi filamen aktin-miosin. Beberapa jenis bakteri juga mampu bergerak dengan filamen aktin seperti *Listeria monocytogenes* yang menyebar dari sel ke sel dengan menginduksi penyusunan filamen aktin pada sitosol sel inang.



(Sumber : Image.google.co.id)

### Gambar 2.2

#### Mikrofilamen

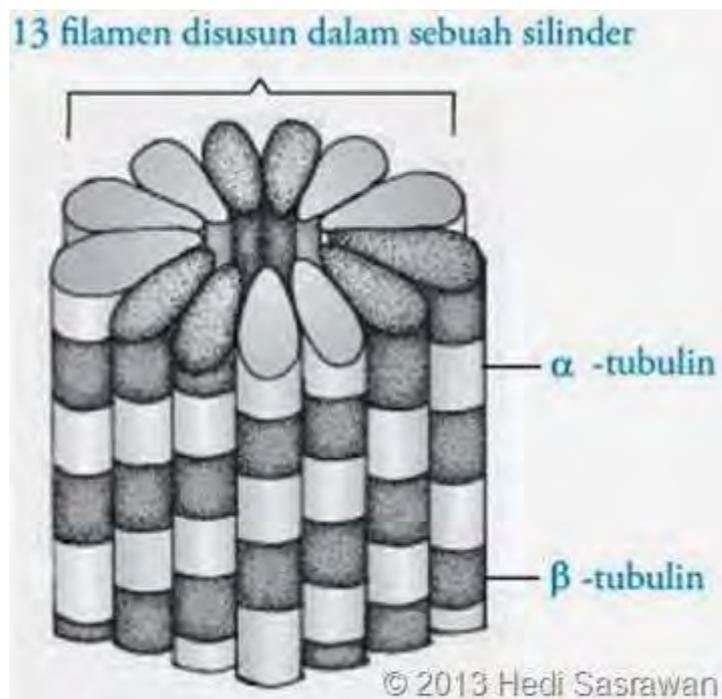
Mikrofilamen bersifat fleksibel, filamen aktin biasanya berbentuk jaring atau gel. Mikrofilamen seperti mikrotubulus tetapi lebih lembut dan banyak ditemukan di dalam sel eukariotik. Mikrofilamen terdiri dari polimer linear dari subunit mikrovili yang menghasilkan kekuatan dengan perpanjangan di salah satu ujung filamen digabungkan dengan penyusutan di bagian lain, yang menyebabkan perpindahan untai intersubunit. Mikrofilamen juga sebagai jalur untuk gerakan molekul miosin yang menempel di mikrofilamen dan “berjalan” di bagiannya. Mikrofilamen mempunyai beberapa fungsi, yaitu :

- a. Menahan tegangan (gaya tarik).
- b. Mempertahankan bentuk sel
- c. Berperan dalam perubahan bentuk sel kontraksi otot
- d. Mikrofilamen biasanya membentuk jaringan sub membran plasma untuk mendukung bentuk sel.
- e. Kontraksi otot (filamen aktin bergantian dengan serat yang lebih tebal dari myosin, membentuk protein motor, dalam jaringan otot).

- f. Siklosis (pergerakan komponen sitoplasma di dalam sel)
- g. Pergerakan 'amuboid' dan fagositosis
- h. Bertanggung jawab untuk pemutusan galur pada sitokinesis

### 3. Mikrotubulus

Mikrotubulus berbentuk silinder berongga yang berdiameter sekitar 23 nm dan disusun oleh mikrotubulin. Mikrotubulus terdiri dari 13 protofilamen, alfa tubulin, dan beta tubulin. Kedua protein tersebut diperkirakan berat molekulnya kira-kira 54.000 dalton yang mempunyai hubungan dengan struktur dan urutan asam amino yang kiranya berasal dari leluhur protein pada awal periode evolusi. Mikrotubulus bersifat lebih kokoh dari aktin. Mikrotubulus memiliki perilaku yang sangat dinamis, yaitu mengikat GTP untuk melakukan polimerisasi. Mikrotubulus sering digerakkan oleh sentrosom.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.3**  
Mikrotubulus

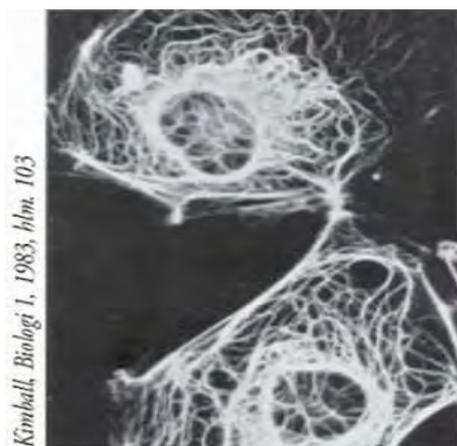
Mikrotubulus memiliki dua ujung: ujung negatif yang terhubung dengan pusat pengatur mikrotubulus, dan ujung positif yang berada di dekat membran sel. Dalam sembilan set triplet (berbentuk bintang), mikrotubulus membentuk sentriol, silia, dan flagela. Pembentukan tersebut sering disebut sebagai rangkaian "9 + 2", dimana setiap doublet terhubung satu sama

lain oleh protein dynein. Flagela dan silia dianggap sebagai bagian dari sitoskeleton. Mikrotubulus berfungsi sebagai:

- a. Memberi bentuk dan mendukung sel
- b. Transportasi intraseluler (terhubung dengan dyneins dan kinesins, mereka mengangkut organel seperti mitokondria dan vesikel)
- c. Sebagai jalur yang dapat digunakan organel yang dilengkapi dengan molekul motor untuk dapat bergerak
- d. Mengatur posisi organel di dalam sel. Organel dapat meluncur di sepanjang mikrotubulus untuk mencapai posisi yang berbeda di dalam sel, terutama saat pembelahan sel.
- e. Pergerakan kromosom dalam pembelahan sel
- f. Mitosis spindle
- g. Tempat pembentukan sentriol, flagella, dan silia
- h. Mensintesis dinding sel pada tumbuhan
- i. Migrasi vakuola endositosis

#### 4. Filamen Intermediat (Filamen Menengah)

Filamen ini rata-rata berdiameter 10 nm, berbentuk serat mirip tali, dan lebih stabil (sangat terikat) daripada mikrovili. Filamen ini hanya terdapat di dalam sel hewan dan berlokasi di sitoplasma dan inti sel. Seperti aktivitas filamen lainnya, filamen intermediat berfungsi untuk menjaga bentuk sel. Filamen menengah mengatuf struktur internal sel, menahan organel, dan sebagai komponen struktur lamina nuklir dan sarkomer. Filamen intermediat memberi kekuatan mekanis pada sel sehingga sel tahan terhadap tekanan dan peregangan yang terjadi pada dinding sel. Filamen ini juga memberi kekuatan pada dinding sel.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.4.**

Filamen Intermediat

Pembentukan filamen intermediet didasarkan pada polimerisasi filamen. Dua monomer filamen bergabung membentuk struktur *coil*. Dimer ini akan bergabung dengan dimer lainnya membentuk tetramer, tetapi posisinya saling tidak paralel. Ketidakparalelan ini membuat tetramer dapat berasosiasi dengan tetramer lain (mirip struktur penyusunan batu bata). Pada akhirnya, tetramer-tetramer bergabung membentuk sebuah *array* heliks

## 5. Ribosom

Sitoskeleton adalah kerangka sel. Fungsinya adalah untuk menyokong struktur sel dan organel lain pada sel. Sitoskeleton Ribosom merupakan salah satu organel kecil, padat, dan tidak bermembran yang ditemukan pada semua sel. Diameter ribosom sekitar 17-20  $\mu\text{m}$ . Ribosom berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Molekul utama penyusun ribosom adalah ribosomal RNA atau disingkat rRNA serta protein. Ribosom terdapat pada sel eukariot dan prokariot dan berjumlah sampai 1000 buah.

Ribosom pertama kali diteliti pada pertengahan tahun 1950-an oleh George Emil Palade, ilmuwan biologi sel yang berkebangsaan Rumania, dengan menggunakan mikroskop elektron. Kata “ribosom” pertama kali digunakan oleh ilmuwan Richard B. Roberts pada tahun 1958. Istilah ribosom berasal dari bahasa Yunani soma yang berarti “badan” dan ribonucleic acid (asam ribonukleat). Albert Claude, Christian de Duve, dan George Emil Palade bersama-sama mendapatkan Hadiah Nobel dalam bidang psikologi dan kesehatan pada tahun 1974 karena penelitiannya tentang ribosom. Hadiah Nobel dalam bidang kimia tahun 2009 didapatkan oleh Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz, dan Ada E. Yonath karena berhasil menjelaskan struktur rinci dan mekanisme ribosom.

Ribosom terdiri dari asam ribonukleat (disingkat RNA) dan protein. Asam ribonukleat berasal dari nucleolus, tempat dimana ribosom disintesis dalam sel. Ribosom terdiri atas dua sub unit yaitu sub unit besar dan sub unit kecil. Kedua sub unit ini akan berfusi jika proses translasi berlangsung. Sub unit ribosom dinyatakan dengan satuan S (Svedberg) yang merupakan nama penemunya, satuan ini menunjukkan kecepatan pengendapan pada saat sub unit tersebut disentrifugasi.

Dalam sel, ribosom berada di dua area sitoplasma. Beberapa ribosom ditemukan tersebar dalam sitoplasma yang disebut sebagai ribosom bebas. Sedangkan ribosom lain yang menempel pada retikulum endoplasma disebut ribosom terikat. Permukaan retikulum endoplasma dimana terdapat ribosom menempel disebut retikulum endoplasma kasar (RER). Struktur ribosom merefleksikan fungsinya untuk mengumpulkan mRNA dengan tRNA pembawa asam amino. Suatu ribosom memiliki satu tempat pengikatan mRNA (subunit kecil) dan tiga tempat pengikatan tRNA dikenal dengan tempat E (exit), P (peptidil), dan A (aminosil) yang terdapat pada sub unit besar. Tempat E merupakan tempat keluar tRNA yang tidak bermuatan. Tempat P merupakan tempat pengikatan tRNA-peptidil biasanya pengikat tRNA

yang melekat pada rantai polipeptida yang sedang tumbuh. Tempat A merupakan tempat pengikatan tRNA- aminoasil biasanya mengikat tRNA yang membawa asam amino berikutnya yang akan ditambah pada rantai polipeptida

Ribosom berperan penting dalam proses sintesis protein, sebuah proses menerjemahkan mRNA menjadi protein. Seluruh proses sintesis protein disebut juga sebagai dogma sentral. Protein yang disintesis oleh ribosom bebas hanya digunakan di dalam sitoplasma. Fungsi ribosom yang lain adalah transkripsi. Transkripsi adalah sintesis RNA dari salah satu rantai DNA, yaitu rantai cetakan atau sense, sedangkan rantai DNA komplemennya disebut rantai antisense. Rentangan DNA yang ditranskripsi menjadi molekul RNA disebut unit transkripsi. Letak ribosom ada yang bebas, ada juga yang menempel di retikulum endoplasma besar. Ribosom akan terikat dengan RE besar ketika ribosom akan mensintesis protein. Ribosom kadang disebut organel dan sedikit dibatasi penyebutannya karena sifatnya yang partikulat dan terkadang digambarkan sebagai “membran sel bebas”

## 6. Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma adalah organel yang berupa kumpulan kantung seperti membran berbentuk pipa, gelembung, dan kantung pipih yang meluas dalam sitoplasma sel eukariot. Retikulum Endoplasma merupakan bagian sel yang terdiri atas sistem membran. Retikulum endoplasma dibagi dua kategori, yaitu retikulum endoplasma kasar dan retikulum endoplasma halus. Retikulum Endoplasma sendiri terdiri atas ruangan-ruangan kosong yang ditutupi dengan membran dengan ketebalan 4 nm (nanometer,  $10^{-9}$  meter).

Retikulum endoplasma (RE) pertama kali diteliti pada tahun 1902 oleh seorang ilmuwan Italian Emilio Veratti. Penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Keith Porter pada tahun 1953 dan kemudian dia menamakannya retikulum endoplasma. Yang belum terungkap dalam penemuan awal RE adalah susunan kimiawi dari RE itu sendiri. Saat ini dengan menggunakan teknik ultrasentrifugasi differentielle yang mampu memisahkan membran RE menjadi vesikula-vesikula kecil mengungkap analisa bahwa membran RE mengandung berbagai macam zat seperti:

- a. Protein dan lemak dengan jumlah 30 hingga 50%.
- b. Sisanya berupa enzim tertentu yang diperlukan saat sintesa protein, metabolisme lemak, maupun detoksifikasi.

Kata retikulum berasal dari kata reticular yang berarti anyaman benang atau jala. Karena letaknya memusat pada bagian dalam sitoplasma (endoplasma) dan karena strukturnya sebagian anyaman dan untuk sebagian besar terdapat dalam endoplasma. Dengan ditemukannya Retikulum Endoplasma ini sebuah sel tidak lagi dapat di anggap sebagai

kantong yang berisi enzim, RNA, DNA, dan larutan-larutan bahan yang dibatasi oleh membran luar seperti pada bakteri yang primitif

Retikulum endoplasma adalah suatu kumpulan kantung seperti membran berbentuk pipa, gelembung, dan kantung pipih yang meluas dalam sitoplasma sel eukariot. Retikulum endoplasma dibagi dua kategori, yaitu retikulum endoplasma kasar dan retikulum endoplasma halus. Kedua macam retikulum endoplasma ini menyusun suatu sistem membran yang melingkupi suatu ruang. Bagian dalam membran disebut dengan luminal atau ruang sisterna (cisternal space) dan daerah diluar membran yang disebut ruang sitosolik (cytolic space). Retikulum endoplasma kasar merupakan organel berbatas membran yang terusun dari suatu kantung pipih yang disebut dengan sisterna. Sedangkan komponen membran dari retikulum endoplasma halus berbentuk tubular. RE memiliki banyak bentuk (polimorfik).

*a. Retikulum endoplasma kasar*

Di permukaan RE kasar, terdapat bintik-bintik yang merupakan ribosom sehingga membran tidak tampak bersih. Ribosom ini berperan dalam sintesis protein. Maka, fungsi utama RE kasar adalah sebagai tempat sintesis protein. RE kasar memiliki struktur khas yaitu setiap lembarannya tersusun atas 2 membran sel yang kemudian menjadi satu pada bagian tepi sel masing-masing. Membran ini dibatasi oleh kantung yang berbentuk sakulus. Bentuk dan letak sakulus bervariasi, sesuai dengan jenis, struktur dan fungsi sel. Misalnya RE kasar yang berada di pankreas, sakulus menjadi tampak sistematis, terarah, serta paralel antara satu kantung dengan kantung lainnya. Contoh RE kasar yang lain tampak pada sel-sel glandula dari acini pankreas dan paratoide terdapat pada maxilla. Hampir seluruh sakulus yang diamati di bawah mikroskop menempati bagian basal sitoplasma. Semakin aktif sebuah sel, maka jumlah ribosom dan sakulus akan kian banyak.

*b. Retikulum endoplasma halus*

Berbeda dari RE kasar, RE halus tidak memiliki bintik-bintik ribosom di permukaannya. RE halus terbentuk dari satu labirin dengan kanalikuli yang halus, saling berhubungan, serta berinfiltrasi dalam semua sitoplasma. RE halus berfungsi dalam beberapa proses metabolisme yaitu sintesis lipid, metabolisme karbohidrat dan konsentrasi kalsium, detoksifikasi obat-obatan, dan tempat melekatnya reseptor pada protein membran sel. Jalur yang dibuka dengan RE halus adalah jalur nutrisi dan mineral yang berhubungan dengan mitokondria, tempat glikogen dan juga peroksisom. RE halus merupakan jalinan tubuli-tubuli yang saling berkaitan dan tanpa adanya ribosom. Retikulum endoplasma halus ditemukan berlimpah dalam sel-sel dari organ reproduksi, di mana mereka memproduksi hormon steroid, seperti estrogen dan testosteron. Dalam beberapa jenis sel otot, retikulum endoplasma halus (disebut sebagai retikulum sarkoplasma) menyimpan ion kalsium. Hasil rilis ion kalsium ini pada kontraksi otot. Ini organel sel memiliki fungsi detoksifikasi dalam sel hati. Retikulum

endoplasma halus yang ditemukan dalam sel-sel hati mengandung enzim-enzim detoksifikasi yang dapat menonaktifkan racun berbahaya, seperti obat-obatan dan sisa metabolisme.

*c. Retikulum endoplasma sarkoplasmik*

RE sarkoplasmik adalah jenis khusus dari RE halus. RE sarkoplasmik ini ditemukan pada otot licin dan otot lurik. Yang membedakan RE sarkoplasmik dari RE halus adalah kandungan proteinnya. RE halus mensintesis molekul, sementara RE sarkoplasmik menyimpan dan memompa ion kalsium. RE sarkoplasmik berperan dalam pemicuan kontraksi otot

*d. Fungsi Retikulum endoplasma*

Fungsi retikulum endoplasma adalah mendukung sintesis protein dan menyalurkan bahan genetic antara inti sel dengan sitoplasma dan berfungsi sebagai alat transportasi zat-zat di dalam sel itu sendiri. Berikut adalah beberapa fungsi retikulum endoplasma:

- 1) Menjadi tempat penyimpanan kalsium, bila sel berkontraksi maka kalsium akan dikeluarkan dari RE dan menuju ke sitosol
- 2) Sebagai penampung sintesis protein, untuk disalurkan ke kompleks Golgi dan akhirnya dikeluarkan dari sel
- 3) Memodifikasi protein yang disintesis oleh ribosom untuk disalurkan ke kompleks golgi dan akhirnya dikeluarkan dari sel. (RE kasar)
- 4) Mensintesis lemak dan kolesterol, ini terjadi di hati (RE kasar dan RE halus)
- 5) Menetralkan racun (detoksifikasi) misalnya RE yang ada di dalam sel-sel hati.
- 6) Transportasi molekul-molekul dan bagian sel yang satu ke bagian sel yang lain (RE kasar dan RE halus)

*e. Perbedaan RE kasar dan RE halus*

Perbedaan morofologi antara retikulum endoplasma kasar dan halus terletak ada tidaknya ribosom yang terikat pada membran yang berhadapan dengan ruang sitosolik.

1) Dilihat dari Penampilan

Perbedaan utama antara keduanya terletak pada penampilan. Jenis kasar memiliki permukaan bergelombang, sedangkan RE halus memiliki permukaan halus. RE kasar terdiri dari interkoneksi, struktur seperti kantung, yang terlihat seperti cakram diatur dalam baris teratur. RE halus seperti jaringan tubulus saling berhubungan.

2) Dilihat dari Fungsi

Retikulum endoplasma kasar terutama bertanggung jawab untuk sintesis protein dan jenis halus terlibat dalam sintesis dan metabolisme lipid. RE halus juga merupakan lokasi untuk penyimpanan dan transportasi.

### 3) Proporsi

Proporsi retikulum endoplasma halus sangat kecil, bila dibandingkan dengan ER kasar. RE Halus kebanyakan ditemukan dalam sel-sel yang secara aktif terlibat dalam sintesis dan metabolisme lipid. Ia jelas terlihat dalam hati, ovarium, testis, otot, dll

## 7. Badan Golgi

Badan golgi atau aparatus golgi adalah salah satu organel sel yang dikaitkan dengan fungsi ekskresi sel. Badan golgi berupa kantung pipih bertumpuk yang tersusun dari ukuran besar hingga ukuran kecil dan terikat membran. Badan golgi pertama kali ditemukan pada tahun 1898 oleh Camillo Golgi. Badan golgi berfungsi untuk memproses protein dan molekul lain yang akan dibawa keluar sel atau ke membran sel.

Struktur badan golgi mirip berkas kantung berbentuk cakram yang bercabang serta menjadi serangkaian pembuluh yang menyempit di ujungnya. Pembuluh yang tampak tersebut berfungsi untuk mengumpulkan dan membungkus karbohidrat serta zat-zat lain untuk diangkut ke permukaan sel. Sekaligus menyumbang bahan bagi pembentukan dinding sel, khususnya pada sel tumbuhan.

Badan Golgi tersusun atas setumpuk kantong pipih dari membran yang disebut sisterna dengan sejumlah lubang atau disebut dengan fenestrasi. Biasanya terdapat tiga sampai delapan sisterna, namun ada sejumlah organisme yang memiliki badan Golgi dengan puluhan sisterna. Jumlah dan ukuran badan Golgi bergantung pada jenis sel dan aktivitas metabolismenya. Sel yang aktif melakukan sekresi protein dapat memiliki ratusan badan Golgi. Organel ini biasanya terletak di antara retikulum endoplasma dan membran plasma. Dengan pengamatan di bawah mikroskop elektron, struktur badan Golgi lebih mirip kantung-kantung pipih yang tersusun bertumpuk dan dibatasi membran. Masing-masing tumpukan biasanya tersusun atas 3 hingga 7 sakulus atau kantung. Tiap tumpukan akan tampak cembung menghadap ke inti sel dan cekung menghadap bagian luar sel. Untuk sakulus bagian atas mempunyai fenestra di bagian tepi.

Badan Golgi sering dijumpai di dekat nukleus atau inti sel. Badan Golgi juga terdapat di pinggir sentrosom. Pada sentrosom, sentriol terdapat dalam lengkung Badan Golgi. Selain itu, letak Badan Golgi juga dijumpai di sel-sel sekretoris seperti pankreas. Di sel ini, Badan Golgi terdapat di antara inti dan apeks sel. Tepat di tempat pelepasan hasil sekresi sel. Selain itu Badan Golgi membantu struktur mirip jala, seperti halnya Golgi di sel saraf. Badan Golgi terdapat di mana-mana dalam sel, terdiri dari membran dengan ketebalan sekitar 6–8 nm. Unit dasar Badan golgi adalah diktiosom atau Golgi field. Apparatus Golgi terdiri atas tumpukan 3-8 membran yang berbentuk arkuata (menyerupai busur) dalam jarak dekat satu sama lainnya. Membran mengelilingi isterna sempit yang panjang, yang sedikit melebar pada ujung-ujungnya. Sisterna Golgi selalu didampingi vesikel Golgi vesicles, yang mengantar dan

mengekspor material (vesikel transpor). Materi yang diterima dari RE dimodifikasi dan disimpan dalam badan golgi dan akhirnya dikirim di permukaan sel atau tujuan yang lain.

Jika membran plasma umumnya terdiri dari dua lapis sel, badan golgi mempunyai struktur membran trilaminar yang lebih tipis dari plasmalema. Di permukaan badan golgi tampak sejumlah vesikel-vesikel kecil dengan ukuran diameter 40 hingga 80 nm. Vesikel-vesikel itu berhubungan dengan sakulus, diduga berfungsi sebagai media transportasi. Membran badan golgi berbentuk tubulus dan vesikula. Membran berbentuk tubulus mempunyai kantung-kantung kecil yang berisi bahan-bahan yang diperlukan oleh badan golgi, diantaranya enzim untuk pembentuk dinding sel. Secara umum struktur badan Golgi hampir serupa dengan Retikulum Endoplasma. Hanya saja, Badan Golgi mempunyai berlapis-lapis ruangan saling tertutupi oleh membran. Seperti struktur kimia molekul badan Golgi mempunyai 2 bagian, cis dan trans.

Bagian cis dari badan golgi menerima vesikel-vesikel yang berasal dari Retikulum Endoplasma Kasar. Vesikel ini kemudian diserap ke ruangan-ruangan di dalam Badan Golgi. Ruangan-ruangan tersebut akan bergerak dari sisi cis menuju ke sisi trans. Setelah itu masing-masing ruangan tersebut akan memecahkan diri dan membentuk vesikel yang lain. Dengan proses ini vesikel siap untuk disalurkan ke bagian-bagian sel yang lain atau dikeluarkan dari dalam sel.

#### *a. Fungsi Badan Golgi*

Sel mensintesis sebagian besar makromolekul. Badan golgi merupakan bagian yang berperan penting dalam memodifikasi, menyortir, dan mengemas makromolekul yang kemudian akan disekresi oleh sel atau akan digunakan di dalam sel. Selain itu, badan golgi juga memodifikasi protein yang dikeluarkan oleh retikulum endoplasma kasar, terlibat dalam pengangkutan lipid di sel, dan penciptaan lisosom. Fungsi badan golgi mirip kantor pos; mempacketkan dan melabel item dan kemudian mengirimnya ke organel sel lainnya. Selain itu, fungsi badan golgi adalah sebagai berikut:

- 1) Membentuk kantung (vesikula) untuk sekresi. Terjadi terutama pada sel-sel kelenjar kantung kecil tersebut, berisi enzim dan bahan-bahan lain.
- 2) Tempat sintesis polisakarida seperti mukus, selulosa, hemiselulosa, dan pektin (penyusun dinding sel tumbuhan).
- 3) Membentuk membran plasma. Kantung atau membran golgi sama seperti membran plasma. Kantung yang dilepaskan dapat menjadi bagian dari membran plasma.
- 4) Membentuk kantong sekresi untuk membungkus zat yang akan dikeluarkan sel, seperti protein, glikoprotein, karbohidrat, dan lemak.
- 5) Membentuk dinding sel tumbuhan

- 6) Fungsi lain ialah dapat membentuk akrosom pada spermatozoa yang berisi enzim untuk memecah dinding sel telur dan pembentukan lisosom.
- 7) Tempat untuk memodifikasi protein
- 8) Untuk menyortir dan memaket molekul-molekul untuk sekresi sel
- 9) Untuk membentuk lisosom
- 10) Membentuk Akrosom pada sperma, kuning telur pada sel telur, dan lisosom.

*b. Enzim di Badan Golgi*

Ada banyak enzim yang ditemukan pada badan golgi. Diantaranya adalah:

- 1) Glikosiltransferase, berfungsi sebagai katalisator transfer glukosa dari carier UDP ke protein yang sesuai dengan manfaatnya. Kesimpulan ini diambil setelah para peneliti menemukan bahwa setengah dari seluruh aktifitas glikosiltransferesa terjadi pada badan golgi. Tujuan dari keberadaan enzim tanda adalah untuk membedakan badan golgi dari organel-organel lain di dalam sel.
- 2) Sulfo dan gliosiltransferase yang berfungsi untuk biosintesis glikolipida
- 3) Oksidoreduktase
- 4) Fosfatase
- 5) Kenase
- 6) Mamnosidase
- 7) Transferasa untuk membantu sintesis fosfolisida
- 8) Fosfolifase

Selain itu, para ahli mencoba menemukan enzim tanda pada badan golgi, caranya adalah dengan melihat aktivitas enzim-enzim pada organel-organel lainnya dan kemudian membandingkan dengan aktivitas apparatus golgi. Kesimpulan dari penelitian tersebut menyebut bahwa glikosiltransferase adalah enzim tanda pada badan golgi. Selain memiliki enzim tanda, komposisi lipid pada badan golgi juga berbeda disbanding organel-organel lainnya.. Komposisi lipid atau lemak pada badan golgi bersifat intermediate. Artinya badan golgi merupakan transisi diantara dua organel lain, yaitu retikulum endoplasma dan juga membran plasma

## **8. Mitokondria**

Mitokondria adalah organel sel yang berfungsi sebagai tempat respirasi sel makhluk hidup. Secara garis besar, tahap respirasi pada tumbuhan dan hewan melewati jalur yang sama, yang dikenal sebagai daur atau siklus Krebs. Mitokondria kerap disebut sebagai “pembangkit energi” bagi sel karena mitokondria yang paling banyak menghasilkan energi ATP untuk sel. Mitokondria berisi sejumlah enzim dan protein yang membantu proses karbohidrat

dan lemak yang diperoleh dari makanan yang kita makan untuk melepaskan energi. Mitokondria mempunyai dua lapisan membran, yaitu lapisan membran luar dan lapisan membran dalam.

Mitokondria dikenal sebagai pusat tenaga sel. Mitokondria banyak terdapat pada sel yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi dan memerlukan banyak ATP dalam jumlah banyak, misalnya sel otot jantung. Mereka adalah organel yang bertindak seperti sistem pencernaan yang mengambil nutrisi, dan menciptakan energi untuk sel. Jumlah dan bentuk mitokondria bisa berbeda-beda untuk setiap sel. Mitokondria berbentuk elips dengan diameter 0,5  $\mu\text{m}$  dan panjang 0,5 – 1,0  $\mu\text{m}$ . Proses menciptakan energi sel dikenal sebagai respirasi sel. Sebagian besar reaksi kimia yang terlibat dalam respirasi seluler terjadi di mitokondria. Sebuah mitokondria berbentuk sempurna untuk memaksimalkan kinerjanya.

Mitokondria adalah organel yang sangat kecil. Anda mungkin menemukan sel dengan beberapa ribu mitokondria. Jumlahnya tergantung pada apa yang sel perlu dilakukan. Jika tujuan dari sel adalah untuk mengirimkan impuls saraf, akan ada lebih sedikit daripada di mitokondria sel otot yang membutuhkan banyak energi. Jika sel merasa tidak mendapatkan energi yang cukup untuk bertahan hidup, banyak mitokondria dapat dibuat. Kadang-kadang mereka bahkan bisa tumbuh, bergerak, dan menggabungkan dengan mitokondria lainnya, tergantung pada kebutuhan sel.

*a. Struktur mitokondria*

Struktur mitokondria terdiri dari empat bagian utama, yaitu membran luar, membran dalam, ruang antar membran, dan matriks yang terletak di bagian dalam membran.

- 1) Membran luar, terdiri dari protein dan lipid dengan perbandingan yang sama serta mengandung protein khusus yang disebut porin yang menyebabkan membran ini bersifat permeabel terhadap molekul-molekul kecil yang berukuran 6000 Dalton. Membran luar halus seperti membran dalam dan memiliki fosfolipid hampir dalam jumlah yang sama sebagai protein. Dalam hal ini, membran luar mitokondria menyerupai membran luar bakteri gram-negatif. Membran luar benar-benar permeabel terhadap molekul nutrisi, ion, dan molekul ATP ADP. Selain itu, membran luar juga mengandung enzim yang terlibat dalam biosintesis lipid dan enzim yang berperan dalam proses transpor lipid ke matriks untuk menjalani  $\beta$ -oksidasi menghasilkan.
- 2) Membran dalam, lebih kompleks dalam struktur daripada membran luar karena mengandung kompleks dari rantai transpor elektron dan kompleks sintetase ATP. Membran dalam yang kurang permeabel dibandingkan membran luar terdiri dari 20% lipid dan 80% protein. Membran ini merupakan tempat utama pembentukan ATP. Luas permukaan ini meningkat sangat tinggi diakibatkan banyaknya lipatan yang menonjol ke dalam matriks, disebut krista. Struktur krista ini meningkatkan luas permukaan membran

dalam sehingga meningkatkan kemampuannya dalam memproduksi ATP. Membran dalam mengandung protein yang terlibat dalam reaksi fosforilasi oksidatif, ATP sintase yang berfungsi membentuk ATP pada matriks mitokondria, serta protein transpor yang mengatur keluar masuknya metabolit dari matriks melewati membran dalam.

- 3) Ruang antar membran, yang terletak di antara membran luar dan membran dalam merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi yang penting bagi sel, seperti siklus Krebs, reaksi oksidasi asam amino, dan reaksi  $\beta$ -oksidasi asam lemak. Di dalam matriks mitokondria juga terdapat materi genetik, yang dikenal dengan DNA mitokondria (mtDNA), ribosom, ATP, ADP, fosfat inorganik serta ion-ion seperti magnesium, kalsium dan kalium.
- 4) Matriks, merupakan campuran kompleks enzim yang penting untuk sintesis molekul ATP, ribosom mitokondria khusus, RNA dan DNA mitokondria. Selain itu, ia memiliki oksigen, karbon dioksida dan intermediet daur ulang lainnya.

#### *b. Fungsi Mitokondria*

Peran utama mitokondria adalah sebagai pabrik energi sel yang menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Makanan yang kita makan dipecah menjadi molekul sederhana seperti karbohidrat, lemak, dll, dalam tubuh kita. Metabolisme karbohidrat akan berakhir di mitokondria ketika piruvat di transpor dan dioksidasi oleh  $O_2$  menjadi  $CO_2$  dan air. Seluruh proses ini dikenal sebagai fosforilasi oksidatif. Energi yang dihasilkan sangat efisien yaitu sekitar tiga puluh molekul ATP yang diproduksi untuk setiap molekul glukosa yang dioksidasi, sedangkan dalam proses glikolisis hanya dihasilkan dua molekul ATP. Proses pembentukan energi atau dikenal sebagai fosforilasi oksidatif terdiri atas lima tahapan reaksi enzimatik yang melibatkan kompleks enzim yang terdapat pada membran bagian dalam mitokondria. Mitokondria dalam sel-sel hati memiliki enzim yang mendetoksifikasi amonia. Proses pembentukan ATP melibatkan proses transpor elektron dengan bantuan empat kompleks enzim, yang terdiri dari kompleks I (NADH dehidrogenase), kompleks II (suksinat dehidrogenase), kompleks III (koenzim Q – sitokrom C reduktase), kompleks IV (sitokrom oksidase), dan juga dengan bantuan FoF1 ATP Sintase dan Adenine Nucleotide Translocator (ANT). Selain itu, mitokondria juga membantu dalam membangun bagian-bagian tertentu dari darah, dan hormon seperti testosteron dan estrogen.

#### *c. Siklus Hidup Mitokondria*

Mitokondria dapat melakukan replikasi secara mandiri (self replicating) seperti sel bakteri. Replikasi terjadi apabila mitokondria ini menjadi terlalu besar sehingga melakukan pemecahan (fission). Pada awalnya sebelum mitokondria bereplikasi, terlebih dahulu dilakukan replikasi DNA mitokondria. Proses ini dimulai dari pembelahan pada bagian dalam

yang kemudian diikuti pembelahan pada bagian luar. Proses ini melibatkan pengkerutan bagian dalam dan kemudian bagian luar membran seperti ada yang menjepit mitokondria. Kemudian akan terjadi pemisahan dua bagian mitokondria.

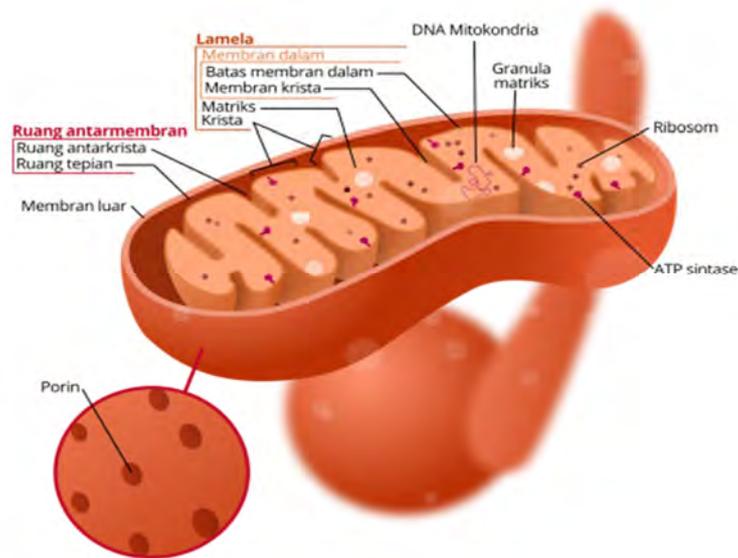
*d. Gangguan pada Mitokondria*

Kerusakan atau disfungsi pada mitokondria adalah faktor utama penyebab berbagai penyakit manusia karena pengaruh mereka di dalam metabolisme sel. Kelainan mitokondria sering hadir sebagai gangguan neurologis, tetapi dapat juga berupa miopati, diabetes, endocrinopathy, atau berbagai penyakit lainnya. Penyakit yang disebabkan oleh mutasi DNA termasuk Kearns-Sayre syndrome dan sindrom MELAS. Dalam sebagian besar kasus, penyakit ini ditularkan oleh perempuan untuk anak-anaknya, sebagai zigot berasal mitokondria yang dan karenanya yang DNA dari sel telur.

*e. DNA Pada Mitokondria*

Mitokondria adalah organel istimewa karena memiliki DNA tersendiri. DNA mitokondria disebut dengan mtDNA atau mitochondrial DNA. Struktur MtDNA berpilin ganda, sirkular, serta tidak memiliki membran. MtDNA mirip dengan DNA bakteri. Karena itulah timbul banyak hipotesis yang timbul, salah satunya menyebut bahwa mitokondria dulunya merupakan makhluk hidup independen seperti bakteri, yang kemudian bersimbiosis dengan organisme eukariotik. Teori tersebut dikenal dengan nama teori Endosimbion. Menurut teori tersebut, pada makhluk tingkat tinggi atau eukariotik, DNA mitokondria yang diturunkan kepada sel-sel anak hanya berasal dari induk betina saja atau dari mitokondria sel telur. Sedangkan DNA mitokondria jantan tidak masuk ke dalam sel telur, hal ini disebabkan karena letak DNA jantan yang berada di ekor sperma. Padahal ekor sperma tidak ikut masuk sel telur. Jadi DNA mitokondria jantan tidak diturunkan. Mitokondria mampu mengambil energi dari zat-zat gizi yang terdapat di dalam makanan. Mitokondria mengubah zat-zat tersebut menjadi suatu bentuk senyawa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar aktivitas sel. Karena itulah mitokondria disebut juga dengan “organel penghasil energi” atau “house power”. Pada mitokondria terdapat lengkungan yang disebut krista. Krista ditempeli dengan protein-protein transportasi elektron. Masing-masing protein bertanggung jawab untuk mengubah energi dalam makanan menjadi senyawa energi sel. Sedangkan cairan seperti gel yang terdapat di dalam disebut dengan matriks. Matriks berisi campuran ratusan enzim yang berbeda. Masing-masing enzim berfungsi mempersiapkan molekul-molekul nutrien. Tujuannya supaya pengambilan akhir energi yang terdapat di krista, berlangsung dengan lancar. Mitokondria dengan jumlah melimpah terdapat pada sel yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi dan memerlukan ATP dalam jumlah banyak. Salah satu contohnya di sel otot jantung. Mitokondria memiliki berbentuk elips. Ukuran diameter mitokondria sekitar 0,5  $\mu\text{m}$ , sedangkan

panjangnya antara 0,5 hingga 1,0  $\mu\text{m}$ . Mitokondria tersusun atas empat bagian, yaitu membran luar, membran dalam, ruang antar membran, dan matriks.



(Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Mitokondria>)

**Gambar 2.5**

Struktur Mitokondria

## 9. Lisosom

Lisosom adalah salah satu organel sel yang mengandung enzim hidrolitik yang berguna untuk mengontrol pencernaan intraseluler. Lisosom berasal dari kata lyso yang berarti “pencernaan” dan soma yang berarti “tubuh”. Lisosom berbentuk agak bulat dan berdiameter sekitar 1,5  $\mu\text{m}$ . Lisosom hanya berada di sel hewan. Lisosom tidak berada di sel tumbuhan karena pada sel tumbuhan telah memiliki vakuola yang memiliki fungsi yang sama dengan lisosom. Ada dua jenis lisosom yang dikenal sampai saat ini, yaitu lisosom primer dan lisosom sekunder. Perbedaannya adalah, bahwa lisosom primer merupakan lisosom yang belum digunakan untuk pencernaan/hirolisis, sedangkan lisosom sekunder merupakan lisosom primer yang telah bekerja dan menyatu dengan membran fagosom.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.6.**

Lisosom

*a. Bagian-Bagian Lisosom*

Secara struktur lisosom terdiri atas enzim-enzim hidrolitik dan membran lisosom. Enzim-enzim hidrolitik ini jenisnya bermacam-macam, tergantung substrat apa yang akan dicerna. Enzim-enzim ini disintesis di retikulum endoplasma kasar, lalu dibawa oleh vesikel terselubung ke badan golgi untuk dikemas dan dihantarkan ke lisosom melalui vesikel transportasi. Adapun membran lisosom bertujuan untuk melindungi lisosom dari kebocoran, supaya enzim-enzim hidrolitik di dalamnya tidak keluar dan melahap seluruh isi sel, sehingga sel menjadi mati/habis.

- 1) **Membran Lisosom**, sebagai suatu kompartemen di mana enzim pencernaan disimpan secara amanterpisah dari bagian sitoplasma yang lain. Untuk menyediakan pH asam bagi enzim hidrolitik, membran lisosom mempunyai pompa  $H^+$  yang menggunakan energi dari hidrolisis ATP. Membran lisosom juga sangat terglykosilasi yang dikenal dengan lysosomal-associated membrane proteins (LAMP). Sampai saat ini sudah terdeteksi LAMP-1, LAMP-2, dan CD63/LAMP-3. LAMP berguna sebagai reseptor penerimaan kantong vesikel pada lisosom.
  
- 2) **Enzim-Enzim Lisosom Lainnya**, Lisosom ini memiliki 40 jenis enzim hidrolitik asam seperti protease, nuklease, glikosidase, lipase, fosfolipase, fosfatase, ataupun sulfatase. Semua enzim tersebut aktif pada pH 5. Dari kesemua enzim tersebut, enzim didominasi oleh enzim fosfatase. Enzim fosfatase yang lain adalah monofosfat dan fosfodiesterase asam yang substratnya oligonukleotida dan diester fosfat, sedangkan asal lisosomnya adalah sama dengan fosfatase asam yaitu jaringan hewan, tumbuhan dan protista. Enzim yang tergolong dalam nuklease adalah RNAase substratnya RNA dan DNAase substratnya DNA. Enzim hidrolase terdiri dari:

- a)  $\beta$ -galaktosidase substratnya galaktosidasi
- b)  $\alpha$ -glukosidase substratnya glikogen
- c)  $\alpha$ -manosidase substratnya manosida
- d)  $\beta$ -glukoronidase substratnya polisakarida dan mukopolisakarida

Kelompok enzim protease adalah enzim katepsin substratnya protein, asal lisosomnya adalah sel hewan. Enzim kolagenase, substratnya kolagen, asal lisosomnya sel tulang. Enzim terakhir dari kelompok protease adalah peptidase substratnya peptida, asal lisosomnya adalah jaringan hewan, tumbuhan dan protista. Kelompok enzim terakhir yang terdapat dalam lisosom adalah enzim perombak lipid yang terdiri dari esterase dengan substratnya ester asam lemak, asal lisosomnya jaringan hewan, tumbuhan dan protista, dan enzim fosfolipase dengan substratnya fosfolipid, lisosomnya diduga berasal dari jaringan tumbuhan.

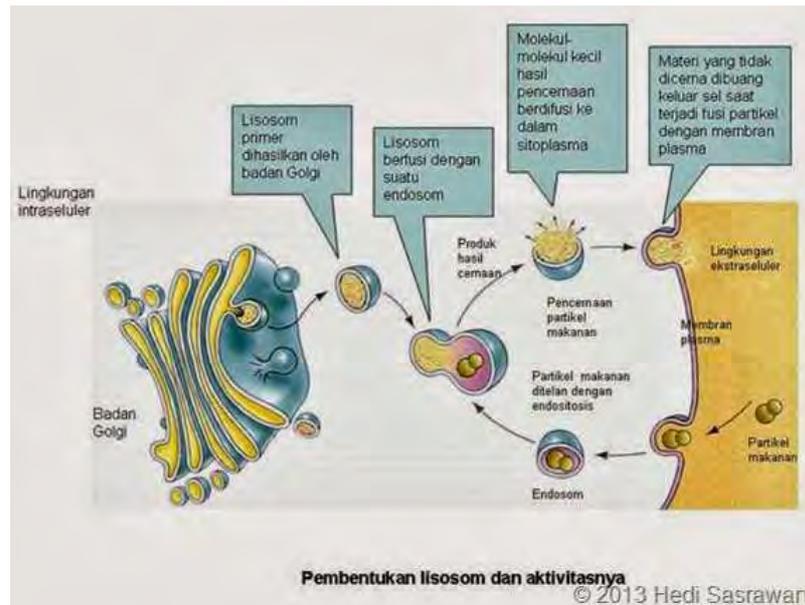
#### b. *Fungsi Lisosom*

Secara rinci fungsi lisosom adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan pencernaan intrasel.
- 2) Autofagi yaitu menghancurkan struktur yang tidak dikehendaki, misalnya organel lain yang sudah tidak berfungsi. Mula-mula, bagian dari retikulum endoplasma kasar menyelubungi organel dan membentuk autofagosom. Setelah itu, autofagosom berfusi dengan enzim hidrolitik dari trans Golgi dan berkembang menjadi lisosom (atau endosom lanjut).
- 3) Endositosis ialah pemasukan makromolekul dari luar sel ke dalam sel melalui mekanisme endositosis, yang kemudian materi-materi ini akan dibawa ke vesikel kecil dan tidak beraturan, yang disebut endosom awal. Beberapa materi tersebut dipilah dan ada yang digunakan kembali (dibuang ke sitoplasma), yang tidak dibawa ke endosom lanjut. Di endosom lanjut, materi tersebut bertemu pertama kali dengan enzim hidrolitik. Di dalam endosom awal, pH sekitar 6. Terjadi penurunan pH (5) pada endosom lanjut sehingga terjadi pematangan dan membentuk lisosom.
- 4) Eksositosis yaitu pembebasan enzim keluar sel, misalnya pada pergantian tulang rawan pada perkembangan tulang keras.
- 5) Fagositosis merupakan proses pemasukan partikel berukuran besar dan mikroorganisme seperti bakteri dan virus ke dalam sel. Pertama, membran akan membungkus partikel atau mikroorganisme dan membentuk fagosom. Kemudian, fagosom akan berfusi dengan enzim hidrolitik dari trans Golgi dan berkembang menjadi lisosom (endosom lanjut).

- 6) Autolisis yaitu penghancuran diri sel dengan membebaskan isi lisosom ke dalam sel, misalnya terjadi pada saat berudu menginjak dewasa dengan menyerap kembali ekornya.
- 7) Menghancurkan senyawa karsinogenik.

c. *Pembentukan Lisosom*



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.7.**

Proses pembentukan Lisosom

Enzim lisosom adalah suatu protein yang diproduksi oleh ribosom dan kemudian masuk ke dalam RE. Dari RE enzim dimasukkan ke dalam membran kemudian dikeluarkan ke sitoplasma menjadi lisosom. Selain ini ada juga enzim yang dimasukkan terlebih dahulu ke dalam golgi. Oleh golgi, enzim itu dibungkus membran kemudian dilepaskan di dalam sitoplasma. Jadi proses pembentukan lisosom ada dua macam, pertama dibentuk langsung oleh RE dan kedua oleh golgi.

d. *Penyakit pada Lisosom*

Lisosom yang abnormal menyebabkan penyakit yang fatal atau menyebabkan kematian. Berbagai kelainan turunan yang disebut sebagai penyakit penyimpangan lisosom (lysosomal storage disease) yang dapat mempengaruhi metabolisme lisosom.

Lysosomal storage diseases adalah penyakit keturunan yang memengaruhi metabolisme lisosom, terjadi karena mutasi di gen struktural sehingga kekurangan salah satu

enzim hidrolitik aktif yang secara normal ada dalam lisosom. Lysosomal Storage Disorder-selanjutnya disingkat LSD-merupakan kelainan genetik yang mengakibatkan ribosom tidak mensintesis enzim-enzim hidrolitik tertentu untuk digunakan oleh lisosom dalam tugasnya sebagai organel pencernaan. Akibatnya, materi/substrat yang seyogyanya dicerna/ dihidrolisis menjadi menumpuk oleh karena ketiadaan enzim-enzim tersebut. Penumpukan organel akhirnya menyebabkan kelainan-kelainan tertentu pada tubuh manusia, yang dapat dikenali dari tanda-tanda tertentu. Penyakit ini sangat jarang ditemukan, yaitu sekitar 1 dari 7700 kelahiran manusia

## 10. Sentriol

Sentriol adalah bagian sel yang berbentuk silinder yang terdiri dari tubulin yang ditemukan di sebagian sel eukariotik. Sentriol terlibat dalam pembelahan sel serta pembentukan silia dan flagela. Sentriol merupakan perkembangan dari sentrosom, yaitu pusat sel, daerah dari sitoplasma yang dekat dengan inti sel. Sentriol tidak terdapat di tumbuhan berpembuluh, tumbuhan berbunga, dan jamur. Sentriol ada di gamet jantan charophytes, bryophytes, tumbuhan berpembuluh tanpa biji, sikas, dan ginkgo. Sentriol pertama kali diteliti oleh Edouard van Beneden dan Theodor Boveri masing-masing pada tahun 1883 dan 1888, sementara pola sentriol saat melakukan duplikasi pertama kali diteliti oleh Etienne de Harven dan Joseph G. Gall pada tahun 1950.

### a. Struktur Sentriol

Sepasang sentriol yang saling terkait, dikelilingi oleh massa yang padat yang disebut bahan pericentriolar atau PCM, membentuk sebuah senyawa yang disebut sentrosom. Kebanyakan sentriol terdiri dari sembilan set mikrotubulus yang terdiri dari tiga buah yang membentuk silinder. Penyimpangan dari struktur ini adalah pada kepiting dan embrio *Drosophila melanogaster*, dengan sembilan ganda, dan sel-sel sperma dan embrio awal *Caenorhabditis elegans*, dengan sembilan tunggal. Struktur ini hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron.

### b. Peran Sentriol dalam Pembelahan Sel

Sentriol berfungsi membentuk kutub-kutub bagi pembelahan sel. Sentriol terlibat dalam proses mitosis dan dalam penyelesaian sitokinesis. Sentriol sebelumnya dianggap perlu untuk pembentukan mitosis pada sel hewan. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa sel-sel sentriol yang telah dihapus dengan laser masih dapat berkembang sebelum sentriol dapat disintesis. Selain itu, mutan lalat yang kekurangan sentriol berkembang secara normal, meskipun sel-sel lalat dewasa kekurangan flagela dan silia, kemudian mereka mati segera setelah lahir.

c. *Peran Sentriol dalam Organisme Seluler*

Sentriol adalah bagian yang sangat penting dari sentrosom, yaitu terlibat dalam mengorganisir mikrotubulus dalam sitoplasma. Posisi sentriol menentukan posisi inti sel dan memainkan peran penting dalam susunan sel spasial. Buehler telah mensugesti bahwa sentriol dapat membentuk sebuah “mata” penunjuk arah, yang sensitif terhadap panjang gelombang tertentu di spektrum infra merah. Dia juga telah menunjukkan bahwa sel-sel mampu bereaksi satu sama lain dalam kejauhan dan bahkan ketika dipisahkan oleh sebuah kaca film.

d. *Siliogenesis*

Dalam organisme dengan flagela dan silia, posisi organel ditentukan oleh ibu sentriol yang menjadi tubuh basal. Ketidakmampuan sel untuk menggunakan sentriol untuk membuat silia fungsional dan flagela telah dikaitkan dengan sejumlah penyakit genetik. Secara khusus, ketidakmampuan sentriol untuk bermigrasi sebelum perakitan siliaris baru-baru ini telah dikaitkan dengan sindrom Meckel-Gruber.

e. *Duplikasi Sentriol*

Sel-sel dalam  $G_0$  dan  $G_1$  biasanya berisi dua centrioles yang lengkap. Yang lebih tua dari dua pasangan disebut ibu sentriol, sedangkan yang lebih muda disebut putri sentriol. Selama siklus pembelahan sel, sentriol baru tumbuh dari masing-masing sentriol yang ada. Setelah sentriol berduplikasi, dua pasangan sentriol tetap melekat satu sama lain sampai mitosis, mereka akan berpisah dengan menggunakan enzim separase. Sentriol di sentrosom terhubung satu sama lain oleh protein teridentifikasi. Ibu sentriol telah memancar di distal akhir dan melekat ke putri sentriol lain. Setiap sel putri dibentuk setelah pembelahan sel yang akan mewarisi salah satu pasangan ini (salah satu yang lebih tua dan satu sentriol yang lebih baru). Duplikasi sentriol dimulai pada saat transisi  $G_1/s$  dan berakhir sebelum mitosis.

f. *Asal Sentriol*

Asal dari semua makhluk hidup bersel satu adalah sel bersilia dengan sentriol. Beberapa keturunan bersel satu seperti tumbuhan, tidak memiliki sentriol kecuali pada gamet jantan. Sentriol benar-benar menghilang di semua sel tumbuhan berpembuluh dan tumbuhan berbunga yang tidak memiliki silia atau gamet berflagela

## 11. Plastida

Plastida adalah organel yang ditemukan di dalam sel tumbuhan dan sel ganggang. Plastida merupakan organel yang amat dinamis dan mampu membelah, tumbuh dan berubah menjadi berbagai bentuk. Plastida adalah tempat pembuatan dan penyimpanan senyawa kimia penting yang digunakan oleh sel. Organel ini paling dikenal dalam bentuknya yang paling umum, kloroplas, sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis. Plastida seringkali mengandung pigmen yang digunakan dalam proses fotosintesis dan menentukan warna sel. Plastida dapat dilihat dengan mikroskop cahaya biasa. Plastida memiliki molekul DNA beruntai ganda yang berbentuk bulat, mirip prokariot.

Plastida merupakan organel yang sangat penting dalam menunjang kehidupan umat manusia, karena peran plastida sangatlah penting. Karena disini plastida merupakan suatu organel yang berperan aktif dalam proses fotosintesis. Fotosintesis adalah suatu proses perubahan zat anorganik  $H_2O$  dan  $CO_2$  oleh klorofil dengan bantuan cahaya matahari menjadi zat organik. Dimana hasil dari fotosintesis salah satunya adalah oksigen dan glukosa yang selama ini kita hirup.

### a. *Plastida pada Tumbuhan*

Plastida melakukan fotosintesis, menyimpan pati, dan mensintesis banyak molekul seperti asam lemak yang digunakan untuk menghasilkan energi dan untuk mensintesis molekul-moleku lain. Pada daun, plastida berwarna hijau dan disebut kloroplas, serta pada buah masak kadang-kadang kuning atau merah, disebut kromoplas. Semua plastida berasal dari proplastida yang terdapat di dalam jaringan meristem tumbuhan. Pada tumbuhan, plastida dapat dibagi menjadi beberapa bagian menurut fungsinya di dalam sel seperti berikut:

- 1) **Kloroplas** berisi zat hijau daun yang disebut klorofil. Kloroplas berperan penting dalam proses fotosintesis.
- 2) **Kromoplas** adalah bagian plastida yang berwarna (biasanya kuning, jingga, atau merah) karena mengandung beta karoten. Kromoplas berfungsi untuk sintesis pigmen.
- 3) **Gerontoplas** berfungsi untuk mengontrol pembongkaran hasil fotosintesis.
- 4) **Leukoplas** adalah bagian plastida yang tidak berwarna. Leukoplas terkadang berubah menjadi bagian plastida yang lebih khusus seperti:
  - a) Amiloplas untuk menyimpan pati dan mendeteksi gravitasi. Biasanya terdapat pada umbi tanaman.
  - b) Elainoplas untuk menyimpan lemak.
  - c) Proteinoplas untuk menyimpan dan memodifikasi protein.

Pada daun, plastida berwarna hijau dan disebut kloroplas, serta pada buah masak kadang-kadang kuning atau merah, disebut kromoplas. Plastida yang bertanggung jawab dalam proses fotosintesis, memiliki banyak lapisan membran internal. Dalam sel tumbuhan,

terkadang tumbuh tonjolan panjang yang disebut stromulus di tubuh plastida ke sitosol dan beberapa plastida lainnya. Protein dan molekul kecil mungkin dapat bergerak melalui stromulus. Sel-sel yang relatif besar dibandingkan sel-sel tumbuhan lain memiliki stromulus yang sangat panjang bahkan sampai ke pinggiran sel.

*b. Plastida pada Alga/Ganggang*

Dalam ganggang atau alga, leukoplas digunakan di semua plastida tetapi fungsinya berbeda dengan leukoplas pada sel tumbuhan. Etioplas, amiloplas, dan kromoplas tidak terdapat dalam ganggang. Alga glaucocystophytic mengandung muroplas yang mirip dengan kloroplas dan memiliki dinding sel yang mirip dengan prokariota. Alga rhydropytic mengandung rhydoplasts yang memungkinkan untuk melakukan fotosintesis hingga kedalaman 268 meter di bawah permukaan air.

*c. Pewarisan Plastida*

Kebanyakan tumbuhan mewarisi plastida hanya dari satu induknya. Secara umum, tumbuhan mewarisi plastida dari gamet betina sedangkan banyak gymnosperma yang mewarisi plastida dari serbuk sari jantan. Alga juga mewarisi plastida dari hanya satu induknya.

*d. Evolusi Plastida*

Secara evolusi plastid dianggap sebagai prokariota yang bersimbiosis ke dalam sel eukariota dan kemudian kehilangan sifat otonomi penuhnya. Simbiosis berkembang sekitar 1.500 juta tahun yang lalu dan diaktifkan oleh makhluk bersel satu untuk melakukan fotosintesis. Teori endosimbiosis ini mirip dengan yang terjadi terhadap mitokondria namun introduksi plastid dianggap terjadi lebih kemudian. Evolusi telah muncul di mana plastida dinamai berbeda seperti kloroplas pada ganggang hijau dan tumbuhan, rhodoplast dalam alga merah, dan muroplast di glaucophyta. Semua plastida ini dikelilingi oleh dua membran.

## **12. Peroksisom**

Peroksisom adalah organel yang ditemukan di hampir semua seleukariotik yang terbungkus oleh membran tunggal dari lipid yang mengandung protein reseptor. Peroksisom awalnya diidentifikasi sebagai komponen untuk memproduksi hidrogen peroksida, degradasi hidrogen peroksida, dan metabolisme asam lemak, yang merupakan fungsi umum untuk hampir semua organisme. Peroksisom terlibat dalam proses metabolisme asam lemak, asam amino, dan biosintesis plasmalogens, yaitu efek fosfolipid yang penting untuk fungsi otak mamalia dan paru-paru. Peroksisom tidak memiliki genom dan mengandung sekitar 50 enzim, seperti katalase dan ureat oksidase yang mengkristal di pusatnya. Peroksisom mampu beradaptasi dengan kondisi yang berubah-ubah. Peroksisom pertama kali dikenal sebagai

organel oleh sitologis dari Belgia Christian de Duve pada tahun 1967 setelah pertama kali dijelaskan oleh mahasiswa doktor dari Swedia, J. Rhodin pada tahun 1954.

*a. Fungsi Peroxisom*

Fungsi utama peroksisom adalah menyederhanakan rantai asam lemak yang panjang melalui beta oksidasi. Dalam sel hewan, asam lemak yang sangat panjang menjadi rantai medium asam lemak, yang kemudian dibawa ke mitokondria dan akhirnya dipecah menjadi karbon dioksida dan air. Dalam sel tanaman, proses ini hanya untuk peroksisom. Reaksi pertama dalam pembentukan plasmalogen dalam sel-sel hewan juga terjadi di peroksisom. Plasmalogen adalah fosfolipid terbanyak di selubung mielin. Kekurangan plasmalogen menyebabkan kelainan di bagian selubung mielin pada sel saraf, yang merupakan salah satu alasan mengapa gangguan pada peroksisom mempengaruhi sistem saraf. Peroxisom juga berperan dalam produksi asam empedu yang penting untuk pencernaan lemak dan vitamin yang larut dalam lemak seperti vitamin A dan K. Gangguan kulit adalah kelainan genetik yang mempengaruhi fungsi peroksisom. Peroxisom berisi enzim oksidatif, katalase, asam amino, dan asam urat. Namun enzim asam urat terdapat pada manusia, dan dapat mengakibatkan penyakit yang dikenal sebagai asam urat yang disebabkan oleh akumulasi asam urat. Enzim tertentu dalam peroksisom, dengan menggunakan molekul oksigen dan menghapus atom hidrogen, menghasilkan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) yang beracun. Enzim katalase yang terdapat di dalam peroksisom menggunakan  $H_2O_2$  untuk mengoksidasi substrat lainnya, seperti fenol, asam format, formaldehida, dan alkohol. Proses ini akan menghilangkan hidrogen peroksida yang beracun tersebut. Reaksi ini sangat penting dalam hati dan sel-sel ginjal, dimana peroksisom mendetoksifikasi berbagai zat-zat beracun yang masuk ke dalam darah. Sekitar 25% etanol pada minimal keras teroksidasi dengan cara ini. Selain itu, ketika kelebihan  $H_2O_2$  di dalam sel, enzim katalase mengubahnya melalui reaksi ini. Pada tanaman yang lebih tinggi tingkatannya, peroksisom juga berisi antioksidan. Ini membuktikan bahwa peroksisom menghasilkan superoksida ( $O_2^-$ ) dan nitrat oksida (NO). Peroxisom pada sel tumbuhan terpolarisasi ketika melawan jamur penetrasi.

*b. Reaksi di dalam Peroxisom*

Peroxisom menggunakan oksigen ( $O_2$ ) dan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) untuk melakukan reaksi oksidatif. Enzim-enzim dalam peroksisom ini menggunakan molekul oksigen untuk melepaskan atom hidrogen dari substrat organik (R) tertentu dalam suatu reaksi oksidatif yang menghasilkan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ).  $H_2O_2$  dimanfaatkan oleh enzim katalase untuk mengoksidasi substrat lain (fenol, asam format, formaldehida, dan alkohol). Reaksi oksidasi ini berperan untuk mendetoksifikasi bermacam-macam molekul racun dalam darah. Penumpukan  $H_2O_2$  diubah oleh katalase menjadi  $O_2$ . Salah satu fungsi penting dari reaksi

oksidatif yang dilakukan di peroksisom adalah pemecahan molekul-molekul asam lemak dalam proses yang disebut beta-oksidasi. Oksidasi asam lemak diikuti pembentukan  $H_2O_2$  yang berasal dari oksigen.  $H_2O_2$  akan diuraikan oleh katalase dengan cara diubah menjadi molekul  $H_2O$  atau dioksidasi oleh senyawa organik lain.

*c. Pembentukan Peroksisom*

Peroksisom dapat berasal dari retikulum endoplasma dan replikasi oleh fisi. Peroksisom mempunyai komposisi enzim yang berbeda dalam jenis sel yang berbeda. Matriks peroksisom diterjemahkan di dalam sitoplasma sebelum dilepas. Ada setidaknya 32 protein peroksisom yang disebut peroksin, yang berperan dalam proses perakitan peroksisom. Reseptor protein, peroksin PEX5 dan peroksin PEX7 mengantarkan peroksisom (mengandung PTS1 atau urutan asam amino PTS2) dan kembali ke sitosol. Mekanisme ini disebut mekanisme antar-jemput. Sekarang, telah ada bukti bahwa hidrolisis ATP diperlukan untuk daur ulang reseptor untuk sitosol.

*d. Keragaman Peroksisom*

Peroksisom mempunyai komposisi enzim yang berbeda dalam jenis sel yang berbeda. Peroksisom mampu beradaptasi dengan kondisi yang berubah-ubah. Contohnya, sel khamir yang ditumbuhkan dalam gula mempunyai peroksisom yang kecil, sedangkan sel ragi yang ditumbuhkan dalam metanol mempunyai peroksisom yang besar untuk mengoksidasi metanol. Jika sel khamir tersebut ditumbuhkan dalam asam lemak peroksisomnya membesar untuk memecahkan asam lemak tersebut menjadi asetil-KoA melalui beta-oksidasi.

*e. Peroksisom sel hewan dan tumbuhan*

Pada tumbuhan terdapat dua macam peroksisom sedangkan pada hewan terdapat satu macam peroksisom. Salah satu fungsi penting biosintetik dari peroksisom hewan adalah untuk mengkatalisis reaksi pertama dari pembentukan plasmalogen. Plasmalogen merupakan jenis fosfolipid terbanyak pada myelin. Kekurangan plasmalogen ini menyebabkan myelin pada sel saraf menjadi abnormal, karena itulah kerusakan peroksisom berujung pada kerusakan saraf. Peroksisom juga sangat penting dalam tumbuhan. Terdapat dua jenis peroksisom sudah yang diteliti secara ekstensif. Tipe pertama terdapat pada daun, yang berfungsi untuk mengkatalisis produk sampingan dari reaksi pengikatan  $CO_2$  pada karbohidrat, yang disebut fotorespirasi. Reaksi ini disebut fotorespirasi karena menggunakan  $O_2$  dan melepaskan  $CO_2$ . Tipe peroksisom lainnya, terdapat dalam biji yang sedang berkecambah. Peroksisom kedua ini, dinamakan glioksisom, mempunyai fungsi penting dalam pemecahan asam lemak, yang tersimpan dalam lemak biji, menjadi gula yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman muda. Proses pengubahan lemak menjadi gula ini dilakukan dengan rangkaian reaksi yang

disebut siklus glioksilat. Dalam siklus glioksilat, dua molekul asetil-KoA dihasilkan dari pemecahan asam lemak, selanjutnya digunakan untuk membuat asam suksinat. Selanjutnya asam suksinat ini meninggalkan peroksisom dan akan diubah menjadi glukosa. Siklus glioksilat ini tidak terjadi pada sel hewan. Hal ini menyebabkan sel hewan tidak dapat mengubah asam lemak menjadi karbohidrat.

*f. Reaksi fotorespirasi pada sel tumbuhan*

Selama fotosintesis, CO<sub>2</sub> diubah menjadi glukosa melalui siklus Calvin, yang dimulai dengan penambahan CO<sub>2</sub> ke dalam gula lima karbon, ribulosa-1,5-bifosfat. Akan tetapi, enzim yang terlibat dalam reaksi ini kadang-kadang mengkatalisis penambahan O<sub>2</sub> ke dalam ribulosa-1,5-bifosfat, yang berakibat pada produksi senyawa dengan dua karbon, fosfoglikolat. Fosfoglikolat kemudian diubah menjadi glikolat, yang kemudian ditransfer ke peroksisom, kemudian dioksidasi dan diubah menjadi glisin. Kemudian glisin ditransfer ke mitokondria dan diubah menjadi serin. Serin lalu dikembalikan ke dalam peroksisom dan diubah menjadi gliserat, yang kemudian ditransfer kembali ke kloroplas.

*g. Kondisi Medis yang Terkait dengan Peroksisom*

Gangguan pada peroksisom adalah suatu kondisi media yang biasanya mempengaruhi sistem saraf manusia serta banyak organ lainnya. Dua contoh umum yang terkait adalah adrenoleukodystrophy dan gangguan biogenesis peroksisom. **Sindrom Zellweger**, merupakan penyakit keturunan yang disebabkan oleh mutasi pada gen yang mengkode protein integral membran peroksisom (Peroksin PEX2) sehingga tidak dapat melakukan impor protein. Sindrom ini menyebabkan abnormalitas pada otak, hati, ginjal, dan dapat menyebabkan kematian. Penyakit ini belum ada pengobatannya dan menyebabkan komplikasi pneumonia dan gangguan pernapasan, serta kematian setelah enam bulan kelahiran.

*h. Gen yang Terdapat dalam Peroksisom*

Gen PEX menyandikan mesin protein (“peroksin”) yang diperlukan untuk proses perakitan peroksisom, seperti yang telah dijelaskan di atas. Perakitan dan pemeliharaan membran memerlukan peroksin 3, 16, dan 19 dan dapat terjadi tanpa impor enzim matriks (lumen). Proliferasi organel diatur oleh PEX11. Gen yang menyandikan protein peroksin adalah PEX1, PEX2 - PXMP3, PEX3, PEX5, PEX6, PEX7, PEX10, PEX11A, PEX11B, PEX11G, PEX12, PEX13, PEX14, PEX16, PEX19, PEX26, PEX28, PEX30, dan PEX31.

*i. Mekanisme Transfer Protein ke dalam Peroksisom*

Peroksisom tidak memiliki DNA dan ribosom sehingga tidak dapat mensintesis protein sendiri. Oleh karena itu dilakukan impor protein melalui membran. Hanya protein tertentu yang dapat masuk ke peroksisom, yaitu protein yang memiliki sekuen tiga asam amino spesifik (serin-lisin-leusin) pada ujung C atau ujung N (Protein Targeting Signal/PTS). Protein reseptor impor peroksisom yang terlibat dalam transpor protein ke dalam peroksisom adalah peroksin (PEX). Protein reseptor impor peroksisom yang larut dalam sitosol (PEX2 atau PEX5) mengenali protein peroksisom di sitosol yang mengandung tiga sekuen asam amino spesifik di ujung N atau ujung C. PEX2 atau PEX5 mengangkut protein ke dalam peroksisom dengan bantuan protein membran peroksisom. Kemudian di dalam peroksisom protein dilepaskan lalu PEX2 atau PEX5 kembali ke sitosol.

*j. Sejarah Evolusi Peroksisom*

Peroksisom dianggap sebagai organel primitif yang melakukan semua metabolisme oksigen di dalam sel eukariota tipe awal. Kandungan protein peroksisom bervariasi di seluruh spesies. Produksi oksigen oleh bakteri fotosintetik akan terakumulasi di atmosfer. Hal ini menyebabkan oksigen menjadi toksik bagi sebagian sel. Peroksisom berkembang dari bakteri yang menyerang sel-sel yang lebih besar sebagai parasit, dan secara bertahap berkembang hubungan simbiosis. Namun, pandangan ini banyak ditentang oleh berbagai penemuan terbaru. Peroksisom berperan menurunkan oksigen dalam sel dan melakukan reaksi oksidatif. Berkembangnya mitokondria mengambil alih sebagian besar fungsi oksidatif tersebut dan membuat peroksisom kurang terpakai. Yang tersisa pada era modern sekarang hanya fungsi penting yang tidak dapat dilakukan mitokondria.

*k. Hubungan Peroksisom dengan Organel Lain*

Organel lain dari keluarga mikro berkaitan dengan peroksisom termasuk gloksisom pada tumbuhan dan jamur berserabut, glikosom dari kinetoplastid, dan badan woronin pada jamur berserabut

### **13. Vakuola**

Vakuola adalah organel sel yang ditemukan di semua jenis tumbuhan dan jamur dan beberapa protista, hewan, dan sel bakteri. Vakuola dibatasi selaput tipis (disebut tonoplas) yang berisi air yang mengandung molekul organik dan anorganik termasuk enzim. Vakuola juga berisi asam organik, asam amino, glukosa, gas, garam-garam kristal, alkaloid. Semakin tua suatu tumbuhan, maka vakuola yang terbentuk semakin besar.

### a. *Struktur Vakuola*

Vakuola terbagi menjadi 2 jenis, yaitu Vakuola Kontraktil dan Vakuola nonkontraktil (vakuola makanan). Vakuola kontraktil (disebut juga vakuola berdenyut) berfungsi sebagai osmoregulator yaitu pengatur nilai osmotik sel atau ekskresi. Pada makhluk hidup yang mirip hewan misalnya Protista, terdapat vakuola kontraktil atau vakuola berdenyut yang menetap dan seterusnya berada di dalam sel. Vakuola nonkontraktil (disebut juga vakuola makanan) berfungsi untuk mencerna makanan dan mengedarkan hasil makanan. Ada berbagai zat maupun molekul yang mengisi vakuola, di antaranya adalah:

- 1) Berbagai macam gas seperti oksigen dan karbondioksida.
- 2) Asam amino, baik yang merupakan hasil metabolisme maupun sisa metabolisme.
- 3) Garam-garam organik yang disimpan atau dibuang ke luar sel.
- 4) Glikosida.
- 5) Tanin atau zat penyamak.
- 6) Minyak atsiri, zat yang menimbulkan aroma pada tumbuhan seperti roseine pada mawar dan zingiberine pada jahe.
- 7) Zat-zat alkaloid, seperti kafein yang terdapat pada biji kopi, nikotin dalam daun tembakau, tein yang ditemukan di kandungan daun teh, teobromin pada biji coklat, solanin yang terdapat pada umbi kentang, dan sebagainya.
- 8) Berbagai enzim.
- 9) Dan sejumlah butir-butir pati.

### b. *Fungsi Vakuola*

Bagi tumbuhan, vakuola berperan sangat penting dalam kehidupan karena mekanisme pertahanan hidupnya bergantung pada kemampuan vakuola menjaga konsentrasi zat-zat terlarut di dalamnya. Proses pelayuan, misalnya, terjadi karena vakuola kehilangan tekanan turgor pada dinding sel. Dalam vakuola terkumpul pula sebagian besar bahan-bahan berbahaya bagi proses metabolisme dalam sel karena tumbuhan tidak mempunyai sistem ekskresi yang efektif seperti pada hewan. Tanpa vakuola, proses kehidupan pada sel akan berhenti karena terjadi kekacauan reaksi biokimia. Vakuola juga dapat membantu melindungi tumbuhan terhadap predator dengan mengandung senyawa yang beracun atau tidak menyenangkan bagi hewan. Sitosol sering hanya menempati lapisan tipis antara vakuola pusat dan membran plasma, sehingga rasio permukaan membran plasma untuk Volume sitosol besar, bahkan untuk sel pabrik besar. Berikut adalah fungsi Vakuola:

- 1) Memasukkan air melalui tonoplas yang bersifat diferensial permeabel untuk membangun turgor sel.
- 2) Tempat penyimpanan zat cadangan makanan seperti amilum dan glukosa.
- 3) Mampu memfasilitasi proses sirkulasi zat dalam sel.

- 4) Vakuola ada yang berisi pigmen pada daun, bunga, dan buah dalam bentuk larutan, seperti antosian, termasuk antosianin yang berwarna merah, biru, dan lembayung, juga warna gading dan kuning. Antosian dapat memberi warna pada bunga, buah, pucuk, dan daun. Hal ini, berguna untuk menarik serangga, burung, dan hewan lain yang berjasa bagi penyerbukan atau persebaran biji.
- 5) Tempat penyimpanan minyak atsirik (golongan minyak yang memberikan bau khas seperti minyak kayu putih).
- 6) Vakuola tumbuhan, kadang-kadang mengandung enzim hidrolitik yang dapat bertindak sebagai lisosom waktu hidup. Setelah sel mati, tonoplas kehilangan sifat diferensial permiabelnya sehingga enzim-enzimnya lolos keluar menyebabkan autolisis (penghancuran diri).
- 7) Mengatur turgiditas sel (tekanan osmotik sel).
- 8) Menjadi tempat penyimpanan zat makanan terlarut yang sewaktu-waktu dapat digunakan oleh sitoplasma. Misalnya, sukrosa, glikogen, dan garam mineral.
- 9) Tempat penimbunan sisa metabolisme dan metabolik sekunder seperti getah karet, alkaloid, tanin, dan kalsium oksalat.
- 10) Sebagai kelengkapan sel untuk memelihara tekanan osmotik sel.

#### c. *Vakuola pada Bakteri*

Vakuola besar ditemukan di tiga genera pada bakteri *Thiopedia*, *Beggiatoa*, dan *Thiomargarita*. Sitosol sangat mengurangi genera ini dan vakuola dapat berukuran antara 40-98% sel. Vakuola mengandung konsentrasi ion nitrat yang tinggi dan karena itu dianggap sebagai organel penyimpanan. Vakuola gas yang bebas permeabel gas, terdapat dalam beberapa jenis cyanobacteria. Mereka memungkinkan bakteri untuk memiliki daya apung.

#### d. *Vakuola pada Tumbuhan*

Sel-sel tanaman dewasa memiliki satu vakuola besar yang biasanya menempati lebih dari 30% dari volume sel, dan terkadang menempati 80% volume sel pada kondisi tertentu. Sitoplasma sering berjalan melalui vakuola. Vakuola dikelilingi oleh membran yang disebut tonoplas (berasal dari kata *ton* yang berarti "peregangan" dan *plastós* yang berarti "dibentuk"). Disebut juga sebagai membran vakuola. Tonoplas berfungsi sebagai pemisah antara isi vakuola dengan sitoplasma sel. Sebagai membran, tonoplas juga terlibat dalam mengatur gerakan ion di sekitar sel dan mengisolasi bahan yang mungkin berbahaya atau mengancam sel. Transportasi proton dari sitosol vakuola menstabilkan pH sitoplasma, sementara dengan membuat vakuola interior lebih asam maka nutrisi dapat masuk atau keluar dari vakuola. pH rendah pada vakuola juga memungkinkan enzim degradatif untuk bekerja. Ukuran vakuola pada sel yang telah berkembang dan yang masih membangun

berbeda. Contohnya adalah pada sel-sel yang berkembang di meristem memiliki vakuola yang lebih kecil. Selain sebagai tempat penyimpanan, fungsi utama vakuola adalah untuk menjaga tekanan ke dinding sel. Protein yang terdapat di tonoplas yang disebut aquaporins mengontrol aliran air masuk dan keluar dari vakuola melalui transpor aktif. Karena osmosis, air akan menyebar di vakuola dan akan memberi tekanan pada dinding sel.

*e. Vakuola pada Jamur (Fungi)*

Fungsi vakuola dalam sel-sel jamur serupa dengan yang terdapat di tumbuhan. Terdapat lebih dari satu vakuola pada setiap selnya. Vakuola banyak terlibat dalam berbagai proses termasuk homeostasis pH sel dan konsentrasi ion, osmoregulasi, dan menyimpan asam amino.

*f. Vakuola pada Hewan*

Vakuola pada hewan membantu dalam proses eksositosis dan endositosis. Vakuola pada hewan berukuran lebih kecil daripada vakuola yang terdapat pada tumbuhan tetapi jumlahnya lebih banyak. Ada juga sel-sel hewan yang tidak memiliki vakuola. Eksositosis adalah proses ekstrusi protein dan lemak dari sel. Zat-zat tersebut akan diserap ke dalam badan golgi sebelum diangkut ke membran sel dan dikeluarkan ke lingkungan di luar sel. Endositosis adalah kebalikan dari eksositosis dan dapat terjadi dalam berbagai bentuk. Fagositosis adalah proses dimana bakteri, jaringan mati, dan lainnya akan ditelan oleh sel.

## **14. Inti Sel**

Inti sel (nukleus) adalah sebuah organel yang ditemukan di sel eukariotik. Inti sel mengandung banyak materi genetik seperti kromosom, DNA, dan bermacam-macam protein. Biasanya sel hanya memiliki satu nukleus saja, namun ada sel yang memiliki lebih dari satu nukleus seperti sel parenkim hati dan sel otot jantung. Bahkan ada beberapa sel seperti sel eritrosit dan sel trombosit tidak memiliki nukleus. Fungsi utama inti sel adalah untuk mengelola gen-gen dan mengontrol aktivitas sel. Inti sel juga berperan penting dalam proses pembelahan sel, memproduksi mRNA, tempat mensintesis ribosom, tempat terjadinya replikasi dan transkripsi DNA, dan mengatur gerak ekspresi gen.

*a. Sejarah Penemuan Inti Sel*

Inti sel adalah organel pertama yang diteliti. Penggambaran inti sel pertama kali dilakukan oleh Antonie van Leeuwenhoek. Kala itu dia sedang meneliti inti sel di dalam sel darah merah salmon. Inti sel juga dijelaskan oleh Franz Bauer pada tahun 1804 dan dijelaskan secara lebih detail lagi oleh Robert Brown pada tahun 1831 saat dia menjadi pembicara di Linnean Society of London. Kala itu Robert Brown meneliti inti sel dari sel pada epidermis bunga anggrek. Namun, dia tidak menjelaskan apa fungsi dari inti sel tersebut. Pada tahun

1838, Matthias Schleiden mengatakan bahwa inti sel berperan dalam pembentukan sel dan kemudian dia menamakannya “cytoblast” yang berarti “pembentuk sel”. Dia yakin bahwa dia telah melihat sel baru terbentuk disekitar “cytoblast”.

Diantara tahun 1877 dan 1878, Oscar Hertwig mempublikasikan sejumlah studi dari fertilisasi telur landak laut yang menunjukkan bahwa inti sel sperma memasuki sel telur dan menyatu dengan inti sel tersebut. Itu adalah pertama kalinya diduga bahwa sebuah individu terbentuk dari sebuah inti sel. Selain itu, Hertwig juga telah meneliti hewan lain seperti amfibi dan moluska. Eduard Strasburger menghasilkan hasil penelitian yang sama pada tumbuhan pada tahun 1884. Pada abad ke-20, teori kromosom pun dikembangkan.

#### *b. Struktur Inti Sel*

Inti sel merupakan organel terbesar dalam sel hewan. Di dalam sel mamalia, diameter rata-rata inti sel diperkirakan sekitar 6 mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) dan menempati sekitar 10% dari total volume sel. Cairan yang melekat pada inti sel disebut nukleoplasma, dan komposisinya mirip dengan sitosol yang ditemukan diluar inti sel. Komposisi inti sel terdiri dari membran inti, nukleoplasma, kromosom, dan anak inti (nukleolus).

- 1) Membran Inti, inti sel pada sel eukariot diselubungi oleh membran inti. Secara garis besar, membran inti terdiri dari tiga bagian yaitu membran luar, ruang perinuklear, dan membran dalam. Membran luar seringkali terhubung dengan retikulum endoplasma (RE) yang ditemplei oleh ribosom. Di membran inti terdapat pori inti yang bertujuan untuk memudahkan melakukan pertukaran molekul antara inti sel dengan sitoplasma. Molekul tersebut kebanyakan merupakan mRNA yang digunakan untuk sintesis protein.
- 2) Nukleoplasma, cairan yang terdapat di dalam inti sel yang transparan dan kental. Nukleoplasma mengandung kromatin, granula, nukleoprotein, dan senyawa kimia kompleks. Pada saat pembelahan sel, benang kromatin menebal dan memendek serta mudah menyerap zat warna disebut kromosom. Benang kromatin tersusun atas protein dan DNA. Di dalam benang DNA inilah tersimpan informasi kehidupan. DNA akan mentranskripsi diri (menyalin diri) menjadi RNA yang selanjutnya akan dikeluarkan ke sitoplasma.
- 3) Kromosom (Selengkapnya baca artikel tentang kromosom), inti sel mengandung banyak gen dari DNA yang tersusun dan membentuk struktur yang disebut kromosom. Setiap sel manusia mempunyai untaian DNA sepanjang dua meter. Di dalam inti sel juga terbentuk protein DNA kompleks yang dikenal sebagai kromatin. Terdapat dua jenis kromatin yaitu eukromatin dan heterokromatin. Eukromatin merupakan bentuk DNA yang lebih sederhana dan mengandung gen yang diekspresikan oleh sel. Sedangkan

heterokromatin adalah bentuk DNA yang lebih kompleks dan mengandung DNA yang telah ditranskripsi.

- 4) Nukleolus, nukleolus lebih dikenal dengan istilah “anak inti”. Nukleolus adalah “noda” tebal yang ditemukan di dalam inti sel. Nukleolus tidak dikelilingi oleh membran dan sewaktu-waktu disebut suborganel. Nukleolus tersusun atas fosfoprotein, orthosfat, DNA, dan enzim. Fungsi utama nukleolus adalah untuk mensintesis rRNA dan merakit ribosom. Struktur nukleolus bergantung pada aktivitasnya. Jika sintesis rRNA berhenti, nukleolus menghilang atau mengecil. Jadi, nukleolus bukan merupakan organel yang tetap.

### c. Fungsi Inti Sel

Inti sel mampu untuk melakukan transkripsi gen yang dipisahkan dari tempat transkripsi di sitoplasma. Fungsi utama inti sel adalah untuk mengontrol ekspresi gen dan mereplikasi DNA di dalam sel. Fungsi dari inti sel hewan dan inti sel tanaman hampir sama. Hal ini karena fungsi dikategorikan berdasarkan sifat sel prokariotik dan eukariotik. Sel tumbuhan dan hewan keduanya eukariotik.

#### 1) Pengelompokan dalam Sel

Inti sel mampu mengatur apa yang ada di dalamnya, dan menyalinnya ke sitoplasma bisa diperlukan. Kompartementalisasi Sel adalah fungsi dari selubung nuklir. Ini diperlukan untuk mengontrol kinerja membran inti. Hal ini menuntut pemisahan isi inti dari sitoplasma dalam rangka mempertahankan identitas inti. Untuk mengendalikan gen yang ditranskripsi, sel memisahkan beberapa protein faktor transkripsi yang bertanggung jawab mengatur ekspresi gen dari akses ke DNA sampai diaktifkan. Lapisan inti juga memisahkan proses sitoplasma dari proses inti dan mencegah terjemahan mRNA unspliced (tak-tersambung), yang merupakan produk dari proses penyambungan mRNA.

#### 2) Ekspresi Gen

Sejak inti sel merupakan tempat untuk melakukan transkripsi, inti sel mengandung berbagai macam protein yang mengatur proses transkripsi. Salah satu fungsi yang paling penting dari inti adalah ekspresi gen melalui transkripsi DNA. Dengan demikian, inti merupakan tempat transkripsi. Ini melibatkan aktivitas dari berbagai jenis protein yang membantu dalam pemalakan dari DNA, sintesis molekul RNA tumbuh, super melingkar DNA dan akhirnya memasuki proses transkripsi yang sebenarnya. Protein dan faktor lain yang membantu dan mengatur transkripsi helikase, RNA pol, topoisomerase, dan faktor transkripsi.

### 3) Pengolahan Pra-mRNA

Yang baru disintesis molekul mRNA, juga dikenal sebagai transkrip primer mengalami modifikasi pasca-transkripsi sebelum mendapatkan diekspor ke sitoplasma. Modifikasi transkripsi pasca terjadi di nukleus dan melibatkan berbagai proses biologis seperti 3' poli adenylation, 5' kap dan penyambungan RNA. Ini proses penting yang diperlukan sebelum memulai penerjemahan. Sementara di inti, pra-mRNA dikaitkan dengan berbagai protein pada kompleks yang dikenal sebagai partikel heterogen ribonucleoprotein. Sintesis ribosom terjadi di dalam nukleus.

#### *d. Dinamika dan Regulasi Inti Sel*

##### 1) Transportasi inti

Transportasi inti dilakukan oleh pori-pori ada dalam selubung nukleus. Masuk dan keluar dari molekul dikendalikan oleh struktur ini. muatan Protein dibawa dari sitoplasma ke inti dengan bantuan exportins ketika makromolekul seperti RNA diekspor ke sitoplasma dalam hubungan dengan importins dan karyopherins. Dengan demikian, transportasi berlangsung secara efisien melalui membran nuklir.

##### 2) Integrasi dan Disintegrasi

Perakitan dan pembongkaran nucleolus adalah fitur karakteristik dari proses pembelahan sel. Fungsi nucleolus Sel pada dasarnya terkait dengan apoptosis atau kematian sel terprogram. Selanjutnya, selubung dan lamina inti mengalami disintegrasi selama siklus sel. Duplikasi kromosom untuk membentuk materi genetik baru dari sel anak adalah fungsi penting dari inti sel. Replikasi DNA terjadi di dalam nukleus.

##### 3) Penyakit yang Berhubungan dengan Dinamika Inti Sel

Pada awalnya, telah diduga bahwa imunoglobulin dan autoantibodi biasanya tidak masuk ke inti sel. Sekarang telah ditemukan bukti bahwa kondisi patologis (misalnya lupus) dapat masuk ke inti sel

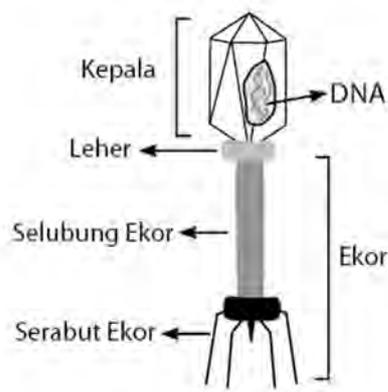
## **B. VIRUS**

Virus termasuk ke dalam organisme mikro, benda dengan ukuran sangat kecil. Rata-rata, virus memiliki ukuran milimikron. Untuk melihat virus hanya dapat menggunakan mikroskop elektron. Mikroskop cahaya yang sering digunakan di sekolah tidak dapat digunakan untuk melihat virus. Pada ulasan materi di sini akan dibahas tentang virus yang meliputi struktur virus, sifat-sifat virus, dan senyawa penyusun virus. Meskipun virus berukuran sangat kecil, namun virus dapat menjadi ancaman kesehatan untuk suatu individu. Penyakit yang cukup sering dialami kebanyakan individu adalah flu, pilek. Penyakit ini adalah salah satu jenis penyakit yang disebabkan virus. Virus membutuhkan individu lain untuk

berkembang. Virus tidak dapat hidup tanpa parasit di individu lain. Oleh karenanya, keberadaan virus masih diperdebatkan sebagai organisme hidup atau tidak. Berikutnya, pembahasan tentang virus: struktur, sifat-sifat, dan senyawa penyusun virus akan dimulai dengan ulasan struktur virus sebagaimana ulasan materi di bawah ini.

## 1. Struktur Virus

Struktur virus hanya meliputi kepala dan ekor. Di dalam kepala virus terdapat DNA/RNA, yang berperan sebagai material genetik. Sedangkan pada ekor tersusun atas selubung ekor dan serabut ekor. Serabut ekor berperan sebagai penerima rangsang (reseptor). Selubung ekor berfungsi untuk menginfeksi dan menghancurkan lapisan kulit bakteri atau sel supaya bisa memasukkan RNA/DNA kepada sel inang untuk berkembangbiak. Gambar virus dan strukturnya dapat dilihat pada gambar di bawah.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.8.**

Struktur Virus

Daftar dibawah menunjukkan struktur penyusun virus dan keterangan beserta fungsinya.

- Kepala Virus: bentuk berupa persegi delapan yang didalamnya terdapat materi genetik (asam nukleat) virus (DNA/RNA).
- Ekor Virus: merupakan selubung memanjang (tubus), berfungsi sebagai alat penginfeksi
- Serabut Ekor: merupakan serabut yang tumbuh dibagian ujung ekor, berfungsi sebagai penerima rangsang (reseptor).
- Selubung Ekor: berfungsi untuk menginfeksi dan menghancurkan lapisan kulit bakteri atau sel supaya bisa memasukkan RNA/DNA kepada sel inang untuk berkembangbiak.

## 2. Sifat-sifat Virus

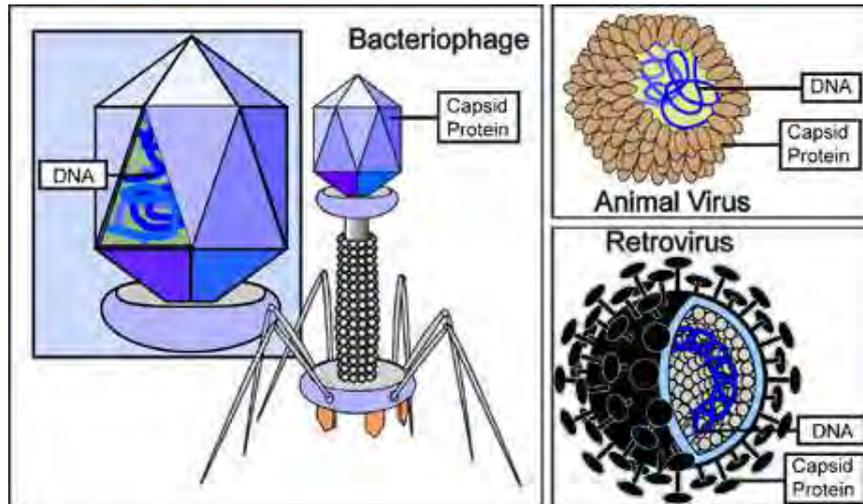
Mamalia berkembang biak dengan cara vivipar (melahirkan). Bangsa Aves berkembang biak dengan ovipar (bertelur). Seperti individu lainnya, virus juga memiliki sifat-sifat khusus. Setidaknya, ada 5 (lima) sifat virus yang menjadi ciri virus. Sifat-sifat virus tersebut diuraikan pada uraian di bawah ini.

- a. Hanya memiliki satu macam asam nukleat ADN/ARN dengan selubung protein.
- b. Ukuran virus sangat kecil, dalam ukuran milimikron. Dengan ukuran tersebut, virus hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop elektron.
- c. Virus tidak memiliki membran sel, sitoplasma, dan inti sel karena virus bukan termasuk sel.
- d. Virus tidak dapat hidup sendiri dan selalu membutuhkan organisme hidup lain.
- e. Virus memiliki bentuk dan ukuran yang bermacam-macam dan hanya akan aktif pada organ/makhluk yang spesifik.

## 3. Senyawa Penyusun Virus

Virus terbagi menjadi dua jenis yaitu virus yang hanya memiliki asam nukleat berupa DNA saja, atau virus yang hanya memiliki RNA saja. Daftar di bawah merupakan senyawa penyusun virus:

- a. Asam nukleat (ADN atau ARN)
- b. Karbohidrat
- c. Lemak dan Protein
- d. Logam-logam
- e. Substansi-substansi lain



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.9**

Senyawa Penyusun Virus

## Latihan

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

Pasangkanlah antara pernyataan kolom sebelah kiri dengan pilihan yang ada disebelah kanan!

Materi	Pilihan	Jawaban
Tidak dapat hidup tanpa parasit di individu lain	A. Nukleus B. Virus	A
Alat respirasi sel	C. Eksositosis	D
Proses sintesis protein	D. Mitokondria	E
Proses pembebasan enzim keluar sel	E. Ribosom	C
Alat pencernaan sel yang telah melakukan fungsinya	F. Lisosom skunder	F
Kerangka sel	H. Autolisis	G
Proses penghancuran diri sel	I. Vakuola	H
Sejenis lisosom yang ada pada tumbuhan	J. Mitokondria	I
Penghasil energi ATP/ Pembangkit energi Sel	K. Serabut ekor Virus L. Mikrofilamen	D
Bagian Virus yang berperan sebagai reseptor	M. Selubung ekor Virus N. Inti Sel Virus O. Retikulum Endoplasma P. Plastida	K

## Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk dapat mengerjakan latihan tersebut diatas, maka Anda harus mempelajari dan memahami Bab 2 Topik 1 dengan baik!
- 2) Pelajari tentang organel sel beserta peranan masing- masing.
- 3) Pasangkanlah antara nama organel sel dengan fungsi peram masing- masing dengan mengisikan kode huruf pada kolom paling kanan.

## Ringkasan

- 1) Organel sel adalah komponen yang menyusun sel seperti halnya organ dalam tubuh manusia yang sangat penting karena berguna untuk mendukung seluruh kegiatan dan fungsi sel.
- 2) Jenis organel sel dengan peranan yang beragam:
  - a) Sitoskeleton sebagai kerangka yang terkandung di dalam sitoplasma sel. berfungsi untuk menyokong struktur sel dan organel lain pada sel.
  - b) Ribosom berperan penting dalam proses sintesis protein, menerjemahkan mRNA menjadi protein. Protein yang disintesis oleh ribosom bebas hanya digunakan di dalam sitoplasma. Fungsi ribosom yang lain adalah transkripsi. Transkripsi adalah sintesis RNA dari salah satu rantai DNA, yaitu rantai cetakan atau sense, sedangkan rantai DNA komplemennya disebut rantai antisense. Rentangan DNA yang ditranskripsi menjadi molekul RNA disebut unit transkripsi.
  - c) Retikulum endoplasma berperan mendukung sintesis protein dan menyalurkan bahan genetic antara inti sel dengan sitoplasma dan berfungsi sebagai alat transportasi zat di dalam sel itu sendiri.
  - d) Retikulum endoplasma kasar terutama bertanggung jawab untuk sintesis protein dan jenis halus terlibat dalam sintesis dan metabolisme lipid. RE halus juga merupakan lokasi untuk penyimpanan dan transportasi.
  - e) Badan Golgi Sel mensintesis sebagian besar makromolekul. Badan golgi merupakan bagian yang berperan penting dalam memodifikasi, menyortir, dan mengemas makromolekul yang kemudian akan disekresi oleh sel atau akan digunakan di dalam sel. Selain itu, badan golgi juga memodifikasi protein yang dikeluarkan oleh retikulum endoplasma kasar, terlibat dalam pengangkutan lipid di sel, dan penciptaan lisosom.
  - f) Mitokondria adalah organel sel yang berfungsi sebagai tempat respirasi sel makhluk hidup melalui jalur siklus Krebs. Mitokondria kerap disebut sebagai “pembangkit

energi” bagi sel karena mitokondria yang paling banyak menghasilkan energi ATP untuk sel. Mitokondria berisi sejumlah enzim dan protein yang membantu proses karbohidrat dan lemak yang diperoleh dari makanan yang kita makan untuk melepaskan energi. Mitokondria banyak terdapat pada sel yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi dan memerlukan banyak ATP dalam jumlah banyak, misalnya sel otot jantung.

- g) Lisosom adalah salah satu organel sel yang mengandung enzim hidrolitik yang berguna untuk mengontrol pencernaan intraseluler. Lisosom berasal dari kata lyso yang berarti “pencernaan” dan soma yang berarti “tubuh”. Lisosom berbentuk agak bulat dan berdiameter sekitar 1,5  $\mu\text{m}$ . Lisosom hanya berada di sel hewan. Lisosom tidak berada di sel tumbuhan karena pada sel tumbuhan telah memiliki vakuola yang memiliki fungsi yang sama dengan lisosom.
  - h) Ada dua jenis lisosom, yaitu lisosom primer dan lisosom sekunder. Perbedaannya adalah, bahwa lisosom primer merupakan lisosom yang belum digunakan untuk pencernaan/hirolisis, sedangkan lisosom sekunder merupakan lisosom primer yang telah bekerja dan menyatu dengan membran fagosom.
  - i) Sentriol adalah bagian sel yang berbentuk silinder yang terdiri dari tubulin yang ditemukan di sebagian sel eukariotik. Sentriol terlibat dalam pembelahan sel serta pembentukan silia dan flagela.
  - j) Plastida adalah organel yang ditemukan di dalam sel tumbuhan dan sel ganggang. Plastida merupakan organel yang amat dinamis dan mampu membelah, tumbuh dan berubah menjadi berbagai bentuk. Plastida adalah tempat pembuatan dan penyimpanan senyawa kimia penting yang digunakan oleh sel.
  - k) Peroxisom berperan menyederhanakan rantai asam lemak yang panjang melalui beta oksidasi. Dalam sel hewan, asam lemak yang sangat panjang menjadi rantai medium asam lemak, yang kemudian dibawa ke mitokondria dan akhirnya dipecah menjadi karbon dioksida dan air.
  - l) Bagi tumbuhan, vakuola berperan sangat penting dalam kehidupan karena mekanisme pertahanan hidupnya bergantung pada kemampuan vakuola menjaga konsentrasi zat terlarut di dalamnya. Tanpa vakuola, proses kehidupan pada sel akan berhenti karena terjadi kekacauan reaksi biokimia. Vakuola juga membantu melindungi tumbuhan terhadap predator dengan mengandung senyawa yang beracun atau tidak menyenangkan bagi hewan
  - m) Fungsi utama inti sel adalah untuk mengontrol ekspresi gen dan mereplikasi DNA di dalam sel.
- 3) Autofagi yaitu proses menghancurkan struktur yang tidak dikehendaki, dengan cara bagian dari retikulum endoplasma kasar menyelubungi organel dan membentuk

autofagosom. Setelah itu, autofagosom berfusi dengan enzim hidrolitik dari trans Golgi dan berkembang menjadi lisosom (atau endosom lanjut).

- 4) Endositosis ialah pemasukan makromolekul dari luar sel ke dalam sel melalui mekanisme endositosis, yang kemudian materi ini akan dibawa ke vesikel kecil dan tidak beraturan, yang disebut endosom awal.
- 5) Eksositosis yaitu pembebasan enzim keluar sel, misalnya pada pergantian tulang rawan pada perkembangan tulang keras.
- 6) Fagositosis merupakan proses pemasukan partikel berukuran besar dan mikroorganisme seperti bakteri dan virus ke dalam sel. Dengan cara membran akan membungkus partikel atau mikroorganisme dan membentuk fagosom. Kemudian, fagosom akan berfusi dengan enzim hidrolitik dari trans Golgi dan berkembang menjadi lisosom (endosom lanjut).
- 7) Autolisis yaitu penghancuran diri sel dengan membebaskan isi lisosom ke dalam sel, misalnya saat berudu menginjak dewasa dengan menyerap kembali ekornya.
- 8) Virus sebagai organisme mikro berukuran sangat kecil dalam milimikron. Virus membutuhkan individu lain untuk berkembang sehingga Virus tidak dapat hidup tanpa parasit di individu lain.
- 9) Struktur virus terdiri atas kepala dan ekor. Di dalam kepala virus terdapat DNA/RNA, yang berperan sebagai material genetik. Sedangkan pada ekor sebagai alat penginfeksi tersusun atas selubung ekor dan serabut ekor. Serabut ekor berperan sebagai penerima rangsang (reseptor). Selubung ekor berfungsi untuk menginfeksi dan menghancurkan lapisan kulit bakteri atau sel supaya bisa memasukkan RNA/DNA kepada sel inang untuk berkembangbiak.
- 10) Virus terbagi menjadi dua jenis yaitu virus yang hanya memiliki asam nukleat berupa DNA saja, atau virus yang hanya memiliki RNA.
- 11) Senyawa penyusun virus adalah : Asam nukleat (ADN atau ARN), Karbohidrat, Lemak dan Protein, Logam-logam dan substansi lain.

## Tes 1

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Yang berperan sebagai pemberi bentuk dan kerangka sel adalah....
  - A. Cytoskeleton
  - B. Organel Sel
  - C. Sentriol
  - D. Vakuola
  
- 2) Kehidupan sel sangat tergantung dari organel penghasil energi dan alat respirasi sel yaitu....
  - A. Mitokondria
  - B. Badan Golgi
  - C. Ribosom
  - D. Lisosom
  
- 3) Pernyataan yang benar tentang virus....
  - A. Serabut ekor virus berperan sebagai alat penginfeksi
  - B. Virus tidak dapat hidup tanpa parasite pada makluk lain
  - C. Selubung ekor virus merupakan alat reseptor
  - D. Virus tidak mampu berkembang biak
  
- 4) Sifat Virus yang menunjukkan virus tidak termasuk kelompok sel adalah.....
  - A. Ukuran virus sangat kecil, dalam ukuran milimikron. hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop elektron.
  - B. Virus memiliki bentuk dan ukuran yang bermacam-macam dan hanya akan aktif pada organ/makhluk yang spesifik.
  - C. Hanya memiliki satu macam asam nukleat ADN/ARN dengan selubung protein.
  - D. Virus tidak memiliki membran sel, sitoplasma, dan inti sel.
  
- 5) Cara virus berkembang biak adalah melalui alat....
  - A. Kepala virus dengan bentuk berupa persegi delapan yang didalamnya terdapat materi genetik (asam nukleat) virus (DNA/RNA).
  - B. Kakimerupakan selubung memanjang (tubus), berfungsi sebagai alat penginfeksi
  - C. Serabut ekor yang tumbuh dibagian ujung ekor.
  - D. Selubung ekor virus.

- 6) Alat pencernaan sel yang hanya ada pada sel tumbuhan.....
- A. Vakuola
  - B. Lisosom
  - C. Peroxisom
  - D. Badan Golgi
- 7) Proses pemasukan makromolekul dari luar sel ke dalam sel yang kemudian materi-materi ini akan dibawa ke vesikel kecil dan tidak beraturan, yang disebut endosom awal merupakan mekanisme.....
- A. Autolisis
  - B. Eksositosis
  - C. Endositosis
  - D. Fagositosis
- 8) Organel sel yang berperan dalam memodifikasi, menyortir, dan mengemas makromolekul yang kemudian akan disekresi oleh sel atau akan digunakan di dalam sel. terlibat dalam pengangkutan lipid di sel, adalah.....
- A. Retikulum Endoplasma Kasar
  - B. Retikulum Endoplasma Halus
  - C. Aparatus / Badan Golgi
  - D. Mikrotubulus
- 9) Pernyataan tentang Nukleolus yang tepat.....
- A. Nukleolus adalah “noda” tebal yang ditemukan di luar inti sel.
  - B. Struktur nukleolus tidak bergantung pada aktivitasnya.
  - C. Jika sintesis rRNA berhenti, nukleolus akan mengecil.
  - D. Lebih dikenal dengan istilah “Inti sel”.
- 10) Berperan penting dalam sintesis dan metabolisme lipid adalah.....
- A. Retikulum Endoplasma Kasar
  - B. Retikulum Endoplasma Halus
  - C. Aparatus / Badan Golgi
  - D. Mikrotubulus

# Topik 2

## Dinding dan Membran Sel

### A. DINDING SEL

Dinding sel atau disebut juga dengan tembok sel adalah lapisan di luar membran sel yang mengelilingi jenis sel tertentu dan membatasi ruang bagi sel untuk mengembang. Dinding sel adalah ciri khas yang terdapat pada tumbuhan, jamur, alga, dan bakteri. Dinding sel tidak terdapat pada hewan dan protozoa. Dinding sel memiliki struktur yang fleksibel, kuat, tetapi ada juga yang kaku.

Dinding sel mengakibatkan sel tidak bisa berkembang dan bergerak secara bebas. Tetapi hal ini berdampak positif karena dinding sel bisa memberikan perlindungan, dukungan, dan penyaring atau filter terhadap struktur serta fungsi sel itu sendiri. Dinding sel juga bisa mencegah tekanan air yang berlebih ketika memasuki sel.

Dinding sel pada tumbuhan yang umum terdiri dari empat lapisan: yaitu lamella tengah, dinding primer, sekunder, dan tersier yang sebagian besar terdiri dari selulosa atau kitin. Selulosa dan kitin adalah polisakarida, yang artinya mereka terdiri dari banyak molekul gula yang saling terkait. Selulosa termasuk polimer dari glukosa, yang hanya berisi karbon, hidrogen, dan oksigen, sedangkan kitin adalah polimer N-asetilglukosamin, gula yang mengandung nitrogen.

#### 1. Struktur Dinding Sel

Setiap organisme memiliki struktur dinding sel yang berbeda-beda, misalnya struktur dinding sel pada tumbuhan sebagian besar terbentuk oleh polimer karbohidrat (selulosa, pektin, lignin, dan hemiselulosa). Struktur dinding sel pada jamur terbentuk dari kitin. Struktur dinding sel pada alga terbentuk dari pektin, glikoprotein, dan gula sakarida sederhana. Sedangkan, struktur dinding sel pada bakteri tersusun dari peptidoglikan (suatu glikoprotein).

Meskipun lapisan dinding primer dan sekunder berbeda dalam komposisi kimia dan organisasi struktural, arsitektur dasarnya adalah sama, terdiri dari serat selulosa dengan kekuatan tarik besar yang tertanam dalam matriks jenuh air dari polisakarida dan glikoprotein struktural. Struktur dinding sel secara umum terdiri atas:

##### a. Selulosa

Selulosa terdiri dari beberapa ribu molekul glukosa yang terhubung ujung ke ujung. Tautan kimia antara masing-masing subunit glukosa memberi masing-masing molekul selulosa struktur pita datar yang memungkinkan molekul berdekatan untuk menyatukan

secara lateral menjadi mikrofibril dengan panjang mulai dari dua hingga tujuh mikrometer.

Fibril selulosa disintesis oleh enzim yang mengambang di membran sel dan disusun dalam konfigurasi roset. Setiap roset tampak mampu “memutar” mikrofibril ke dalam dinding sel. Selama proses ini, ketika subunit glukosa baru ditambahkan ke ujung tumbuh fibril, roset didorong di sekitar sel pada permukaan membran sel, dan selulosa fibrilnya menjadi melilit protoplas. Dengan demikian, setiap sel tumbuhan dapat dilihat sebagai membuat kepompong selulosa fibril sendiri.

b. Polisakarida Matriks

Dua kelas utama dari polisakarida matriks dinding sel adalah hemiselulosa dan polisakarida pektik, atau pektin. Keduanya disintesis dalam aparatus Golgi, dibawa ke permukaan sel dalam vesikel kecil, dan disekresikan ke dinding sel. Hemiselulosa terdiri dari molekul glukosa yang tersusun ujung ke ujung seperti pada selulosa, dengan rantai samping pendek xilosa dan gula tak bermuatan lainnya yang melekat pada satu sisi pita. Sisi lain dari pita mengikat erat ke permukaan selulosa fibril, dengan demikian melapisi mikrofibril dengan hemiselulosa dan mencegahnya melekat bersama dengan cara yang tidak terkontrol. Molekul hemiselulosa telah ditunjukkan untuk mengatur tingkat di mana dinding sel primer berkembang selama pertumbuhan.

Polisakarida pektik heterogen, bercabang, dan sangat terhidrasi berbeda penting dari hemiselulosa dalam beberapa hal. Terutama, mereka bermuatan negatif karena residu asam galakturonat, yang, bersama dengan molekul gula rhamnosa, membentuk tulang punggung linier semua polisakarida pektik. Tulang belakang mengandung bentangan residu asam galakturonat murni yang terputus oleh segmen-segmen di mana residu asam galakturonat dan rhamnosa bergantian; melekat pada segmen yang terakhir ini adalah rantai samping gula yang kompleks dan bercabang. Karena muatan negatifnya, polisakarida pektik berikatan erat dengan ion atau kation bermuatan positif. Di dinding sel, ion kalsium menghubungkan ikatan residu asam galakturonat murni dengan erat, sementara meninggalkan segmen yang mengandung rhamnosa dalam konfigurasi berpori yang lebih terbuka. Penautan silang ini menciptakan sifat gel semirigid yang merupakan karakteristik dari matriks dinding sel.

c. Protein

Meskipun dinding sel tumbuhan hanya mengandung sejumlah kecil protein, mereka melayani sejumlah fungsi penting. Gugus yang paling menonjol adalah glikoprotein kaya hidroksiprolina, berbentuk seperti batang dengan situs penghubung, di mana ekstensin adalah contoh yang menonjol.

Meskipun dinding sel tumbuhan hanya mengandung sejumlah kecil protein, mereka melayani sejumlah fungsi penting. Gugus yang paling menonjol adalah glikoprotein kaya hidroksiprolina, berbentuk seperti batang dengan situs penghubung, di mana ekstensin adalah contoh yang menonjol. Extensin mengandung 45 persen hidroksiprolin dan 14 persen residu serin didistribusikan sepanjangnya. Setiap residu hidroksiprolin membawa rantai samping pendek gula arabinosa, dan sebagian besar residu serin membawa gula galaktosa. Hal ini menimbulkan molekul-molekul panjang, menyerupai sikat botol, yang disekresikan ke dinding sel menuju akhir pembentukan dinding primer dan secara kovalen dihubungkan dengan jaring pada saat pertumbuhan sel berhenti. Sel-sel tumbuhan dapat mengontrol ukuran pamungkasnya dengan mengatur waktu terjadinya ikatan silang molekul ekstensin ini.

Selain protein struktural, dinding sel mengandung berbagai enzim. Yang paling penting adalah mereka yang menghubungkan molekul ekstensin, lignin, cutin, dan suberin ke dalam jaringan. Enzim lain membantu melindungi tanaman terhadap patogen jamur dengan memecah fragmen dinding sel jamur. Fragmen pada gilirannya menginduksi respon pertahanan dalam sel yang mendasarinya. Pelunakan buah matang dan menjatuhkan daun di musim gugur disebabkan oleh enzim pengurai dinding sel.

d. Plastik

Plastik dinding sel seperti lignin, kutin, dan suberin semuanya mengandung berbagai senyawa organik yang dihubungkan secara silang ke dalam jaringan tiga dimensi yang memperkuat dinding sel dan membuatnya lebih tahan terhadap serangan jamur dan bakteri. Lignin adalah nama umum untuk beragam kelompok polimer alkohol aromatik. Plastik dinding sel seperti lignin, kutin, dan suberin semuanya mengandung berbagai senyawa organik yang dihubungkan secara silang ke dalam jaringan tiga dimensi yang memperkuat dinding sel dan membuatnya lebih tahan terhadap serangan jamur dan bakteri. Lignin adalah nama umum untuk beragam kelompok polimer alkohol aromatik. Sebagian besar disimpan di dinding sel sekunder dan memberikan kekakuan tanaman vaskuler terestrial, yang menyumbang hingga 30 persen dari berat kering tanaman.

Keragaman ikatan silang antara polimer — dan keketaan yang dihasilkan — menjadikan lignin sebagai penghalang tangguh bagi penetrasi sebagian besar mikroba.

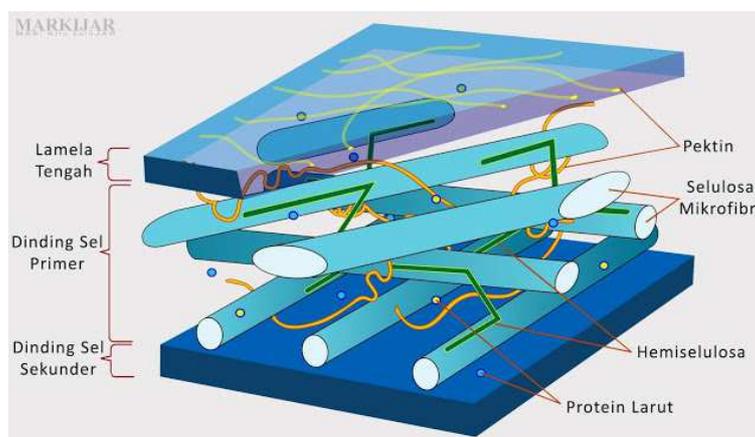
Kutin dan suberin adalah biopolyester kompleks yang terdiri dari asam lemak dan senyawa aromatik. Kutin adalah komponen utama dari kutikula, lapisan permukaan dinding lilin yang anti air yang terkena lingkungan di atas permukaan tanah. Dengan mengurangi keterbasahan daun dan batang — dan dengan demikian memengaruhi kemampuan spora jamur untuk berkecambah — ia memainkan peran penting dalam strategi pertahanan tanaman. Suberin berfungsi dengan lilin sebagai penghalang permukaan bagian bawah tanah. Sintesisnya juga distimulasi dalam sel-sel yang dekat dengan luka, sehingga menutup permukaan luka dan melindungi sel-sel yang mendasarinya dari dehidrasi.

Namun demikian struktur dinding sel secara spesifik pada jamur, alga maupun bakteri mempunyai gambaran kekhususan sebagai berikut:

a. Struktur Dinding Sel Jamur

Dinding sel pada jamur tersusun dari kitin, yaitu turunan glukosa yang memiliki kemiripan dalam struktur selulosa. Kitin merupakan molekul yang sama dengan molekul yang ditemukan dalam eksoskeleton kaku pada hewan. seperti krustasea dan serangga. Lapisan kitin sangat keras. Selain itu, pada dinding sel jamur juga terdapat glukana (polimer glukosa lainnya) bersama dengan protein dan lipid.

Protein yang terdapat pada dinding sel jamur disebut hidrofobin. Hidrofobin berfungsi untuk memberikan kekuatan pada sel, membantu mengatur pergerakan air yang masuk ke dalam sel, dan membantu sel jamur menempel ke permukaan. Dinding sel pada jamur merupakan lapisan paling luar sel serta mengelilingi membran sel.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.10**  
Struktur Dinding Sel

### b. Struktur Dinding Sel Alga

Beberapa jenis alga, seperti ganggang hijau, mempunyai dinding sel yang strukturnya sama dengan tumbuhan. Ganggang lainnya, seperti ganggang merah dan ganggang coklat, mempunyai selulosa serta polisakarida atau fibril lainnya. Kelompok ganggang yang dikenal dengan diatom mempunyai dinding sel yang tersusun dari asam. Dalam dinding sel alga terdapat molekul penting lain seperti xilan, mannan dan alginat.

### c. Struktur Dinding Sel Bakteri

Dinding sel pada bakteri biasanya tersusun dari peptidoglikan polisakarida yang berpori, sehingga molekul kecil dapat melewatinya. Pada bakteri, dinding sel dan membran sel dikenal dengan selubung sel. Dinding sel merupakan bagian penting bagi kelangsungan hidup bakteri, karena memiliki fungsi yaitu melindungi sel bakteri dari tekanan turgor internal dan menyediakan struktur mekanik untuk bakteri, yang bersel tunggal. Bakteri mempunyai konsentrasi molekul yang lebih tinggi di dalam dibandingkan dengan lingkungan luar, sehingga dinding sel pada bakteri dapat menghentikan air mengalir ke dalam sel. Dinding sel pada bakteri memiliki ketebalan yang berbeda-beda yang dapat memungkinkan pewarnaan gram. Pewarnaan Gram berguna untuk identifikasi umum bakteri seperti bakteri dengan dinding sel tipis adalah gram negatif, sedangkan bakteri dengan dinding sel tebal adalah gram positif.

Pada Archaea hampir tidak ada dinding sel yang mengandung peptidoglikan. Beberapa jenis dinding sel di archaea yang berbeda, ada yang mengandung pseudopeptidoglikan, ada beberapa yang mempunyai glikoprotein, ada beberapa yang mempunyai polisakarida, dan yang lain ada yang mempunyai protein pada lapisan permukaan yang disebut dengan lapisan-S, yang juga terdapat pada bakteri.

## 2. Fungsi Dinding Sel

Dinding sel memiliki fungsi utama sebagai penahan tekanan air yang berlebih pada saat memasuki sel, sehingga sel tidak pecah. Selain itu, dinding sel juga berfungsi untuk memberi bentuk pada beberapa jenis sel serta melindungi bagian dalam sel dari pengaruh lingkungan luar, seperti bakteri yang mencoba menyerang sel. Berikut fungsi dinding sel pada tumbuhan, jamur, alga, dan bakteri, yaitu:

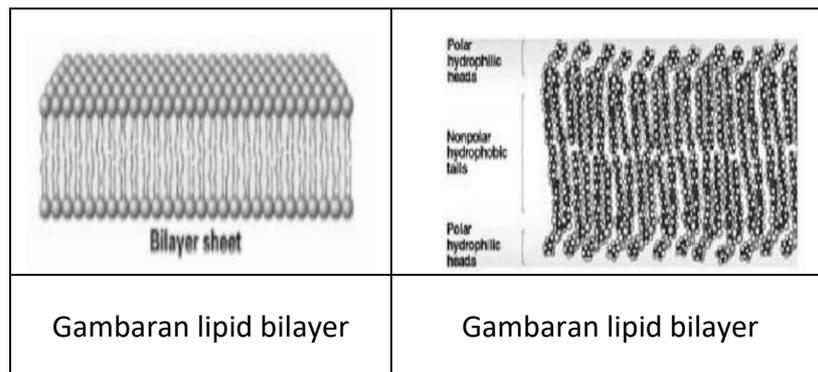
### a. Fungsi Dinding Sel pada Tumbuhan

- 1) Dinding sel pada tumbuhan memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai berikut :
- 2) Menjaga tekanan turgor.
- 3) Memberikan bentuk pada sel.
- 4) Menjaga bentuk sel.
- 5) Membedakan sel tumbuhan dengan sel hewan.

- 6) Menentukan laju pertumbuhan.
  - 7) Menyediakan kekuatan mekanis
  - 8) Sifat kaku pada sel dapat membantu tumbuhan berdiri tegak dan mencegah masuknya patogen atau benda asing yang berbahaya ke dalam sel.
  - 9) Melindungi sel dari tekanan mekanis.
  - 10) Dinding sel bersifat semi-permeable.
  - 11) Membantu proses difusi materi melalui apoplast.
  - 12) Sebagai tempat pertukaran zat seperti protein dan molekul-molekul kecil yang masuk atau keluar dari sel.
  - 13) Menjaga homeostasis pada sel.
  - 14) Berperan sebagai hormon, karena mengandung oligosakarini.
  - 15) Sebagai tempat penyimpanan karbohidrat.
- b. Fungsi Dinding Sel pada Jamur
- 1) Dinding sel pada jamur memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai berikut :
  - 2) Menentukan pola pertumbuhan sel.
  - 3) Sebagai pelindung struktural.
  - 4) Sebagai media interaksi sel dengan organisme lain.
  - 5) Sebagai tempat pengikatan dalam reaksi enzim.
  - 6) Melindungi sel dari perubahan tekanan osmotik, sehingga sel tidak pecah.
- c. Fungsi Dinding Sel pada Alga
- 1) Dinding sel pada alga memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai berikut :
  - 2) Membantu melindungi sel.
  - 3) Sel menjadi lebih kuat.
  - 4) Sebagai media antara sel dengan sekelilingnya.
  - 5) Membantu dalam komunikasi antara satu sel dengan sel-sel lainnya.
  - 6) Dinding sel bersifat permeabel.
- d. Fungsi Dinding Sel pada Bakteri
- 1) Dinding sel pada bakteri memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai berikut :
  - 2) Melindungi organel-organel yang terletak di dalam sel.
  - 3) Memberikan bentuk pada sel.
  - 4) Mencegah sel pecah akibat perubahan tekanan osmotik.

## B. MEMBRAN SEL

Menurut Gortel & Grendel (1925), membran berupa struktur yang membatasi sel, terdiri atas lipid yang mengandung gugus polar dan gugus yang bersifat hidrofob (tidak suka air) dengan gugus polar (suka air) mengarah ke bagian luar dari bilayer, sedangkan gugus hidrofob sebagai rantai asam lemak berada di bagian tengah dari lipid bilayer (Gambar 2.11).



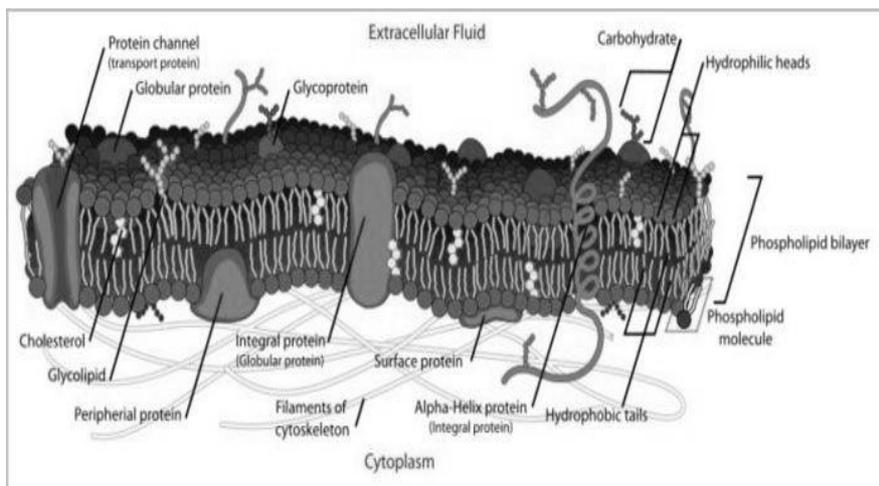
(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.11**

Lipid Bilayer

Menurut Davson & Danielli (1954), membran merupakan struktur lipid bilayer yang disisipi dengan protein globular yang melintasi membran dan terdapat pula protein di permukaan luar dan dalam membran (Gambar 2.12).

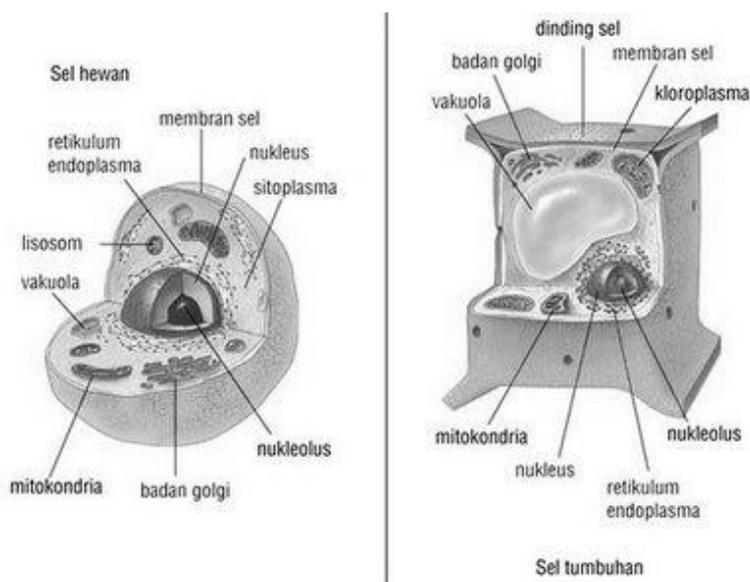
Menurut Singer & Nicholson (1972), membran plasma terdiri atas lipid bilayer yang berada dalam keadaan fluid dan dapat bergerak lateral dalam daerah membran struktur dinamis interaksi yang sementara atau semi permanen. Protein terdistribusi secara mosaik yang berbeda dengan lipid partikel tidak membentuk suatu lapisan yang kontinyu. Protein dapat melintasi membran fosfolipid, atau berada di bagian tepi sel. Sel merupakan bentuk paling sederhana dari kehidupan sebagai penyusun jaringan. Sel merupakan unit organisasi terkecil yang menjadi dasar kehidupan dalam arti biologis. Semua fungsi kehidupan diatur dan berlangsung di dalam sel. Karena itulah, sel dapat berfungsi secara autonom asalkan seluruh kebutuhan hidupnya terpenuhi. Dapat dikatakan bahwa sel adalah unit terkecil makhluk hidup. Terdapat dua tipe sel yaitu sel prokariot dan sel eukariot. Tiap sel dikelilingi oleh membran yang terbuat dari fosfolipid lapis ganda (bilayer). Dari membran sel ke arah dalam merupakan sitoplasma yang terdiri dari cairan sel dan organel sel. Gambar sel hewan dan tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 2.12**

Struktur Lipid Bilayer-Protein Globular



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 2.13**

Sel Hewan dan Sel Tumbuhan

Organisme prokariota tidak memiliki inti sel dan mempunyai organisasi internal sel yang relatif lebih sederhana. Prokariota terbagi menjadi dua kelompok yang besar: (1). eubakteria dan (2) archaea. Kelompok eubakteria meliputi hampir seluruh jenis bakteri. Kelompok archaea, sangat mirip dengan bakteri dan berkembang-biak di lingkungan yang ekstrim seperti sumber air panas yang bersifat asam atau air yang mengandung kadar garam yang sangat

tinggi. Genom prokariot terdiri dari kromosom tunggal yang melingkar, tanpa organisasi DNA. DNA pada prokariot tidak terorganisasi ke dalam nukleus sejati yang dikelilingi oleh selubung nuklear atau nuclear envelope. Disamping itu, sel prokariot tidak memiliki mitokondria dan kloroplas. DNA eukariot terorganisasi dalam nukleus dan dikelilingi oleh selubung nukleus yang terdiri dari dua membran bilayer. Nukleus mengandung materi genetik dalam bentuk benang kromatin yang terdiri dari DNA dan protein. Pada saat pembelahan sel, kromatin memadat dan memendek membentuk struktur yang dapat diamati yang disebut kromosom. Organisme eukariot memiliki organisasi intraselular yang jauh lebih kompleks, antara lain dengan membran internal, organel yang memiliki membran tersendiri seperti inti sel dan sitoskeleton yang sangat terstruktur. Sel eukariota memiliki beberapa kromosom linear di dalam nuklei, di dalamnya terdapat sederet molekul DNA yang sangat panjang yang terbagi dalam paket-paket yang dipisahkan oleh histon dan protein yang lain.

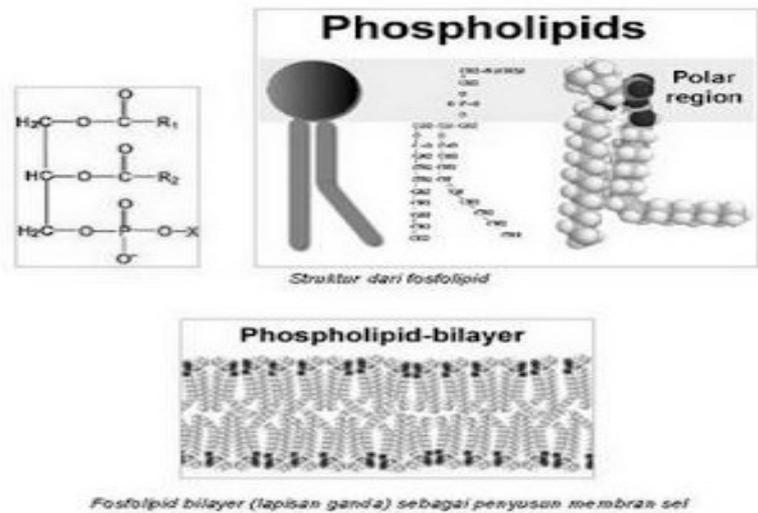
Semua membran disusun dari lemak dan protein di mana setiap komponen diikat oleh ikatan nonkovalen. Selain lemak dan protein, membran sel juga mengandung karbohidrat. Rasio antara lemak dan protein bervariasi bergantung tipe membran seluler misalnya antara membran plasma dan retikulum endoplasma atau pun tipe organisme misalnya antara prokariot dan eukariot. Sebagai membran mitokondria memiliki rasio protein/lemak yang tinggi dibandingkan membran plasma pada sel darah merah.

## **1. Struktur Membran Sel**

### *a. Lipid*

Lipid pada membran tersusun atas fosfolipid (lemak yang bersenyawa dengan fosfat). Fosfolipid merupakan lipid yang jumlahnya paling melimpah dalam sebagian besar membran. Kemampuan fosfolipid untuk membentuk membran disebabkan oleh struktur molekulernya. Fosfolipid merupakan suatu molekul amfipatik yang berarti bahwa molekul ini memiliki daerah hidrofilik maupun daerah hidrofobik. Sebagian besar membran mengandung fosfat, Molekul fosfat ini bersifat hidrofilik (dapat mengikat air) sedangkan molekul lemak bersifat hidrofobik (tidak dapat mengikat air).

Komponen lemak lain adalah kolesterol di mana pada hewan tertentu dapat mencapai 50% dari molekul lemak yang terdapat pada membran plasma. Kolesterol tidak terdapat pada sebagian besar membran plasma tumbuhan dan bakteri. Lipid yang terdapat pada selaput dapat diekstrak dengan kloroform, eter dan benzene. Dengan menggunakan kromatografi lapis tipis dan kromatografi gas, dapat diketahui komposisi lipid pada selaput sel. Lipid yang selalu dijumpai adalah fosfolipid, sfingolipid, glikolipid dan sterol. Kolesterol merupakan lipid terbanyak yang menyusun selaput sel. Membran plasma sering disebut sebagai batas kehidupan karena membatasi sel.

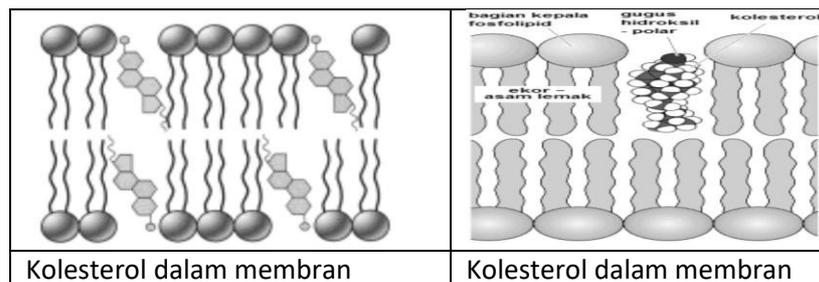


(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 2.14**

Struktur Phospholipids pada membrane sel

Kolesterol yang menyusun membran sel banyak terdapat pada membran sel hewan + 50% dari molekul lipid. membran sel tumbuhan dan semua sel bakteri tidak banyak mengandung kolesterol, lebih sedikit dibandingkan lipida membran lainnya dan tidak terlalu bersifat amfipatik. Gugus hidroksil dari kolesterol yang bersifat hidrofilik menentukan orientasi molekul ini pada membran sel. Gugus hidroksil berada pada bagian permukaan membran.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.15**

Gugus Hidroksil kolesterol hidrofilik

*b. Lipid anchor protein*

Terdapat di sebelah luar lipid bilayer tetapi berikatan secara kovalen dengan molekul lemak yang terdapat pada lipid bilayer. Protein membran plasma memiliki fungsi yang sangat luas antara lain sebagai protein pembawa (carrier) senyawa melalui membran sel, penerima isyarat (signal) hormonal dan meneruskan isyarat tersebut ke bagian sel sendiri atau sel lainnya. Protein selaput plasma juga berfungsi sebagai pengikat komponen sitoskeleton dengan senyawa-senyawa ekstraseluler. Protein-protein permukaan luar memberikan ciri individual sel dan macam protein dapat berubah sesuai dengan diferensiasi sel. Protein-protein pada membran sel banyak juga yang berfungsi sebagai enzim terutama yang terdapat pada selaput mitokondria, retikulum endoplasma dan kloroplas. Sebagai contoh, senyawa-senyawa fosfolipid membran plasma disintesis oleh enzim-enzim yang terdapat pada membran retikulum endoplasma.

*c. Karbohidrat*

Karbohidrat pada membran umumnya dalam bentuk glikolipid dan glikoprotein. Karbohidrat ini berfungsi meningkatkan hidrofilitas lemak dan protein, mempertahankan stabilitas membran oleh adanya struktur yang disebut glikokaliks. Glikokaliks akan berinteraksi dengan glikokaliks sel lain sehingga berfungsi melekatkan satu sel dengan sel yang lainnya. Glikolipid yang terdapat pada membran sel juga berperan dalam reaksi imunologis, dengan membentuk antigen golongan darah.

Peran karbohidrat membran dalam pengenalan sel dengan sel, kemampuan sel untuk membedakan tipe-tipe sel yang bertetangga, bersifat krusial bagi fungsi organisme. Misalnya, penting untuk memilah-milah sel menjadi berbagai jaringan dan organ dalam embrio hewan. Pengenalan sel dengan sel juga menjadi dasar penolakan sel asing (penolakan organ cangkokan atau transplantasi) oleh sistem kekebalan. Karbohidrat pada membran biasanya merupakan rantai pendek bercabang yang tersusun kurang dari 15 unit gula sebagian diantaranya berikatan kovalen dengan lipid, membentuk molekul yang disebut glikolipid (glycolipid). Akan tetapi sebagian besar karbohidrat berikatan kovalen dengan protein, membentuk glikoprotein.

Pengenalan sel dilakukan dengan cara memberi kunci pada molekul permukaan. Molekul tersebut seringkali berupa karbohidrat pada membran plasma. Karbohidrat membran biasanya berupa oligosakarida bercabang dengan kurang dari 15 satuan gula. Beberapa oligosakarida secara kovalen terikat dengan lipid dan membentuk glikolipid. Sebagian besar oligosakarida terikat secara kovalen dengan protein dan disebut glikoprotein. Membran sel menjaga komponen-komponen sel tetap terisolasi dari lingkungan luar. Membran sel juga berfungsi sebagai media komunikasi antara sel dengan lingkungan. Membran biologi membatasi organel-organel. Di dalam sel, endoplasmic reticulum, golgi, lysosomes, vesicles

dan vakuola dikelilingi oleh membran biologi tunggal. Mitokondria dan nukleus dikelilingi oleh dua lapis membran. Membran sel terlibat dalam pengaturan aliran material ke dalam dan keluar sel dan memediasi komunikasi interselular, adhesi dan fungsi-fungsi lain. Membran sel bersifat permeabel terhadap ion dan molekul polar spesifik. Substansi hidrofilik menghindari kontak dengan bilayer lipid dengan cara melewati protein transport yang melintangi membran.

#### *d. Protein*

Protein membran tersusun atas glikoprotein atau protein yang bersenyawa dengan karbohidrat. Bergantung pada tipe sel dan organel tertentu dalam sel, membran memiliki 12 sampai lebih dari 50 macam protein berbeda. Protein ini tidak disusun secara acak tetapi setiap lokasi dan orientasinya disusun pada posisi relatif tertentu pada lipid bilayer. Protein pada membran tidak simetris yakni bagian luar membran dan bagian dalam membran tersusun berbeda. Posisi seperti ini memungkinkan membran sebelah luar berinteraksi dengan ligan ekstraseluler seperti hormon dan faktor pertumbuhan sedangkan bagian dalam dapat berinteraksi dengan molekul sitoplasma seperti protein G atau protein kinase.

Protein membran sel memiliki kemampuan bergerak, sehingga dapat berpindah tempat. Perpindahan berlangsung ke arah lateral dengan jalan difusi. Namun tidak semua protein mampu berpindah tempat. Beberapa jenis protein integral tertahan dalam selaput oleh anyaman molekul-molekul protein yang berada tepat di bawah permukaan dalam selaput plasma. Anyaman ini berhubungan dengan sitoskelet atau rangka sel.

Struktur fisiko-kimia protein selaput sel kurang diketahui, mengingat bahwa bentuknya sangat bervariasi. Berdasarkan kajian mikroskopis dan teknik freeze fracture diketahui bahwa protein dalam selaput sel berbentuk globular.

Beberapa fungsi protein membran adalah (Campbell et al., 2000): Protein yang membentang membran memberikan suatu saluran hidrofilik melintasi membran yang bersifat selektif untuk zat terlarut tertentu. Hidrolisis ATP dilakukan oleh beberapa protein transport untuk memompa bahan melintasi membran sel secara aktif. Protein yang berada di dalam membrane mungkin berupa enzim dengan sisi aktifnya yang dipaparkan ke zat-zat pada larutan sebelahnya.

Protein membran mungkin memiliki tempat pengikatan dengan bentuk spesifik yang sesuai dengan bentuk-bentuk pesan kimiawi, seperti hormon. Sinyal dapat menyebabkan perubahan konformasi protein yang menyalurkan pesan ke bagian dalam sel. Protein membran dari sel-sel bersebelahan mungkin dikaitkan bersama-sama dalam berbagai bentuk junction. Beberapa glikoprotein berfungsi sebagai label identifikasi yang secara khusus dikenali oleh sel lain.

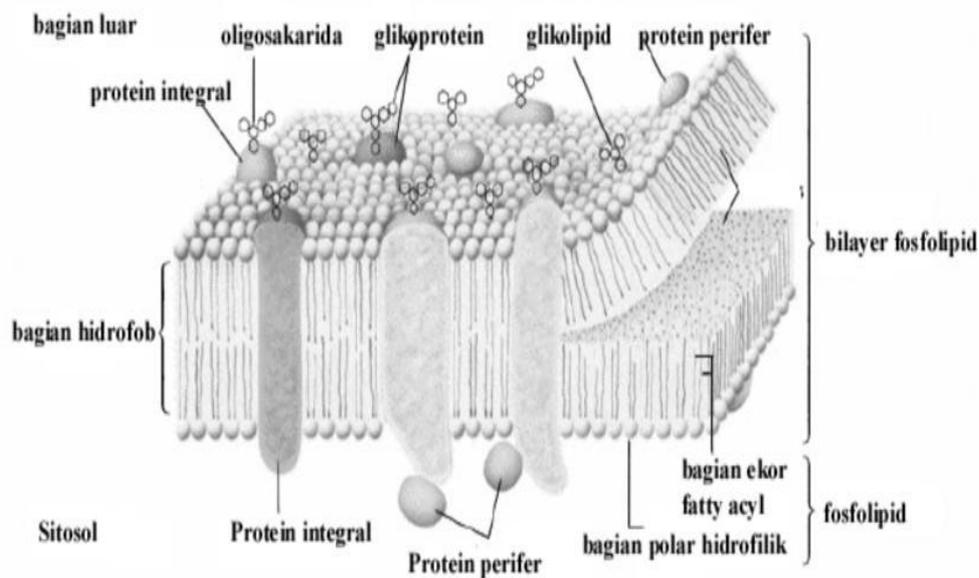
Mikrofilamen atau elemen lain sitoskeleton mungkin terikat ke protein membran. Hal ini merupakan suatu fungsi yang membantu memperahankan bentuk sel dan menetapkan lokasi protein membran tertentu. Protein yang mendekati ke matriks ekstraseluler dapat mengkoordinasikan perubahan ekstraseluler dan intraseluler. Misalnya peristiwa Difusi merupakan suatu peristiwa akibat gerak termal. Gerak termal adalah energi kinetik intrinsik yang dimiliki molekul. Pada difusi dalam ketiadaan gaya-gaya lain, suatu substansi akan berdifusi dari tempat yang konsentrasinya tinggi ke tempat yang konsentrasinya lebih rendah. Setiap substansi akan berdifusi menuruni gradient konsentrasinya. Peristiwa difusi tersebut merupakan transport pasif, karena sel tidak harus mengeluarkan energi. Gradien konsentrasi itu sendiri merupakan energi potensial yang mengarahkan difusi.

Larutan hipertonik adalah larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi. Sedangkan larutan dengan zat terlarut lebih rendah disebut hipotonik. Larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang sama disebut isotonik. Difusi air melintasi membran permeable selektif merupakan suatu peristiwa osmosis. Air berdifusi melewati membran dari larutan hipotonik ke larutan hipertonik. Sebagian protein transport dapat memindahkan zat terlarut melawan gradient konsentrasinya melintasi membran plasma dari satu sisi yang konsentrasi zat terlarutnya kurang ke sisi yang konsentrasi zat terlarutnya lebih tinggi. Proses ini memerlukan energi dan disebut transport aktif.

Kerja transport aktif dilakukan oleh protein spesifik yang tertanam dalam membran. ATP menyediakan energi untuk sebagian besar transport aktif. ATP mentransfer gugus fosfat terminalnya langsung ke protein transport. Hal ini menyebabkan protein mengubah formasinya agar bisa mentranslokasikan suatu zat terlarut yang terikat pada protein ini melintasi membran.

Terdapat dua populasi utama protein membran. Protein integral umumnya merupakan protein transmembran dengan daerah hidrofobik yang seluruhnya membentang sepanjang interior hidrofobik membran tersebut. Daerah hidrofobik protein integral terdiri atas satu atau lebih rentangan asam amino nonpolar yang biasanya bergulung menjadi heliks- $\alpha$ . Ujung hidrofilik molekul ini dipaparkan ke larutan aqueous pada kedua sisi membran. Protein peripheral tidak tertanam dalam lipid bilayer. Protein ini terikat secara longgar pada permukaan membran atau pada bagian protein integral yang terpapar.

Bahan penyusun utama membran adalah lipid dan protein. Membran sel merupakan lapisan ganda (bilayer) yang terdiri dari lipid dan protein. Model yang digunakan untuk penyusunan molekul-molekul membran sel adalah model mosaik fluida. Pada model ini protein membran terdispersi dan secara individual disisipkan ke dalam bilayer fosfolipid dan hanya daerah-daerah hidrofiliknya yang menonjol cukup jauh dari bilayernya yang dipaparkan ke air. Membran merupakan mosaik molekul protein yang terapung pada bilayer fluida yang terdiri dari fosfolipid- fosfolipid sehingga diistilahkan dengan model mosaik fluida.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.16**

Gambaran Mosaik molekul protein - lipid

Beberapa proses di dalam sel tergantung pada suatu serial reaksi yang dikatalis oleh enzim yang terdapat dalam membran, produk suatu reaksi akan bertindak sebagai reaktan untuk reaksi selanjutnya. Jika enzim yang berbeda pada membran berada dalam susunan yang berurutan, produk suatu reaksi dapat dilepaskan ke dekat enzim untuk reaksi berikutnya. Terdapat dua lapisan utama protein membran sel:

1) Protein integral

Protein integral adalah protein yang berpenetrasi ke dalam lipid bilayer. Protein ini dapat menembus membran sehingga memiliki domain pada sisi ekstra seluler dan sitoplasmik dari membran. Protein integral umumnya merupakan protein trans-membran, dengan daerah hidrofobik yang seluruhnya membentang sepanjang interior hidrofobik membran tersebut. Daerah hidrofobik protein integral terdiri atas satu atau lebih rentangan asam amino nonpolar, yang biasanya bergulung menjadi helix  $\alpha$ . Pada ujung hidrofilik molekul ini dipaparkan kelarutan aqueous pada kedua sisi membran.

2) Protein perifer

Protein perifer sama sekali tidak tertanam dalam bilayer lipid. Seluruhnya berlokasi dibagian luar dari lipid bilayer, baik itu di permukaan sebelah ekstraseluler maupun sitoplasmik dan berhubungan dengan membran melalui ikatan non kovalen. Protein ini merupakan anggota yang terikat secara longgar pada permukaan membran, sering juga

pada bagian protein integral yang dibiarkan terpapar. Protein pada membran menentukan sebagian besar fungsi spesifik membran.

## **2. Fungsi Membran Sel**

Membran sel memiliki fungsi utama sebagai pelindung isi, mempertahankan isi sel dan mengatur lalulintas pergerakan molekul masuk keluar sel. Berikut fungsi membran sel secara terinci, yaitu:

- a. Membran sel berperan sebagai pembatas sel.
  - 1) Merupakan lapisan yang bersinambungan melindungi sel.
  - 2) Melingkupi sel, inti, organel sel.
  - 3) Pembatas yang bersifat selektif permeabel.
  - 4) Mencegah pertukaran molekul dari satu sisi ke bagian lainnya.
  - 5) Memungkinkan substansi tertentu masuk ke sitoplasma dari lingkungan luar.
  - 6) Mencegah masuknya senyawa tertentu masuk ke sitoplasma.
- b. Komunikasi antar sel.
- c. Mendukung aktivitas biokimia yang berlangsung di dalam sel.
- d. Perpindahan suatu senyawa terlarut.
- e. Memberikan respons terhadap rangsangan luar.
- f. Berperan dalam memberi respons terhadap rangsangan luar transduksi sinyal reseptor + ligand.
- g. Tipe sel yang berbeda memiliki molekul reseptor yang berbeda, membran merupakan salah satu tempat reseptor yang merupakan molekul protein sebagai penerima sinyal atau pesan yang akan diterima oleh sel.
- h. Sebagai tempat Interaksi interselular.
- i. Membran plasma merupakan media untuk berlangsungnya interaksi antar sel dalam organisme multiselular dan proses transduksi energi (terlibat dalam proses perubahan energi ke bentuk energi lain)

## **C. PERBEDAAN DINDING DAN MEMBRAN SEL**

Istilah yang berbeda tentang membran sel dan dinding sel sebagai lapisan terluar sel yang memisahkan organel sel dari lingkungan luarnya menunjukkan struktur dan fungsi yang berbeda. Lapisan khusus ini memberikan bentuk pada sel dan pelindung mekanis untuk perlindungan organel sel internal. Namun, tidak seperti membran sel yang hadir di semua jenis sel, dinding sel hanya ada pada tumbuhan, jamur dan kebanyakan sel protista saja, tidak pada sel hewan.

Membran sel dan dinding sel adalah bagian dari sebuah sel. Kita bisa menemukan membran sel di semua tempat di mana sel hidup. Sedangkan dinding sel tidak ada pada hewan, itu artinya semua hewan tidak memiliki dinding sel. Baik membran sel maupun dinding sel memiliki fungsi yang sama yaitu memberi perlindungan pada sel dan bagian yang ada di dalam sel. Keduanya memiliki peranan yang sama penting. Membran sel berperan sebagai batas kehidupan karena secara fisik memisahkan sitoplasma dari lingkungan ekstraselulernya. Yang artinya, membran sel memisahkan sel yang hidup dengan lingkungan sekitarnya yang tidak hidup. Sedangkan dinding sel memberikan kekakuan dan kekuatan pada sel. Ini menjadi alasan mengapa dinding sel tidak terdapat pada hewan, hal tersebut dikarenakan hewan selalu aktif bergerak, sehingga selnya tidak membutuhkan dinding sel.

Secara jelas perbedaan antara dinding sel dan membran sel pada sel tumbuhan dan hewan sebagai berikut:

1. Distribusi

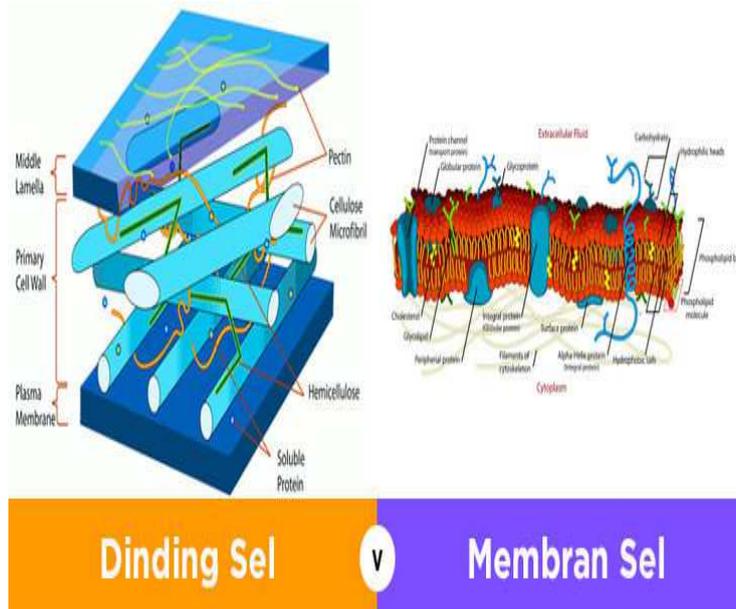
Membran sel adalah bagian dari sel yang universal atau hampir ada di semua organisme, misalnya tumbuhan, hewan, dan manusia. Sedangkan dinding sel terbatas pada beberapa organisme tertentu saja, yaitu jamur, bakteri dan tanaman.

2. Keberadaannya dalam alam

Membran sel sebagai penutup atau selubung terluar dari hewan dan manusia, Sedangkan dinding sel merupakan bagian terluar dari tumbuhan yang menutupi membran sel tumbuhan.

3. Komposisi

Membran sel mengandung lipid, protein, dan karbohidrat. Sedangkan dinding sel mengandung peptidoglikan biasanya pada bakteri, kitin pada jamur, dan selulosa pada tumbuhan.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.17**

Perbedaan Gambaran Dinding Sel dan membrane Sel

4. Keuletan

Membran sel bersifat fleksibel sehingga bentuknya bisa menyesuaikan dengan kondisi sel. Selain itu, membran sel relatif tipis. Sedangkan dinding sel bersifat kaku dan tebal bahkan ketebalannya bisa berubah seiring berjalannya waktu. Dinding sel bisa mengalami kerusakan apabila ada tekanan dari luar. Dinding sel dimiliki oleh tumbuhan karena tumbuhan relatif tidak banyak bergerak dan tidak berpindah tempat. Sedangkan hewan dan manusia bergerak lebih aktif dan lebih bebas sehingga tidak memerlukan dinding sel.

5. Komunikasi

Membran sel memiliki reseptor atau molekul protein yang bisa menerima sinyal kimia dari luar sel. Sedangkan dinding sel tidak memiliki reseptor.

6. Perubahan struktur

Membran sel tetap dalam ketebalan yang sama sepanjang hidupnya. Sedangkan dinding sel mengalami perubahan ketebalan seiring berjalannya waktu. Dinding sel selalu ada pada tanaman baik ketika masih hidup atau sudah mati.

7. Sifat

Membran sel memiliki sifat yang disebut dengan selektif permeabel, yaitu kemampuan membran sel untuk menyeleksi beberapa substansi yang dapat melintasinya dengan

mudah dan substansi lain tidak bisa melintasinya. Sedangkan dinding sel bersifat permeabel seutuhnya, artinya semua substansi bisa melintasinya.

8. Kebutuhan Nutrisi

Membran sel juga butuh nutrisi dari sel, kondisi kekeringan atau minim nutrisi membuat membran sel mengalami penyusutan. Dinding sel tidak membutuhkan nutrisi dari sel.

9. Bentuk sel

Membran sel berbentuk bulat namun fleksibel terhadap sel, artinya dapat berubah bentuk menyesuaikan selnya. Sedangkan dinding sel berbentuk tetap.

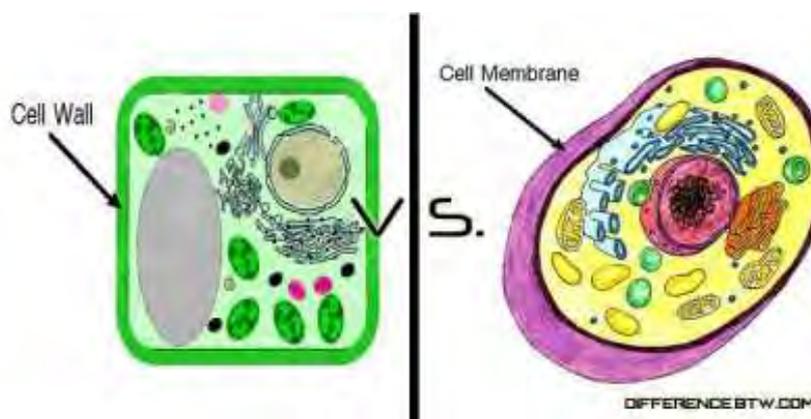
10. Membran sel

Membran sel adalah lapisan paling luar dalam sel hewan dan berfungsi sebagai penutup semi permeabel sekitarnya protoplasma. Sedangkan dinding sel adalah lapisan terluar dalam sel tumbuhan berfungsi sebagai pelindung yang mengelilingi membran sel. Dengan kata lain dinding sel melindungi membran sel pada tumbuhan, sedangkan membran sel adalah pelindung terakhir bagi hewan.

11. Penelitian

Membran sel dapat diteliti menggunakan mikroskop elektron. Sedangkan dinding sel dapat diteliti menggunakan mikroskop cahaya.

Secara garis besar kita sekarang tahu bahwa membran sel dan dinding sel keduanya berperan sebagai penutup dan pelindung sel. Tapi tidak semua sel memiliki keduanya. Lebih jelasnya, membran sel adalah pada semua sel hidup, baik itu di tumbuhan, hewan, maupun manusia. Sedangkan dinding sel hanya ada pada organisme tertentu saja, yaitu bakteri, jamur, dan tanaman. Dengan kata lain, hewan dan kita sebagai manusia tidak memiliki dinding sel.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.18**

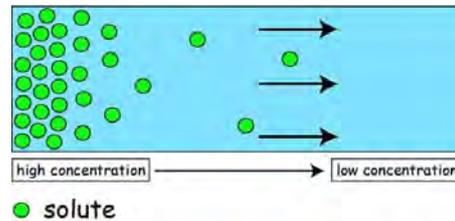
Ilustrasi Perbedaan Gambaran Dinding Sel dan membrane Sel

## D. JENIS TRANSPORT MEMBRAN SEL

Sel hewan memiliki membran selektif permeabel sekitar mereka yang memisahkan isi bagian dalam sel dari lingkungan luar. Proses di mana ion dan molekul larut kecil, atau zat terlarut, melewati membran sel yang dikenal sebagai transportasi membran. Molekul-molekul ini biasanya zat penting untuk fungsi dan pemeliharaan sel, seperti glukosa dan asam amino. Ada empat jenis utama transportasi membran sel yaitu:

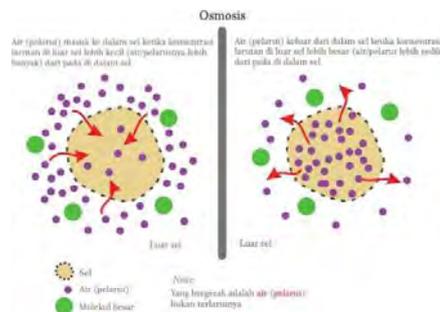
### 1. Difusi pasif atau difusi

Banyak mekanisme transportasi melibatkan penggunaan molekul protein khusus yang terletak di membran sel yang disebut protein transpor membran. Difusi pasif terjadi secara spontan, dan didorong oleh aktivitas acak dari molekul dalam larutan. Molekul bergerak dari area dengan konsentrasi tinggi, di mana terdapat banyak dari mereka bersama-sama sangat padat, ke daerah konsentrasi rendah. Molekul kecil dapat mencapai transportasi membran dengan menyebar melalui membran sel. Tingkat difusi dapat dipengaruhi oleh banyak hal, termasuk komposisi membran sel dan ukuran dan muatan molekul. Jenis yang paling terkenal difusi pasif adalah osmosis, proses yang melibatkan pergerakan molekul air dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.19**  
Proses Difusi Pasif



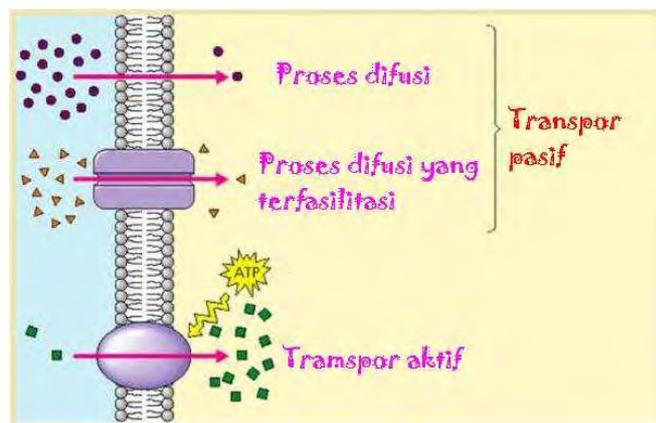
(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.20**  
Proses Osmosis

## 2. Difusi difasilitasi atau terfasilitasi

Difusi difasilitasi atau terfasilitasi melibatkan penggunaan protein transpor membran dalam membran sel yang disebut protein channel. Protein ini bertindak seperti pori-pori di membran sel, memungkinkan partikel larut air untuk melewatinya, tapi pembatasan lewatnya lipofilik, atau molekul "suka-lemak". Difusi mengikuti mekanisme yang sama tindakan, dengan molekul bergerak dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah.

Transport dengan cara difusi fasilitas mempunyai perbedaan dengan difusi sederhana yaitu difusi terfasilitasi terjadi melalui carrier spesifik dan difusi ini mempunyai kecepatan transport maksimum ( $V_{max}$ ). Suatu bahan yang akan ditransport lewat cara ini akan terikat lebih dahulu dengan carrier protein yang spesifik, dan ikatan ini akan membuka channel tertentu untuk membawa ikatan ini ke dalam sel. Jika konsentrasi bahan ini terus ditingkatkan, maka jumlah carrier akan habis berikatan dengan bahan tersebut sehingga pada saat itu kecepatan difusi menjadi maksimal ( $V_{max}$ ). Pada difusi sederhana hal ini tidak terjadi, makin banyak bahan kecepatan transport bahan makin meningkat tanpa batas.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.21**

Perbedaan Difusi-Difusi Terfasilitasi-Transport Aktif

## 3. Transpor aktif primer

Transpor aktif primer menggunakan energi untuk memindahkan ion dan molekul dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah. Energi yang dibutuhkan untuk transpor aktif primer terjadi biasanya dalam bentuk nukleotida yang disebut adenosin trifosfat (ATP). Salah satu bentuk yang paling sering terjadi dari transpor aktif adalah pompa natrium kalium, yang membantu sel untuk mempertahankan muatan listrik yang dikenal sebagai potensial istirahat, dan juga mengontrol volume sel. pompa Natrium-kalium menggerakkan ion natrium ke luar dari sel dan melepaskan ion kalium ke dalam sitoplasma sel.

Transpor aktif primer menggunakan energi untuk memindahkan ion dan molekul dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah. Energi yang dibutuhkan untuk transpor aktif primer terjadi biasanya dalam bentuk nukleotida yang disebut adenosin trifosfat (ATP). Salah satu bentuk yang paling sering terjadi dari transpor aktif adalah pompa natrium kalium, yang membantu sel untuk mempertahankan muatan listrik yang dikenal sebagai potensial istirahat, dan juga mengontrol volume sel. pompa Natrium-kalium menggerakkan ion natrium ke luar dari sel dan melepaskan ion kalium ke dalam sitoplasma sel.

#### **4. Transpor aktif sekunder**

Transpor aktif sekunder menggunakan protein transpor membran yang disebut antiporters dan symporters. Antiporters memindahkan ion dan molekul dengan mengangkut satu jenis partikel melawan gradien konsentrasi biasa, dari rendah ke konsentrasi yang tinggi, sementara mengangkut jenis lain dari partikel dengan cara biasa, dari tinggi ke konsentrasi rendah. transportasi Symporters dua jenis molekul atau ion melintasi membran sel pada saat yang sama dan dalam arah yang sama

Transport aktif sekunder juga terdiri atas co-transport dan counter transport (exchange). Transport aktif primer memakai energi langsung dari ATP, misalnya pada Na-K pump dan Ca pump. Pada Na-K pump, 3 Na akan dipompa keluar sel sedang 2 K akan dipompa ke dalam sel. Pada Ca pump, Ca akan dipompa keluar sel agar konsentrasi Ca dalam sel rendah.

##### **a. Transport sekunder co-transport**

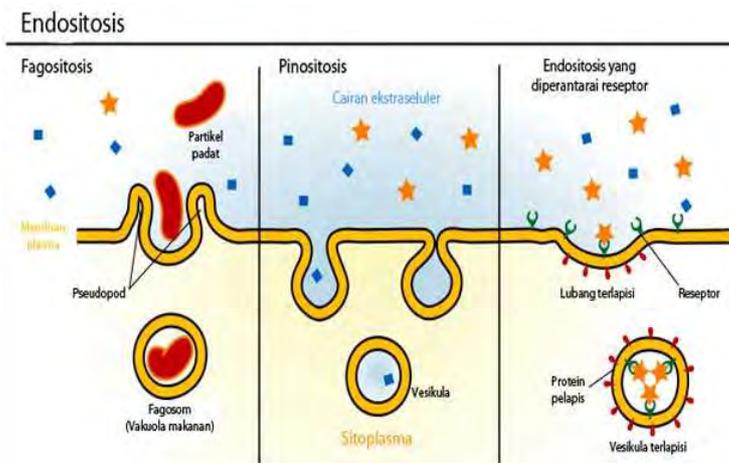
Pada transport sekunder co-transport, glukosa atau asam amino akan ditransport masuk dalam sel mengikuti masuknya Natrium. Natrium yang masuk akibat perbedaan konsentrasi mengikutkan glukosa atau asam amino ke dalam sel, meskipun asam amino atau glukosa di dalam sel konsentrasinya lebih tinggi dari luar sel, tetapi asam amino atau glukosa ini memakai energi dari Na (akibat perbedaan konsentrasi Na). Sehingga glukosa atau asam amino ditransport secara transport aktif sekunder co-transport.

##### **b. Transport sekunder counter-transport**

Pada proses counter transport/exchange, masuknya ion Na ke dalam sel akan menyebabkan bahan lain ditransport keluar. Misalnya pada Na-Ca exchange dan Na-H exchange. Pada Na-Ca exchange, 3 ion Na akan ditransport ke dalam sel untuk setiap 1 ion Ca yang ditransport keluar sel, hal ini untuk menjaga kadar Ca intrasel, khususnya pada otot jantung sehingga berperan pada kontraktiitas jantung. Na-H exchange terutama berperan mengatur konsentrasi ion Na dan Hidrogen dalam tubulus proksimal ginjal, sehingga turut mengatur pH dalam sel.

Ada proses perpindahan bahan atau molekul dari dalam sel untuk keluar sel dan sebaliknya yang dianggap sebagai proses transportasi antar sel, namun dilain sisi dianggap sebagai bentuk kegiatan memakan atau meminum yang dilakukan oleh sel yaitu : **Fagositosis dan Pinositosis**

Untuk partikel-partikel besar, misalnya bakteri tidak dapat ditransport seperti yang dikemukakan di atas. Transport molekul besar lewat mekanisme fagositosis (eksositosis, endositosis) dan pinositosis. Pinositosis disebut juga drinking sel, sebab yang ditransport adalah molekul yang mengandung cairan ekstrasel. Molekul tadi ditelan seluruhnya dan terbentuk dalam vesikel pinositik. Mekanisme ini sama dengan proses fagositosis, hanya saja molekul pada fagositosis lebih padat misalnya bakteri atau bagian sel yang rusak.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.22**

Prose Fagositosis

## Latihan

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

Sebelas perbedaan antara dinding sel dan membran sel

Jenis Perbedaan	Dinding Sel	Membran Sel
Distribusi		
Keberadaan dalam Alam		
Komposisi		

Jenis Perbedaan	Dinding Sel	Membran Sel
Keuletan		
Komunikasi		
Perubahan struktur		
Sifat		
Kebutuhan Nutrisi		
Bentuk Sel		
Membrane Sel		
Penelitian		

## Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk dapat mengerjakan latihan tersebut diatas, maka Anda harus mempelajari dan memahami BAB II Topik 2 dengan baik!
- 2) Pelajari tentang 11 (sebelas) perbedaan antara dinding sel dan membran sel.
- 3) Anda dinyatakan memahami dan menguasai materi pada BAB II Topik 2 ini jika mampu membedakan antara dinding sel dan membran sel minimal 8 aspek perbedaan secara benar dari 11 perbedaan.

## Ringkasan

- 1) Dinding sel adalah lapisan sel kaku dan tebal sebagai selubung terluar dari sel yang ditemukan pada sel tumbuhan, jamur dan sebagian besar protista. Dinding sel tanaman bersifat permeabel terdiri dari selulosa, sedangkan milik bakteri terdiri dari peptidoglikan. Dinding sel tanaman disintesis oleh protoplas di dekat membran sel.
- 2) Struktur dinding sel terdiri atas selulosa, polisakarida matriks, protein, dan plastis yang terdiri atas lignin, siberin dan kutin.
- 3) Membran sel adalah struktur yang membatasi sel, terdiri atas lipid yang mengandung gugus polar dan gugus yang bersifat hidrofob (tidak suka air) dengan gugus polar (suka air) mengarah ke bagian luar dari bilayer, sedangkan gugus hidrofob sebagai rantai asam lemak berada di bagian tengah dari lipid bilayer.
- 4) Protein membran tersusun atas glikoprotein atau protein yang bersenyawa dengan karbohidrat. Bergantung pada tipe sel dan organel tertentu dalam sel, membran memiliki 12 sampai lebih dari 50 macam protein berbeda.

- 5) Protein membran sel memiliki kemampuan bergerak, sehingga dapat berpindah tempat. Perpindahan berlangsung ke arah lateral dengan jalan difusi. Namun tidak semua protein mampu berpindah tempat. Beberapa jenis protein integral tertahan dalam selaput oleh anyaman molekul-molekul protein yang berada tepat di bawah permukaan dalam selaput plasma. Anyaman ini berhubungan dengan sitoskelet atau rangka sel.
- 6) Lemak yang terdapat pada membran memungkinkan membran berfungsi sebagai barrier yang membatasi pergerakan molekul yang dapat larut dalam air melewati membran. Membran sel komposisinya terutama terdiri dari protein 55%, lemak 42% dan karbohidrat 3%, tetapi persentase ini bervariasi pada berbagai sel.
- 7) Terdapat 3 jenis lemak yang terdapat pada membran sel yaitu fosfolipid, kolesterol dan glikolipid. Pada membran sel fosfolipid membentuk dua lapisan (lipid bilayer) dimana lapisan hidrofilik terletak pada bagian luar (berhadapan dengan cairan ekstrasel) dan bagian dalam sel (berhadapan dengan sitoplasma), sementara bagian hidrofobik terletak antara kedua lapisan hidrofilik.
- 8) Membran sel adalah lapisan paling luar dalam sel hewan dan berfungsi sebagai penutup semi permeabel sekitarnya protoplasma. Sedangkan dinding sel adalah lapisan terluar dalam sel tumbuhan berfungsi sebagai pelindung yang mengelilingi membran sel. Dengan kata lain dinding sel melindungi membran sel pada tumbuhan, sedangkan membran sel adalah pelindung terakhir bagi hewan.
- 9) Perbedaan antara Dinding sel dan membran sel dibedakan atas 11 aspek meliputi aspek distribusi, keberadaan dalam alam, komposisi, keuletan, komunikasi, perubahan struktur, sifat, kebutuhan nutrisi, bentuk sel, membrane sel dan penelitian.
- 10) Transport sel melewati dinding sel atau pada membrane sel terdiri atas Difusi pasif, difusi terfasilitasi, transport aktif primer dan transport aktif sekunder. Sedangkan untuk partikel besar melalui fagositosis (Endositosis, eksositosis) dan Pinositosis.

## Tes 2

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!**

- 1) Proses transport ekstra sel ke dalam sel dalam bentuk cairan dan sering disebut dengan istilah Drinking sel adalah.....
  - A. Pinositosis
  - B. Eksositosis
  - C. Endositosis
  - D. Fagositosis

- 2) Proses transport yang terjadi karena pergerakan dari konsentrasi tinggi menuju ke konsentrasi yang lebih rendah adalah.....
- A. Difusi
  - B. Osmosis
  - C. Transport aktif primer
  - D. Transport aktif skunder
- 3) Terdapat pada dinding sel.....
- A. Selulosa
  - B. Kolesterol
  - C. Glikolipids
  - D. Fosfolipids
- 4) Perpindahan ion, molekul dari konsentrasi tinggi menuju rendah dengan menggunakan energi pompa Natrium Kalium.....
- A. Difusi pasif
  - B. Difusi Terfasilitasi
  - C. Transport Aktif Primer
  - D. Transport Aktif Skunder
- 5) Berdasar perbedaan dari sisi keuletan, pernyataan yang benar tentang dinding sel adalah.....
- A. Tipis
  - B. Fleksibel
  - C. Mampu menyesuaikan bentuk
  - D. Ketebalan berubah seiring waktu

### Isian Singkat!

- 6) Kondisi kekeringan dan minim nutrisi akan menyebabkan ..... (.....) .....mengalami penyusutan ukuran.
- 7) Lipid bilayer yang terdiri atas Gugus Polar bersifat tidak suka air disebut dengan istilah :.....(.....)
- 8) Karbohidrat pada membran umumnya dalam bentuk .....(.....)..... dan..... (.....)
- 9) Membran sel memiliki sifat kemampuan untuk menyeleksi beberapa substansi yang dapat melintasinya dengan mudah dan substansi lain tidak bisa melintasinya merupakan kemampuan yang disebut ..... (.....)
- 10) Karbohidrat pada membran berfungsi mempertahankan stabilitas membran oleh adanya struktur yang disebut .....(.....).

# Topik 3

## Nukleus/Inti Sel

### A. STRUKTUR DAN FUNGSI INTI SEL

Inti sel atau nukleus adalah organel yang ditemukan pada sel eukariotik. Organel ini mengandung sebagian besar materi genetik sel dengan bentuk molekul DNA linier panjang yang membentuk kromosom bersama dengan beragam jenis protein. Gen di dalam kromosom-kromosom inilah yang membentuk genom inti sel.

Fungsi utama nukleus adalah untuk menjaga integritas gen-gen tersebut dan mengontrol aktivitas sel dengan mengelola ekspresi gen. Selain itu, nukleus juga berfungsi untuk mengorganisasikan gen saat terjadi pembelahan sel, memproduksi mRNA untuk mengkodekan protein, sebagai tempat sintesis ribosom, tempat terjadinya replikasi dan transkripsi dari DNA, serta mengatur kapan dan di mana ekspresi gen harus dimulai, dijalankan, dan diakhiri.

Nukleus adalah organel pertama yang ditemukan dan berhasil dideskripsikan pertama kali oleh Franz Bauer pada 1802, yang kemudian dijabarkan lebih terperinci oleh ahli botani Skotlandia, Robert Brown, pada tahun 1831. Pada satu sel umumnya ditemukan hanya satu nukleus. Namun demikian, beberapa jaringan tertentu, atau beberapa spesies tertentu memiliki lebih dari satu nukleus. Inti-inti dalam sel multinuklei ini dapat memiliki peran yang saling mengganti atau saling mengkhususkan diri. Pada *Paramecium*, terdapat dua inti sel: makronukleus (inti besar) dan mikronukleus (inti kecil). Makronukleus menjamin keberlangsungan hidup, sedangkan mikronukleus bertanggung jawab terhadap reproduksi.

Penting untuk memiliki pengetahuan yang lengkap tentang struktur inti sel. Sebuah inti sel terdiri dari beberapa komponen berikut:

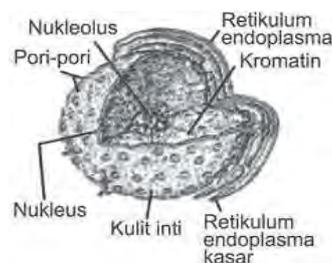
1. **Membran Nukleus:** Juga dikenal sebagai selubung nukleus, membungkus isi inti selama seluruh siklus hidup sel. Lapisan dalam yang dilapisi dengan protein dan membran hancur selama pembelahan sel. Susunan molekul membran ini sama dengan susunan molekul membrane sel, yaitu berupa lipoprotein. Membran inti juga dilengkapi dengan pori-pori yang dapat memungkinkan hubungan antara nukleoplasma dan sitoplasma. Pori-pori ini berperan dalam memindahkan materi antara inti sel dan sitoplasmanya. Membran inti hanya bisa dilihat dengan jelas dengan menggunakan mikroskop elektron. Membran inti terdiri atas dua selaput yaitu selaput luar dan selaput dalam. Selaput luar

mengandung ribosom pada sisi yang menghadap sitoplasma dan sering kali berhubungan dengan membrane retikulum endoplasma.

2. **Lamina Nukleus:** ini lamina inti terdiri dari anyaman filamen perantara yang menjangkarkan pori-pori inti dan kromosom dan mendukung selubung nukleus.
3. **Kromosom:** Mereka mengandung materi genetik dari sel. Molekul DNA yang tertanam dalam kromosom. Ada dua jenis kromatin, yaitu. euchromatin dan heterochromatin yang ada dalam kromosom.
4. **Nukleolus:** Struktur ini padat bernoda di nukleus dan tanpa membran inti. DNA ribosom (rDNA) hadir dalam nukleolus di wilayah yang dikenal sebagai Nucleolar Organizer Region (NOR). Struktur di dalam nukleus yang merupakan tempat berkonsentrasinya molekul DNA adalah nukleolus (anak inti). Nucleolus berperan sebagai tempat terjadinya sintesis molekul RNA (Ribonucleic acid) dan ribosom. RNA merupakan hasil salinan DNA yang akan ditransfer ke sitoplasma untuk diterjemahkan menjadi rantai asam amino yang disebut protein. Di dalam nukleolus banyak terkandung kromosom, yaitu benang-benang halus DNA. Kromosom tersebut berfungsi untuk menentukan ciri-ciri yang dimiliki sel; mengatur bentuk sel; menentukan generasi selanjutnya.
5. **Pori-pori inti:** Membran inti yang berlubang dengan pori-pori yang dikenal sebagai pori-pori nuklir, yang membantu dalam membangun komunikasi antara inti dan sitoplasma.

Nukleus merupakan organ terbesar sel, dengan ukuran diameter antara 10-20 nm. Nukleus memiliki bentuk bulat atau lonjong. Hampir semua sel memiliki nukleus, karena nukleus ini berperan penting dalam aktivitas sel, terutama dalam melakukan sintesis protein. Namun ada beberapa sel yang tidak memiliki nukleus antara lain sel eritrosit dan sel trombosit. Pada kedua sel ini aktivitas metabolisme terbatas dan tidak dapat melakukan pembelahan.

Biasanya sebuah sel hanya memiliki satu nukleus saja, yang terletak di tengah. Namun ada sel-sel yang memiliki inti lebih dari satu yaitu pada sel parenkim hati dan sel otot jantung, yang memiliki dua buah nukleus. Adapun pada sel otot rangka terdapat banyak nukleus. Komposisi nukleus terdiri atas membran nukleus, matriks, dan anak inti.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar 2.21.**

Nukleus

Nukleus atau inti sel merupakan organel paling mencolok yang terdapat di dalam sel. Nukleus dapat ditemukan pada sel eukariotik dan berfungsi sebagai pengatur aktivitas sel. Nukleus dapat dilihat dengan mudah menggunakan mikroskop cahaya tanpa bantuan pewarna kimia. Setiap sel memiliki satu nukleus kecuali jenis-jenis jamur tertentu yang kadang memiliki lebih dari satu nucleus dalam selnya. Protein-protein seperti enzim dan hormon yang berperan dalam metabolisme tubuh diproduksi dengan perintah yang datang dari nukleus. Perintah ini muncul dalam bentuk mRNA (RNA messenger) yang dihasilkan oleh nukleus.

DNA dalam nukleus tersusun atas benang-benang halus yang disebut kromatin. Terdapat 2 macam kromatin, dimana kromatin yang kurang padat disebut eukromatin sedangkan kromatin yang padat disebut heterokromatin. Benang halus kromatin akan memadat dan berkumpul membentuk struktur lebih besar yang disebut kromosom ketika sel akan membelah diri. Gen-gen penentu sifat makhluk hidup terletak pada tempat khusus di kromosom yang disebut lokus gen. Tiap jenis makhluk hidup memiliki jumlah kromosom yang khas dengan gen-gen yang berbeda-beda.

Tiap sel manusia mengandung 46 kromosom, kubis 20 kromosom, bunga matahari 34 kromosom, dan jenis paku *Ophioglossum* mengandung 1250 kromosom. Sel tubuh atau sel somatik mengandung 2 set kromosom sehingga disebut diploid, sedangkan sel kelamin atau sel gamet hanya mengandung 1 set kromosom sehingga disebut haploid.

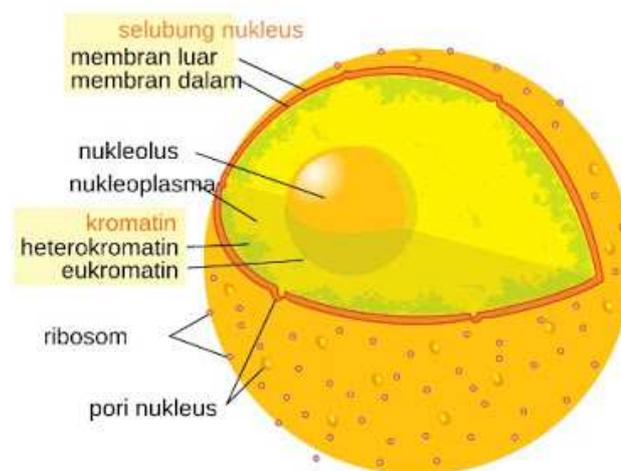
Di dalam nukleus terdapat organel nukleolus atau anak inti. Tiap nukleus umumnya memiliki 2 nukleolus, namun kedua organel kecil ini bersatu sehingga nampak seperti tunggal. Nukleolus berfungsi dalam sintesis rRNA (RNA ribosom) yang digunakan untuk membentuk ribosom. Pada sel eukariotik nukleus memiliki membran ganda (2 lapis) yang disebut selubung nukleus. Pada membran tersebut terdapat pori-pori kecil dengan diameter antara 30 - 100 nanometer. Pori kecil ini berfungsi sebagai jalur keluar masuknya molekul-molekul dari dan ke dalam nukleus. Beberapa pori juga menyambung dengan organel retikulum endoplasma sehingga molekul yang dikeluarkan nukleus dapat langsung masuk retikulum endoplasma.

Nukleus adalah organel berbentuk bola hanya ditemukan dalam sel eukariotik. Nukleus adalah kata Latin, yang berarti kernel (biji). Nukleus adalah organel berbentuk bola hanya ditemukan dalam sel eukariotik dan mengandung materi genetik. Molekul-molekul DNA diatur secara linear dalam nukleus. Inti bila dilihat di bawah mikroskop elektron menunjukkan beberapa sub struktur, yang melaksanakan fungsi ekspresi gen dan berbagai jenis kegiatan turun-temurun. Fungsinya terutama berhubungan dengan mesin genetik tubuh.

Fungsi utama dari nukleus adalah untuk mengatur aktivitas sel. Fungsi tersebut dijalankan dengan mengelola ekspresi gen baik proses, kapan, dimana dan proses mengakhiri ekspresi gen. Secara sistematis, berikut adalah beberapa fungsi inti sel:

1. Inti sel menyimpan seluruh informasi genetik yang diperlukan untuk reproduksi, pertumbuhan, dan metabolisme sel maupun organisme secara keseluruhan.

2. Inti sel mengontrol transfer dan replikasi molekul keturunan (DNA dan RNA) antara sel induk dan sel anak.
3. Inti sel menjamin distribusi yang sama dan menyalin secara tepat informasi genetik selama proses pembelahan sel. Semua ini merupakan fungsi utama inti sel pada sel hewan.
4. Inti sel mendukung dan mengontrol pertumbuhan sel dengan melakukan sintesis protein struktural dalam sel.
5. Inti sel merupakan tempat terjadinya transkripsi DNA dimana diproduksi mRNA yang mensintesis protein. Nukleus Mengatur aktivitas sel dengan cara menentukan jenis dan waktu sintesis protein tertentu.
6. Inti sel mengandung berbagai jenis protein yang secara langsung mengontrol transkripsi.
7. Mengendalikan metabolisme sel.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 2.22.**

Struktur Nukleus

## B. BIOSINTESIS NUKLEUS PADA PEMBELAHAN SEL

Biosintesis merupakan ragam metabolisme yang bersifat anabolik, dan menghasilkan senyawa organik yang dibutuhkan untuk kehidupan sel atau makhluk hidup. Sel dilengkapi perangkat untuk mendukung proses biosintesis, baik tempat maupun perangkat enzim untuk biosintesis.

Setiap jenis sel memiliki potensi spesifik proses biosintesis, jadi potensi maupun ragam biosintesis masing-masing sel berbeda. Neuron (sel saraf) mampu mensintesis endorfin, sel

beta pada insula Langerhansi mampu mensintesis insulin, sel Leydig mampu mensintesis testosteron, dan lain-lain. Sel penyusun daun *Carica* sp. mampu mensintesis papain, sel penyusun daun *Mimosa* sp mampu mensintesis mimosin, sel penyusun kelenjar nektarum mampu mensintesis nektar, dan lain-lain. Jenis mikrobia memiliki potensi spesifik pula, *Penicillium* sp menghasilkan Streptomisin, *Ruminococcus albus* mampu mensintesis enzim selulase.

Meskipun memiliki potensi biosintesis spesifik, setiap sel pasti mampu mensintesis senyawa organik baku untuk mendukung kehidupan sel, seperti protein, lipid, karbohidrat, maupun senyawa kombinasinya. Proses biosintesis terjadi pada organel. Retikulum endoplasma granuler merupakan tempat sintesis lipid, beberapa senyawa organik disintesis dalam mitokondria, plastida merupakan tempat sintesis karbohidrat. Golgi kompleks merupakan tempat sintesis berbagai senyawa organik lainnya.

Seperti halnya proses metabolisme lainnya, biosintesis membutuhkan substrat. Substrat biosintesis dalam sel dapat bersifat eksogen maupun endogen. Berbagai komponen nutrisi merupakan substrat eksogen, misalnya asam amino merupakan substrat biosintesis protein, glukosa merupakan substrat sintesis gliserol. Deposit lemak merupakan substrat untuk proses glukoneogenesis, asam propionat merupakan salah satu substrat untuk sintesis laktosa susu ruminansia.

Salah satu contoh biosintesis adalah biosintesis protein dalam sel. Proses ini melibatkan berbagai perangkat dalam sel, antara lain adalah :

1. "Doxy-ribo Nucleic Acid" (DNA) dalam nukleus merupakan faktor mendasar dalam biosintesis protein. Sumber kode sintesis protein terdapat dalam DNA nukleus.
2. "Ribo-Nicleic Acid" (RNA). Terdapat berbagai jenis RNA, meliputi: m-RNA, t-RNA, dan r-RNA, semuanya berperan dalam sintesis protein. "Messenger-RNA" (m-RNA) berperan sebagai pembawa kode sintesis dari DNA nukleus, "T-RNA" (t-RNA) merupakan pembawa substrat asam amino, sedangkan "ribosome-RNA" (r-RNA) merupakan tempat terjadinya translasi kode sintesis protein.
3. Enzim RNA-polimerasi. Enzim ini berperan dalam proses transkripsi DNA nukleus, dan menghasilkan m-RNA yang membawa kode sintesis protein.
4. Retikulum endoplasma granuler. Organel ini berperan sebagai tempat sintesis protein. Granula pada retikulum endoplasma disusun oleh molekul r-RNA.

Mekanisme sintesis protein pada dasarnya ada dua tahap, yaitu: proses transkripsi dan proses translasi. Transkripsi merupakan proses pengkopian DNA sehingga dihasilkan serangkaian kode sintesis protein yang dibawa oleh m-RNA. Kode tersebut mengaktifkan r-RNA untuk melaksanakan sintesis protein. Substrat asam amino dibawa oleh t-RNA. Proses

penterjemahan kode sintesis menjadi aktifitas sintesis protein disebut proses translasi. Rangkaian asam amino membentuk peptida, akhirnya terbentuk protein.

### C. BIOSINTESIS NUKLEUS PADA PEMBENTUKAN MATERI GENETIK NUKLEUS

Bentuk molekul DNA dalam inti sel berupa benang halus dan tidak bercabang. Ukuran molekul DNA berbeda-beda dari satu spesies dengan spesies lainnya. Model struktur DNA itu pertama kali dikemukakan oleh James D. Watson (Amerika) dan Francis Crick (Inggris) pada tahun 1953 di Inggris. Struktur tersebut mereka buat berdasarkan hasil analisis foto difraksi sinar X pada DNA yang dibuat oleh Rosalind Franklin. Karena yang difoto itu tingkat molekul, maka yang tampak hanyalah bayangan gelap dan terang saja. Molekul DNA itu berbentuk dua pita spiral yang saling berpilin, disebut double helix (spiral ganda). Jika double helix tersebut dibentangkan maka bentuknya akan menyerupai tangga, dengan ibu tangga berupa rantai gula deoksiribosa dan asam fosfat, serta anak tangga berupa pasangan basa nitrogen yang selalu mempunyai pasangan yang selalu tetap, yaitu adenin dengan timin (A-T), dan guanin dengan sitosin (G-S).

Seutas polinukleotida pada molekul DNA tersusun atas rangkaian nukleotida. Setiap nukleotida tersusun atas:

1. Gugusan gula deoksiribosa.
2. Gugusan fosfat yang terikat pada atom C nomor 5 dari gula.
3. Gugusan basa nitrogen yang terikat pada atom C nomor 1 dari gula.

Ketiga gugus tersebut saling terkait dan membentuk “tulang punggung” yang sangat panjang bagi heliks ganda. Strukturnya dapat diibaratkan sebagai tangga, dimana ibu tangganya adalah gula deoksiribosa dan anak tangganya adalah susunan basa nitrogen. Fosfat menghubungkan gula pada satu nukleotida ke gula pada nukleotida berikutnya untuk membentuk polinukleotida.

Basa nitrogen penyusun DNA terdiri dari basa purin, yaitu adenin (A) dan guanin (G), serta basa pirimidin yaitu sitosin (C) dan timin (T). Ikatan antara gula pentosa dan basa nitrogen disebut nukleosida. Ada 4 macam basa nukleosida yaitu :

1. Ikatan A-gula disebut adenosin deoksiribonukleosida (deoksiadenosin)
2. Ikatan G-gula disebut guanosin deoksiribonukleosida (deoksiguanosin)
3. Ikatan C-gula disebut sitidin deoksiribonukleosida (deoksisitidin)
4. Ikatan T-gula disebut timidin deoksiribonukleosida (deoksitimidin)

DNA heliks ganda yang panjang juga mempunyai suatu polaritas. Polaritas tersebut dikarenakan salah satu ujung rantai DNA merupakan gugus fosfat dengan rantai karbon 5'-deoksiribosa pada ujung terminal nukleotidanya. Oleh karena ujung rantai DNA lain merupakan gugus demikian pula, rantai polinukleotida merupakan suatu polaritas atau bidireksionalitas polinukleotida 3'—5' dan 5'—3'. Polaritas heliks ganda berlawanan orientasi satu sama lain. Kedua rantai polinukleotida DNA yang membentuk heliks ganda berjajar secara antiparalel.

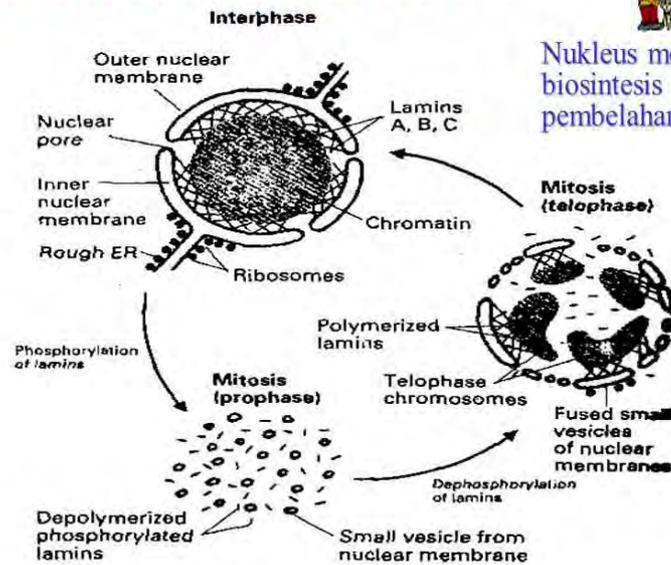
Gugus fosfat dan gula terletak di sebelah luar sumbu. Seperti telah disebutkan di atas, nukleotida-nukleotida yang berurutan dihubungkan oleh ikatan fosfodiester. Ikatan ini menghubungkan atom C nomor 3' dengan atom C nomor 5' pada gula deoksiribosa. Di salah satu ujung untai polinukleotida, atom C nomor 3' tidak lagi dihubungkan oleh ikatan fosfodiester dengan nukleotida berikutnya, tetapi akan mengikat gugus OH. Oleh karena itu, ujung ini dinamakan ujung 3' atau ujung OH. Di ujung lainnya atom C nomor 5' akan mengikat gugus fosfat sehingga ujung ini dinamakan ujung 5' atau ujung P. Kedudukan antiparalel di antara kedua untai polinukleotida sebenarnya dilihat dari ujung-ujung ini. Jika untai yang satu mempunyai arah dari ujung 5' ke 3', maka untai komplementernya mempunyai arah dari ujung 3' ke 5'

#### **D. KETERKAIATAN BENTUK MATERI GENETIK**

*Kromatin (Chroma: berwarna; tin: benang) adalah kompleks dari asam deoksiribonukleat, protein histon dan protein non histon yang ditemukan pada inti sel eukariota. Kromatin merupakan bahan yang mudah diwarnai oleh suatu zat pewarna. Pada berbagai sel eukariota tingkat tinggi, ada dua bentuk kromatin pada tahap interfase yaitu eukromatin dan heterokromatin. Kromatin terfragmentasi dan menggumpal selama mitosis atau meiosis untuk membentuk wujud seperti batang yang disebut kromosom. Kromosom yang berkembang dari kromatin terbukti tersusun dari sejumlah besar protein dan asam-asam nukleat yang sekarang dikenal sebagai asam deoksiribonukleat. Dua pasang dari tiap protein histon tersebut yaitu histon H2A, H2B, H3 dan H4 membentuk oktamer dengan 145 hingga 147 pasangan basa asam deoksiribonukleat yang membungkusnya membentuk inti nukleosom.*

Pada berbagai sel eukariota tingkat tinggi, ada dua bentuk kromatin pada tahap interfase yaitu eukromatin dan heterokromatin. Suatu gen yang secara normal terekspresi pada bentuk eukromatin berpindah pada daerah heterokromatin menyebabkan terjadinya peredaman gen, yaitu terhentinya ekspresi gen tersebut. Perubahan bentuk kromatin ini merupakan salah satu mekanisme epigenetika.

## B. Biosintesis Nukleus

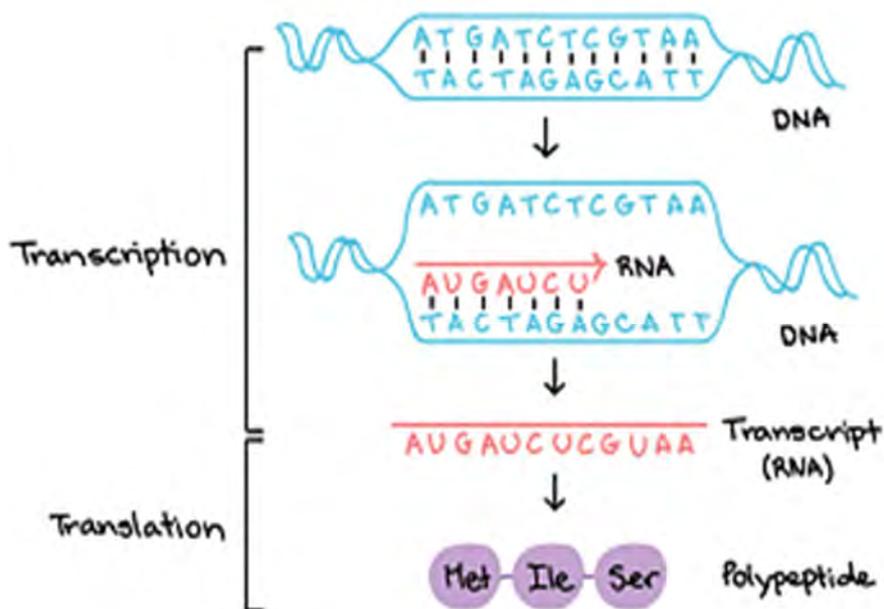


Nukleus mengalami biosintesis pada saat pembelahan sel

(Sumber : Image.google.co.id)

Gambar. 2.23.

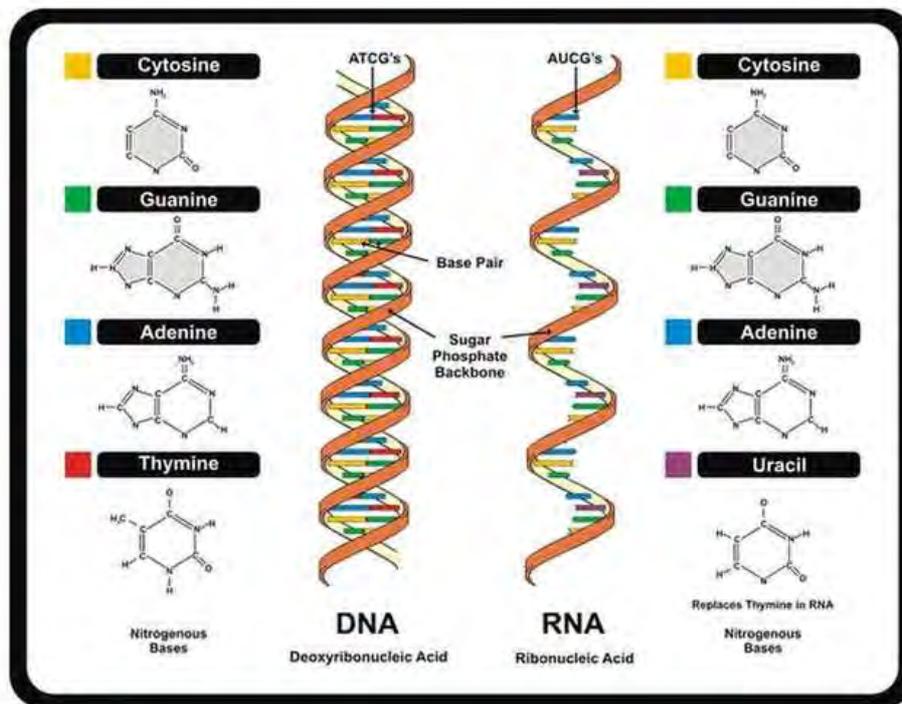
Biosintesis Nukleus



(Sumber : Image.google.co.id)

Gambar. 2.24.

Transkripsi dan Translasi



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 2.25.**

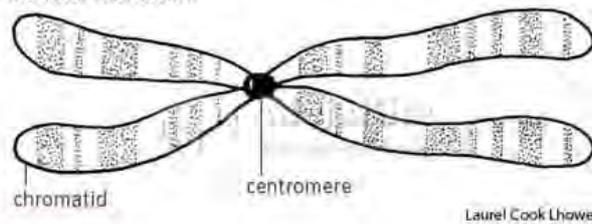
Kode DNA - RNA

## Materi Genetik

### • Kromosom

Kromosom adalah benda halus yang berbentuk batang yang terdapat pada inti sel

#### > Struktur Kromosom



#### a) Sentromer

Titik tempat melekatnya kromatid

#### b) Lengan (Badan Kromosom)

Terdiri dari

1. Selaput pembungkus lengan
2. Matrik – Cairan bening yang mengisi seluruh lengan
3. Kromonema – terendam di dalam matriks

(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 2.26.**

Materi Genetik

## Latihan

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

- 1) Apa yang dimaksud dengan nukleus sel ?
- 2) Apa saja fungsi utama nukleus?
- 3) Apa yang dimaksud dengan kromosom ?
- 4) Apa perbedaan peran antara makronukleus dengan mikronukleus?

## Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Untuk dapat mengerjakan latihan tersebut di atas, maka Anda harus mempelajari dan memahami BAB 2 Topik 3 ini dengan baik!
- 2) Pelajari dengan baik tentang Inti Sel / Nukleus beserta peran fungsi dan bagian yang ada di dalamnya.
- 3) Berusahalah untuk menjawab terhadap soal latihan tersebut tanpa melihat uraiannya.

## Ringkasan

- 1) Nukleus adalah organel yang ditemukan pada sel eukariotik. Organel ini mengandung sebagian besar materi genetik sel dengan bentuk molekul DNA linier panjang yang membentuk kromosom bersama dengan beragam jenis protein. Gen di dalam kromosom akan membentuk genom inti sel.
- 2) Fungsi utama nukleus adalah untuk menjaga integritas gen dan mengontrol aktivitas sel dengan mengelola ekspresi gen. Selain itu, nukleus juga berfungsi untuk mengorganisasikan gen saat terjadi pembelahan sel, memproduksi mRNA untuk mengkodekan protein, sebagai tempat sintesis ribosom, tempat terjadinya replikasi dan transkripsi dari DNA, serta mengatur kapan dan di mana ekspresi gen harus dimulai, dijalankan, dan diakhiri.
- 3) Makronukleus menjamin keberlangsungan hidup, sedangkan mikronukleus bertanggung jawab terhadap reproduksi.
- 4) Seutas polinukleotida pada molekul DNA tersusun atas rangkaian nukleotida. Setiap nukleotida tersusun atas : Gugusan gula deoksiribosa, Gugusan fosfat yang terikat pada atom C nomor 5 dari gula dan Gugusan basa nitrogen yang terikat pada atom C nomor 1 dari gula.

- 5) Kromatin berasal dari kata Chroma: berwarna; dan tin: benang adalah kompleks dari asam deoksiribonukleat, protein histon dan protein non histon yang ditemukan pada inti sel eukariota.

## Tes 3

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!**

- 1) Makronukelus berperan untuk.....
- A. Proses reproduksi
  - B. Menjaga regenerasi sel
  - C. Pembelahan sel
  - D. Menjamin keberlangsungan hidup
- 2) Membran nukleus tersusun atas.....
- A. Lipoprotein
  - B. Karbohidrat
  - C. Asam Amino
  - D. Gula deoksiribosa
- 3) Manakah pernyataan yang tepat berkaitan dengan sel.....
- A. Nukleus sel hewan dan sel tumbuhan terbungkus membran
  - B. Sel hewan dan sel tumbuhan sama sama mempunyai plastida
  - C. Sel hewan dan sel tumbuhan mempunyai sentriol
  - D. Dinding sel terdapat pada sel hewan dan sel tumbuhan
- 4) Tempat keluar masuknya suatu zat dari atau ke dalam sel adalah.....
- A. Sterol
  - B. Sitoplasma
  - C. Membran sel
  - D. Selektif Permeabel
- 5) Seutas polinukleotida pada molekul DNA tersusun atas rangkaian nukleotida yang terdiri atas.....
- A. Gula deoksiribosa - gugus fosfat dan basa nitrogen
  - B. Gugus karbohidrat- gugus asam amino dan kolesterol
  - C. Gugus lipid - gugus karbohidrat dan asam amino
  - D. Gugus basa nitrogen - gugus amino dan lipid

# Kunci Jawaban Tes

## Tes 1

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

## Tes 2

- 1) A
- 2) A
- 3) A
- 4) C
- 5) D
- 6) Membran Sel
- 7) Hidrofobia
- 8) Glikolipid dan Glikoprotein
- 9) Selektif Permeabel
- 10) Glikokaliks

## Tes 3

- 1) D
- 2) A
- 3) A
- 4) C
- 5) A

# Glosarium

- **Euchromatin** merupakan bentuk yang kurang padat atau bentuk terbuka dari kromatin. Euchromatin berbentuk padat selama pembelahan sel tetapi mengendur menjadi bentuk yang terbuka selama interfase. Ditunjukkan dengan daerah berwarna terang.
- **Genom** adalah Keseluruhan informasi genetic yang dimiliki suatu sel atau organisme atau khususnya keseluruhan asam nukleat yang memuat informasi tersebut. Istilah lain adalah Genome.
- **Heterochromatin** merupakan bentuk yang lebih padat dari kromatin atau bentuk tertutup. Heterochromatin sangat padat pada saat pembelahan sel dan fase interfase. Ditunjukkan dengan daerah berwarna lebih padat atau gelap.
- **Histon** adalah protein yang ditemukan pada inti sel eukariota yang terbungkus DNA yang kemudian bersama DNA menyusun struktur Nukleosom. Ada 5 sub unit Histon yaitu Histon H1, H2A, H2B, H3 dan H4. Sub unit tersebut kaya akan asam amino yang bermuatan positif atau bersifat basa.
- **Kromosom** merupakan kumpulan DNA yang melingkar rapat dan terletak di dalam nucleus/inti sel dalam setiap sel makhluk hidup.
- **Kromatin** adalah kompleks dari asam deoksiribonukleat, protein histon dan protein non histon yang ditemukan pada inti sel eukariota, kromatin merupakan bahan yang mudah diwarnai oleh suatu zat pewarna.
- **Nukleotida** adalah blok pembangun asam nukleat yang tersusun dari 3 sub unit yaitu gugus basa nitrogen heterosiklik / basa nukleotida, gula pentose/ ribose atau deoksiribosa dan setidaknya satu gugus fosfat.
- **Paramecium** adalah Protista (mikroorganisme eukariota bukan hewan, tumbuhan atau fungi yang memiliki 2 inti dalam satu sel yaitu inti kecil/mikronukleus dan inti besar / makronukleus. Dimana mikronukleus berfungsi untuk mengendalikan kegiatan reproduksi sedangkan makronukleus berfungsi untuk mengawasi kegiatan metabolisme, pertumbuhan dan regenerasi.
- **Polinukleotida** merupakan polimer (rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identic yang disebut monomer) dari nukleotida yang masing-masing dihubungkan oleh ikatan fosfodiester

# Daftar Pustaka

- Ayala, F. J. and Kiger, J.A. 1984. Modern Genetics. 2nded. Menlo Park: The Benjamin/Cunning Publ.Co., Inc.
- Campbell NA, dkk. 2000. Biologi. Edisi Kelima. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Juwono., Juniarto, A.Z. 2003. Biologi Sel., EGC. Jakarta
- Kimbal, John W. 1994. Biologi. Jilid 1, 2, dan 3. Edisi kelima. Jakarta: Erlangga
- Nisyawati, Luthfiralda., 2019. Biologi Umum., Universitas Terbuka. Tangerang
- William D. Stanfield., 2006. Schaum's Easy Outlines Biologi "Biologi Molekuler dan Sel. Erlangga. Jakarta.
- Yatim, W., 2003. Biologi Modern, Biologi Sel. PT. Tarsito, Bandung.



# Bab 3

## REPRODUKSI SEL/PEMBELAHAN SEL

*Rodhi Hartono, SKP, NS, M.Biomed*

*Rudina Azimata Rosyidah, S.Si, M.Biomed*

### Pendahuluan

S elamat berjumpa kembali, selamat mempelajari bahan ajar Biologi Sel dan Genetika. Pada Bab 3 yang sedang Anda pelajari merupakan materi yang akan menguraikan tentang proses reproduksi atau pembelahan sel yang akan memberikan gambaran tentang jenis pembelahan sel, baik langsung maupun tidak langsung dan mampu mengidentifikasi perbedaan antara pembelahan mitosis dan meiosis. Untuk memudahkan Anda dalam memahaminya maka Bab 3 akan dibagi menjadi 2 topik pembelajaran, yaitu:

- Topik 1 : Jenis Pembelahan Sel
- Topik 2 : Identifikasi Perbedaan Jenis Pembelahan Sel

Pada kajian ilmu Biologi, sel adalah unsur terkecil yang menyusun suatu organisme. Dalam perjalanan hidupnya, sel tidaklah statis, namun ia senantiasa melakukan kegiatan memperbanyak diri dalam konteks perkembangbiakan, pembelahan sel bertujuan agar reproduksi dan embriogenesis dapat berkelanjutan. Sel induk gamet (gametogonium) harus terlebih dahulu berproliferasi, setelah itu gametosit mengalami pembelahan reduksi. Bila pembuahan terjadi, maka embriogenesis terjadi yang pada prinsipnya berlangsung dengan cara perbanyakan satu sel zygote menjadi ribuan sampai milyaran sel.

Siklus sel yang berlangsung kontinu dan berulang (siklik) disebut proliferasi. Keberhasilan sebuah proliferasi membutuhkan transisi unidireksional dan teratur dari satu fase siklus sel menuju fase berikutnya. Jenjang reaksi kimia organik yang terjadi seyogyanya diselesaikan sebelum jenjang berikutnya dimulai. Sebagai contoh, dimulainya fase mitosis sebelum selesainya tahap replikasi DNA akan menyebabkan sel tereliminasi.

Pada sel prokariot yang tidak memiliki inti sel, siklus sel terjadi melalui suatu proses yang disebut pembelahan biner, sedang pada sel eukariot yang memiliki inti sel, siklus sel terbagi menjadi dua fase fungsional, fase S dan M, dan fase persiapan,  $G_1$  dan  $G_2$ . Tujuan pembelahan sel pada dasarnya adalah untuk proses Regenerasi sel-sel yang rusak/mati, pertumbuhan dan perkembangan, berkembang biak/reproduksi dan variasi individu baru.

Materi Tentang Reproduksi Sel melalui pembelahan sel ini akan memberikan manfaat bagi mahasiswa calon Teknisi Pelayanan Darah terutama tentang proses pembentukan sel darah baru dan regenerasi sel darah, jenis pembelahan sel beserta tahapan fase pembelahan sel tersebut.

Setelah Anda mempelajari materi dalam Bab 3 ini dengan bersungguh-sungguh maka diakhir pembelajaran Anda diharapkan akan dapat menjelaskan tentang Pengertian Pembelahan sel, fungsi pembelahan dan Jenis Pembelahan Sel baik secara langsung maupun tidak langsung, serta mampu mengidentifikasi perbedaan jenis pembelahan sel. Bab 3 ini terdiri atas 2 Topik sehingga dalam mempelajari bab ini disarankan Anda untuk :

- Pelajari Bab sebelumnya yang membahas tentang konsep dasar Sel.
- Pelajari Topik 1 terlebih dahulu kemudian dilanjutkan ke Topik 2.
- Kerjakan Latihan soal tanpa harus melihat isi uraian pada Bab 3.
- Kerjakanlah Tes tanpa melihat isi uraian pada Bab 3.
- Cocokkan hasil pekerjaan anda dengan kunci jawaban yang ada pada lembar berikutnya.
- Berikan penilaian pada hasil pekerjaan Anda, dikatakan sudah menguasai materi apabila soal tes dijawab benar > 80%.

Keberhasilan Anda dalam mempelajari Bab 3 ini merupakan serangkaian capaian yang mewujudkan kemampuan dalam ketrampilan khusus penerapan biologi sel dan genetika dalam memberikan pelayanan darah.

**TETAP SEMANGAT DAN SELAMAT MEMAHAMI BAB 3 INI**

# Topik 1

## Jenis Pembelahan Sel

### A. PENGERTIAN

Sel adalah bagian terkecil yang menyusun tubuh makhluk hidup. Pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup berhubungan erat dengan proses pembelahan sel ini. Namun begitu fungsi pembelahan sel pada makhluk hidup multiseluler dan uni seluler sangat berbeda meski bertujuan sama yaitu memperbanyak diri. Pembelahan sel adalah peristiwa dimana sebuah sel akan membelah menjadi dua atau lebih sel baru. Pembelahan sel merupakan cara sel untuk memperbanyak diri atau yang disebut dengan proses reproduksi sel.

### B. FUNGSI

Pembelahan sel pada makhluk hidup ber sel satu dan multiseluler mempunyai fungsi yang berbeda yaitu :

1. Makhluk hidup Uniseluler atau bersel tunggal adalah sebagai cara untuk berkembang biak. Contoh makhluk hidup yang berkembang biak dengan membelah diri seperti Protozoa, Amoeba, dll.
2. Fungsi pembelahan sel pada makhluk hidup multiseluler atau makhluk hidup bersel banyak adalah sebagai cara untuk memperbanyak sel tubuh sehingga makhluk hidup yang bersangkutan dapat tumbuh dan berkembang.

Proses pembelahan sel merupakan cara agar sel dapat tumbuh dan berkembang. Sel yang membelah diri disebut sel induk, sedangkan sel hasil pembelahan diri disebut sel anak. Pada dasarnya proses pembelahan sel terbagi menjadi 2, yaitu: pembelahan sel secara langsung dan pembelahan sel secara tidak langsung.

Perbedaan antara pembelahan sel secara langsung dan tidak langsung adalah bahwa pada pembelahan sel secara tidak langsung adalah pembelahan yang melalui tahapan-tahapan tertentu. Pembelahan ini melalui tahapan-tahapan (fase-fase) tertentu dan terjadi pada sel-sel eukariotik baik pada tumbuhan, hewan, maupun manusia. Pembelahan secara tidak langsung dapat melalui dua cara, yaitu mitosis dan meiosis. Sedangkan pembelahan sel secara langsung atau sering disebut amitosis adalah proses pembelahan sel yang tidak melalui tahap-tahap pembelahan. Pembelahan ini terjadi pada organisme yang masih prokariotik.





(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 3.2.**

Pembelahan Sel Amitosis

Pembelahan Amitosis bertujuan untuk reproduksi atau memperbanyak diri, dimana antara sel induk dan sel anak mempunyai kesamaan sifat. Pembelahan Amitosis mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

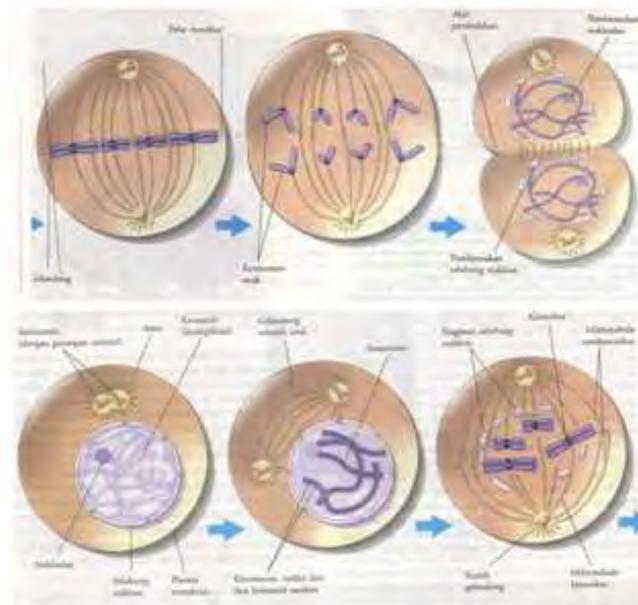
1. Setiap sel induk akan membelah menjadi dua sel anakan.
2. Terjadi pada organisme uniseluler/bersel tunggal seperti pada Amoeba, Paramecium, alga biru, dan lain-lain.

## **D. PEMBELAHAN SEL TIDAK LANGSUNG**

### **1. Mitosis**

Pembelahan mitosis termasuk kedalam pembelahan sel secara tidak langsung, karena pembelahan inti (nukleus) didahului oleh pembentukan benang-benang kumparan sperma (kromosom). Biasanya terjadi pada sel-sel tubuh (sel somatik) dan sel nutfah. Pembelahan secara mitosis akan menghasilkan dua sel anakan yang masing-masing sel anak tersebut, mempunyai sifat dan jumlah kromosom yang sama dengan induknya. Sel-sel tersebut memiliki perbedaan kemampuan dalam kecepatan membelah, ada yang cepat dan ada pula yang lambat. Contohnya pada sel-sel germinatikum pada kulit yang mampu melakukan pembelahan secara cepat untuk menggantikan sel-sel yang rusak atau sel-sel yang sudah mati. Pada hati, proses pembelahannya berlangsung lama, yaitu dalam waktu tahunan. Dalam

proses pembelahan sel secara tidak langsung dikenal istilah Siklus sel yaitu urutan-urutan tertentu dalam mekanisme pembelahan sel hingga pembelahan sel lagi untuk membentuk sel anakan. Dan siklus ini terbagi menjadi dua fase yaitu interfase dan fase mitotik. Mitosis adalah proses pembelahan sel yang menghasilkan dua sel anak yang masing-masing memiliki sifat dan jumlah kromosom yang sama dengan sel induknya.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 3.3.**

Pembelahan Sel Mitosis

*a. Tujuan Pembelahan Mitosis*

- 1) Mengganti atau memperbaiki jaringan tubuh yang sudah rusak atau aus.
- 2) Pertumbuhan (perbanyakkan sel sehingga baik kuantitas dan kualitasnya bertambah).
- 3) Membentuk jaringan karena produk pembelahan ini kromosom/sifat induk sama dengan sifat anaknya, artinya karena membentuk jaringan baik sel baru dan lama sama.

*b. Tahapan Pembelahan Mitosis*

- 1) Interfase (Fase Istirahat), merupakan fase istirahat dalam pembelahan sel. dimana pada fase ini, sel melakukan berbagai persiapan untuk melakukan pembelahan selanjutnya dan membutuhkan waktu yang lama dibandingkan dengan fase mitotik (fase pembelahan). Merupakan sebuah jeda panjang antara satu mitosis dengan yang lain. Jeda tersebut termasuk fase  $G_1$ , S,  $G_2$ . Kegiatan yang terjadi dari satu pembelahan sel ke pembelahan berikutnya disebut siklus sel atau daur sel. Siklus sel mencakup dua fase yaitu interfase dan fase mitosis atau fase pembelahan. Interfase terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap  $G_1$  dimana terjadi aktivitas biosintesis yang tinggi, tahap S yaitu merupakan tahap replikasi dan transkripsi DNA, tahap  $G_2$  merupakan tahap persiapan diri sel untuk membelah. Fase mitosis atau fase pembelahan terdiri dari karyokinesis atau pembelahan nukleus dan sitokinesis atau pembelahan sitoplasma. Tahapan Interfase sebagai berikut yaitu:
  - a) Fase  $G_1$  (Fase Growth 1/Fase Pertumbuhan), fase  $G$  yang terdiri dari  $G_1$  dan  $G_2$  adalah fase sintesis zat yang diperlukan pada fase berikutnya. Pada sel mamalia, interval fase  $G_2$  sekitar 2 jam, sedangkan interval fase  $G_1$  sangat bervariasi antara 6 jam hingga beberapa hari. Sel yang berada pada fase  $G_1$  terlalu lama, dikatakan berada pada fase  $G_0$  atau "quiescent". Pada fase ini, sel tetap menjalankan fungsi metabolisnya dengan aktif, tetapi tidak lagi melakukan proliferasi secara aktif. Sebuah sel yang berada pada fase  $G_0$  dapat memasuki siklus sel kembali, atau tetap pada fase tersebut hingga terjadi apoptosis. Pada umumnya, sel pada orang dewasa berada pada fase  $G_0$ . Sel tersebut dapat masuk kembali ke fase  $G_1$  oleh stimulasi antara lain berupa: perubahan kepadatan sel, mitogen atau faktor pertumbuhan, atau asupan nutrisi. Fase  $G_1$  atau fase pertumbuhan merupakan fase yang berlangsung selama 9 jam dan termasuk fase yang paling aktif. Pada fase  $G_1$  ini sel mengadakan pertumbuhan dan perkembangan sehingga sel bertambah ukurannya dan volumenya.
  - b) Fase S (Fase Sintesis), fase ini berlangsung selama 10 jam dan merupakan fase pembentukan (sintesis) DNA atau penggandaan kromosom. Merupakan tahap terjadinya replikasi DNA. Pada umumnya, sel tubuh manusia membutuhkan waktu sekitar 8 jam untuk menyelesaikan tahap ini. Hasil replikasi kromosom yang telah utuh, segera dipilah bersama dengan dua nuklei masing-masing guna proses mitosis pada fase M.
  - c) Fase  $G_2$  (Fase Growth 2/Fase Pertumbuhan 2), pada fase ini terjadi proses sintesis protein, dan pada fase ini sel siap untuk melakukan pembelahan.

- 2) Mitosis (Fase Pembelahan), interval waktu fase M kurang lebih 1 jam. Tahap di mana terjadi pembelahan sel (baik pembelahan biner atau pembentukan tunas). Pada mitosis, sel membelah dirinya membentuk dua sel anak yang terpisah. Ciri-ciri pembelahan mitosis:
- a) Prosesnya berlangsung pada sel somatik.
  - b) Menghasilkan dua sel anakan yang sifatnya identik dengan sel induknya.
  - c) Terjadi satu kali pembelahan dengan 4 fase yaitu : Profase, Metafase, Anaphase dan Telofase.
  - d) Antara satu pembelahan dengan pembelahan selanjutnya, terdapat suatu fase yang disebut interfase (fase istirahat).
  - e) Sel anak memiliki jumlah kromosom yang sama dengan jumlah kromosom induknya dan sel anak mampu untuk membelah lagi.
  - f) Pada usia muda, dewasa dan tua, pembelahan secara mitosis dapat terjadi.

Fase mitosis (fase terjadi pembelahan) tidak diawali oleh interfase, melainkan interfase merupakan fase antara mitosis dengan mitosis selanjutnya. Jadi antara mitosis dengan mitosis selanjutnya terdapat interfase, dimana pada interfase tersebut sel melakukan berbagai persiapan untuk proses mitosis selanjutnya. Pembelahan sel secara mitosis terbagi pula menjadi 2 fase yaitu kariokinesis dan sitokinesis.

### c. *Kariokinesis pada Mitosis*

Kariokinesis adalah proses pembagian materi inti yang terdiri dari beberapa tahap di antaranya: profase, metafase serta telofase dan setiap fase-fase tersebut terdapat pula ciri-ciri yang berbeda di dalam tiap-tiap fase tersebut. Di antara beberapa aspek yang berbeda adalah pada kromosom, membran inti, mikro tubulus dan sentriol berikut fase pada kariokinesis beserta ciri-cirinya:

- 1) Profase
  - a) Hilangnya nukleus (inti) dan nukleolus (anak inti)
  - b) Benang-benang kromatin berubah menjadi kromosom dan selanjutnya, setiap kromosom membelah menjadi kromatid dengan 1 sentromer.
  - c) Pasangan sentriol yang berada dalam sentrosom berpisah dan bergerak menuju ke kutub yang berlawanan.
  - d) Benang-benang spindel atau disebut juga dengan serat-serat gelendong, terbentuk diantara 2 kutub pembelahan.

## 2) Metafase

Setiap kromosom yang terdiri atas satu pasang kromatid menuju ketengah sel dan berkumpul pada bidang ekuator (bidang pembelahan), dan kemudian menggantung pada benang spindle melalui sentromer atau kinetokor.

## 3) Anafase

Sentromer dari setiap kromosom, membelah sehingga menjadi dua bagian dengan masing-masing 1 kromatida. Selanjutnya setiap kromatida berpisah dengan pasangannya dan bergerak menuju ke kutub yang berlawanan. Dan pada akhir anaphase, semua kromatida sampai pada kutub masing-masing.

## 4) Telofase

- a) Kromatida yang berada pada kutub berubah kembali menjadi benang-benang kromatin.
- b) Dinding inti terbentuk kembali dan nukleolus membentuk dua inti baru.
- c) Benang-benang spindle menghilang
- d) Terjadi sitokinesi (pembelahan sitoplasma) menjadi dua bagian, dan terbentuk membran plasma(membran sel) pemisah ditengah bidang ekuator (bidang pembelahan). Hasilnya terbentuklah 2 sel anak yang memiliki kromosom yang sama dengan kromosom induknya.

### d. *Sitokinesis pada Mitosis*

Pada proses sitokinesis, sitoplasma sel hewan dibagi menjadi 2 melalui terbentuknya cincin kontraktile yang dibentuk oleh aktin dan miosin pada bagian tengah sel, dimana cincin kontraktile tersebut membentuk alur pembelahan yang akhirnya terbentuknya dua sel anak. Masing-masing sel anak yang terbentuk tersebut mengandung organel-organel sel dan inti sel. Hasil dari mitosis:

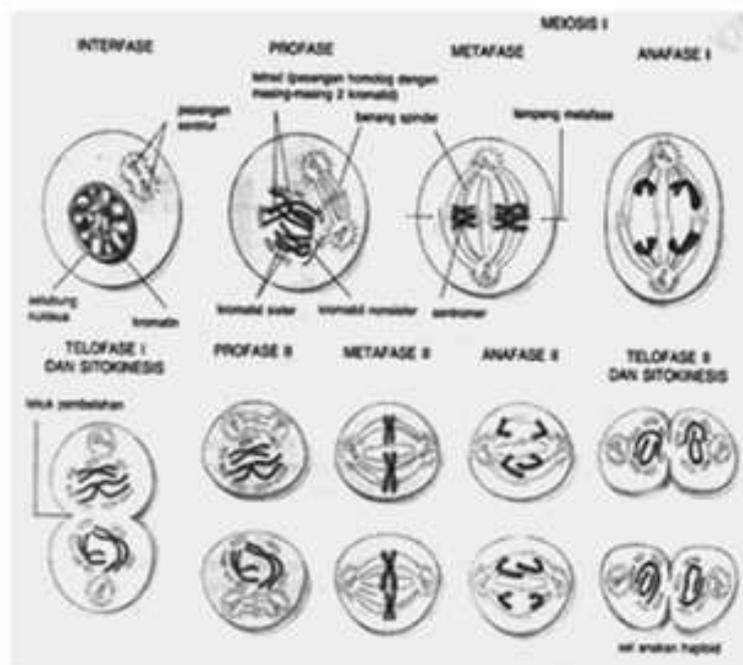
- 1) Satu sel induk (diploid) menjadi dua sel anak yang masing-masing diploid
- 2) Jumlah kromosom sel anak sama setelah pembelahan tadi, sama dengan jumlah kromosom sel induknya

## 2. Meiosis

Meiosis adalah proses pembelahan sel dengan dua kali pembelahan yang menghasilkan empat sel anak, yang masing-masing memiliki separuh dari jumlah kromosom sel induk. Pembelahan sel ini berlangsung melalui dua tahap melalui interfase, dikenal dengan meiosis I dan meiosis II. Pada meiosis terjadi dua kali pembelahan. Satu sel induk yang diploid ( $2n$ )

menghasilkan empat sel anakan yang bersifat haploid ( $n$ ). Meiosis disebut pula pembelahan reduksi yang berarti terjadi pengurangan jumlah kromosom.

Pembelahan secara meiosis adalah pembelahan sel dimana setiap sel kromosomnya dibagi menjadi dua. Pembelahan meiosis disebut juga dengan pembelahan reduksi, karena menghasilkan sel anak yang mempunyai jumlah kromosom setengah dari kromosom sel induknya. Terjadi pada alat reproduksi/gametogonium pada saat gametogenesis (pembentukan gamet). Dalam proses pembelahan meiosis, pembelahan terjadi dua kali secara berturut-turut tanpa diselingi dengan interfase (fase istirahat).



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 3.4.**

Pembelahan Sel Meiosis

- a. Tujuan Pembelahan Meiosis
  - 1) Mereduksi kromosom (mengurangi jumlah kromosom)
  - 2) Membentuk gonad/ gametogenesis
  - 3) Tujuan dari reduksi adalah membentuk hasil zygote dari pertemuan sel gonad yang selalu sama dengan individu yang ada atau sebelumnya.
  
- b. Ciri Pembelahan Meiosis
  - 1) Berlangsung pada organa genitalia (organ reproduksi).
  - 2) Menghasilkan empat sel anakan.
  - 3) Terjadi duakali pembelahan yaitu, Meiosis I dan Meiosis II.

- 4) Tidak diselingi dengan interfase (fase istirahat).
- 5) Sel anak mempunyai separuh jumlah kromosom dari jumlah kromosom induknya.
- 6) Sel anak tidak memiliki kemampuan untuk membelah lagi
- 7) Pembelahan meiosis mulai terjadi pada pubertas

c. Tahapan Pembelahan Meiosis

1) Meiosis I

Meiosis I terbagi empat (Profase I – Metafase I – Anafase I – Telofase I)

a) Profase I

Profase I dibagi menjadi beberapa tahap, diantaranya :

- (1) Leptonema adalah benang-benang kromati menebal menjadi kromosom
- (2) Zigonema adalah tiap kromosom homolog bergandengan, dan tiap pasang kromosom homolog disebut dengan bivalen
- (3) Pakinema adalah tiap bagian dari kromosom homolog mengganda, tetapi masih dalam ikatan 1 sentromer sehingga membentuk tetrad
- (4) Diplonema adalah kromatid dari tiap belahan kromosom memendek dan membesar, serta tampak saling menjauhi tetapi tetap terikat bersama oleh kiasmata (terjadinya pindah silang (crossing over)).
- (5) Diakinesis adalah kromatid masih melanjutkan gerakan untuk saling menjauhi dan kiasmata mulai bergerak ke arah ujung-ujung kromosom, kemudian sentrosom membentuk 2 sentriol yang masing-masing membentuk benang spindle atau benang gelondong pembelahan. Satu sentriol bergerak ke arah kutub yang berlawanan sedangkan yang satunya lagi tetap pada posisi semula. Nukleoplasma (membran inti) dan nukleolus (anak inti) menghilang.

b) Metafase I

Setiap tetrad, berada pada bidang metaphase atau dataran metaphase

c) Anafase I

Tiap-tiap tetrad memisahkan diri dari pasangannya, kemudian bergerak ke arah kutub yang berlawanan. Sentromer belum membelah.

d) Telofase I

Tiap-tiap tetrad makin mendekati kutub, membran inti dan nukleoplasma muncul kembali, terbentuknya bidang pembelahan pada bagian tengah sel, kromatid meregang dan membentuk benang-benang kromatin, serta terbentuknya dua sel anak yang jumlah kromosomnya sama dengan jumlah kromosom induknya.

## 2) Meiosis II

### a) Profase II

- (1) Sentrosom membentuk 2 sentriol yang letaknya berlawanan kutub, yang dihubungkan oleh benang spindle.
- (2) Nukleoplasma dan nukleus hilang.
- (3) Kromatin berubah kromosom yang dijerat oleh benang spindle atau benang gelendong.

### b) Metafase II

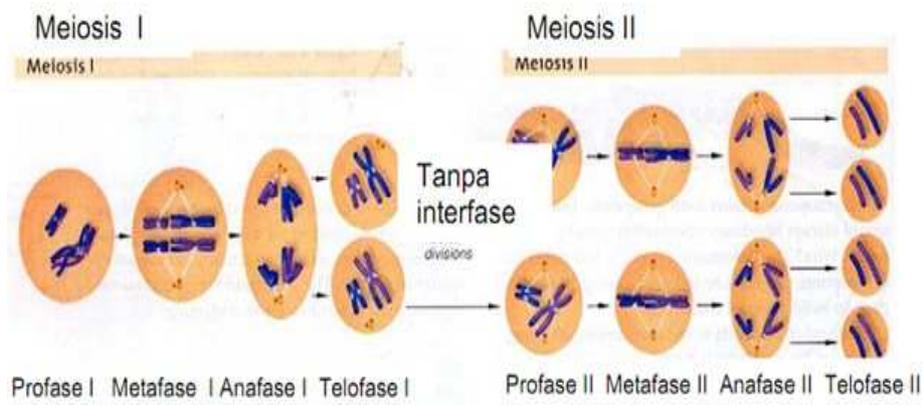
- (1) Kromosom berada pada bidang equator
- (2) Kromatid bergandengan (berkelompok) dua-dua
- (3) Sentromer belum membelah

### c) Anafase II

Tiap-tiap tetrad memisahkan diri dari pasangannya, kemudian bergerak ke arah kutub yang berlawanan.

### d) Telofase II

- (1) Kromatid berkumpul pada kutub pembelahan, kemudian berubah menjadi kromatin
- (2) Nukleoplasma dan nukleus terbentuk lagi
- (3) Pada akhir pembelahan meiosis II, terbentuk empat sel yang masing-masing sel mengandung separuh dari kromosom induknya.



(Sumber : Image.google.co.id)

**Gambar. 3.5.**

Pembelahan Sel Meiosis I dan II

## Latihan

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

- 1) Buatlah ringkasan Reproduksi Sel/Pembelahan Sel dengan menggunakan tabel di bawah ini:

Materi Ringkasan	Uniseluler	Multiseluler
Tujuan Pembelahan Sel		
Jenis Pembelahan Sel		
Pembelahan yang menghasilkan dua sel anakan disebut		
Pembelahan reduksi /jumlah kromosom anak separoh dari jumlah sel induk		

- 2) Jawablah pertanyaan berikut!
- Jelaskan perbedaan tujuan pembelahan sel yang dilakukan antara makhluk uniseluler dan multiseluler?
  - Jelaskan Perbedaan jumlah sel anak dan kromosom antara pembelahan langsung, tidak langsung mitosis dan meiosis?
  - Jelaskan 4 fase dalam pembelahan meiosis?

## Petunjuk Jawaban Latihan

- Untuk dapat membuat ringkasan tentang Reproduksi Sel atau Pembelahan Sel, Anda harus mempelajari materi di atas dengan baik.
- Untuk dapat mengerjakan soal nomor 2 ikuti petunjuk dibawah ini.
  - Anda dapat memperhatikan materi tentang Fungsi Pembelahan Sel
  - Anda dapat memperhatikan teori tentang jenis pembelahan sel
  - Anda dapat memperhatikan tentang materi pembelahan meiosis

## Ringkasan

- 1) Pembelahan sel adalah peristiwa dimana sebuah sel akan membelah menjadi dua atau lebih sel baru. Pembelahan sel merupakan cara sel untuk memperbanyak diri atau yang disebut dengan proses reproduksi sel.
- 2) Pembelahan pada makhluk hidup uniseluler atau bersel tunggal adalah sebagai cara untuk berkembang biak sedangkan pembelahan sel pada makhluk hidup multiseluler atau makhluk hidup bersel banyak adalah sebagai cara untuk memperbanyak sel tubuh sehingga makhluk hidup yang bersangkutan dapat tumbuh dan berkembang.
- 3) Sel yang membelah diri disebut sel induk, sedangkan sel hasil pembelahan diri disebut sel anak.
- 4) Pembelahan amitosis adalah pembelahan sel secara langsung atau disebut juga dengan pembelahan sederhana yang didahului dengan pembelahan inti tanpa didahului pembentukan benang spindel, penampakan kromosom, peleburan membran inti dan ciri lainnya. Pembelahan secara langsung ini, biasanya terjadi pada makhluk hidup bersel satu (uniseluler) atau pada prokariota misalnya pada Amoeba, Paramecium, Alga biru dan lain-lain. Sel anak mewarisi sifat induknya sehingga pembelahan amitosis menghasilkan turunan yang sifat sel anaknya identik dengan sel induknya.
- 5) Proses pembelahan amitosis, inti terbelah dahulu menjadi dua bagian, yang mana inti tersebut langsung didistribusikan pada sel anak, dan kemudian diikuti dengan pembelahan pada sitoplasmanya dan membran sel.
- 6) Mitosis adalah proses pembelahan sel tidak langsung yang menghasilkan dua sel anak yang masing-masing memiliki sifat dan jumlah kromosom yang sama dengan sel induknya.
- 7) Tahapan Pembelahan Mitosis terdiri atas interfase (Fase Istirahat), merupakan fase istirahat dalam pembelahan sel. dimana pada fase ini, sel melakukan berbagai persiapan untuk melakukan pembelahan selanjutnya dan membutuhkan waktu yang lama dibandingkan dengan fase mitotik (fase pembelahan) dan fase mitosis atau fase pembelahan.
- 8) Mitosis Interfase terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap G1 dimana terjadi aktivitas biosintesis yang tinggi, tahap S yaitu merupakan tahap replikasi dan transkripsi DNA, tahap G2 merupakan tahap persiapan diri sel untuk membelah.
- 9) Mitosis fase pembelahan terdiri dari karyokinesis atau pembelahan nukleus dan sitokinesis atau pembelahan sitoplasma.
- 10) Meiosis I terbagi empat (Profase I – Metafase I – Anafase I – Telofase I)
- 11) Meiosis II terdiri atas Profase II, Anafase II dan Telofase II

## Tes 1

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Tujuan Pembelahan sel Uniseluler adalah :.....
  - A. Berkembang biak
  - B. Memperbanyak diri
  - C. Mempertahankan diri
  - D. Menurunkan sifat induknya
  
- 2) Dikenal sebagai pembelahan Binner adalah :.....
  - A. Pembelahan Mitosis
  - B. Pembelahan Meiosis
  - C. Pembelahan Langsung
  - D. Pembelahan Tidak Langsung
  
- 3) Sel yang membelah diri adalah Sel :.....
  - A. Anak
  - B. Induk
  - C. Waris
  - D. Kromosom
  
- 4) Tahapan Pembelahan Mitosis Interfase adalah :.....
  - A. G1 – S – G2
  - B. G2 – G1 - S
  - C. G1 – G2 - S
  - D. S – G1 – G2
  
- 5) Pernyataan Mitosis yang benar adalah :.....
  - A. Proses pembelahan sel tidak langsung yang menghasilkan 2 sel anak yang masing-masing memiliki sifat dan jumlah kromosom sama dengan sel induknya
  - B. Proses pembelahan sel tidak langsung yang menghasilkan 4 sel anak yang masing-masing memiliki sifat dan jumlah kromosom sama dengan sel induknya
  - C. Proses pembelahan sel langsung yang menghasilkan 2 sel anak yang masing-masing memiliki sifat dan jumlah kromosom sama dengan sel induknya
  - D. Proses pembelahan sel langsung yang menghasilkan 4 sel anak yang masing-masing memiliki sifat dan jumlah kromosom sama dengan sel induknya

- 6) Tujuan Pembelahan sel Multiseluler adalah :.....
- A. Berkembang biak
  - B. Memperbanyak diri
  - C. Mempertahankan diri
  - D. Menurunkan sifat induknya
- 7) Fase istirahat pada Mitosis adalah :.....
- A. Karyokinesis
  - B. Sitokinesis
  - C. Interfase
  - D. Profase
- 8) Pembelahan sel yang menghasilkan jumlah kromosom anak separoh dari jumlah kromosom sel induk adalah :.....
- A. Binner
  - B. Mitosis
  - C. Amitosis
  - D. Meiosis
- 9) Pembelahan yang mereduksi kromosom sel anak adalah :.....
- A. Binner
  - B. Mitosis
  - C. Amitosis
  - D. Meiosis
- 10) Pembelahan Binner adalah :.....
- A. Mitosis
  - B. Amitosis
  - C. Meiosis
  - D. Sitokinesis

## Topik 2

# Identifikasi Jenis Perbedaan Pembelahan Sel

**R**eproduksi sel dapat terjadi karena peristiwa pembelahan sel. Pembelahan sel ini diawali dengan adanya pembelahan kromosom dalam beberapa tahap pembelahan. Pada setiap tahap pembelahan mempunyai ciri-ciri tertentu yang dapat diamati proses-prosesnya melalui teknik atau perlakuan tertentu yang diberikan pada kromosom dalam sel tersebut. Adapun pembelahan sel dibedakan menjadi dua macam, yaitu pembelahan mitosis dan pembelahan meiosis.

Pembelahan mitosis adalah peristiwa pembelahan sel yang terjadi pada sel-sel somatis (sangat aktif pada jaringan meristem) yang menghasilkan dua sel anak yang memiliki genotip sama dan identik dengan sel induknya. Sedangkan Pembelahan meiosis, terjadi pada sel-sel germinal (gamet) dengan hasil akhir empat buah sel anak yang haploid dengan komposisi genotip yang mungkin berbeda dengan sel induknya. Sebelum terjadinya peristiwa pembelahan sel, terdapat beberapa peristiwa penting seperti pembelahan kromosom. Dalam inti sel terdapat kromosom yaitu benda-benda halus berbentuk batang panjang atau pendek dan lurus atau bengkok. Kromosom merupakan pembawa bahan keturunan. Kromosom dapat terlihat pada tahap-tahap tertentu pada pembelahan inti. Biasanya kromosom digambarkan pada tahap metafase.

### A. PERBEDAAN MITOSIS DAN MEIOSIS

Agar Anda dapat dengan cepat dan jelas menangkap perbedaan antara mitosis dan meiosis maka pada Tabel 3.1 disajikan perbedaan tersebut.

**Tabel 3.1**  
**Perbedaan Mitosis dan Meiosis**

Faktor Pembeding	Mitosis	Meiosis
Tujuan	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Untuk memperbanyak sel dan pertumbuhan, regenerasi</li><li>▪ Pada tumbuhan juga untuk membentuk sel kelamin (gamet)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Untuk membentuk sel gamet (pada hewan) dan spora (pada tumbuhan)</li><li>▪ Berfungsi mengurangi /reduksi jumlah kromosom agar keturunannya memiliki</li></ul>

Faktor Pembeding	Mitosis	Meiosis
		jumlah kromosom yang sama dengan induk
Tempat terjadi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pada tumbuhan terjadi di jaringan meristematis, misalnya di ujung batang, ujung akar, dan kambium.</li> <li>▪ Pada hewan terjadi di sel-sel somatic/ tubuh dan sel gonad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pada tumbuhan terjadi di benang sari dan putik</li> <li>▪ Pada hewan terjadi di sel /alat kelamin/sel gonad</li> </ul>
Tahap pembelahan	Terjadi lewat rangkaian tahapan, yaitu profase, metafase, anafase, telofase, dan interfase	<p>Terjadi dua rangkaian tahapan yaitu meiosis I dan meiosis II.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Meiosis I Profase I (loptonema, zigonema, pakinema, diplonema, diakinesis), metafase I, anafase I, dan telofase I</li> <li>▪ Meiosis II Profase II, metafase II, anafase II dan Telofase II</li> </ul>
Hasil/Jumlah Sel anak hsl pembelahan	Satu sel induk menghasilkan Dua sel anakan yang memiliki jumlah kromosom seperti induknya (diploid): $2n$	Satu sel induk menghasilkan Empat sel anakan yang memiliki setengah jumlah kromosom induknya (haploid): $n$
Komponen Genetik	Sama dengan induk	Berbeda dengan induk
Jumlah pembelahan	Satu kali	Dua kali

## B. PROSES SPERMATOGENESIS DAN OOGENESIS

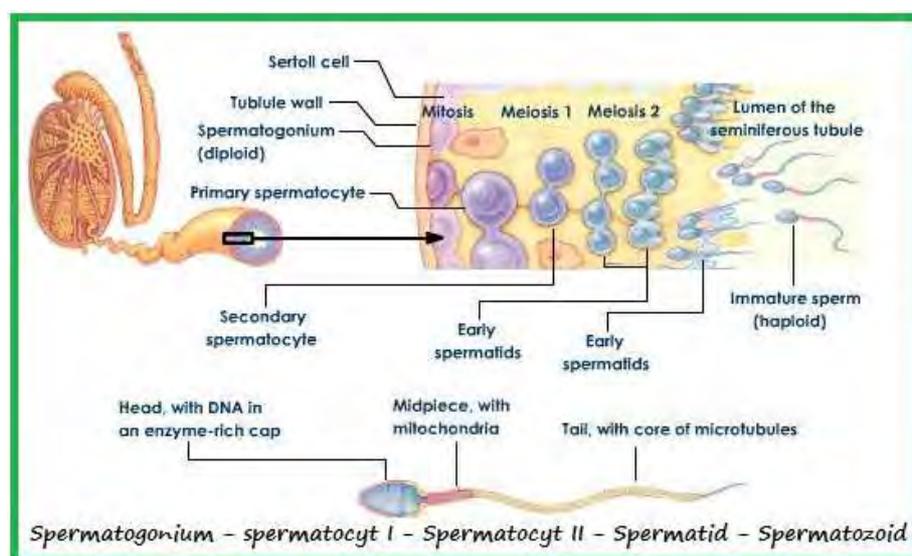
Proses pembentukan gamet disebut gametogenesis, yang berlangsung secara meiosis (pematangan), yaitu perkembangan dari hasil akhir meiosis yang tidak langsung menjadi gamet. Gametogenesis berlangsung di alat-alat kelamin baik pada tumbuhan maupun hewan. Gametogenesis dibedakan menjadi dua yaitu spermatogenesis (pembentukan sperma) dan

oogenesis (pembentukan ovum). Secara prinsip keduanya melalui cara pembelahan yang sama, namun hasil akhirnya berbeda.

## 1. Spermatogenesis

Proses ini berlangsung dalam alat kelamin jantan, pada hewan disebut testis. Pada testis tersebut terdapat bagian yang disebut tubulus seminiferus; pada bagian tersebut terdapat sel-sel primordial yang berulang kali mengalami pembelahan secara mitosis, di antaranya membentuk spermatogonium yang dianggap sebagai induk sperma. Spermatogonium bersifat diploid ( $2n$ ), dalam pertumbuhannya spermatogonium membentuk sel spermatosit primer yang bersifat diploid pula, kemudian sel ini akan melakukan meiosis. Pada meiosis I, dihasilkan dua sel anakan yang bersifat haploid. Pada meiosis II, setiap sel tersebut menghasilkan dua sel anakan, hingga pada meiosis II terbentuk empat sel anakan yang disebut spermatid. Spermatid bersifat haploid, yang dalam pertumbuhannya mengalami maturasi membentuk spermatozoon. Sel spermatid dilengkapi dengan ekor sehingga spermatozoon dapat bergerak bebas bila berada pada medium cair. Hasil akhir dari spermatozoon (jamak: spermatozoa) fungsional dari satu sel induk yang mengalami meiosis.

Spermatogenesis akan berlangsung dalam 74 hari sampai terbentuknya spermatozoa yang fungsional. Spermatozoa akan dihasilkan sepanjang usia sehingga tidak ada batasan waktu, kecuali jika terjadi suatu kelainan yang menghambat produksi spermatozoa pada pria.



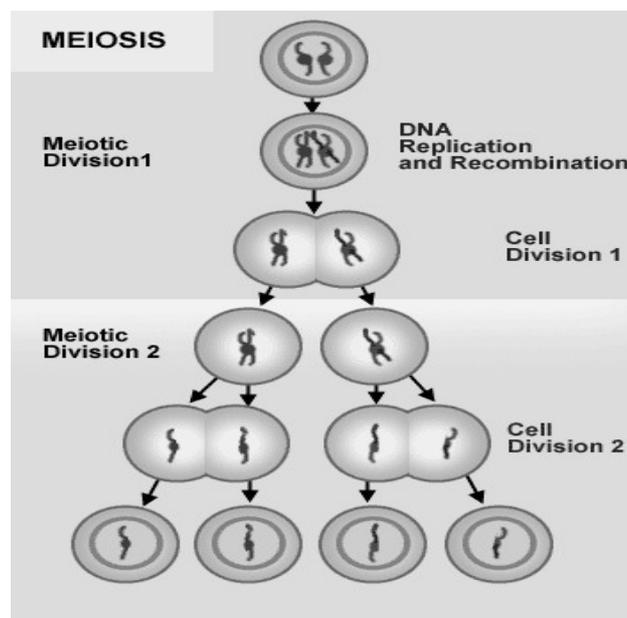
(Sumber : <https://biologigonz.blogspot.com>)

**Gambar. 3.6.**

Proses pembentukan spermatozoa

## 2. Oogenesis

Oogenesis berlangsung dalam ovarium hewan atau kandung lembaga dalam bakal biji pada tumbuhan berbiji (gametofit betina). Sel primordial (asal) dalam ovarium yang bersifat diploid ialah oogonium, dalam pertumbuhannya terbentuk oosit primer yang bersifat diploid. Sel ini mengalami meiosis I sehingga terbentuk dua sel anakan, yang satu selnya kecil disebut badan kutub primer. Keduanya bersifat haploid karena telah terjadi reduksi pada kromosom. Kedua sel ini mengalami meiosis II. Pada sel oosit sekunder juga dihasilkan dua sel anakan, yang satu kecil di sebut sel badan kutub, yang satu lagi ootid yang berlangsung pada meiosis I juga berlangsung pada meiosis II, dan hasil anakan berupa dua sel badan kutub. Namun sel badan kutub mengalami degenerasi dalam perkembangannya hingga akhirnya mati, sedangkan ootid mengalami perkembangan menjadi ovum. Dengan demikian pada oogenesis, satu induk akhirnya membentuk satu ovum yang fungsional dan tiga sel badan kutub yang tidak fungsional (tidak terlibat dalam pembuahan).



(Sumber : Image.google.co.id)

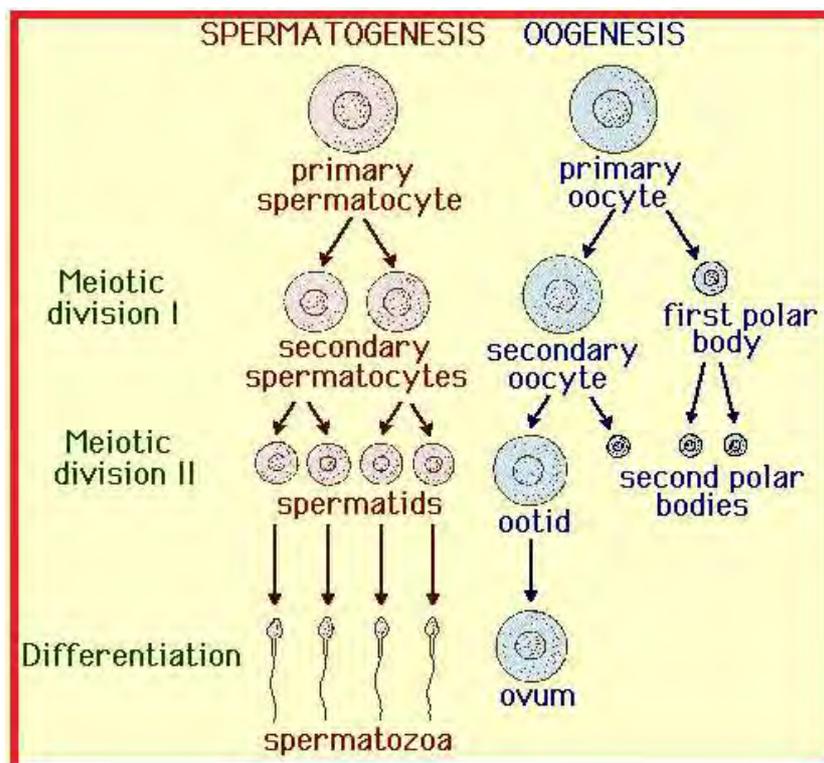
**Gambar. 3.7.**

Pembelahan Sel Meiosis

Secara kodrat, makhluk hidup tertentu hanya melahirkan makhluk yang sejenis. Ini dikarenakan adanya mekanisme tertentu pada saat awal perkembangbiakan. Bahkan, sebelum terbentuk calon anak di dalam rahim, mekanisme ini sudah dimulai. Mekanisme ini dimulai pada sel-sel kelamin (sel reproduksi) calon bapak dan calon ibu. Mekanisme tersebut adalah pembelahan sel secara meiosis.

Makhluk hidup yang sejenis mempunyai jumlah kromosom yang sama pada setiap sel. Misalnya, manusia mempunyai 46 kromosom, kecuali pada sel reproduksi atau sel kelaminnya. Sel kelamin pada manusia hanya mempunyai setengah jumlah kromosom sel tubuh lainnya, yaitu 23 kromosom. Jumlah setengah kromosom (haploid) ini diperlukan untuk menjaga agar jumlah kromosom anak tetap 46. Anda telah mengetahui bahwa anak terbentuk dari perpaduan antara sel kelamin betina (sel telur) dan sel kelamin jantan (sperma). Perpaduan kedua sel kelamin yang masing-masing memiliki 23 kromosom ini akan menghasilkan sel anak (calon janin) yang mempunyai 46 kromosom. Oleh sebab itu, pembelahan meiosis sangat berpengaruh dalam perkembangan makhluk hidup.

Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi, yaitu pengurangan jumlah kromosom pada sel-sel kelamin (sel gamet jantan dan sel gamet betina). Sel gamet jantan pada hewan (mamalia) dibentuk di dalam testis dan gamet betinanya dibentuk di dalam ovarium. Gamet jantan pada tumbuhan dibentuk di dalam organ reproduktif berupa benang sari, sedangkan gamet betinanya dibentuk di dalam putik. Sel kelamin betina pada hewan berupa sel telur, sedangkan pada tumbuhan berupa putik. Pada dasarnya, tahap pembelahan meiosis serupa dengan pembelahan mitosis. Hanya saja, pada meiosis terjadi dua kali pembelahan, yaitu meiosis I, meiosis II.



(Sumber : <https://biologigonz.blogspot.com>)

**Gambar. 3.8.**

Spermatogenesis dan Oogenesis

## C. GAMETOGENESIS DAN PEWARISAN SIFAT

### 1. Gametogenesis

Gametogenesis adalah proses diploid dan haploid yang mengalami pembelahan sel dan diferensiasi untuk membentuk gamet haploid dewasa secara meiosis. Gametogenesis meliputi spermatogenesis dan oogenesis. Gametogenesis melibatkan proses pembelahan sel mitosis dan meiosis. Gametogenesis merupakan proses pembentukan sel kelamin dimana dalam proses tersebut gamet satu akan menyatu dengan gamet yang lain, ketika 2 gamet sudah menjadi satu maka akan membentuk DNA yang lengkap sehingga akan terbentuk organisme yang baru.

Pada awal proses gametogenesis, sel primitif membawa 46 kromosom, baik sel primitif laki-laki maupun pada perempuan. Kromosom inilah yang nantinya akan mempengaruhi rambut, mata dan warna kulit, tinggi badan, struktur tulang dan jenis kelamin. Durasi proses gametogenesis tidak sama antara pria dan wanita. Pada pria proses meiosis terjadi dalam beberapa hari sedangkan pada wanita, proses meiosis akan tertunda hingga beberapa tahun dan baru akan berlanjut ketika masa pubertas. Sebelum masa pubertas pada wanita, sel primitif akan mengalami mitosis atau proses duplikasi kromosom. Kemudian setelah mengalami masa pubertas, sel ini akan mengalami proses pembelahan/meiosis dan sel kelamin akan berkembang menjadi sel telur atau ovum. Sedangkan pada laki-laki proses meiosis terjadi dua kali dan berlangsung dalam waktu yang singkat tanpa penundaan. Hasil akhir proses tersebut adalah 4 sel yang membawa 23 kromosom yang akan berkembang menjadi spermatozoa.

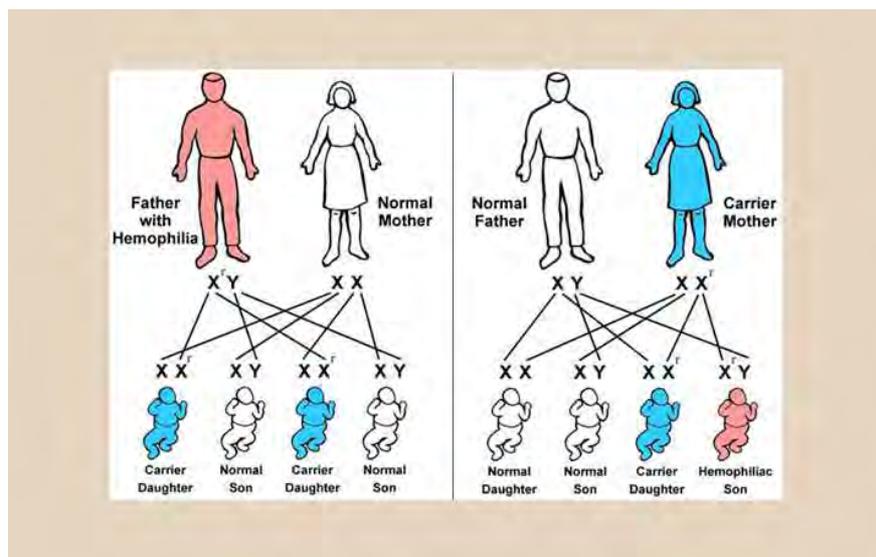
Hasil gametogenesis berupa sel kelamin yang disebut gamet. Gamet jantan dan betina diperlukan untuk membentuk zigot, embrio, kemudian individu baru. Nah, pada materi berikut ini akan dibahas tentang proses pembentukan gamet, baik jantan maupun betina yang disebut gametogenesis (genesis = pembentukan). Gametogenesis melibatkan pembelahan meiosis dan terjadi pada organ reproduktif. Pada hewan dan manusia, gametogenesis terjadi pada testis dan ovarium, sedangkan pada tumbuhan terjadi pada putik dan benang sari. Hasil gametogenesis adalah sel-sel kelamin, yaitu gamet jantan (sperma) dan gamet betina (ovum atau sel telur).

Proses Gametogenesis pada tumbuhan terjadi pada organ reproduksinya yaitu bunga. Pembentukan gamet jantan terjadi pada alat reproduksi jantan yaitu kotak spora dan disebut mikrogametogenesis. Sedangkan pembentukan gamet betina terjadi pada alat reproduksi betina (ovarium) dengan istilah megagametogenesis.

Alat kelamin tumbuhan angiospermae jantan adalah benang sari. Pada organ ini khususnya pada kepala sari, tempat terbentuknya mikrospora yang berkembang menjadi serbuk sari atau polen.

## 2. Pewarisan sifat

Keanekaragaman makhluk hidup di bumi ini adalah hasil dari pewarisan sifat makhluk hidup satu dengan yang lainnya. Istilah dalam penurunan sifat bagi antar makhluk adalah genetika dan hereditas. Hereditas adalah induk yang mewarisi bersifat genetika berikutnya, sementara genetika adalah bagian dari beberapa cabang ilmu biologi yang membahas tentang hereditas. Teori genetika adalah hasil pemikiran dari G. Johann Mendel pada era Tahun 1822 – 2884 dan sekarang dikenal sebagai teori Mendel atau Hukum Mendel. Sehingga Mendel mendapat julukan sebagai Bapak Genetika.



(Sumber : <https://www.biologi.co.id>)

**Gambar. 3.9.**

Proses pewarisan sifat

## 3. Mikrogametogenesis

Benang sari terdiri atas kepala sari (antera) dan tangkai sari (filamen). Setiap kepala sari umumnya memiliki empat kantung serbuk sari (sporangium). Di dalam sporangium, terdapat banyak sel induk mikrospora. Sel induk tersebut akan berkembang menjadi serbuk sari.

Langkah pertama dalam pembentukan serbuk sari adalah mikrosporogenesis. Proses ini dimulai dengan pembelahan meiosis sel induk mikrospora. Sel diploid tersebut melalui pembelahan meiosis akan menghasilkan empat sel mikrospora haploid yang masih berlekatan satu sama lain. Empat sel mikrospora hasil meiosis akhirnya saling memisah.

Langkah kedua adalah mikrogametogenesis, proses pematangan mikrospora menjadi serbuk sari fungsional. Proses pematangan melibatkan pembelahan mitosis sel mikrospora dan terjadi dalam dua tahap. Tahap pertama, terjadi pembelahan inti dan sitoplasma sel mikrospora membentuk sel tabung (sel vegetatif) dan sel generatif. Sel generatif berada di

dalam sel tabung. Dua sel yang berada dalam satu dinding sel ini merupakan bentuk serbuk sari matang.

#### **4. Megagametogenesis**

Seperti serbuk sari, sel telur tumbuhan angiospermae dibentuk di bagian bunga, yaitu pistilum. Pada organ ini terjadi pembentukan sel telur dan tempat terjadinya fertilisasi (pembuahan). Pistilum terdiri atas tiga bagian, yaitu kepala putik (stigma), tangkai putik (stilus), dan ovarium. Pada ovarium inilah tempat sel telur terbentuk. Pada ovarium terdapat ovulum atau kantung embrio. Beberapa spesies tumbuhan dapat memiliki ovulum lebih dari satu sehingga dapat menghasilkan buah dengan banyak biji. Pada uraian ini, hanya akan dijelaskan perkembangan pada ovarium dengan satu ovulum. Di dalam ovulum tersebut terdapat sel induk megaspora.

Megasporogenesis terjadi di ovarium. Dimulai dengan pembelahan meiosis pada sel induk megaspora yang menghasilkan 4 sel megaspora haploid. Tiga sel megaspora mengalami degenerasi, sedangkan satu megaspora tetap hidup dan akan mengalami pembelahan lebih lanjut. Selanjutnya, terjadi pematangan melalui megagametogenesis. Pada proses ini satu sel megaspora akan mengalami tiga kali mitosis. Akan tetapi, pembelahan tersebut tidak diikuti sitokinesis sehingga hanya terjadi pembelahan inti sel. Tiga kali pembelahan mitosis menghasilkan satu sel telur dengan 8 inti sel. Kedelapan inti sel ini terkumpul dalam dua kelompok pada ujung yang berlawanan. Satu inti dari setiap kelompok bergerak ke tengah sel. Dua sel di tengah ini adalah inti kutub atau inti polar. Sel dengan 8 inti sel ini disebut juga kandung lembaga yang memiliki satu lubang kecil (mikropil) tempat masuknya gamet jantan. Terdapat tiga inti dekat mikropil. Dua di antaranya disebut sinergid dan satu inti lain merupakan inti telur. Tiga inti pada tempat yang berlawanan dengan mikropil disebut antipoda.

#### **5. Kelainan gametogenesis**

Proses gametogenesis, baik oogenesis maupun spermatogenesis, memiliki alur masing-masing. Jika terdapat gangguan pada tahapan-tahapan tersebut, maka dapat menyebabkan abnormalitas sel kelamin seseorang. Ada beberapa hal yang dapat terjadi pada sel gamet akibat kelainan gametogenesis:

##### *a. Kelainan morfologi*

Pada kondisi ini, terdapat kelainan bentuk dari sel-sel reproduksi. Bentuk spermatozoa yang abnormal, misalnya sel sperma yang memiliki 2 ekor atau 2 kepala, merupakan salah satu akibat kelainan gametogenesis pada pria. Meski dapat ditemukan pada kondisi normal, namun jika jumlahnya melebihi 20%, maka dapat mempengaruhi fertilitas atau kesuburan. Lalu pada

wanita, kelainan morfologi dapat terjadi pada oosit yang gagal berkembang, dan tentunya akan menyebabkan gangguan dalam pembuahan.

*b. Kelainan kromosom*

Kelainan kromosom terjadi saat meiosis berlangsung, tepatnya saat distribusi materi kromosom antara gamet. Kelainan kromosom terbagi dalam dua bentuk, yaitu kelainan pada kromosom autosom dan kelainan pada kromosom seks. Kelainan pada kromosom autosom bisa terjadi karena kekurangan kromosom menjadi 45 atau disebut monosomi, dan karena kelebihan kromosom menjadi 47 atau disebut trisomi, dari jumlah normal 46 kromosom yang merupakan paduan 23 pasang gen. Sedangkan kelainan pada kromosom seks terjadi ketika ada sel-sel yang tidak mendapat kromosom seks, sementara yang lain memiliki 2 kromosom seks, pada saat pembelahan.

Adanya kelainan gametogenesis menjadi salah satu penyebab gangguan dalam pembuahan, serta pertumbuhan janin apabila terjadi pembuahan. Kelainan gametogenesis juga termasuk salah satu penyebab utama keguguran dan gangguan kesuburan.

## **6. Beberapa istilah dalam pewarisan sifat**

Dalam suatu pewarisan sifat pada suatu makhluk hidup ada beberapa istilah misalnya seperti kromosom, dominan, gen, alel dan lain lainnya. Berikut ini disajikan istilah-istilah yang berhubungan dengan pewarisan sifat, di antaranya:

**Genotipe.** Genotipe adalah sifat mendasar yang dipunya setiap individu, yang mana genotipe ini tidak nampak dan bersifat tetap (tidak bisa dirubah). Secara umum, sifat genotip bisa dituliskan menggunakan simbol, yang mana setiap simbol dapat mewakili 1 sifat genotipe. Satu pasang genotipe pada umumnya memiliki sifat yang dominan dan resesif. Contohnya ialah sifat kulit putih yang dominan terhadap kulit hitam, jadi kulit putih bisa ditulis menjadi PP maupun Pp, sementara kulit hitam ditulis pp.

**Dominan.** Dominan adalah sifat yang dipunyai oleh individu yang sifatnya menutupi dan disimbolkan menggunakan huruf besar. Contohnya ialah sifat pada tanaman bunga mawar merah lebih cenderung dominan dibanding mawar putih, jadi mawar merah tersebut ditulis MM dan juga mawar putih mm.

**Fenoptipe.** Fenoptipe adalah sifat dalam individu yang bisa dilihat dengan penglihatan. Contohnya disini ialah warna rambut, warna bunga di tanaman, tinggi dan juga pendek, warna kulit dan ukuran buah.

**Resesif.** Resesif adalah kebalikan dari dominan. Resesif ialah sifat yang dipunya suatu individu, namun tidak terlihat dari keturunannya, hal ini disebabkan sifat tersebut kalah dengan sifat pada individu lain sebab dari persilangan.

Intermediet. Intermediet adalah sifat yang dipunyai oleh individu yang dihasilkan pada penggabungan antara sifat berbeda. Biasanya hal tersebut sering ditemukan pada persilangan tumbuhan.

Heterozigot. Heterozigot ialah pasangan gen yang bersifat berbeda.

Homozigot. Homozigot adalah kebalikan dari heterozigot, yakni pasangan gen yang bersifat sama

## Latihan

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

- 1) Proses pembentukan sel kelamin atau gamet disebut .....
- 2) Gametogenesis ada 2 jenis yaitu ..... dan.....
- 3) Kelainan Gametogenesis ditinjau dari ..... dan.....
- 4) Sifat mendasar yang dipunya setiap individu, tidak nampak dan tidak bisa dirubah.....
- 5) Pasangan gen yang bersifat berbeda disebut.....

## Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Cobalah Anda untuk mengerjakan soal latihan tersebut dengan memberikan jawaban singkat tentang gametogenesis.
- 2) Soal latihan tersebut akan dapat dikerjakan dengan baik jika Anda sudah membaca dan berusaha memahami materi yang ada pada Bab III Topik 2 tersebut.
- 3) Untuk dapat mengerjakan soal latihan tersebut diatas ikuti petunjuk di bawah ini.
  - a) Anda dapat memperhatikan materi tentang perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis.
  - b) Anda dapat memperhatikan teori tentang Oogenesis dan Spermatogenesis

## Ringkasan

- 1) Tujuan Pembelahan mitosis adalah Untuk perbanyak sel dan pertumbuhan, regenerasi sedangkan pada tumbuhan juga untuk membentuk sel kelamin (gamet). Satu sel induk menghasilkan dua sel anakan yang memiliki jumlah kromosom seperti induknya (diploid):  $2n$ .

- 2) Tujuan Pembelahan meiosis adalah Untuk membentuk sel gamet (pada hewan) dan spora (pada tumbuhan) serta Berfungsi mengurangi /reduksi jumlah kromosom agar keturunannya memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induk. Satu sel induk menghasilkan Empat sel anakan yang memiliki setengah jumlah kromosom induknya (haploid):  $n$ .
- 3) Proses pembentukan gamet disebut gametogenesis, yang berlangsung secara meiosis.
- 4) Gametogenesis berlangsung di alat-alat kelamin baik pada tumbuhan maupun hewan. Gametogenesis dibedakan menjadi dua yaitu spermatogenesis (pembentukan sperma) dan oogenesis (pembentukan ovum). Secara prinsip keduanya melalui cara pembelahan yang sama, namun hasil akhirnya berbeda.
- 5) Spermatogenesis berlangsung dalam alat kelamin jantan, pada hewan disebut testis. Pada testis tersebut terdapat bagian yang disebut tubulus seminiferus; pada bagian tersebut terdapat sel-sel primordial yang berulang kali mengalami pembelahan secara mitosis, di antaranya membentuk spermatogonium yang dianggap sebagai induk sperma. Spermatogonium bersifat diploid ( $2n$ ).
- 6) Pertumbuhan spermatogonium membentuk sel spermatosit primer yang bersifat diploid, kemudian sel ini akan melakukan meiosis. Pada meiosis I, dihasilkan dua sel anakan yang bersifat haploid. Pada meiosis II, setiap sel tersebut menghasilkan dua sel anakan, hingga pada meiosis II terbentuk empat sel anakan yang disebut spermatid. Spermatid bersifat haploid, yang dalam pertumbuhannya mengalami maturasi membentuk spermatozoon.
- 7) Oogenesis berlangsung dalam ovarium hewan atau kandung lembaga dalam bakal biji pada tumbuhan berbiji (gametofit betina). Sel primordial (asal) dalam ovarium yang bersifat diploid ialah oogonium, dalam pertumbuhannya terbentuk oosit primer yang bersifat diploid. Sel ini mengalami meiosis I sehingga terbentuk dua sel anakan, yang satu selnya kecil disebut badan kutub primer. Keduanya bersifat haploid karena telah terjadi reduksi pada kromosom. Kedua sel ini mengalami meiosis II.
- 8) Hasil gametogenesis berupa sel kelamin yang disebut gamet. Gamet jantan dan betina diperlukan untuk membentuk zigot, embrio, kemudian individu baru. Gametogenesis melibatkan pembelahan meiosis dan terjadi pada organ reproduktif. Pada hewan dan manusia, gametogenesis terjadi pada testis dan ovarium, sedangkan pada tumbuhan terjadi pada putik dan benang sari. Hasil gametogenesis adalah sel-sel kelamin, yaitu gamet jantan (sperma) dan gamet betina (ovum atau sel telur).

## Tes 2

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Pasangan Gen yang bersifat sama adalah :.....
  - A. Homozigot
  - B. Fenotipe
  - C. Dominan
  - D. Resesif
  
- 2) Sifat yang dipunyai oleh individu yang sifatnya menutupi dan disimbolkan menggunakan huruf besar adalah :.....
  - A. Homozigot
  - B. Fenotipe
  - C. Dominan
  - D. Resesif
  
- 3) Proses kelainan pada Gametogenesis seperti Spermatozoa dengan dua ekor atau dua kepala adalah kelainan:.....
  - A. Morfologi
  - B. Kromosom
  - C. Intermediate
  - D. Heterozigot
  
- 4) Hasil Gametogenesis pada manusia adalah:.....
  - A. Sel tubuh
  - B. Kromosom
  - C. Fertilisasi
  - D. Spermatozoa
  
- 5) Teori Genetika dipopulerkan oleh :.....
  - A. Mendel
  - B. Aristoteles
  - C. Pasteur
  - D. William Einthoven

- 6) Proses Gametogenesis melalui proses pembelahan:.....
- A. Mitosis
  - B. Meiosis
  - C. Amitosis
  - D. Langsung
- 7) Sifat pada individu sebagai hasil penggabungan dua sifat yang berbeda adalah:.....
- A. Heterozigot
  - B. Intermediate
  - C. Genotipe
  - D. Dominan
- 8) Spermatogenesis sampai terbentuknya spermatozoa fungsional membutuhkan waktu:.....
- A. 72 hari
  - B. 73 hari
  - C. 74 hari
  - D. 75 hari
- 9) Pernyataan yang benar tentang Spermatogenesis adalah:.....
- A. Spermatid bersifat diploid
  - B. Spermatozoa di produksi sepanjang usia
  - C. Spermatogonium sebagai sel induk sperma
  - D. Spermatogonium bersifat haploid
- 10) Proses Oogenesis secara berurutan sebagai berikut adalah:.....
- A. Oosit skunder-ootid-oosit primer-ovum
  - B. Ootid-oosit primer-oosit skunder-ovum
  - C. Ovum-oosit primer-oosit skunder-ootid
  - D. Oosit primer-oosit skunder-ootid-ovum

# Kunci Jawaban Tes

## Tes 1

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

## Tes 2

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

# Glosarium

- **Diploid** : Sel yang terdiri dari 2 set kromosom yaitu 22 pasang autosom homolog dan 2 kromosom seks.
- **Replikasi** adalah Proses Penggandaan asam nukleat (DNA) atau proses pembentukan / perbaikan rantai DNA baru oleh mutasi DNA lama.
- **Sel Somatik** merupakan Semua jenis sel yang membentuk suatu organisme
- **Sel Germinativum** : Calon bakal sel kelamin (gamet).
- **Sentriol** adalah Struktur berbentuk tabung yang terdapat dalam kebanyakan sel eukariotik, terlibat dalam pembelahan sel serta pembentukan silia dan flagella.
- **Sentromer** adalah Bagian dari untaian DNA yang bertanggung jawab atas pergerakan kromosom yang telah tereplikasi.
- **Haploid** : Sel yang terdiri dari 1 set kromosom yaitu 23 kromosom gamet
- **Tetrad Metafase** : Struktur kromosom homolog yang menggandakan diri menjadi kromatid dan berpasangan dengan 4 struktur kromatid.
- **Transkripsi** adalah Pembuatan RNA terutama mRNA dengan menyalin sebagian berkas DNA oleh enzim RNA Polimerase

# Daftar Pustaka

- Campbell NA, dkk. 2000. Biologi. Edisi Kelima. Jilid 1. 265-267. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Depdiknas. 2003. Kamus Biologi. Penerbit Balai Pustaka. Jakarta.
- Ganong WF. 2003. Buku Ajar Fisiologi Kedokteran. Edisi 20. 515-518. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Harti, Agnes Sri. 2013. Biologi Medik. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Idjah Soemarto, dkk. 1981. Biologi Umum II. PT Gramedia. Jakarta.
- John W. Kimball. 1991. Biologi. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Juwono, Juniarto, A.Z. 2003. Biologi Sel., EGC. Jakarta
- Sastrawinata, U.S. 2008. Bioteknologi Molekuler Praktis dan Aplikasi Sitogenetika Dasar. Penerbit P.T. Alumni. Bandung.
- Walker, Sharon. 2014. Menyingkap Tabir Bioteknologi-Panduan Belajar Mandiri., Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Widayanti, H., Khrisnayanti, I.N. 2003. Bioteknologi. Penerbit INSIST PRESS. Yogyakarta.
- Yatim, W., 2003. Biologi Modern, Biologi Sel. PT. Tarsito. Bandung.

# Bab 4

## REGULASI SIKLUS SEL

*Rudina Azimata Rosyidah, S.Si, M.Biomed*  
*Rodhi Hartono, SKP, NS, M.Biomed*

### Pendahuluan

**S**elamat datang di Bab 4 Modul Biologi Sel dan Genetika yang membahas tentang regulasi siklus sel. Silakan Anda pelajari materi bab ini, yang merupakan kelanjutan dari Bab 3 yang membahas Reproduksi Sel/Pembelahan Sel meliputi jenis pembelahan sel dan identifikasi perbedaan jenis pembelahan sel. Pada Bab 4 ini Anda akan diberi wawasan lebih mendalam tentang sel yang telah mengalami pembelahan itu untuk terus beregulasi dan dikontrol sesuai siklusnya. Pembelahan sel dan regulasi siklus selnya dalam ilmu Biologi Sel ini perlu dipelajari oleh mahasiswa D3 Teknologi Bank Darah. Melalui Mata Kuliah Biologi Sel dan Genetika terutama khusus materi regulasi siklus sel akan dijabarkan lebih mendalam di dalam bab ini. Agar Anda dapat memahami bab ini dengan mudah dan mampu memahaminya dengan baik, maka Bab 4 dibagi menjadi 3 (tiga) topik:

- Topik 1: Konsep Dasar Regulasi Siklus Sel
- Topik 2: Tahapan Regulasi Siklus Sel
- Topik 3: Sel Kanker

Isi Bab 4 ini sangat bermanfaat bagi mahasiswa selaku calon tenaga profesional kesehatan di bidang Pelayanan Darah. Dalam tugas tersebut Anda dituntut mampu memerankan diri sebagai teknisi yang mandiri dan profesional serta memiliki konsep dasar pengetahuan yang mendalam tentang darah yang juga termasuk sel dan mengalami pertumbuhan sel, yaitu mulai dari sel muda sampai dewasa yang kemudian membelah lagi atau karena sesuatu hal akan mati. Pembahasan tentang pembelahan sel dan regulasi siklus sel bisa dikembangkan aplikasinya pada pengamatan sel kanker yang terus membelah meski tidak memiliki faktor pertumbuhan. Sebagai Teknisi Pelayanan Darah, materi Siklus Sel ini sangat erat kaitannya dengan pekerjaan Anda dalam hal sterilisasi alat-alat laboratorium dari kontaminasi mikroorganisme, selain itu juga untuk menghindari terjadinya infeksi yang sangat

erat hubungannya dengan mikroorganisme baik itu bakteri, protozoa, atau parasit yang lainnya serta virus. Untuk melakukan sterilisasi, serta untuk menghindari terjadinya infeksi dari pasien ke Anda ataupun sebaliknya Anda harus memiliki pengetahuan tentang karakter sel yang akan dimatikan ataupun yang akan Anda hindari. Tentunya juga karena Anda bertugas dalam Uji Saring Pengamanan Darah yang dipelajari dalam Mata Kuliah Infeksi Menular Lewat Transfusi darah (IMLTD) yang dari level 1 sampai dengan 4 untuk mengetahui prinsip pemeriksaan dari 4 parameter seperti Syphilis, HIV, HbsAg, dan HCV juga pemeriksaan Malaria melalui Rapid Test, ELISA, CLIA dan NAT. Lalu dalam Mata Kuliah Mikrobiologi juga dipelajari jenis bakteri pengkontaminan darah, sehingga perlu diantisipasi dalam proses pengambilan, pengolahan, penyimpanan, dan pendistribusian darah. Harapannya, Anda sebagai seorang teknisi dapat fokus dalam bidang pelayanan namun tidak melupakan konsep dasar keilmuan sebagai pondasinya. Biologi sel dan genetika merupakan ilmu dasar yang wajib dipelajari bagi mahasiswa kesehatan termasuk di Program Studi Diploma III Teknologi Bank Darah.

Setelah Anda mempelajari materi dalam Bab 4 ini dengan sungguh-sungguh maka di akhir proses pembelajaran Anda diharapkan akan dapat menjelaskan tentang pertumbuhan dan perkembangan sel yang disebut dengan siklus sel/definisi siklus sel, tahapan regulasi siklus sel dan contoh regulasi/kontrol pada sel kanker. Agar diperoleh hasil yang optimal maka dalam mempelajari Bab 4 ini Anda diberikan beberapa saran sebagai berikut:

- Pelajari Topik 1 terlebih dahulu, pahami setiap isi paragrafnya baru kemudian dilanjutkan Topik 2 dan seterusnya, karena Topik 1 merupakan dasar Anda untuk memahami uraian pada Topik 2 dan selanjutnya.
- Kerjakan Latihan tanpa melihat isi uraian Bab 4.
- Kerjakan Tes tanpa melihat isi uraian Bab 4.
- Ukur hasil pekerjaan Anda, kemudian beri nilai sesuai kunci jawaban yang tersedia. Setiap jawaban benar diberi skor 1 dan setiap jawaban salah tidak diberi skor. Jika jawaban benar Anda hasilnya 80% atau lebih, maka Anda dipandang sudah menguasai materi pada Bab 4.

Semoga dengan mempelajari bab ini, dapat mengantarkan Anda untuk memahami dan mempelajari keseluruhan tentang konsep regulasi siklus sel yang melibatkan kromosom yang juga berperan dalam mekanisme pewarisan sifat atau kajian ilmu dasar genetika yang akan Anda pelajari pada bab-bab selanjutnya.

**SELAMAT BELAJAR SEMOGA SUKSES!**

# Topik 1

## Konsep Dasar Regulasi Siklus Sel

### A. PENGANTAR SIKLUS SEL

Pernahkah Anda berpikir mengapa setiap makhluk hidup dapat mengalami pertumbuhan dan perkembangan sel? Mungkin pertanyaan seperti itu pula yang sering ingin Anda ketahui dan mengapa semua itu dapat terjadi, serta apa yang bertanggung jawab atas peristiwa tersebut.

Memang pada kenyataannya makhluk hidup dapat tumbuh dan berkembang biak serta bereproduksi untuk melestarikan keturunannya. Pertumbuhan dan perkembangan setiap makhluk hidup tergantung dari pertumbuhan dan perbanyakan sel. Hal ini berlaku baik untuk makhluk hidup uniseluler maupun multiseluler. Untuk mempelajari bab ini, cobalah Anda melakukan refleksi yaitu sebagai salah satu organisme hidup, yang mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Semula Anda berasal dari satu sel sperma dan satu sel telur yang melakukan fusi. Sel tersebut mengalami pertumbuhan dan perkembangan, maka jadilah janin, kemudian Anda lahir ke dunia. Hari demi hari berikutnya Anda tumbuh dan berkembang, dari bayi, menjadi balita, remaja, dan dewasa.

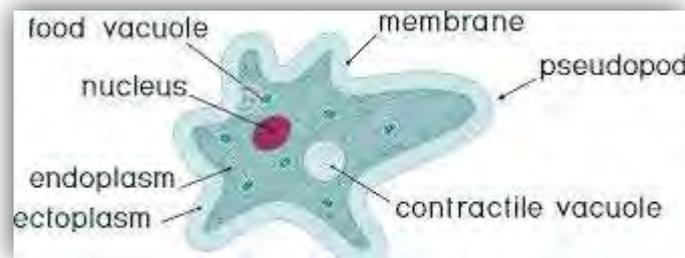
Pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi pada tubuh kita karena terjadinya pertumbuhan dan perkembangan sel. Pertumbuhan dan perkembangan sel tersebut akan Anda pelajari dalam bab ini yaitu tentang siklus sel. Siklus sel, meliputi mitosis (profase, metafase, anafase, telofase) dan interfase (fase G1, S, G2). Manfaat secara umum setelah mempelajari bab ini adalah Anda akan dapat menjelaskan tentang pertumbuhan yang terjadi pada fase interfase dan perkembangan sel yang terjadi pada mitosis. Dengan mempelajari materi siklus sel ini, Anda memahami bagaimana fase tumbuh kembang fisik sebagai manusia bisa berubah menjadi bertambah tinggi, bertambah berat, dan bertambah lebar badannya. Tapi bagaimanakah proses dari peristiwa tersebut, pada bahan ajar ini kita akan coba mempelajari fase tersebut berdasarkan literatur-literatur yang ada.

Pertumbuhan dan perkembangbiakan setiap organisme hidup bergantung pada pertumbuhan dan perbanyakan sel yang menyusunnya. Pertumbuhan dan perkembangbiakan dapat ditinjau dari segi:

1. Individu, yaitu pertumbuhan secara kualitatif meliputi penambahan ukuran sel
2. Populasi, yaitu pertumbuhan secara kuantitatif meliputi penambahan jumlah, contoh satu sel membelah menjadi dua sel.

Sel memiliki kemampuan untuk memperbanyak diri sehingga dapat mempertahankan jenis dan sifatnya. Proses perbanyak diri memiliki fungsi untuk perkembangbiakan maupun pertumbuhan. Perkembangbiakan yang terjadi pada sel eukariotik melibatkan adanya pembuahan dari sel gamet jantan dengan gamet betina, sedangkan perkembangbiakan pada sel prokariotik lebih tepatnya disebut dengan pembelahan/ perbanyak diri.

Setiap organisme memiliki waktu generasi dan proses reproduksi yang bervariasi. Seperti makhluk hidup melalui siklus hidup, setiap sel melalui siklus sel yang bersifat kontinu terutama tahap-tahap yang teratur selama pertumbuhan sel, persiapan untuk pembelahan dan pembelahan menjadi dua sel anak. Pembelahan sel pada prokariotik tidak melalui tahap-tahap pembelahan yang rumit, misalnya mikroorganisme Amoeba proteus. Sel Amoeba proteus akan memperbanyak diri dengan cara pembelahan biner (satu sel menjadi 2) apabila lingkungan di sekitarnya menguntungkan. Sebaliknya, apabila lingkungan ekstrem maka sel Amoeba proteus memanfaatkan pengaturan metabolismenya untuk mempertahankan diri.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.1**

Sel Amoeba proteus

Sel eukariotik selain memiliki kemampuan untuk berkembang biak, juga memiliki kemampuan untuk memperbaiki sel yang telah rusak dengan cara pembelahan sel. Perbaikan sel terjadi pada sel yang rusak akibat kecelakaan dari luar tubuh, maupun sel yang rusak karena faktor dari dalam tubuh (apoptosis). Fungsi perbaikan sel juga dapat terjadi pada sel yang sudah tua sehingga harus diganti dengan sel baru (regenerasi) karena sudah tidak dapat menjalankan aktivitas sel dengan baik. Proses pembelahan sel diawali dengan penggandaan organel sel, sintesis materi genetik, dan menentukan kesiapan sel dalam membelah. Semua proses yang terjadi pada pembelahan untuk tujuan regenerasi, perbanyak atau perkembangbiakan individu, maupun pertumbuhan ukuran tubuh diatur dalam Siklus Sel. Sel prokariotik maupun sel eukariotik sama-sama memiliki siklus sel, namun terdapat berbagai perbedaan di antara keduanya dan untuk perbedaan ini sudah dijelaskan di Bab 3 yang membahas tentang Reproduksi Sel/Pembelahan Sel.

Pada tumbuhan dan hewan multiseluler, sejumlah sel terus menerus tumbuh dan membelah untuk kehidupan organisme tersebut. Pada tumbuhan terdapat pada sel-sel di ujung akar yang selalu memasuki kedalaman tanah. Pada hewan, sel-sel tersebut terdapat pada usus halus saluran pencernaan dan secara terus-menerus menghasilkan sel baru yang mengelupas bersamaan dengan makanan yang dicerna. Pada sebagian besar organisme multiseluler, terjadi siklus sel sangat lambat atau berhenti membelah dan tetap. Sel yang termasuk disini adalah sel otot dan sel saraf pada hewan, sedangkan pada tumbuhan adalah sel-sel pembuluh yang mengatur pembentukan gula.

## **B. DEFINISI DAN MANFAAT SIKLUS SEL**

Siklus sel merupakan tahapan kompleks meliputi penggandaan materi genetik, pengaturan waktu pembelahan sel dan interaksi antara protein dan enzim. Siklus sel adalah rangkaian peristiwa perkembangan sel dengan urutan tertentu yang akan kembali pada tahap semula. Siklus sel juga merupakan proses duplikasi secara akurat untuk menghasilkan jumlah DNA kromosom yang cukup banyak dan mendukung segregasi untuk menghasilkan dua sel anakan yang identik secara genetik. Proses ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang (siklik). Fungsi utama dari siklus sel adalah menduplikat sejumlah DNA di dalam kromosom dengan tepat, kemudian membelah menjadi dua sel anak yang identik. Proses ini merupakan dua fase atau periode utama dari siklus sel, yaitu periode Interfase dan periode Pembelahan (mitotik). Periode Interfase merupakan fase antara mitosis yang satu dengan mitosis berikutnya. Periode Interfase dibagi dalam beberapa tahap:

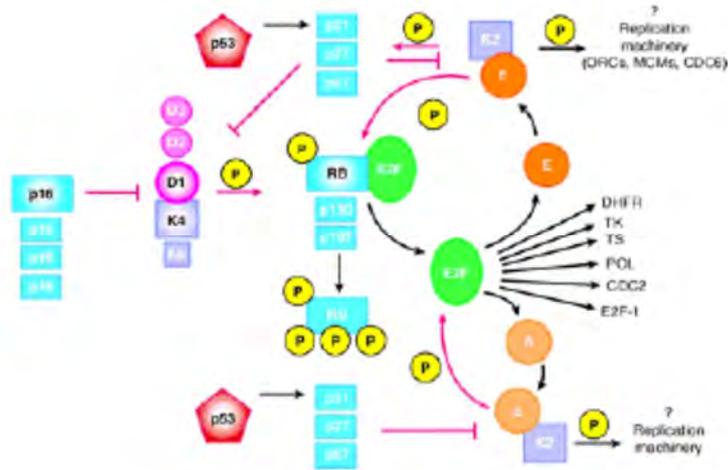
1. Tahap G1 (First Gap Phase)
2. Tahap S (Synthetic Phase)
3. Tahap G2 (Second Gap Phase)

Adapun periode pembelahan dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. Pembelahan sel secara langsung (Amitosis)
2. Pembelahan sel secara tidak langsung (Mitosis dan Meiosis)

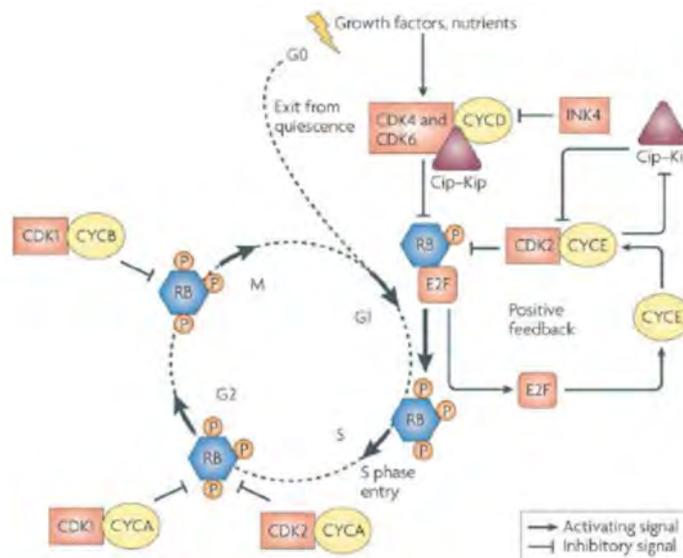
Siklus sel merupakan proses perkembangbiakan sel yang memperantarai pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Setiap sel baik normal maupun kanker mengalami siklus sel. Siklus sel memiliki dua fase utama, yakni fase S (sintesis) dan fase M (mitosis). Siklus sel dikontrol oleh beberapa protein yang bertindak sebagai regulator positif dan negatif. Kelompok cyclin, khususnya cyclin D, E, A, dan B merupakan protein yang levelnya fluktuatif selama proses siklus sel. Cyclin bersama dengan kelompok cyclin dependent kinase (CDK), khususnya CDK 4, 6, dan 2, bertindak sebagai regulator positif yang memicu terjadinya siklus

sel. Pada mamalia ekspresi kinase (CDK4, CDK2, dan CDC2/CDK1) terjadi bersamaan dengan ekspresi cyclin (D, E, A, dan B) secara berurutan seiring dengan jalannya siklus sel (G1-S-G2-M).



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.2**  
Siklus Sel



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.3**

Ilustrasi umum siklus sel.

Siklus sel terdiri dari 4 tahap, yaitu G1, S, G2, dan M. Progresi siklus sel dikontrol oleh cyclin (D, E, A, dan B), cyclin dependent kinase (4, 6, 2, dan 1), dan cyclin dependent kinase inhibitor (contohnya Cip dan Kip) (Lapenna and Giordano, 2009).

## Latihan

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

- 1) Mengapa makhluk hidup dapat mengalami pertumbuhan dan perkembangan? Jelaskan apa yang berperan dalam hal tersebut.
- 2) Sel eukariotik selain memiliki kemampuan untuk berkembang biak, juga memiliki kemampuan untuk memperbaiki sel yang telah rusak. Bagaimana cara memperbaiki sel yang rusak tersebut?
- 3) Pada tumbuhan dan hewan multiseluler, sejumlah sel terus menerus tumbuh dan membelah untuk kehidupan organisme tersebut. Apa perbedaan pertumbuhan sel antara tumbuhan dan hewan? Jelaskan dengan contoh.
- 4) Sebutkan tahapan dari periode Interfase!
- 5) Siklus sel dikontrol oleh beberapa protein yang bertindak sebagai regulator positif dan negatif. Sebutkan salah satu regulator positifnya!

## Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal no 1, 2 dan 3 Anda dapat membaca Bab 4, Topik 1 Bagian A. Untuk menyelesaikan soal no 4 dan 5 silakan Anda baca kembali Bab 5, Topik 1 bagian B.

## Ringkasan

- 1) Pertumbuhan dan perkembangan setiap makhluk hidup tergantung dari pertumbuhan dan perbanyakan sel. Hal ini berlaku baik untuk makhluk hidup uniseluler maupun multiseluler.
- 2) Pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi pada tubuh kita karena terjadinya pertumbuhan dan perkembangan sel yang diatur dalam siklus sel. Siklus sel meliputi mitosis (profase, metafase, anafase, telofase) dan interfase (fase G<sub>1</sub>, S, G<sub>2</sub>).
- 3) Setiap organisme memiliki waktu generasi dan proses reproduksi yang bervariasi. Melalui siklus hidup, setiap sel melalui siklus sel yang bersifat kontinu terutama tahap-tahap yang teratur selama pertumbuhan sel dan persiapan untuk pembelahan menjadi dua sel anak.
- 4) Siklus sel merupakan tahapan kompleks meliputi penggandaan materi genetik, pengaturan waktu pembelahan sel dan interaksi antara protein dan enzim. Siklus sel

adalah rangkaian peristiwa perkembangan sel dengan urutan tertentu yang akan kembali pada tahap semula. Siklus sel juga merupakan proses duplikasi secara akurat untuk menghasilkan jumlah DNA kromosom yang cukup banyak dan mendukung segregasi untuk menghasilkan dua sel anakan yang identik secara genetik.

- 5) Siklus sel memiliki dua fase utama, yakni fase S (sintesis) dan fase M (mitosis). Siklus sel dikontrol oleh beberapa protein yang bertindak sebagai regulator positif dan negatif.

## Tes 1

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat!**

- 1) Pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi pada tubuh kita karena terjadinya pertumbuhan dan perkembangan sel. Siklus sel yang terjadi meliputi mitosis (profase, metafase, anafase, telofase) dan interfase. Tahapan interfase meliputi, kecuali:
  - A. Fase G1
  - B. Fase M
  - C. Fase S
  - D. Fase G2
  
- 2) Perkembangbiakan yang terjadi pada sel eukariotik melibatkan adanya pembuahan dari sel gamet jantan dengan gamet betina, sedangkan perkembangbiakan pada sel prokariotik lebih tepatnya disebut dengan:
  - A. Pembelahan/perbanyak diri
  - B. Pertumbuhan sel
  - C. Penambahan ukuran sel
  - D. Perubahan sel
  
- 3) Setiap organisme memiliki waktu generasi dan proses reproduksi yang bervariasi. Pembelahan sel pada prokariotik tidak melalui tahap-tahap pembelahan yang rumit, misalnya mikroorganisme Amoeba proteus akan memperbanyak diri dengan cara pembelahan biner apabila lingkungan di sekitarnya menguntungkan. Sebaliknya, apabila lingkungan ekstrem maka sel Amoeba proteus akan memanfaatkan pengaturan..... untuk mempertahankan diri.
  - A. Pernafasan
  - B. Gerak
  - C. Metabolisme
  - D. Jumlah

- 4) Siklus sel merupakan tahapan kompleks meliputi penggandaan materi genetik, pengaturan waktu pembelahan sel dan interaksi antara protein dan.....
- A. Karbohidrat
  - B. Lipid
  - C. Mineral
  - D. Enzim
- 5) Siklus sel dikontrol oleh beberapa protein yang bertindak sebagai regulator positif dan negatif. Kelompok cyclin, khususnya cyclin D, E, A, dan B merupakan protein yang levelnya fluktuatif selama proses siklus sel. Cyclin bersama dengan kelompok cyclin dependent kinase (CDK), khususnya..... bertindak sebagai regulator positif yang memicu terjadinya siklus sel.
- A. CDK 4, 6 dan 2
  - B. CDK 1, 2 dan 4
  - C. CDK 2, 3 dan 4
  - D. CDK 1, 3 dan 6

# Topik 2

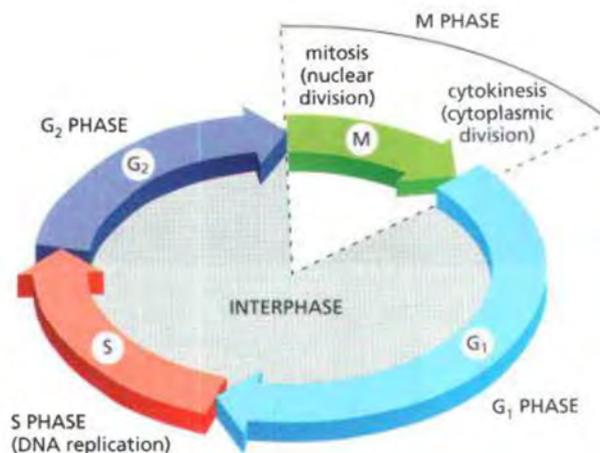
## Tahap Regulasi Siklus Sel

### A. PERIODE SIKLUS SEL

Untuk dapat memahami lebih jelas bagaimana mekanisme siklus sel dan tahapannya, berikut penjelasannya.

#### 1. Siklus Sel pada Sel Eukariotik

Siklus sel terbagi menjadi 2 tahapan penting yaitu tahapan pertumbuhan dan tahapan perkembangan. Tahapan pertumbuhan terdiri dari 3 fase yaitu fase istirahat /G<sub>0</sub> (Gap 0), fase G<sub>1</sub>, fase S (sintesis), fase G<sub>2</sub>. Pada fase pertumbuhan sel, terjadi penggandaan kromosom yaitu pada fase G<sub>1</sub>, S, G<sub>2</sub>. Pada fase perkembangan yaitu fase M/Mitosis (kariokinesis dan sitokinesis), terjadi pembelahan sel menjadi dua secara sempurna dan setiap sel anakan membawa kromosom yang jumlahnya sama dengan sel induknya. Perhatikan Gambar 4.4.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.4**

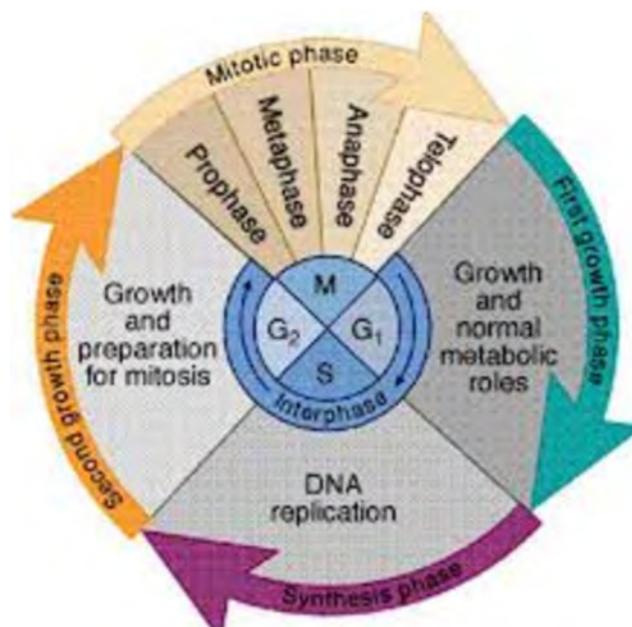
Siklus Sel Pada Sel Eukaryot

Proses penggandaan kromosom terjadi pada fase S dan membutuhkan waktu sekitar 10 – 12 jam. Fase S merupakan fase terlama karena membutuhkan waktu separuh dari waktu siklus sel. Pada saat sel memasuki fase S, kromosom akan mengganda karena terjadinya

replikasi DNA. Bila pada manusia, replikasi sel yang semula kromosom jumlahnya 46, berubah menjadi dua kali lipatnya ( $2 \times 46$ ).

Selain itu terdapat sintesis berbagai protein yang dibutuhkan untuk pengaturan pertumbuhan sel dengan melibatkan proses transkripsi. Dalam proses transkripsi terjadi proses sintesis mRNA dengan DNA sebagai cetaknya dan dilanjutkan ke proses translasi. Dalam proses translasi terjadi proses sintesis protein dengan mRNA sebagai cetaknya. Protein yang disintesis pada fase G<sub>1</sub> dan fase S dibutuhkan dalam proses persiapan untuk menuju fase M, selain itu kromosom yang disintesis juga membutuhkan protein histon.

Kromosom yang telah mengganda selanjutnya akan dibagi sama rata pada anakan sel. Selain proses perbanyakan kromosom, terdapat proses pembelahan sel. Pembelahan sel terjadi pada fase M dan membutuhkan waktu sekitar 1 jam pada sel mamalia. Waktu pembelahan sel cukup singkat jika dibandingkan dengan waktu perbanyakan kromosom. Jika Anda melihat aktivitas sel dengan bantuan mikroskop cahaya, maka perbanyakan kromosom dapat dibagi menjadi fase interfase yang meliputi (G<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, S, G<sub>2</sub>) dan fase pembelahan mitosis maupun meiosis. Pembelahan mitosis dan meiosis sudah dijelaskan pada Bab sebelumnya.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.5**

Siklus Sel

Pembelahan mitosis terjadi pada sel tubuh/autosom, sedangkan pembelahan meiosis terjadi di sel gamet. Penampakan bentuk kromosom di setiap fase yang terdapat pada mitosis maupun meiosis, dapat diamati menggunakan mikroskop cahaya. Pada tahap interfase, sel

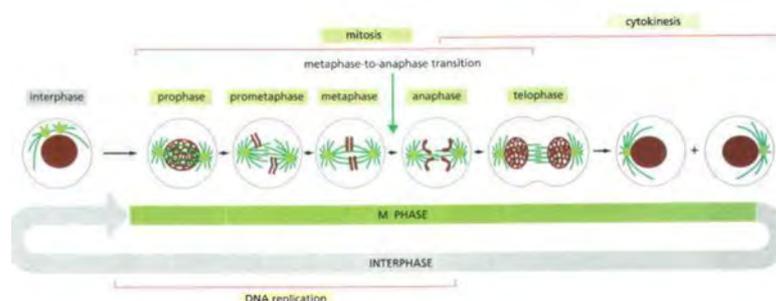
tidak terlihat menjalankan aktivitas apapun, namun ternyata di fase interfase sel mempersiapkan kebutuhan pembelahan dimulai dari perbanyakan organel, perbanyakan kromosom, hingga sel siap membelah.

## 2. Mitosis

Mitosis adalah proses pembelahan sel induk menjadi dua sel anakan secara sempurna, dimana setiap sel anakan membawa kromosom yang jumlahnya sama dengan sel induknya, pada fase inilah yang disebut sebagai perkembangan karena dari satu sel berkembang menjadi dua sel, yang terdiri dari dua peristiwa besar yaitu: (1) mitosis: dimana pada peristiwa ini terjadi pembagian kromosom pada dua inti sel dari calon sel anakan; (2) sitokenesis: yaitu terjadinya pembagian sitoplasma menjadi dua bagian sama untuk dua sel anakan.

Pada fase M (mitosis) ini membutuhkan waktu kurang dari satu jam. Untuk sel eukaryot, fase M ini terdiri dari empat tahapan, berurutan mulai dari profase, metafase, anafase, dan telofase (Gambar. 4.5).

- Profase: Pada fase ini terjadi proses penebalan pada benang-benang kromosom menjadi kromatid, namun membran inti sel masih menyelimuti kromatid tersebut.
- Metafase: yang ditandai dengan hilangnya membran inti, kemudian benang-benang kromatid berada pada bagian ekuator.
- Anafase: benang-benang kromatid ditarik pada posisi dua kutub yang berlawanan oleh benang-benang spindel.
- Telofase: Benang-benang kromatid pada masing-masing kutub tersebut kemudian dibungkus oleh membran yang disebut sebagai membran inti. Sehingga pada fase telofase ini sudah terbentuk dua inti sel (kariokinesis) yang ditandai terbentuknya membran inti, dan ditandai dengan adanya pemisahan sitoplasma (sitokinesis), dan akhirnya dihasilkan dua sel anakan yang sempurna, dimana setiap sel anakan membawa 23 pasang kromosom yang sama persis dengan jumlah kromosom sel induknya.



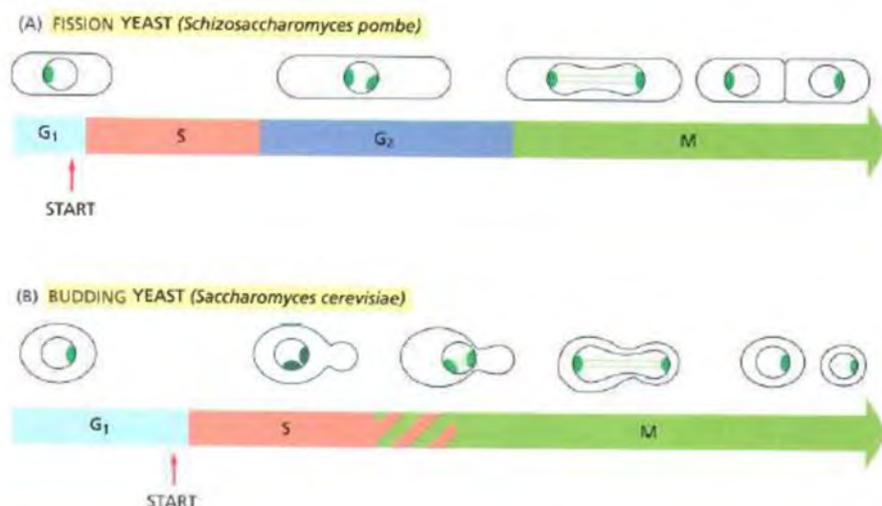
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.6**

Mitosis Pada Sel Eukaryot

### 3. Interfase

Interfase, pada fase ini sel hasil dari mitosis mengalami pertambahan ukuran baik volume maupun massanya, karena terjadi pertambahan pada semua komponen sel. Interfase dibagi menjadi fase G<sub>1</sub> (gap 1), fase S (sintesis) dan fase G<sub>2</sub> (gap 2). Pada fase inilah yang disebut sebagai pertumbuhan, karena sel bertambah besar ukurannya. Fase Interfase ini pada manusia berlangsung selama 23-24 jam. Fase G<sub>1</sub> dan G<sub>2</sub> pada siklus sel tidak hanya melakukan perbanyakan organel, namun juga bertugas mengatur dan memonitor lingkungan internal maupun eksternal sel, serta memastikan bahwa kondisi sudah sesuai dan persiapan sudah lengkap untuk sel membelah. G<sub>1</sub> memiliki peran untuk memonitor lingkungan eksternal. Jika lingkungan di luar sel belum memungkinkan untuk melakukan penggandaan organel, maka sel akan masuk ke fase istirahat atau G<sub>0</sub>.

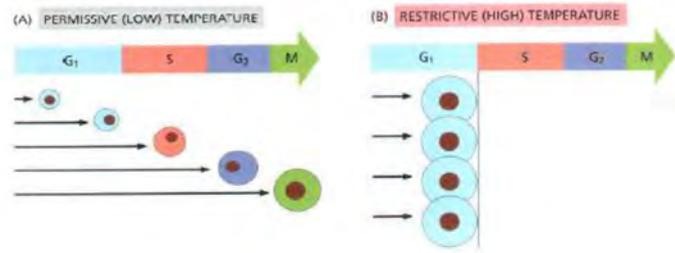


(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.7**

Pengaruh Suhu Terhadap Siklus Sel *Schizosaccharomyces pombe*  
(A. Siklus sel pada suhu normal, B. Siklus sel pada suhu tinggi)

Analisis siklus sel dapat digunakan untuk menentukan adanya apoptosis (program kematian sel), mutasi sel, maupun menguji keberhasilan poliploidi. Salah satu organisme eukariotik uniseluler yaitu *Schizosaccharomyces pombe* yang mengalami pengaruh suhu ekstrim dari luar (ekstraseluler) dalam siklus selnya akan bertahan pada G<sub>1</sub>. Pada suhu yang sesuai dengan sel, sel akan mengalami siklus yang lengkap seperti Gambar 4.7. Siklus sel yang berjalan normal seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.8**

Siklus sel pada *Schizosaccharomyces pombe*  
(A. Pembelahan sel, B. Membentuk tunas)

Dari uraian di atas jelas bahwa sintesis DNA hanya terjadi dalam waktu singkat yaitu dalam tahap S. Siklus sel ini berjalan terus terutama pada jaringan tubuh yang masih muda atau jaringan tubuh yang terus mengalami pertumbuhan seperti ujung akar, pucuk daun pada tanaman juga jaringan tubuh manusia yang mengalami regenerasi serta pusa sel-sel kelamin manusia dewasa.

Adakalanya siklus sel ini terhenti karena berbagai macam sebab sehingga setelah bertumbuh sel tidak mengalami pembelahan tetapi mengalami perubahan degenerasi dan kemudian mati. Apabila dalam satu jaringan tubuh terdapat sel-sel yang mati, umumnya sel-sel ini akan diganti oleh sel-sel yang baru yang dihasilkan dari pembelahan sel-sel pada jaringan yang sama sehingga fungsi jaringan tidak terganggu. Namun kemampuan regenerasi jaringan ini tidak selalu sama pada tiap jaringan, ada yang mudah dan ada yang sukar dalam mengadakan regenerasi.

## B. KONTROL SIKLUS SEL

### 1. Sistem Kontrol Untuk Siklus Sel

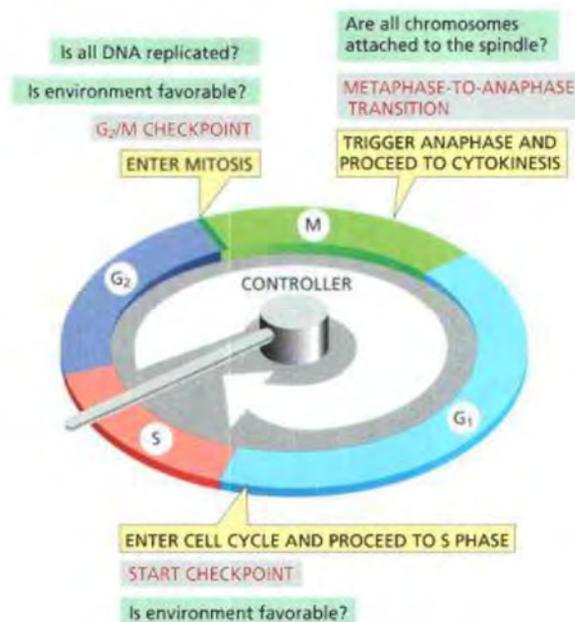
Sistem kontrol pada siklus sel memiliki pengaturan yang sangat kompleks dengan melibatkan protein untuk mengaktivasi setiap siklus. Siklus sel memiliki ketepatan waktu dalam pengaturannya, misalnya zigot menjadi morula kemudian blastula memiliki jangka waktu tertentu yang terjadi juga pada semua mamalia. 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 4.9. Mutasi yang tidak terdeteksi pada fase G<sub>2</sub> dan dilanjutkan ke fase M atau pembelahan, maka semua hasil pembelahan sel tersebut juga mengalami mutasi.

## 2. Kontrol Siklus Sel Cdks (Cyclin-Dependent Protein Kinases)

Komponen utama pada siklus sel diatur oleh protein kinase yang dikenal sebagai Cyclin-Dependent Kinases (Cdks). Aktivitas kinase mengalami kenaikan atau penurunan sehingga mempengaruhi perubahan siklus dalam fosforilasi protein interseluler yang terlibat dalam pengaturan siklus sel. Sebagai contoh, bila terjadi peningkatan aktivitas Cdks pada checkpoint G<sub>2</sub>/M, maka akan menyebabkan kromosom berkondensasi, membran inti akan menghilang, perakitan benang spindle dan akan segera terjadi proses mitosis. Cdks tidak bisa melakukan proses fosforilasi jika tidak terdapat protein cyclin, sehingga kerja Cdks sangat bergantung dengan protein cyclin. Aktivitas protein kinase Cdks akan berjalan jika berikatan dengan cyclin.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.9**

Sistem Kontrol Pada Siklus Sel Terjadi Pada 3 Tahapan

(1. Pada akhir fase G<sub>1</sub> akan masuk fase S, 2. Pada akhir fase G<sub>2</sub> mau masuk fase M, 3. Pada fase M)

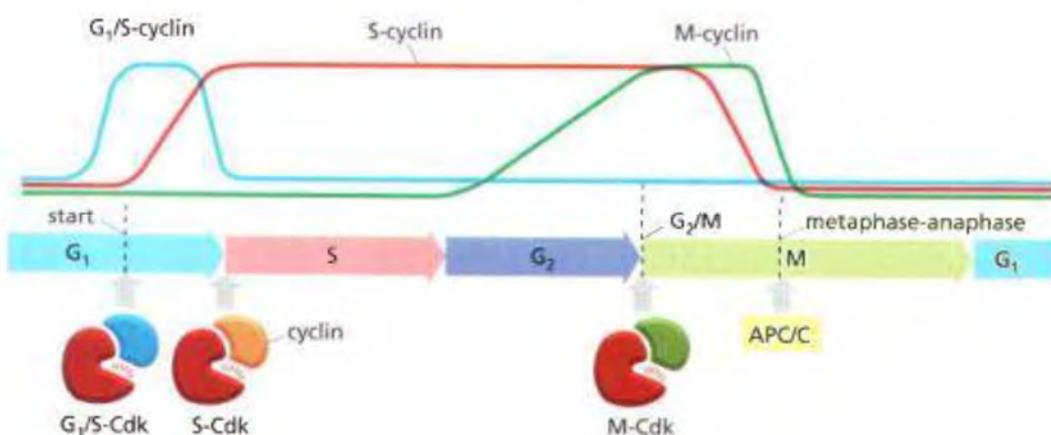
Terdapat 4 kelas protein cyclin, masing-masing memiliki peran pada siklus sel tertentu yang akan berikatan pada Cdks yang spesifik sehingga dapat berfungsi. Semua sel eukariotik membutuhkan protein Cyclin. Empat macam protein cyclin tersebut adalah:

- G1-Cdk
- G1/S-cyclin mengaktivasi Cdks pada akhir fase G1, memicu sel untuk masuk ke tahap sintesis. Konsentrasinya akan menurun pada fase S
- S-cyclin berikatan dengan Cdk menstimulasi penggandaan kromosom, S-cyclin akan meningkat hingga masuk ke fase mitosis, cyclin ini juga memiliki peran untuk mengontrol awal pembelahan mitosis (profase)
- M-cyclin mengaktivasi Cdks untuk menstimulasi ke fase mitosis pada checkpoint G2/M, konsentrasi M-cyclin akan menurun pada pertengahan mitosis.

Adapun mekanisme hubungan antara protein cyclin dengan Cdk pada proses siklus sel ditunjukkan pada Tabel 4.1. dan Gambar 4.10.

**Tabel 4.1.**  
**Cyclin dan Cdks dari kelompok vertebrata dan Budding Yeast**

Kompleks Cyclin-Cdk	Vertebrata		Budding yeast	
	Cyclin	Cdks	Cyclin	Cdks
G1-Cdk	Cyclin D	Cdk 4, Cdk 6	Cln3	Cdk 1 **
G1/S Cdk	Cyclin E	Cdk 2	Cln1, 2	Cdk 1
S-Cdk	Cyclin A	Cdk 2, Cdk 1 **	Clb 5, 6	Cdk 1
M-Cdk	Cyclin B	Cdk1	Clb 1, 2, 3, 4	Cdk 1



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.10**

Kompleks Cyclin Cdk Dari Sistem Kontrol Siklus Sel

Checkpoint pada fase G2 terjadi ketika ada kerusakan DNA yang akan mengaktifasi beberapa kinase termasuk Ataxia Telangiectasia Mutated (ATM) kinase. Hal tersebut menginisiasi dua kaskade untuk menginaktivasi Cdc2-CycB baik dengan jalan memutuskan kompleks Cdc2-CycB maupun mengeluarkan kompleks Cdc-CycB dari nukleus atau aktivasi p21. Checkpoint pada fase G1 akan dapat dilalui jika ukuran sel memadai, ketersediaan nutrisi mencukupi, dan adanya faktor pertumbuhan (sinyal dari sel yang lain). Checkpoint pada fase G2 dapat dilewati jika ukuran sel memadai, dan replikasi kromosom terselesaikan dengan sempurna. Checkpoint pada metaphase (M) terpenuhi bila semua kromosom dapat menempel pada gelendong (spindle) mitosis. Checkpoint ini akan menghambat progresi siklus sel ke fase mitosis, sedangkan checkpoint pada fase M (mitosis) terjadi jika benang spindle tidak terbentuk atau jika semua kromosom tidak dalam posisi yang benar dan tidak menempel dengan sempurna pada spindle. Kontrol checkpoint sangat penting untuk menjaga stabilitas genomik. Kesalahan pada checkpoint akan meloloskan sel untuk berkembang biak meskipun terdapat kerusakan DNA atau replikasi yang tidak lengkap atau kromosom tidak terpisah sempurna sehingga akan menghasilkan kerusakan genetik. Hal ini kritis bagi timbulnya kanker. Oleh karena itu, proses regulasi siklus sel mampu berperan dalam pencegahan kanker.

Sebagai contoh mikroorganisme yang sering mengkontaminasi alat-alat kesehatan antara lain adalah: *Pseudomonas aeruginosa* (yang habitatnya di air, tanah), *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus* (habitatnya pada kulit manusia), *Bacillus sp.* (habitatnya udara, air, tanah), apabila mikroorganisme tersebut masuk ke dalam tubuh manusia melalui tindakan invasif akan menyebabkan terjadinya infeksi.

## Latihan

**Untuk dapat memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah Latihan berikut!**

- 1) Sebutkan 4 fase pada siklus sel!
- 2) Berapa lama Siklus sel pada manusia itu berlangsung?
- 3) Jelaskan tahapan/fase apa saja yang terjadi pada Fase Mitosis!
- 4) Sebutkan pada fase apa sajakah checkpoint terjadi?
- 5) Sebutkan contoh mikroorganisme yang sering mengkontaminasi alat-alat kesehatan!

## Petunjuk Jawaban Latihan

**Untuk dapat menyelesaikan soal Latihan di atas maka:**

- 1) Anda dapat memperhatikan fase-fase pada siklus sel.
- 2) Anda dapat memperhatikan waktu yang dibutuhkan dalam proses siklus sel.

- 3) Anda dapat memperhatikan Fase Mitosis pada siklus sel.
- 4) Anda dapat memperhatikan sistem kontrol untuk siklus sel.
- 5) Anda dapat memperhatikan contoh mikroorganisme di bagian akhir Topik 2.

## Ringkasan

- 1) Proses pembelahan sel diawali dengan terjadinya duplikasi komponen sel, baik DNA yang terkemas di dalam kromosom maupun organella-organella yang ada di dalam sel. Kromosom mengalami duplikasi pada fase S (sintesis) pada siklus sel, yang membutuhkan waktu paling lama (10-12 jam). Namun mulai dari fase G1, S dan G2 selalu terjadi proses duplikasi komponen sel yang lain, seperti sintesis protein selalu terjadi untuk mensintesis organella-organella yang dibutuhkan oleh setiap sel anakan.
- 2) Mitosis: adalah peristiwa terjadinya pembagian kromosom pada dua inti sel dari calon sel anakan. Selanjutnya, diteruskan dengan proses Sitokenesis: yaitu terjadinya pembagian sitoplasma menjadi dua bagian sama untuk dua sel anakan. Mitosis terletak antara fase G1 dan fase G2.
- 3) Pada proses siklus sel selalu terjadi kontrol (checkpoint control) pada 3 lokasi yaitu pada akhir fase G1, akhir fase G2 dan pada proses Mitosis (sitokinesis). Apabila sistem kontrol tidak berjalan dengan baik dan proses pembelahan tetap terjadi, maka akan dihasilkan sel yang mengalami mutasi.
- 4) Siklus sel diatur oleh protein kinase yang dikenal sebagai cyclin-dependent kinase (Cdks). Ada Empat macam protein cyclin ayitu: G1-Cdk, G1/S-cyclin mengaktifasi Cdks pada akhir fase G1, memicu sel untuk masuk ke tahap sintesis. Konsentrasinya akan menurun pada fase S. S-cyclin berikatan dengan Cdk menstimulasi penggandaan kromosom, S-cyclin akan meningkat hingga masuk ke fase mitosis. Cyclin ini juga memiliki peran untuk mengontrol awal pembelahan mitosis (profase). M-cyclin mengaktifasi Cdks untuk menstimulasi ke fase mitosis pada checkpoint G2/M, konsentrasi M-cyclin akan menurun pada pertengahan mitosis.

## Tes 2

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Siklus sel terbagi menjadi 2 tahapan penting yaitu tahapan pertumbuhan dan tahapan perkembangan. Tahapan pertumbuhan terdiri dari 3 fase yaitu fase istirahat /G0 (Gap 0), fase G1, fase S (sintesis), fase G2. Pada fase pertumbuhan sel, terjadi penggandaan..... yaitu pada fase G1, S, G2.
  - A. Ribosom
  - B. Lisosom
  - C. Sentrosom
  - D. Kromosom
  
- 2) Pada fase perkembangan yaitu fase M/Mitosis (kariokinesis dan sitokinesis), terjadi pembelahan sel menjadi dua secara sempurna dan setiap sel anakan membawa kromosom yang jumlahnya..... sel induknya.
  - A. Setengah dari
  - B. Sama dengan
  - C. Dua kali
  - D. Tiga kali
  
- 3) Sintesis berbagai protein yang dibutuhkan untuk pengaturan pertumbuhan sel melibatkan proses transkripsi. Dalam proses transkripsi terjadi proses sintesis .... dengan DNA sebagai cetaknya dan dilanjutkan ke proses translasi.
  - A. mRNA
  - B. rRNA
  - C. tRNA
  - D. RNase
  
- 4) Pada proses siklus sel selalu terjadi kontrol (checkpoint control) pada 3 lokasi yaitu pada akhir fase G1, akhir fase G2 dan pada proses Mitosis (sitokinesis). Apabila sistem kontrol tidak berjalan dengan baik dan proses pembelahan tetap terjadi, maka akan dihasilkan sel yang mengalami.....
  - A. Invasi
  - B. Duplikasi
  - C. Mutasi
  - D. Regresi

- 5) Siklus sel diatur oleh protein kinase yang dikenal sebagai cyclin-dependent kinase (Cdks). Konsentrasinya akan menurun pada fase S. S-cyclin berikatan dengan Cdk menstimulasi penggandaan kromosom, S-cyclin akan meningkat hingga masuk ke fase mitosis. Cyclin ini juga memiliki peran untuk mengontrol awal pembelahan mitosis yaitu pada fase:
- A. Metafase
  - B. Anafase
  - C. Telofase
  - D. Profase

# Topik 3

## Sel kanker

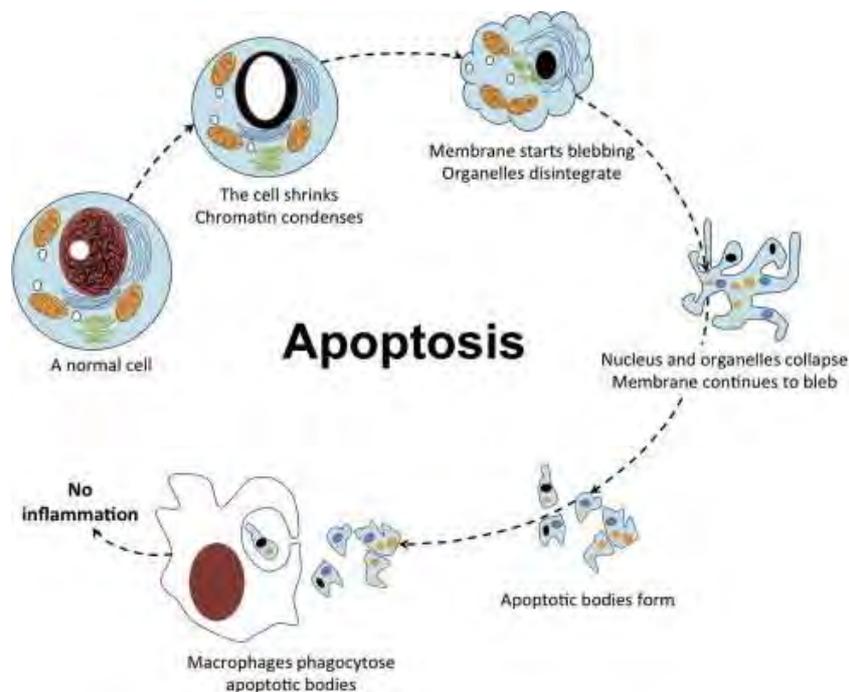
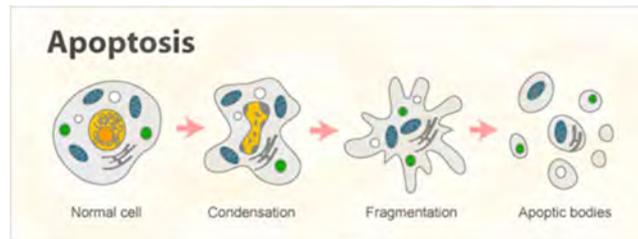
### A. PENGANTAR

Apakah Anda pernah mendengar istilah kanker? Pertumbuhan sel kanker terjadi karena kegagalan dalam kontrol siklus sel. Sel kanker membelah diri terus tanpa kontrol dan pada suatu ketika sel-sel itu masuk peredaran darah dan mendiami jaringan lain yang disebut metastasis. Menurut penelitian terkini, yang dimetastasi adalah menurut pola tertentu dan biasanya jenis jaringan yang sama. Seperti polip selaput lendir usus bermetastasis membentuk karsinoma selaput lendir hidung dan retinoblastoma yang bermetastasis membentuk osteosarcoma dalam tulang.

Pertumbuhan sel dalam individu diatur oleh suatu sistem keseimbangan, yaitu apoptosis dan proliferasi. Apabila terjadi apoptosis berlebihan, maka suatu sistem organ akan mengalami kemunduran fungsi yang dapat menimbulkan penyakit. Sebaliknya, apabila terjadi proliferasi berlebihan, maka akan membentuk suatu massa tumor yang akan mengarah pada kanker.

Apoptosis adalah kematian sel melalui mekanisme genetik dengan kerusakan/fragmentasi kromosom atau DNA. Apoptosis dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu apoptosis fisiologis dan apoptosis patologis. Apoptosis fisiologis adalah kematian sel yang diprogram (programmed cell death). Proses kematian sel erat kaitannya dengan enzim telomerase. Pada sel embrional, enzim ini mengalami aktivasi sedangkan pada sel somatik enzim ini tidak mengalami aktivasi, kecuali sel bersangkutan mengalami transformasi menjadi ganas. Telomer yang terletak pada ujung kromosom merupakan faktor yang sangat penting dalam melindungi kromosom. Pada sel normal, telomer akan memendek pada saat pembelahan diri. Apabila ukuran telomer mencapai ukuran tertentu (level kritis) akibat pembelahan berulang, maka sel tersebut tidak dapat melakukan pembelahan diri lagi. Selanjutnya sel akan mengalami apoptosis secara fisiologis. Pada sel ganas, pemendekan telomerase sampai pada level kritis tidak terjadi karena pada sel ganas terjadi aktivasi dari enzim ribonukleoprotein (telomerase) secara terus menerus. Enzim ini sangat berperan pada sintesis telomer DNA, sehingga berbagai elemen yang dibutuhkan pada pembentukan telomer dapat dibentuk secara terus menerus dan ukuran telomer pada ujung kromosom dapat

dipertahankan. Oleh karena itu, sel ganas dapat bersifat immortal. Sedangkan apoptosis patologis adalah kematian sel karena adanya proses suatu rangsangan.



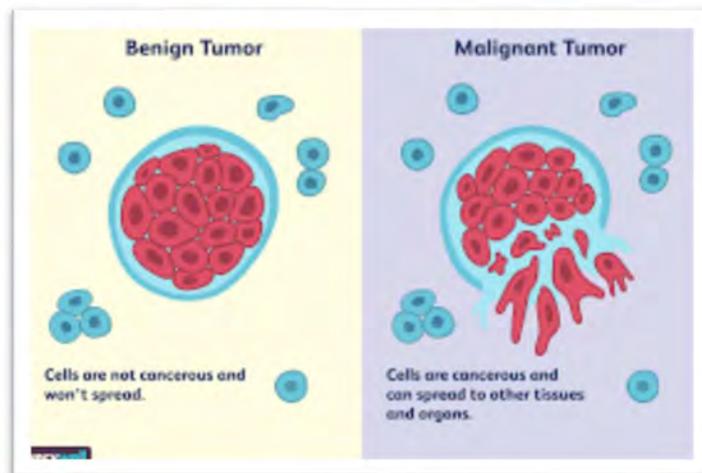
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.11**

Tahapan Apoptosis

Tingkah laku abnormal dari sel kanker dapat memberikan dampak yang buruk di dalam tubuh. Persoalannya berawal ketika sel tunggal dalam suatu jaringan mengalami transformasi yaitu sebuah proses yang mengubah sel normal menjadi sel kanker. Sistem imun tubuh pada umumnya mengenali sel yang tertransformasi kemudian menghancurkannya. Namun dalam hal ini, sel terlepas dari penghancuran oleh sistem imun. Sel ini kemudian memperbanyak diri dan membentuk tumor, suatu masa dari sel abnormal di dalam jaringan yang normal. Jika sel-sel yang abnormal ini tetap berada pada tempatnya maka gumpalan ini disebut benign tumor. Sebagian besar benign tumor tidak menyebabkan masalah serius dan dapat diangkat secara menyeluruh melalui pembedahan. Sebaliknya, malignant tumor menjadi invasif sehingga

mampu mengganggu fungsi organ. Individu yang memiliki malignant tumor sering dikatakan memiliki kanker.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.12**

Benign dan Malignant Tumor

Sel-sel malignant tumor adalah abnormal dalam beberapa hal selain perbanyakannya yang eksekif. Sel-sel ini dapat memiliki jumlah kromosom yang tidak umum (apakah hal ini merupakan penyebab ataukah akibat masih merupakan topik yang diperdebatkan hingga kini). Perubahan abnormal pada permukaan sel kanker menyebabkan sel ini kehilangan ikatan dengan sel-sel tetangganya dan dengan matriks ekstraseluler sehingga menyebabkan sel kanker berpindah/menyebar pada jaringan di dekatnya. Sel kanker juga diduga mampu mensekresi molekul signal yang menyebabkan pembuluh darah tumbuh menuju tumor (tumor dapat memiliki pembuluh darah). Beberapa sel tumor dapat pula terlepas dan memasuki aliran darah dan aliran limfa dan melakukan perjalanan ke bagian tubuh lainnya. Di bagian baru ini sel dapat memperbanyak diri untuk membentuk tumor baru. Penyebaran sel-sel kanker pada lokasi yang jauh dari lokasi asalnya disebut metastasis.

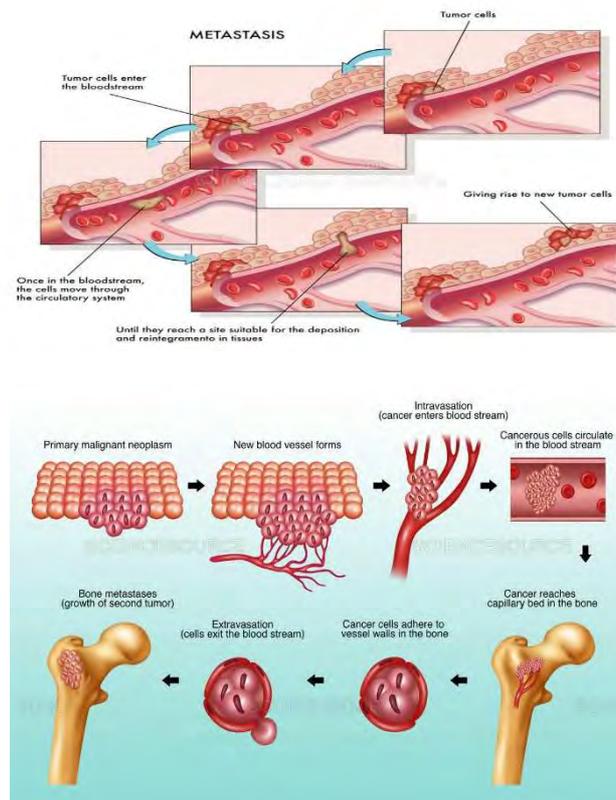
Tumor yang terlokalisasi dapat diperlakukan dengan radiasi berenergi tinggi, yang mampu menghancurkan DNA sel kanker lebih banyak daripada menghancurkan sel normal. Hal ini nampaknya karena sel kanker telah kehilangan kemampuannya untuk melakukan perbaikan kerusakan. Untuk men-treatment tumor metastatic digunakan chemotherapy, dimana obat-obatan yang diberikan bersifat toksik terhadap sel-sel yang sedang aktif membelah. Treatment ini diberikan melalui sistem sirkulasi. Obat-obatan chemotherapy mengganggu tahap spesifik dari siklus sel.

Terkait dengan rekayasa genetika, para ahli biologi dari Jepang telah menunjukkan kesuksesannya menginjeksikan DNA dari organisme laut ke dalam tubuh tikus sehingga akan

memendarkan warna hijau saat terkena sinar ultraviolet. DNA yang ada pada tikus tersebut dikatakan DNA rekombinan, yaitu DNA (dalam hal ini adalah gen) dari sumber yang berbeda (dalam hal ini dari dua spesies) menyatu. Para ahli di Jepang tersebut mengharapkan bahwa proses ini dapat dipergunakan untuk memonitor obat kanker baru dengan cara mengamati sinar hijau yang berpendar pada sel-sel kanker.

## B. DEFINISI DAN REGULASI SEL KANKER

Kanker adalah segolongan penyakit yang ditandai dengan pembelahan sel tidak terkendali dan kemampuan sel menyerang jaringan biologis lainnya, baik pertumbuhan langsung di jaringan tetangganya (invasif) maupun migrasi sel ke tempat yang lebih jauh (metastasis). Pertumbuhan yang tidak terkendali tersebut disebabkan kerusakan DNA yang menyebabkan mutasi di gen vital yang mengontrol pembelahan sel. Sel kanker kehilangan fungsi kontrolnya terhadap regulasi daur sel maupun fungsi homeostasis sel pada organisme multiseluler sehingga sel tidak dapat berproliferasi secara normal. Akibatnya, sel akan berproliferasi terus-menerus sehingga menimbulkan pertumbuhan jaringan yang abnormal.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.13**

Proses Metastasis dan Metastasis pada Tulang

Sel kanker timbul dari sel normal tubuh yang mengalami transformasi atau perubahan menjadi ganas oleh karsinogen atau karena mutasi spontan. Transformasi sejumlah gen yang menyebabkan gen tersebut termutasi disebut neoplasma atau tumor. Neoplasma merupakan jaringan abnormal yang terbentuk akibat aktivitas proliferasi yang tidak terkontrol (neoplasia). Pada tahap awal, neoplasma berkembang menjadi karsinoma in situ di mana sel pada jaringan tersebut masih terlokalisasi dan mungkin memiliki kesamaan fungsional dengan sel normal. Sel neoplasma mengalami perubahan morfologi, fungsi, dan siklus pertumbuhan yang akhirnya menimbulkan disintegrasi dan hilangnya komunikasi antar sel. Tumor diklasifikasikan sebagai benigna, yaitu kejadian neoplasma yang bersifat jinak dan tidak menyebar ke jaringan di sekitarnya. Sebaliknya, maligna disinonimkan sebagai tumor yang melakukan metastasis, yaitu menyebar dan menyerang jaringan lain sehingga maligna sering disebut sebagai kanker. Kanker sering dikenal sebagai tumor, tetapi tidak semua tumor disebut kanker.

Sel kanker memiliki perbedaan yang sangat signifikan dengan sel normal. Sel kanker tidak mengenal apoptosis dan akan terus hidup meski seharusnya mati (bersifat immortal). Sel kanker tidak mengenal komunikasi ekstraseluler (asosial) yang diperlukan untuk menjalin koordinasi antar sel sehingga dapat saling menunjang fungsi masing-masing. Dengan sifatnya yang asosial, sel kanker bertindak semauanya sendiri tanpa peduli apa yang dibutuhkan oleh lingkungannya. Sel kanker dapat memproduksi growth factor sendiri sehingga tidak bergantung pada rangsangan sinyal pertumbuhan dari luar untuk melakukan proliferasi sehingga dapat tumbuh menjadi tak terkendali. Sel kanker juga tidak sensitif terhadap sinyal yang dapat menghentikan pertumbuhan dan pembelahan sel. Sel kanker mampu menghindari dari sinyal anti pertumbuhan yang berhubungan dengan siklus sel.

Sel kanker tidak terpengaruh oleh signal yang mengatur siklus sel. Sel-sel ini membelah secara ekseksif dan menginvasi jaringan lainnya. Sel kanker juga tidak berhenti membelah walaupun growth factor tidak tersedia. Hipotesis logisnya adalah bahwa sel-sel kanker tidak membutuhkan growth factors dalam medium kulturnya untuk tumbuh dan membelah. Sel-sel kanker barangkali mampu membentuk growth factors-nya sendiri, atau sel-sel kanker mungkin memiliki abnormalitas dalam jalur signal yang menghubungkannya dengan sistem pengendali siklus sel. Kemungkinan lain adalah adanya sistem pengendali pembelahan sel yang tidak normal.

Terdapat beberapa perbedaan lagi antara sel normal dan sel kanker yang merefleksikan kekacauan dalam siklus selnya. Jika dan pada saat sel kanker berhenti membelah, sel kanker melakukannya secara random dalam siklus sel (normal sel pada titik-titik tertentu). Sel kanker akan membelah secara indefinitif jika diberi suplai nutrisi. Sebagai contohnya adalah sel yang telah bereproduksi dalam kultur sejak tahun 1951. Sel-sel tadi dinamai sel HeLa karena berasal dari tumor yang diangkat dari seorang wanita bernama Henrietta Lacks. Sebaliknya, hampir

semua sel normal mamalia tumbuh dalam kultur dan membelah sebanyak 20 hingga 50 kali sebelum akhirnya berhenti membelah, tua, dan mati.

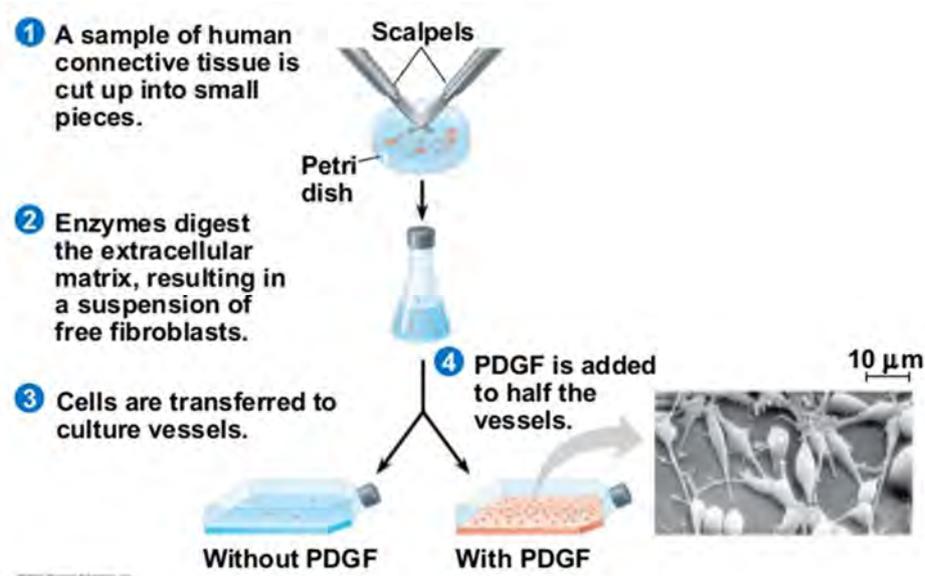
Sel kanker mampu menyerang jaringan lain (invasif), merusak jaringan tersebut dan tumbuh subur di atas jaringan lain (metastasis). Semakin besar jangkauan metastasis tumor, akan semakin sulit disembuhkan. Kanker pada stadium metastasis merupakan penyebab 90% kematian penderita kanker. Untuk mencukupi kebutuhan pangan dirinya sendiri, sel kanker mampu membentuk pembuluh darah baru (neoangiogenesis) meski dapat mengganggu kestabilan jaringan tempat ia tumbuh. Sel kanker memiliki kemampuan yang tidak terbatas dalam memperbanyak dirinya sendiri (proliferasi) meski sudah tidak dibutuhkan dan jumlahnya sudah melebihi kebutuhan yang seharusnya.

Waktu dan laju pembelahan sel di bagian yang berlainan dari tumbuhan dan hewan merupakan faktor sangat penting dalam pertumbuhan normal, perkembangan, dan pemeliharaan. Frekuensi pembelahan sel bervariasi dengan tipe sel. Sebagai contohnya, sel kulit manusia sering kali membelah selama hidup sedangkan sel-sel liver memiliki kemampuan untuk membelah tetapi hanya menggunakannya jika dibutuhkan misalnya untuk memperbaiki/menyembuhkan luka. Beberapa sel yang terspesialisasi seperti sel saraf dan sel otot yang sudah terbentuk secara lengkap tidak membelah pada manusia dewasa. Perbedaan laju dan waktu pembelahan sel adalah sebagai akibat dari pengaturan pada level molekuler. Mekanisme dari pengaturan ini sangat menarik untuk dapat memahami siklus hidup normal dari sel dan untuk memahami bagaimana sel kanker mampu melepaskan diri dari pengaruh pengendalian pembelahan sel.

Para ilmuwan sedang melakukan penelitian untuk memahami jalur yang menghubungkan signal internal sel dan eksternal sel. Salah satu contoh signal internal terjadi pada fase M (disebut check point fase M). Anafase (pemisahan sister chromatids) tidak akan terjadi sampai kromosom secara benar menempel pada benang spindel dan kromosom terletak pada posisi lempeng metafase (metaphase plate). Para ilmuwan telah mengetahui bahwa jika benang kinetochor tidak menempel pada benang spindel, sister chromatids akan tetap bersama sehingga hal ini menunda proses anafase. Hanya jika kinetochor dari semua kromosom menempel pada spindel maka protein pengatur menjadi aktif. Sesudah aktif, rangkaian reaksi enzimatik mengakibatkan sister chromatids terpisah. Mekanisme ini menjaga agar sel anak tidak memiliki ekstra kromosom atau kehilangan kromosom.

Studi tentang kultur sel hewan mengarahkan pada penemuan faktor-faktor eksternal baik kimiawi maupun fisik, yang mempengaruhi pembelahan sel. Sebagai contoh, sel-sel gagal melakukan pembelahan apabila tidak ada nutrisi esensial pada medium kultur yang ditempatinya. Walaupun ditumbuhkan pada kondisi yang sangat mendukung, sel-sel hewan tersebut tidak akan membelah tanpa adanya growth factor khusus yang ditambahkan pada medium. Growth factor adalah suatu protein yang dilepaskan oleh sel-sel tertentu yang

menstimulasi sel-sel lain untuk membelah. Telah ditemukan lebih dari 50 macam growth factors. Tipe sel yang berbeda akan memberikan respon yang spesifik terhadap growth factor tertentu atau kombinasi dari growth factors.



(Sumber: Image.google.co.id)

Gambar 4.14

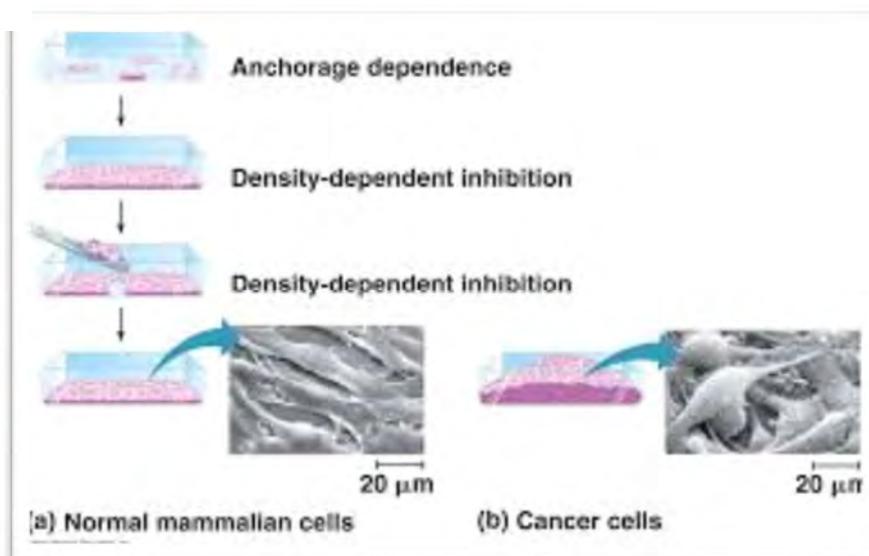
Platelet-derived growth factor (PDGF) pada pembelahan fibroblas di dalam kultur

Sebagai contoh adalah **platelet-derived growth factor (PDGF)**, yang dihasilkan oleh fragmen sel darah yang disebut platelet. Eksperimen yang disajikan pada **Gambar 4.14**, mendemonstrasikan bahwa PDGF dibutuhkan dalam pembelahan fibroblas dalam kultur. Fibroblas adalah salah satu tipe sel pada jaringan konektif. PDGF memiliki reseptor pada membran plasmanya. Pengikatan molekul PDGF dengan reseptor tersebut memacu sel untuk melalui fase G1 dan membelah. PDGF menstimulasi pembelahan fibroblas tidak hanya pada kondisi artifisial media kultur tetapi juga di dalam tubuh organisme. Ketika terjadi luka, platelet melepaskan PDGF ke sekelilingnya dan produksi fibroblas membantu menyembuhkan luka.

Efek eksternal secara fisik terhadap pembelahan sel juga terlihat pada **density dependent inhibition** yaitu sebuah fenomena dimana sel yang sudah memenuhi suatu tempat berhenti membelah (**Gambar 4.15**). Sel yang dikultur pada umumnya membelah hingga membentuk lapisan tunggal pada bagian dalam dari container media kultur dan kemudian berhenti membelah. Jika sebagian sel diambil dari media tersebut, sel yang berada di tepi ruang kosong tersebut mulai membelah secara terus menerus hingga ruang kosong tersebut terisi sel-sel. Studi menunjukkan bahwa pengikatan protein pada permukaan sel

dengan kounterpartnya melepaskan suatu growth-inhibiting signal yang mencegah sel-sel untuk membelah, walaupun terdapat growth factors.

Sebagian besar sel-sel hewan juga menunjukkan adanya anchorage dependence (lihat Gambar 4.15a). Agar bisa membelah sel harus menempel pada substrat, seperti menempel pada media kultur atau menempel pada matriks ekstraseluler jaringan. Eksperimen menunjukkan bahwa seperti kepadatan sel, anchorage juga ditandai oleh sistem pengendali siklus sel melalui jalur yang melibatkan protein membran plasma yang dihubungkan oleh elemen sitoskeleton. Density-dependent inhibition dan anchorage dependence seperti pada media kultur juga berfungsi sama di dalam tubuh. Sel kanker menunjukkan tidak adanya pengendalian density-dependent inhibition maupun anchorage dependence (Gambar 4.15b).

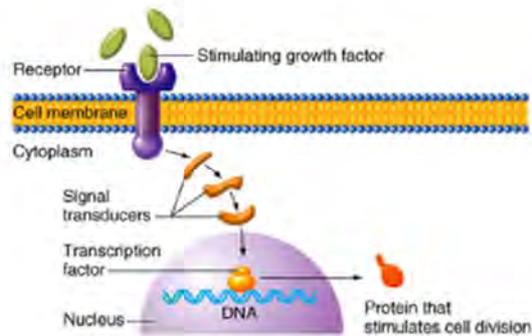


(Sumber: Image.google.co.id)

Gambar 4.15

a dan b Density-dependent inhibition dan anchorage dependence pada sel mamalia normal dan sel kanker

Siklus sel juga diregulasi oleh faktor ekstrinsik yang menyebabkan sel dapat merespon lingkungannya



Kanker terjadi pada saat sel tidak lagi tumbuh dan membelah dengan baik

(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.16**

Siklus sel dengan protein yang menstimulasi pembelahan sel

### C. CONTOH SEL KANKER

Kanker dapat terjadi dalam berbagai jenis sel, antara lain karsinoma (pada kelenjar epitel), glioma (pada jaringan otak), leukemia (pada sel darah putih), sarkoma (pada jaringan lunak dan jaringan ikat seperti tulang rawan, lemak, otot, ataupun tulang), myeloma (pada jaringan selaput saraf/neuron), hepatoma (pada sel hati), fibroma (pada jaringan ikat fibrosa), dan limfoma (pada kelenjar getah bening). Metastase sel kanker menurut pola tertentu dan biasanya pada jenis jaringan yang sama. Seperti polip selaput lendir usus bermetastasis membentuk karsinoma selaput lendir hidung dan retinoblastoma yang bermetastasis membentuk osteosarcoma dalam tulang.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.17**

Penderita Retinoblastoma

Retinoblastoma yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 adalah terjadi karena delesi (penghapusan) gen represor bagi gen faktor tumbuh pada kromosom 13. Ada pula pendapat yang menyatakan bahwa delesi itu terjadi pada gen anti-onc yang menyandi pertumbuhan retina. Kanker mata ini bisa pula terjadi pada pasien yang monosomi pada kromosom 13 tersebut. Contoh pada leukemia seperti acute granulocytic leukemia yang berasal dari chronic granulocytic leukemia karena terbentuk kromosom 21 yang besarnya hanya sekitar separuh dari normal.

Kanker tumbuh dari satu sel normal asal yang mengalami transformasi menjadi sel kanker. Berarti secara genetis gumpalan atau massa sel kanker itu adalah klon tunggal (monoclonal) sel. Setiap sel kanker membelah terus tanpa henti. Sel normal akan akan berhenti membelah pada sekitar mitosis ke-40 lalu mati, namun sel kanker terus bermitosis dan immortal. Sel kanker tersebut tentu bersumber dari terjadinya perubahan pada materi genetis, dan materi genetis inilah yang mengatur terjadinya pembelahan. Kanker adalah penyakit genetis, tapi bukan berarti bahwa kanker diwariskan turun temurun. Hanya beberapa jenis kanker yang diwariskan menurut keluarga, tetapi umumnya munculnya pada suatu individu adalah secara insidental.

Pada keluarga yang orangtuanya banyak terpapar kepada mutagen seperti pekerja tambang uranium, reaktor atom, industri yang menggunakan peralatan bertenaga nuklir, dan pabrik kimia yang mengandung radioaktif memang terbukti lebih banyak anak yang mendapat leukemia daripada keluarga lain.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 4.18**  
Jenis-jenis mutagen

Pembahasan mengenai konsep dasar genetika, pewarisan sifat dan penyakit-penyakit yang ditimbulkan karena kelainan genetika/diwariskan pada keturunannya akan Anda pelajari pada bab selanjutnya (Bab 5 dan Bab 6). Tentunya agar Anda sebagai Teknisi Pelayanan Darah dapat lebih memahami dan mengetahui konsep dasar dari beberapa penyakit kelainan darah karena peranan ilmu genetika.

## Latihan

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

- 1) Mengapa bisa terjadi pertumbuhan sel kanker? Jelaskan menurut pemahaman Anda.
- 2) Buatlah ringkasan perbedaan untuk:

*a. Apoptosis dan Proliferasi*

No.	Apoptosis	Proliferasi	Keterangan

*b. Benign tumor dan Malignant tumor*

No.	Benign tumor	Malignant tumor	Keterangan

- 3) Mengapa sel kanker tetap membelah meskipun faktor pertumbuhan (growth factor) sudah tidak tersedia?

- 4) Jelaskan peran Platelet-Derived Growth Factor (PDGF) dalam kultur fibroblast maupun pada tubuh organisme!
- 5) Sebutkan contoh sel kanker dan lokasi terdapatnya di dalam tubuh organisme!

## Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal latihan no 1 dan 2 Anda dapat membaca Bab 4, Topik 3 Bagian A. Untuk menyelesaikan soal no 3, 4 dan 5 silakan Anda baca kembali Bab 4, Topik 3 Bagian B.

## Ringkasan

- 1) Pertumbuhan sel kanker terjadi karena kegagalan dalam kontrol siklus sel. Sel kanker membelah diri terus tanpa kontrol dan pada suatu ketika sel-sel itu masuk peredaran darah dan mendiami jaringan lain yang disebut metastasis.
- 2) Pertumbuhan sel dalam individu diatur oleh suatu sistem keseimbangan, yaitu apoptosis dan proliferasi. Apabila terjadi apoptosis berlebihan, maka suatu sistem organ akan mengalami kemunduran fungsi yang dapat menimbulkan penyakit. Sebaliknya, apabila terjadi proliferasi berlebihan, maka akan membentuk suatu massa tumor yang akan mengarah pada kanker.
- 3) Sel kanker timbul dari sel normal tubuh yang mengalami transformasi atau perubahan menjadi ganas oleh karsinogen atau karena mutasi spontan. Tumor diklasifikasikan sebagai benigna, yaitu kejadian neoplasma yang bersifat jinak dan tidak menyebar ke jaringan di sekitarnya. Sebaliknya, maligna disinonimkan sebagai tumor yang melakukan metastasis, yaitu menyebar dan menyerang jaringan lain sehingga maligna sering disebut sebagai kanker.
- 4) Sel kanker juga tidak berhenti membelah walaupun growth factor tidak tersedia. Hipotesis logisnya adalah bahwa sel-sel kanker tidak membutuhkan growth factors dalam medium kulturnya untuk tumbuh dan membelah. Sel-sel kanker barangkali mampu membentuk growth factors-nya sendiri, atau sel-sel kanker mungkin memiliki abnormalitas dalam jalur signal yang menghubungkannya dengan sistem pengendali siklus sel.

## Tes 3

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Apoptosis adalah kematian sel melalui mekanisme genetik dengan kerusakan/ fragmentasi kromosom atau DNA. Apoptosis dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu apoptosis fisiologis dan apoptosis patologis. Apoptosis fisiologis adalah kematian sel yang diprogram (programmed cell death). Proses kematian sel erat kaitannya dengan enzim:
  - A. Ligase
  - B. Telomerase
  - C. Peroksidase
  - D. Polimerase
  
- 2) Tingkah laku abnormal dari sel kanker dapat memberikan dampak yang buruk di dalam tubuh. Persoalannya berawal ketika sel tunggal dalam suatu jaringan mengalami transformasi yaitu sebuah proses yang mengubah sel normal menjadi sel kanker. Jika sel-sel abnormal ini tetap berada pada tempatnya maka gumpalan ini disebut..... Sebagian besar benign tumor tidak menyebabkan masalah serius dan dapat diangkat secara menyeluruh melalui pembedahan.
  - A. Benign tumor
  - B. Malignant tumor
  - C. Apoptosis
  - D. Proliferasi
  
- 3) Growth factor adalah suatu protein yang dilepaskan oleh sel-sel tertentu yang menstimulasi sel-sel lain untuk membelah. Tipe sel yang berbeda akan memberikan respon yang spesifik terhadap growth factor tertentu atau kombinasi dari growth factors. Sebagai contoh adalah platelet-derived growth factor (PDGF), yang dihasilkan oleh fragmen sel darah yang disebut:
  - A. Sel darah merah
  - B. Sel darah putih
  - C. Plasma darah
  - D. Keping darah

- 4) Terdapat beberapa antara sel normal dan sel kanker yang merefleksikan kekacauan dalam siklus selnya. Jika sel kanker berhenti membelah, sel kanker melakukannya secara random dalam siklus sel. Hampir semua sel normal mamalia tumbuh dalam kultur dan membelah sebanyak ..... sebelum akhirnya berhenti membelah, tua, dan mati.
- A. 10 - 20 kali
  - B. 20 - 30 kali
  - C. 20 - 50 kali
  - D. 30 - 40 kali
- 5) Kanker dapat terjadi dalam berbagai jenis sel, metastase sel kanker menurut pola tertentu dan biasanya pada jenis jaringan yang sama. Seperti polip selaput lendir usus bermetastasis membentuk karsinoma selaput lendir hidung dan retinoblastoma yang bermetastasis membentuk osteosarcoma di dalam:
- A. Tulang
  - B. Otot
  - C. Sendi
  - D. Saraf

# Kunci Jawaban Tes

## Tes 1

- 1) B
- 2) A
- 3) C
- 4) D
- 5) A

## Tes 2

- 1) D
- 2) B
- 3) A
- 4) C
- 5) D

## Tes 3

- 1) B
- 2) A
- 3) D
- 4) C
- 5) A

# Glosarium

- Siklus sel: fungsi sel yang paling mendasar berupa duplikasi akurat sejumlah besar DNA di dalam kromosom, dan kemudian memisahkan hasil duplikasi tersebut hingga terjadi dua sel baru yang identik.
- Kanker : penyakit akibat pertumbuhan tidak normal dari sel-sel jaringan tubuh yang berubah menjadi sel kanker.
- Uniseluler: makhluk hidup yang terdiri dari satu sel tunggal. Organisme uniselular dapat berupa koloni maupun hidup secara individual.
- Multiseluler: istilah biologi untuk organisme yang mempunyai banyak sel, kontras dengan organisme uniselular yang hanya mempunyai satu sel. Organisme jenis ini biasanya dapat dilihat dengan mata telanjang (kecuali untuk beberapa organisme yang spesifik).
- Mitosis : proses pembagian genom yang telah digandakan oleh sel ke dua sel identik yang dihasilkan oleh pembelahan sel. Mitosis umumnya diikuti sitokinesis yang membagi sitoplasma dan membran sel. Proses ini menghasilkan dua sel anak yang identik, yang memiliki distribusi organel dan komponen sel yang nyaris sama.
- Meiosis: jenis pembelahan sel yang mengurangi jumlah kromosom setengahnya pada sel induk dan menghasilkan empat sel gamet. Proses ini diperlukan untuk memproduksi sel telur dan sperma untuk reproduksi seksual.
- Interfase: tahap pertama dari siklus sel dan merupakan keadaan di mana sel menghabiskan sebagian besar masa hidupnya. Sub fase tertentu dari interfase meliputi tahap gap pertama (G1), sintesis (S) dan fase gap kedua (G2).
- Apoptosis: mekanisme biologi yang merupakan salah satu jenis kematian sel terprogram. Apoptosis digunakan oleh organisme multisel untuk membuang sel yang sudah tidak diperlukan oleh tubuh.
- Proliferasi: siklus sel yang berlangsung kontinu dan berulang (siklik)
- Cyclin dependent kinase (CDK): sub-tipe dari enzim kinase yang berperan dalam siklus sel, transkripsi DNA dan mRNA. CDK memicu fosforilasi pada residu asam amino serina dan treonina yang disebut serina kinase.
- Sitokinesis: bagian dari proses pembelahan sel, yaitu sitoplasma dari satu eukariotik sel membelah menjadi dua sel anak. Pembagian sitoplasma dimulai selama atau setelah tahap akhir dari pembelahan inti dalam mitosis dan meiosis.
- Kariokinesis: Pembagian inti selama siklus sel. Kariokinesis biasanya diikuti oleh sitokinesis.

- Polip: membran mukosa yang mengalami hipertrofi atau radang sehingga ukuran selnya membesar.
- Tumor: sebutan untuk neoplasma atau lesi padat yang terbentuk akibat pertumbuhan sel tubuh yang tidak semestinya, yang mirip dengan simtoma bengkak.
- Metastase: penyebaran kanker dari situs awal ke tempat lain di dalam tubuh (misalnya otak atau hati). Sel kanker dapat melepaskan diri dari tumor utama, masuk ke pembuluh darah, ikut bersirkulasi dalam aliran darah, dan tumbuh di jaringan normal yang jauh dari tumor asalnya.
- Karsinogen: zat yang menyebabkan penyakit kanker. Zat-zat karsinogen menyebabkan kanker dengan mengubah asam deoksiribonukleat (DNA) dalam sel-sel tubuh, dan hal ini mengganggu proses-proses biologis.
- Neoplasma: pertumbuhan abnormal, tetapi bukan kanker yang mungkin terjadi di berbagai bagian tubuh. Kata “neoplasma” berasal dari kata Yunani “neo”, yang berarti baru, dan “plasma”, yang berarti “pembentukan atau penciptaan”, dengan demikian berkaitan dengan pertumbuhan abnormal jaringan baru.
- *Growth factor*: Faktor pertumbuhan (growth factor) adalah ligan yang adalah protein. Ligan (protein) ini berikatan dengan reseptor atau enzim terkait reseptor pada permukaan sel yang menyebabkan bermacam-macam respon seluler seperti proliferasi diferensiasi, survival dan angiogenesis.
- Delesi gen: kehilangan pasangan nukleotida pada gen.
- Mutagen: Agen kimiawi atau fisik yang berinteraksi dengan DNA yang akhirnya menciptakan suatu mutasi.

# Daftar Pustaka

- Alberts, Bruce., et all. 2015. *Molecular Biology of The Cell*. New York, NY: Garland Science, Taylor and Francis Group. Preceded by *Molecular biology of the cell* / Bruce Alberts [and others]. 5th ed. ©2008.
- Campbell NA, dkk. 2000. *Biologi*. Edisi Kelima. Jilid 1. Jakarta: Erlangga. 265-267.
- Lapenna, S., and Giordano, A., 2009, Cell Cycle Kinases as Therapeutic Targets for Cancer, *Nat. Rev. Drug Discov.* 8(7): 547-566.
- Sherr CJ., 1996. Cancer cell cycles., *Science*. Dec 6;274(5293):1672-7
- Waite, G.N., Waite, L.R. 2007. *Applied Cell and Molecular Biology for Engineers* the MCGraw-Hill Companies.
- Harti, Agnes Sri. 2013. *Biologi Medik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Kimball, John W. 1991. *Biologi*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Juwono, Juniarto, A.Z. 2003. *Biologi Sel.*, EGC. Jakarta
- Kimbal, John W. 1994. *Biologi*. Jilid 1, 2, dan 3. Edisi kelima. Jakarta: Erlangga.
- Pai, A.C. 1987. *Dasar – dasar genetika*. Ilmu untuk Masyarakat. Edisi kedua. McGraw-Hill, Inc. Alih Bahasa Dr. Muchidin Apandi, Msc, ITB. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Robert, J.A.F., Pembrey, M.E. 1995. *Pengantar Genetika Kedokteran*. Edisi delapan. Alih Bahasa Dr. Hartono, FK Univ – GAMA. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Suryo, Ir. 1994. *Genetika Strata 1*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Walker, Sharon. 2014. *Menyingkap Tabir Bioteknologi-Panduan Belajar Mandiri.*, Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Yatim, W., 2003. *Biologi Modern, Biologi Sel*. PT. Tarsito, Bandung.

# Bab 5

## TINJAUAN UMUM KONSEP DASAR GENETIKA

*Rudina Azimata Rosyidah, S.Si, M.Biomed*  
*Rodhi Hartono, SKP, NS, M.Biomed*

### Pendahuluan

**D**asar-dasar genetika kehidupan yang juga berkaitan dengan ilmu Biologi Sel perlu dipelajari oleh mahasiswa D3 Teknologi Bank Darah. Melalui Mata Kuliah Biologi Sel dan Genetika terutama khusus materi genetika akan dijabarkan lebih mendalam di dalam bab ini dan seterusnya yaitu Bab 5 dan 6 yang meliputi konsep genetika, perkembangan rekayasa genetika dalam bidang kesehatan, dasar-dasar pewarisan Mendel meliputi hukum mendel 1 dan 2 serta hukum non mendel, genetika golongan darah, kromosom, konsep mutasi serta kelainan genetika atau penyakit kelainan darah yang diturunkan dari kromosom tubuh (autosom) seperti thalasemia dan diturunkan dari kromosom sex (gonosom) contohnya hemofilia. Untuk itu mari kita pelajari dengan seksama uraian yang disajikan dalam Bab 5 tentang tinjauan umum konsep dasar genetika. Agar Anda dapat memahami Bab ini dengan mudah dan mampu menjelaskannya dengan baik, maka Bab 5 dibagi menjadi 4 (empat) topik:

1. Topik 1: Konsep Dasar Genetika
2. Topik 2: Konsep Gen, Alel dan Kromosom
3. Topik 3: Teknik Rekayasa Genetika
4. Topik 4: Genetika Golongan Darah Manusia

Isi Bab 5 ini sangat bermanfaat bagi mahasiswa selaku calon tenaga profesional kesehatan di bidang Pelayanan Darah. Dalam tugas tersebut Anda dituntut mampu memerankan diri sebagai teknisi yang mandiri dan profesional serta memiliki konsep dasar pengetahuan yang mendalam tentang genetika manusia sebagai calon pendonor darah yang perlu diketahui bagaimana latar belakang genetiknya, juga penyakit kelainan genetik pada darah yang bisa diwariskan pada keturunannya jika mempunyai sifat carrier. Hal ini juga dikarenakan seorang Teknisi Pelayanan Darah langsung menggunakan manusia sebagai obyek transfusi darah. Harapannya, teknisi dapat fokus dalam bidang pelayanan namun tidak melupakan konsep dasar keilmuan sebagai pondasinya. Biologi sel dan genetika merupakan

ilmu dasar yang wajib dipelajari bagi mahasiswa kesehatan termasuk di Program Studi Diploma III Teknologi Bank Darah.

Setelah Anda mempelajari materi dalam Bab 5 ini dengan sungguh-sungguh maka di akhir proses pembelajaran Anda diharapkan akan dapat menjelaskan tentang definisi ilmu dan perkembangan genetika, bagaimana gen, alel dan kromosom saling berkaitan dalam peranannya untuk pewarisan sifat individu ke keturunannya, beragam teknik rekayasa genetika yang telah dikembangkan hingga saat ini, begitu juga dengan pengantar genetika golongan darah manusia yang sebagai dasar dalam penentuan golongan darah keturunannya. Agar diperoleh hasil yang optimal maka dalam mempelajari Bab 5 ini Anda diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pelajari Topik 1 terlebih dahulu, pahami setiap isi paragrafnya baru kemudian dilanjutkan Topik 2 dan seterusnya, karena Topik 1 merupakan dasar Anda untuk memahami uraian pada Topik 2 dan selanjutnya.
2. Kerjakan Latihan tanpa melihat isi uraian Bab 5.
3. Kerjakan Tes tanpa melihat isi uraian Bab 5.

Ukur hasil pekerjaan Anda, kemudian beri nilai sesuai kunci jawaban yang tersedia. Setiap jawaban benar diberi skor 1 dan setiap jawaban salah tidak diberi skor. Jika jawaban benar Anda hasilnya 80% atau lebih, maka Anda dipandang sudah menguasai materi pada Bab 5.

Semoga dengan membaca bab ini, dapat mengantarkan Anda untuk memahami dan mempelajari keseluruhan tentang konsep Mendel, pewarisan sifat, genetika golongan darah dan penyakit kelainan genetika pada bab selanjutnya.

**SELAMAT BELAJAR SEMOGA SUKSES!**

# Topik 1

## Konsep Dasar Genetika

### A. PENGANTAR GENETIKA

Pernahkah Anda berpikir mengapa setiap makhluk hidup misalnya hewan memiliki bentuk, ciri khas, dan jumlah yang berbeda? Lalu tumbuhan seperti buah-buahan dapat memiliki bentuk, warna, dan sensasi rasa yang berbeda? Atau mengapa seorang anak itu memiliki kemiripan dengan orang tuanya? Mungkin pertanyaan-pertanyaan seperti itu pula yang sering Anda ketahui dan mengapa semua itu dapat terjadi, serta apa yang bertanggung jawab atas semua peristiwa tersebut.

Manusia, hewan, ataupun tumbuhan pada dasarnya memiliki kemampuan menurunkan sifat-sifat atau karakter-karakter fisik tubuhnya kepada keturunannya melalui peristiwa perkawinan. Perkawinan bertujuan untuk mempertahankan kelangsungan jenisnya yang dibawa oleh keturunannya dan kelestarian jenisnya dapat terjaga. Hal tersebut yang menyebabkan munculnya beberapa pertanyaan di atas, baik pada manusia, hewan maupun tumbuhan. Tapi bagaimanakah proses dari peristiwa tersebut, pada bahan ajar ini kita akan coba mempelajari permasalahan-permasalahan tersebut berdasarkan literatur-literatur yang ada.

Pada persepsi di atas, kita berpendapat bahwa pada dasarnya semua makhluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuhan memiliki sebuah kemampuan dasar yang sama yaitu menurunkan sifat-sifat atau karakter-karakter fisik tubuhnya kepada keturunannya melalui peristiwa perkawinan dengan tujuan mempertahankan kelangsungan jenisnya.

Orang-orang terdahulu sempat berpikir bahwa bagian yang bertanggung jawab akan hal penurunan sifat seperti yang kita bahas di atas adalah darah, kemudian bagaimana menjelaskan mekanisme penurunan sifat tersebut pada tumbuhan yang tidak memiliki darah dan seharusnya manusia yang mengalami transfusi darah dapat berubah sifat-sifat dan karakter fisik tubuhnya karena telah mengalami percampuran darah. Hal ini akan lebih jelas diketahui berdasarkan penemuan-penemuan ilmuwan yang dapat menjelaskan apa yang berperan dalam hal penurunan sifat ini yang terkait dengan bagian penting dari tubuh makhluk hidup.

Ilmu tentang genetika telah mengalami banyak kemajuan sejak tahun 1978 terutama di bidang genetika kedokteran yang menerapkan secara singkat mengenai hal-hal penting tentang dasar-dasar genetika meliputi gen, alel, dan kromosom. Pemahaman tentang

kromosom mendasari tentang bagaimana pewarisan penyakit secara resesif, dominan atau terangkai kelamin. Sehingga ilmu ini perlu dipelajari untuk mengetahui penyebab kelainan genetik pada manusia. Dengan mempelajari sejarah perkembangan genetika, diharapkan mahasiswa Program Studi D3 Teknologi Bank Darah mampu menjelaskan bagaimana munculnya genetika sebagai ilmu baru dan perkembangannya sampai saat ini untuk mempelajari fenomena-fenomena penurunan genetik yang terjadi.

## **B. DEFINISI DAN MANFAAT GENETIKA**

Pengetahuan genetika telah berkembang pesat dalam usaha mengetahui peranan pewarisan sifat di antara organisme. Untuk memahami mekanisme pewarisan sifat dari induk kepada turunannya, perlu diketahui mengenai fakta dan prinsip genetika. Pada kegiatan belajar berikut ini kita akan membahas pengertian genetika dan cara mempelajari genetika. Genetika berasal dari Bahasa Latin **GENOS** yang berarti suku bangsa atau asal usul. Dengan demikian genetika berarti ilmu yang mempelajari bagaimana sifat keturunan (hereditas) yang diwariskan kepada anak cucu, serta variasi yang mungkin timbul di dalamnya. Menurut sumber lainnya, genetika berasal dari Bahasa Yunani **GENNO** yang berarti melahirkan. Dengan demikian genetika adalah ilmu yang mempelajari berbagai aspek yang menyangkut pewarisan sifat dan variasi sifat pada organisme maupun suborganisme (seperti virus dan prion).

Genetika merupakan cabang ilmu dari biologi yang mencoba menjelaskan persamaan dan perbedaan sifat yang diturunkan pada makhluk hidup. Selain itu, genetika juga mencoba menjawab pertanyaan yang berhubungan dengan apa yang diturunkan atau diwariskan dari induk kepada turunannya, bagaimana mekanisme materi genetika itu diturunkan, dan bagaimana peran materi genetika tersebut.

Terkait dengan hal tersebut, hingga saat ini genetika telah banyak menunjukkan manfaat yang besar bagi manusia, khususnya di bidang peternakan, pertanian, kedokteran, dan psikologi. Berikut adalah uraian tentang implementasi dan manfaat genetika pada bidang tersebut dalam kehidupan.

### **1. Genetika di Bidang Penangkaran Hewan dan Tumbuhan**

Manusia sangat dibantu oleh genetika dalam upaya untuk meningkatkan mutu hewan peliharaan dan tanaman budidaya melalui penangkaran (breeding). Manusia telah berhasil memperoleh bibit unggul macam-macam hewan ternak yang mempunyai sifat lebih baik seperti menghasilkan susu lebih banyak, mutu daging yang lebih baik atau yang tahan terhadap penyakit, dan sebagainya. Di bidang pertanian penangkaran dilakukan untuk memperoleh bibit unggul tanaman budidaya yang lebih baik, seperti memiliki sifat buah yang

manis dan tidak berbiji, buah yang tidak cepat busuk, buah yang berdaging tebal, tahan terhadap hama tanaman dan tahan kekeringan. Tanpa penggunaan prinsip-prinsip genetika pada bidang pertanian dalam usaha meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen, lahan yang tersedia saat ini tidak akan mampu mencukupi kebutuhan konsumsi masyarakat yang selalu bertambah.

## 2. Genetika di Bidang Kedokteran

Penerapan prinsip genetika pada manusia berhubungan erat dengan sifat-sifat menurun, terutama penyakit yang dapat diturunkan, seperti di bidang kedokteran telah berhasil mendiagnosis, mencegah, dan bahkan mencoba mengobati penyakit tersebut. Penyuluhan perkawinan telah banyak berjasa dalam memperkecil kemungkinan bertambahnya individu memperoleh penyakit keturunan dari suatu perkawinan di mana salah satu pasangannya memiliki kelainan atau penyakit keturunan, yang dapat menimbulkan kematian pada turunannya.

Selain manfaat dalam pemberdayaan hewan dan tumbuhan tentu juga sangat penting manfaat mempelajari genetika manusia. Genetika manusia (Human Genetics) perlu dipelajari untuk:

- a. Agar kita dapat mengetahui sifat-sifat keturunan kita sendiri, serta setiap makhluk hidup di lingkungan kita.
- b. Menjajagi sifat keturunan seseorang, misalnya golongan darah, yang kemungkinan diperlukan dalam penelitian warisan harta dan kriminalitas.
- c. Mengetahui kelainan atau penyakit keturunan serta usaha untuk menanggulungnya.

Prinsip genetika perlu dikuasai untuk mempelajari sifat kejiwaan atau persarafan seseorang yang ditentukan oleh sifat keturunan, misalnya kelebihan satu jenis kromosom yang ada hubungannya dengan kelainan jiwa, bersifat asosial, dan kriminal. Hal ini dicontohkan dengan adanya istilah penyakit Sindrom pada kelainan kromosom seperti Sindrom Down, Sindrom Turner, Sindrom Klinefelter, dll.

Bagian yang paling utama dalam kehidupan adalah kemampuan suatu organisme memproduksi dirinya sendiri. Hanya harimau yang dapat memproduksi harimau, demikian juga hanya padi yang dapat memproduksi padi. Keturunan akan sangat mirip dengan orang tuanya dibandingkan antar individu dalam satu jenis. Transmisi sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya disebut pewarisan (inheritance) atau keturunan (heredity). Kemiripan dalam keturunan dapat dijumpai adanya variasi yang menunjukkan perbedaan tertentu dengan orang tuanya. Observasi tentang proses turun-temurun ini telah dilakukan dalam jangka waktu yang sangat lama, bahkan ribuan tahun pada saat manusia mengembangbiakkan

tumbuhan maupun hewan. Mekanisme keturunan dan variasinya tidak diperhatikan oleh para ahli biologi sampai berkembangnya genetika.

### C. CARA MEMPELAJARI GENETIKA

Dalam mempelajari penurunan sifat dari induk kepada turunannya, terdapat beberapa cara, antara lain sebagai berikut:

#### 1. Percobaan Penangkaran (*Breeding*)

Percobaan ini meliputi perkawinan silang antar organisme yang memiliki sifat berbeda, kemudian diikuti dengan tabulasi turunan yang dihasilkan dan mencoba menganalisisnya untuk dapat menentukan pola penurunan sifat yang terjadi. Objek percobaan biasanya menggunakan hewan atau tumbuhan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan apabila kita akan memilih organisme sebagai bahan percobaan, antara lain berikut ini:

- a. Mempunyai daur hidup pendek
- b. Mempunyai turunan yang cukup banyak
- c. Mempunyai variasi sifat
- d. Mudah dilakukan

##### *a. Mempunyai daur hidup pendek*

Seseorang akan memperoleh sedikit keterangan tentang penurunan sifat apabila mempergunakan gajah sebagai hewan percobaan karena daur hidup gajah cukup lama sehingga memerlukan waktu bertahun-tahun untuk mengetahui pewarisan sifatnya. Berbeda apabila kita mempergunakan tikus, yang sudah siap untuk kawin setelah enam minggu sejak kelahirannya. Sehingga dipilih hewan yang berdaur hidup pendek untuk mempelajari genetika.

##### *b. Mempunyai turunan yang cukup banyak*

Untuk menganalisis hasil turunan dari suatu perkawinan silang diperlukan analisis statistik. Hal tersebut dapat dilaksanakan dengan baik apabila tersedia turunan yang relatif banyak, agar memperoleh hasil yang cukup berarti dan mudah diamati.

##### *c. Mempunyai variasi sifat*

Dalam upaya menyelidiki pewarisan sifat bulu hitam tikus, tidak mungkin melakukan persilangan menggunakan tikus yang berbulu hitam semua. Sehingga bisa menggunakan tikus yang berbulu hitam dan putih atau bermata merah dan putih. Begitu juga dengan kacang kapri ada yang berwarna merah atau putih, ada yang bijinya kisut ataupun licin. Artinya, sebaiknya

organisme yang digunakan dalam penangkaran mempunyai banyak sifat. Variasi sifat inilah yang diamati dan dipelajari dalam pewarisan sifat individu.

*d. Mudah dilakukan*

Syarat ini merupakan hal yang perlu dipertimbangkan jika menggunakan hewan sebagai percobaan, di mana faktor makanan dan tempat pemeliharaan menjadi masalah. Pada umumnya, pilihan jatuh pada hewan-hewan kecil sebagai bahan percobaan. Tikus telah banyak dipilih sebagai hewan percobaan karena memenuhi persyaratan tersebut. Selain itu, lalat buah (*Drosophila melanogaster*) telah banyak dipilih sebagai hewan percobaan yang memenuhi keempat persyaratan tersebut di atas. Lalat memiliki mata yang beraneka warna, begitu pula bentuk sayap dan bulu pada tubuhnya. Makanan dan pemeliharaannya pun cukup sederhana sehingga mempermudah dalam proses pengamatan dan mendapatkan hasil persilangannya.

## **2. Silsilah Keluarga**

Mempelajari penurunan sifat pada manusia lebih sulit, hal ini berbeda jika dilakukan pada hewan atau tumbuhan. Kita tidak dapat memaksa orang yang berambut keriting kawin dengan yang berambut lurus, demi penelitian penurunan sifat rambut keriting. Apabila memang terjadi perkawinan semacam itu, kita harus menunggu lama untuk mengetahui pola penurunan sifat tersebut kepada anak dan cucu mereka. Dengan mempelajari silsilah keluarga, kita dapat mengetahui pola pewarisan sifat dari orang tua kepada turunannya. Dari catatan yang ada mungkin kita dapat mengetahui pola penurunan sifat, misalnya penyakit buta warna dan haemofilia. Dari sifat yang nampak pada morfologi manusia kita dapat menelusuri penurunan sifat tersebut. Sebagai contoh, warna mata, rambut keriting, letak menempelnya telinga, ibu jari yang dapat melengkung ke belakang, lesung pipit di pipi dan juga golongan darah. Mempelajari pola penurunan sifat dapat pula dilakukan terhadap anak kembar, kembar fraternal (kembar sesaudara, yaitu yang berasal dari zigot yang berbeda) atau kembar identik (yang berasal dari satu zigot).

## **3. Sitologi**

Dengan mempelajari struktur sel, para ahli genetika dapat mempelajari sifat yang diturunkan. Pengamatan tentang sel ini dengan bantuan mikroskop. Kromosom yang terdapat di dalam inti sel merupakan pembawa sifat yang diturunkan dan dapat diketahui bentuk, jumlah, dan sifat-sifatnya. Bentuk dan jumlah kromosom dapat diamati saat terjadinya pembelahan sel, terutama pada tahap metafase melalui pemetaan kromosom (karyotyping) yang akan dijelaskan lebih lanjut di topik selanjutnya. Beberapa pertanyaan sehubungan dengan hasil penangkaran, dapat dijelaskan melalui pengamatan sitologis.

#### **4. Analisis Biokimia**

Melalui analisis biokimia dapat diketahui susunan kimia dari kromosom serta gen yang terdapat pada kromosom. Beberapa pertanyaan seperti mengapa reaksi fisiologis pada tubuh seorang albino berbeda pada orang normal, telah dapat dijawab melalui analisis biokimia. Ternyata pada orang albino tidak dijumpai suatu enzim yang memecah asam amino yang akan menghasilkan pigmen melanin yang membuat rambut hitam, kulit berwarna tidak pucat, dan iris mata hitam. Beberapa analisis biokimia sederhana dalam tubuh juga akan Anda pelajari pada salah satu Mata Kuliah yang diajarkan pada program RPL ini yaitu Biokimia Darah.

### **D. PERKEMBANGAN GENETIKA**

Sejarah Perkembangan Genetika dimulai dari masa sebelum abad XIX hingga semakin pesat di abad ke-20 dengan semakin canggihnya teknologi dan runutannya adalah sebagai berikut:

#### **1. Zaman Pre Mendel (sebelum abad XIX)**

Bangsa Babylonia (6000 Tahun lalu), telah menyusun silsilah kuda untuk memperbaiki keturunannya. Sedangkan bangsa Cina (beberapa abad SM), melakukan seleksi terhadap benih-benih padi untuk mencari sifat unggul dari tanaman tersebut. Di Amerika dan Eropa (ribuan tahun lalu), orang telah melakukan seleksi dan penyerbukan silang terhadap gandum dan jagung yang asalnya adalah rumput liar.

#### **2. Zaman Mendel (1822-1884)**

Ditandai dengan waktu Gregor Mendel melakukan percobaan persilangan pada tanaman ercis (*Pisum Sativum*). Mendel ternyata berhasil mengamati sesuatu, berupa macam sifat keturunan (karakter) yang dapat diwariskan dan menduga bahwa suatu bagian dari sel bertanggung jawab atas sifat yang diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Mendel juga berhasil membuat perhitungan matematika tentang sifat genetis karakter yang ditampilkan. Faktor genetis ini kemudian disebut sebagai determinan/faktor. Maka dengan keberhasilannya tersebut, Gregor Mendel dinobatkan sebagai BAPAK GENETIKA.

#### **3. Zaman Post Mendel (setelah tahun 1900)**

Setelah Mendel berhasil dengan percobaan-percobaannya, beberapa tahun kemudian sepeninggal Mendel beberapa ahli meneruskan karya Mendel tersebut. Zaman ini di tandai dengan ditemukannya karya Mendel oleh:

- a. Hugo De Vries (Belanda)
- b. Carls Correns (Jerman)
- c. Erich Von Tshcemak (Austria)

Berkaitan dengan penelitian yang berhubungan dengan genetika, beberapa ahli yang telah melakukan penelitian di antaranya:

- a. *Bateson & Punnet (1861-1926)*. Pada tahun 1907 melakukan percobaan pada ayam untuk membuktikan apakah percobaan Mendel berlaku pada hewan. Mereka menemukan adanya sifat-sifat yang menyimpang dari matematika Mendel. Selain itu juga menemukan juga adanya interaksi antara gen dalam menumbuhkan suatu variasi.
- b. *Friedrich Miescher (1868)*. Ahli ini menemukan senyawa kimia yang berasal dari inti sel.
- c. *Albrecht Kossel (1879)*. Ahli ini menemukan asam nukleat.
- d. *Walther Flemming (1882)*. Ahli ini menemukan kromosom adalah bagian dari sel.
- e. *Eduard-Joseph-Louis-Marie Van Beneden & Boveri (1887)*. Mereka mengatakan bahwa kromosom dalam nukleus merupakan pembawa bahan genetis dan suatu jasad memiliki jumlah kromosom tertentu.
- f. *Flemming & Roux*. Mereka mengamati proses pembelahan sel somatik yang kemudian diberi nama MITOSIS dan MEIOSIS.
- g. *Weissmann*. Ahli ini mengatakan bahwa kromosom membagi dua pada waktu pembelahan sel yakni dalam pembentukan gamet/meiosis.
- h. *Walter Stanborough Sutton (1902)*. Ahli ini mengumumkan adanya kesejajaran antara tingkah laku kromosom ketika sel sedang membelah dengan segregasi bahan genetis penemuan Mendel, juga tentang teori bahwa kromosom berpasangan.
- i. *Garrod (1909)*. Ahli ini menemukan banyak penyakit bawaan disebabkan keabnormalan kegiatan enzim, sedangkan enzim itu diproduksi oleh gen.
- j. *Thomas Hunt Morgan (1910)*. Ahli ini mengatakan gen merupakan unit terkecil bahan genetis (istilah gen diperkenalkan oleh Johansen) dan bahan pembawa sifat adalah gen terdapat banyak dalam satu kromosom, dengan kata lain gen-gen berangkai. Bahan genetis dapat mengalami perubahan. Perubahan genetis yang bukan karena pengaruh hibrid ini disebut mutasi.
- k. *Ingram (1956)*. Ahli ini mengatakan terdapat perbedaan hemoglobin normal dengan abnormal yang penyebabnya adalah karena terdapat perbedaan pada urutan asam-asam amino dalam molekul globinnya. Perbedaan itu terjadi karena adanya mutasi.
- l. *Muller (1927) & Auerbach (1962)*. Mereka menemukan bahwa sinar X dapat menginduksi mutasi. Dalam penelitiannya melihat bahwa mutasi dapat terjadi dengan cara buatan (induksi).

- m. *Fred Griffith (1928)*. Ahli ini menemukan perubahan bentuk dinding sel *Streptococcus pneumoniae*.
- n. *Andrei Nikolaevitch Belozersky (1935)*. Ahli ini berhasil mengisolasi DNA murni.
- o. *George Beadle dan Edward Tatum (1941)*. Mereka menemukan hubungan mutasi dengan kerusakan proses biokimia sel.
- p. *Oswald Theodore Avery, Colin MacLeod, dan Maclyn Mc Carty (1944)*. Mereka menemukan bahwa DNA menyebabkan perubahan bentuk dinding sel *Streptococcus pneumoniae*.
- q. *Alfred Hershey dan Martha Chase (1952)*. Melalui penelitian, mereka menggunakan P dan S radioisotope untuk membuktikan DNA sebagai bahan pembawa informasi genetika.
- r. *James Watson & Francis Crick (1953)-Wilkins (1961)*. Mereka menyatakan bahwa susunan molekul gen adalah DNA, yaitu benang ganda anti parallel dan berbentuk heliks yang saling berkomplemen.
- s. *Francis Crick dan George Gamov (1957)*. Mereka merumuskan “*Central Dogma*” yang menjelaskan cara kerja DNA dalam mengendalikan proses sintesis protein.
- t. *Matthew Meselson dan Frank Stahl (1957)*. Mereka mendemonstrasikan tentang mekanisme replikasi DNA.
- u. *Nirenberg (1961)*. Ahli ini menyusun kode genetis yang menentukan urutan-urutan asam amino dalam sintesis protein, dan mengetahui gen bekerja menumbuhkan suatu karakter lewat sintesis protein dalam tubuh.

Berdasarkan sejarah perkembangan genetika di atas, terkait dengan penemuan-penemuan ilmuwan yang dapat menjelaskan apa yang berperan dalam hal penurunan sifat yang diwariskan kepada keturunannya berkaitan dengan bagian penting dari tubuh makhluk hidup itu sendiri. Sebelumnya jika dirunut dari sejarah pada Zaman Mendel (1822-1884), yaitu Gregor Johan Mendel, seorang pastor dari Austria yang dikukuhkan sebagai BAPAK GENETIKA memiliki sebuah pemikiran bahwa dalam tubuh makhluk hidup baik manusia, hewan dan tumbuhan terdapat suatu hal atau suatu bagian yang bertanggung jawab terhadap peristiwa menurunnya sifat atau karakter fisik induk kepada keturunannya.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.1**

Gregor Johan Mendel

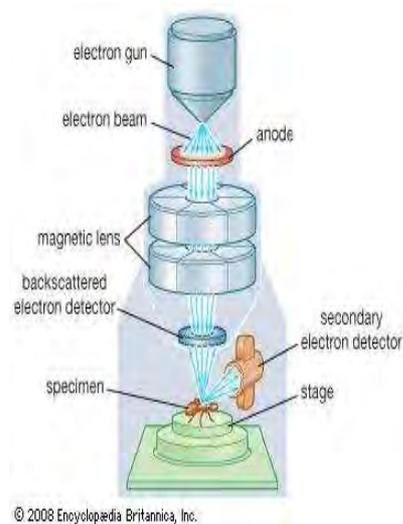
Dalam pembuktian dugaan atau hipotesanya tersebut, beliau melakukan sebuah percobaan dengan menggunakan Kacang Ercis (mungkin kita di Indonesia lebih mengenal kacang tersebut dengan kacang polong) yang memiliki nama ilmiah *Pisum sativum* L dengan cara melakukan perkawinan silang (pembastaran) antara individu bergalur murni dengan sesamanya yang juga bergalur murni. Perkawinan silang kedua tumbuhan yang bergalur tersebut bertujuan untuk memudahkan pengamatan tentang proses penurunan sifat yang terjadi pada makhluk hidup khususnya pada tumbuhan.

Kacang ercis (*Pisum sativum* L) dipilih mewakili keseluruhan makhluk hidup dalam percobaan Mendel dikarenakan bahwa kacang ercis memiliki 7 (tujuh) sifat beda dari setiap penununjukkan karakter yang dibawanya, antara lain sebagai berikut:

- a. Warna kulit biji, antara putih dan ungu
- b. Warna biji, antara hijau dan kuning
- c. Bentuk biji, antara bulat dan keriput
- d. Warna polong, antara hijau dan kuning
- e. Bentuk polong, antara bulat dan bergelombang
- f. Tinggi batang, antara tinggi dan pendek
- g. Letak bunga, antara di ketiak (aksial) dan di ujung (terminal)

Kembali ke percobaan Mendel, dalam upaya pembuktian hipotesanya Mendel melakukan percobaan dengan melakukan persilangan antara tanaman ercis yang berkarakter fisik tinggi dengan tanaman ercis berkarakter fisik rendah, dan semua indukan bergalur murni. Pada anakan dari hasil persilangan pertama diperoleh anakan dengan karakter semua

memiliki batang tinggi, kemudian anakan pertama disilangkan dengan sesamanya dan diperoleh hasil pada pembastaran kedua anakan dengan karakter 3 (tiga) tanaman tinggi dan 1 (satu) tanaman rendah. Dari hasil percobaan tersebut, Mendel berpendapat bahwa terdapat faktor dalam (internal) dari makhluk hidup yang mengatur mekanisme penurunan sifat dari induk kepada keturunannya. Pada waktu itu, Mendel hanya menyebutkan terdapat faktor dalam (internal) tanpa menyebutkan secara spesifik faktor yang bertanggung jawab langsung terhadap mekanisme tersebut. Hal tersebut dikarenakan teknologi yang dibutuhkan pada waktu tersebut belum tersedia. Hingga sampai abad ke 20, pertanyaan tentang bagian yang bertanggung jawab terhadap peristiwa pewarisan sifat dan karakter fisik dari makhluk hidup ini belum terjawab, sampai akhirnya ditemukan Mikroskop Elektron, yaitu sebuah mikroskop yang menggunakan elektron sebagai berkas yang dapat membesarkan bayangan objek yang dikenainya menjadi jutaan kali lipat dari ukurannya semula. Mikroskop elektron memang diperlukan dalam pengamatan bagian yang bertanggung jawab terhadap penurunan sifat dan karakter fisik makhluk hidup.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.2**

Mikroskop Elektron

Setelah perkembangan teknologi pada abad ke 20, banyak ilmu juga ikut berkembang termasuk penelitian atas hipotesa Mendel mengenai bagian yang terdapat dalam tubuh makhluk hidup yang bertanggung jawab terhadap peristiwa pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya pada peristiwa perkawinan. Selanjutnya nanti pada bab berikutnya akan dijabarkan mengenai hukum tentang pewarisan sifat yaitu Hukum Mendel 1 dan 2, juga

Hukum Non Mendel. Berdasarkan hasil penemuan-penemuan terbaru, oleh Hugo de Vries mengatakan “**pangen**” untuk mengacu pada faktor internal yang dikatakan Mendel, hal tersebut terdapat dalam buku Hugo yang berjudul Intracellular Pangenesis (terbit 1889). Dua puluh tahun kemudian Wilhelm Johannsen meringkasnya menjadi sebutan Gen. Dan pada tahun 1910, Thomas Hunt Morgan menyelesaikan serangkaian penelitian tersebut dengan menunjukkan letak gen, yaitu terletak pada kromosom. Semenjak itu, terjadi perkembangan yang sangat pesat terkait masalah gen tersebut. Pembelajaran tentang Gen, Alel, dan Kromosom akan didapatkan pada materi di topik selanjutnya.

## Latihan

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

- 1) Buatlah ringkasan sejarah perkembangan genetika dengan menggunakan tabel di bawah ini:

Ilmuwan	Tahun Penemuan	Teori yang dicetuskan	Keterangan

- 2) Untuk dapat memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!
- Mengapa Anda perlu mempelajari genetika manusia?
  - Jelaskan tahap sejarah perkembangan genetika dari masa ke masa!
  - Jelaskan bagian apa dari tubuh makhluk hidup yang berperan dalam pewarisan sifat keturunan!

## Petunjuk Jawaban Latihan

- Untuk dapat membuat ringkasan sejarah perkembangan genetika Anda harus mempelajari materi di atas dengan baik.
- Untuk dapat mengerjakan soal nomor 2 ikuti petunjuk di bawah ini.
  - Anda dapat memperhatikan materi tentang definisi dan manfaat genetika
  - Anda dapat memperhatikan tentang sejarah perkembangan genetika
  - Anda dapat memperhatikan tentang sejarah perkembangan genetika setelah penemuan mikroskop elektron

## Ringkasan

- 1) Manusia, hewan ataupun tumbuhan pada dasarnya memiliki kemampuan menurunkan sifat-sifat atau karakter-karakter fisik tubuhnya kepada keturunannya melalui peristiwa perkawinan.
- 2) Genetika adalah ilmu yang mempelajari berbagai aspek yang menyangkut pewarisan sifat dan variasi sifat pada organisme maupun suborganisme (seperti virus dan prion).
- 3) Gregor Johan Mendel, seorang pastor dari Austria yang dikukuhkan sebagai BAPAK GENETIKA memiliki sebuah pemikiran bahwa dalam tubuh makhluk hidup baik manusia, hewan dan tumbuhan terdapat suatu hal atau suatu bagian yang bertanggung jawab terhadap peristiwa menurunnya sifat atau karakter fisik induk kepada keturunannya.
- 4) Manfaat mempelajari genetika adalah agar kita dapat mengetahui sifat – sifat keturunan kita sendiri, bisa menjajagi sifat keturunan seseorang, misalnya golongan darah, dan juga mengetahui kelainan/penyakit keturunan serta usaha untuk menanggulunginya.
- 5) Ilmu tentang genetika telah mengalami banyak kemajuan sejak tahun 1978 terutama di bidang genetika kedokteran yang menerapkan secara singkat mengenai hal-hal penting tentang dasar-dasar genetika.
- 6) Serangkaian penemuan ilmuwan menggambarkan perkembangan tentang genetika, hingga abad ke 20 pertanyaan tentang bagian yang bertanggung jawab terhadap peristiwa pewarisan sifat dan karakter fisik dari makhluk hidup ini belum terjawab, sampai akhirnya ditemukan Mikroskop Elektron dan penelitian yang menunjukkan bahwa gen terletak pada kromosom.

## Tes 1

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat!**

- 1) Ilmuwan di abad ke-19 yang disebut sebagai Bapak Genetika dengan eksperimen yang dilakukannya tentang pewarisan sifat adalah ...
  - A. Friedrich Miescher
  - B. Thomas Hunt Morgan
  - C. Gregor Johan Mendel
  - D. James Watson
- 2) Genetika adalah suatu cabang ilmu biologi yang menjelaskan hal-hal berikut, kecuali ...
  - A. apa yang diturunkan/diwariskan dari induk kepada turunannya
  - B. persamaan sifat turunan yang dimiliki oleh suatu makhluk hidup

- C. bagaimana materi genetika diturunkan
  - D. bagaimana cara kerja materi genetika pada individu
- 3) Pencarian bibit unggul di bidang pertanian dan peternakan pada hakikatnya adalah bertujuan untuk ....
- A. mencari jenis unggul sapi perah
  - B. mencegah tanaman padi terserang hama
  - C. memperoleh jenis ayam petelur yang baik
  - D. memenuhi kebutuhan pangan manusia
- 4) Tujuan dari percobaan penangkaran (breeding) pada tanaman atau hewan adalah untuk
- A. menentukan penurunan sifat dari induk kepada turunannya
  - B. memperoleh sifat-sifat keturunan yang berbeda dengan induk
  - C. menganalisis sifat-sifat keturunan yang diperoleh
  - D. mengetahui silsilah keluarga suatu hewan percobaan
- 5) Apabila kita akan melakukan percobaan penangkaran pada hewan maka kita akan memilih hewan yang memiliki syarat sebagai berikut ....
- A. mempunyai variasi sifat dan turunannya hanya sedikit
  - B. mempunyai arti ekonomi dan tidak sukar melakukannya
  - C. mudah dipelihara dan daur hidup relatif singkat
  - D. mempunyai tubuh yang kecil dan sifat yang sama
- 6) *Drosophila* banyak dipergunakan sebagai hewan percobaan penangkaran. Hal-hal apa yang menjadi pertimbangan atas pemilihan hewan tersebut?
- A. Waktu yang diperlukan sejak telur menetas sampai dengan siap untuk kawin relatif lama.
  - B. Dari sepasang *Drosophila* dapat diperoleh anak dalam jumlah yang sedikit.
  - C. Makanan dan pemeliharaannya cukup sulit.
  - D. Sifat yang dimilikinya sangat beraneka ragam dan mudah dibedakan.
- 7) Mempelajari sifat menurun pada manusia dilakukan melalui cara ....
- A. memperhatikan sifat-sifat yang dimiliki oleh kedua induk (orang tua)
  - B. mencatat golongan darah yang dimiliki oleh setiap anak di suatu sekolah
  - C. menelusuri sifat yang dimiliki oleh suatu keluarga secara turun menurun
  - D. membandingkan sifat yang dimiliki oleh anak-anak dari suatu keluarga

- 8) Pengamatan sel secara sitologis dapat diperoleh data tentang ....
- A. jumlah dan susunan kimia kromosom suatu individu
  - B. bentuk dan jumlah kromosom sel tubuh
  - C. sifat fisik dan kimia suatu pasangan kromosom
  - D. ukuran dan bentuk sel badan dari suatu individu
- 9) Kelainan fisiologis yang diturunkan pada manusia ternyata dapat diketahui oleh ahli genetika. Cara apa yang dipergunakannya?
- A. Penelitian sitologi sejak kromosom
  - B. Penangkaran (breeding) anak kembar
  - C. Analisis biokimia kromosom
  - D. Penentuan golongan darah
- 10) Sejarah perkembangan genetika setelah ditemukannya mikroskop elektron dan pada tahun 1910, akhirnya Thomas Hunt Morgan dapat menyelesaikan serangkaian penelitiannya dengan menunjukkan bahwa tepatnya gen terletak pada ...
- A. Sel
  - B. Kromosom
  - C. Mitokondria
  - D. Sitoplasma

# Topik 2

## Konsep Gen, Alel dan Kromosom

### A. DEFINISI GEN, ALEL DAN KROMOSOM

Pada Topik 2 dalam Bab 5 ini, Anda akan mempelajari tentang konsep gen, alel, dan kromosom. Setelah ditemukannya mikroskop elektron pada abad ke 20, perkembangan pengetahuan yang berkaitan dengan gen atau lebih dikenal sebagai materi genetik menjadi berkembang sangat pesat. Penerapan serta pengaplikasiannya pada berbagai jenis ilmu terapan juga semakin pesat. Sebagian besar orang mengetahui bahwa cara mereka memandang aspek-aspek tertentu dalam kesehatannya, ditentukan oleh gen-gen mereka. Meskipun demikian, sebagian besar dari kita harus benar-benar memperhatikan definisi suatu gen. Anda misalnya sebagai sang perekayasa biologis, akan melakukan manipulasi gen sehingga Anda perlu memahami bahwa gen adalah kode DNA untuk protein spesifik. Di dalam suatu spesies, Anda akan menemukan bahwa kode yang sama untuk protein yang sama pada titik yang sama dan pada kromosom yang sama untuk setiap individu yang terdapat di dalam spesies tersebut. Untuk kode genetik tersedia sama untuk semua makhluk hidup dari spesies alga sampai gorilla. Urutan basa organik tertentu pada satu untai DNA mengkode untuk molekul yang sama apapun jenis spesiesnya.

Gen tertentu terdapat di lokasi yang dapat diprediksi pada kromosom yang disebut dengan lokus. Ada perbedaan versi gen tertentu di dalam suatu populasi, yang disebut dengan alel. Sebagai contoh, ada tiga alel untuk tipe darah: A, B atau O, namun hanya terdapat dua titik (lokus) tempat alel-alel ini berada yaitu satu pada kromosom yang Anda dapatkan dari ibu, dan satunya pada kromosom yang didapatkan dari ayah. Mari kita pelajari secara bertahap tentang konsep gen, alel, dan kromosom dimulai dari definisi masing-masing untuk mempermudah pemahaman Anda pada topik ini.

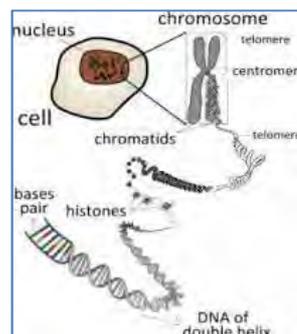
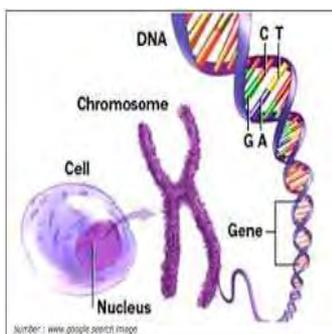
#### 1. Gen

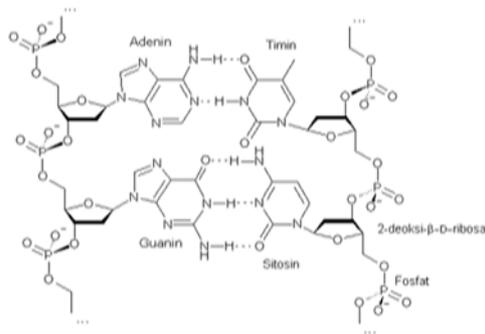
Gen adalah unit terkecil dari bahan sifat menurun. Ukuran gen diperkirakan sekitar 4-50  $\mu$ . Istilah gen pertama kali diperkenalkan oleh W. Johansen (1909), sebagai pengganti istilah faktor keturunan atau elemen yang dikemukakan oleh Bapak Genetika Gregor Mendel. Gregor Mendel telah berasumsi tentang adanya suatu bahan yang terkait dengan suatu sifat atau karakter yang dapat diwariskan dan menyebutnya sebagai 'faktor'. Pada 1910, Thomas Hunt Morgan menunjukkan bahwa gen terletak di dalam kromosom. Selanjutnya, terjadi 'perlombaan' seru untuk menemukan substansi yang merupakan gen. Banyak penghargaan

Nobel yang kemudian jatuh pada peneliti yang terlibat dalam subjek ini. Pada pandangan modern, gen didefinisikan sebagai suatu lokasi tertentu pada genom yang berhubungan dengan pewarisan sifat dan dapat dihubungkan dengan fungsi sebagai regulator (pengendali), sasaran transkripsi, atau peran-peran fungsional lainnya. Bentuk fisiknya adalah urutan DNA yang menyandi suatu protein, polipeptida, atau seuntai RNA yang memiliki fungsi bagi organisme yang memilikinya.

Gen berfungsi menumbuhkan dan mengatur berbagai jenis karakter dalam tubuh baik fisik maupun psikis. Pengaturan karakteristik ini melalui proses sintesa protein seperti; kulit dibentuk oleh keratin, otot dari aktin dan miosin, darah dari: Hb, globulin, dan fibrinogen, jaringan pengikat dari kolagen dan elastin, tulang dari Ossein, serta tulang rawan dari kondrin.

Gen sebagai faktor keturunan tersimpan di dalam kromosom, yaitu di dalam manik-manik yang disebut kromomer atau nukleosom dari kromonema. Morgan seorang ahli genetika dari Amerika Serikat menyebut kromomer itu dengan lokus. Lokus adalah lokasi yang diperuntukkan bagi gen dalam kromosom. Jadi menurut Morgan, gen tersebut tersimpan di dalam setiap lokus yang khas dalam kromosom. Gen sebagai zarah yang mengandung satuan informasi genetik dan mengatur sifat-sifat menurun tertentu memenuhi lokus suatu kromosom. Setiap kromosom mengandung banyak gen, sehingga setiap kromosom khususnya di dalam kromonema terdapat deretan lokus. Batas antar lokus yang satu dengan lokus yang lain tidak jelas seperti deretan kotak-kotak. Pada saat itu DNA sudah ditemukan dan diketahui hanya berada pada kromosom (1869), tetapi orang belum menyadari bahwa DNA terkait dengan gen. Melalui penelitian Oswald Avery terhadap bakteri *Pneumococcus* (1943), serta Alfred Hershey dan Martha Chase (publikasi 1953) dengan virus bakteriofag T2, barulah orang mengetahui bahwa DNA adalah bahan genetik. Gen terdiri dari DNA yang diselaputi dan diikat oleh protein. Jadi secara kimia dapat disebut bahwa bahan genetis itu adalah DNA.





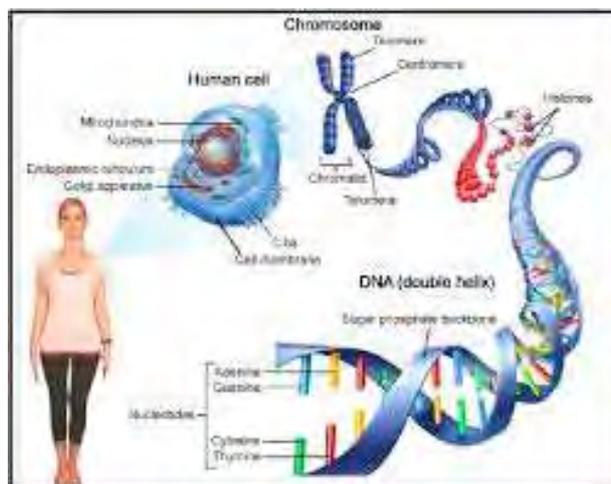
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.3**

Struktur Molekul DNA

Sebagai substansi hereditas, gen mempunyai fungsi sebagai berikut:

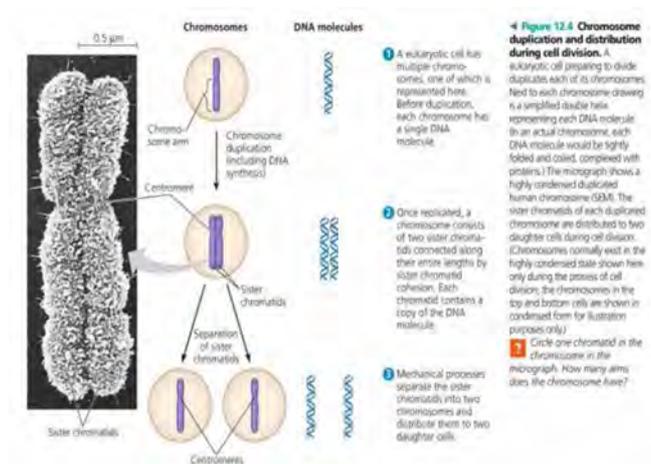
- a. Mengatur perkembangan dan proses metabolisme individu.
- b. Menyampaikan informasi genetis dari generasi ke generasi berikutnya.
- c. Sebagai zarah tersendiri dalam kromosom. Zarah adalah zat terkecil yang tidak dapat dibagi-bagi lagi.
- d. Setiap gen mendapat tempat khusus dalam kromosom.
- e. Gen bersifat antara lain:
- f. Sebagai materi tersendiri yang terdapat dalam kromosom
- g. Mengandung informasi genetika
- h. Dapat menduplikasikan diri pada peristiwa pembelahan sel



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.4**

DNA sebagai Materi Genetik



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.5**

### Duplikasi dan Distribusi Kromosom

Thomas Hunt Morgan adalah ahli genetika dari Amerika Serikat yang menemukan bahwa faktor-faktor keturunan (gen) tersimpan dalam lokus yang khas dalam kromosom. Percobaan untuk hal ini dilakukan pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*) dengan alasan sebagai berikut:

- a. Cepat berkembang biak.
- b. Mudah diperoleh dan dipelihara.
- c. Cepat menjadi dewasa (umur 10 – 14 tahun sudah dewasa).
- d. Lalat betina bertelur banyak.
- e. Hanya memiliki 4 pasang kromosom, sehingga mudah diteliti.

## 2. Alel

Dari sudut pandang genetika klasik, alel (dari bahasa Inggris allele) merupakan bentuk alternatif dari gen dalam kaitan dengan ekspresi suatu sifat (fenotipe). Sebagai ilustrasi, suatu lokus dapat ditempati gen yang mengatur warna kelopak bunga merah (alel untuk bunga merah) dan juga alel untuk warna kelopak bunga putih (alel untuk bunga putih). Pada individu, pasangan alel menentukan genotipe dari individu yang bersangkutan.

Sejalan dengan perkembangan genetika, pengertian alel menjadi lebih luas dan umum. Dalam arti modern, alel adalah berbagai ekspresi alternatif dari gen atau seberkas DNA, tergantung tingkat ekspresi genetik yang diamati. Pada tingkat fenotipe, pengertian alel adalah seperti yang dikemukakan di atas. Pada tingkat enzim (dalam analisis isoenzim), alel

sama dengan isoenzim. Pada tingkat genom, alel merupakan variasi-variasi yang diperoleh pada panjang berkas DNA (polimorfisme DNA).

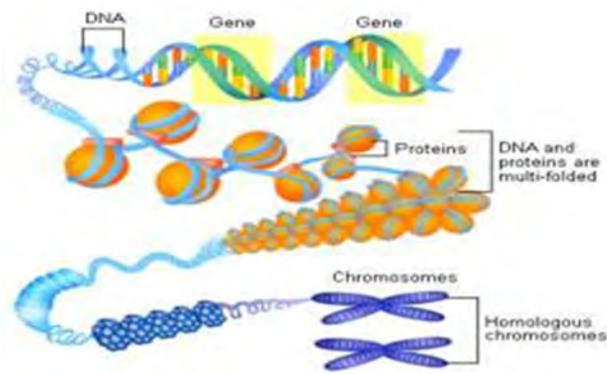
Alel berasal dari kata allelon singkatan dari allelomorf yang artinya bentuk lain. Alel merupakan sepasang gen yang terletak pada lokus yang sama pada kromosom yang homolog, yang bertugas membawa suatu sifat/karakter. Tidak semua gen mempunyai 2 alel ada juga yang lebih dari 2 disebut beralel banyak (alel ganda), misalnya gen yang mengatur protein darah.

- a. Homozygot: alel dengan pasangan kedua gen pada suatu individu sama (simbolnya sama/genotipenya sama)
- b. Heterozygot: alel dengan pasangan kedua gen tidak sama (simbolnya berbeda /genotipenya sama)

### 3. Kromosom

Kromosom merupakan komponen sel yang terdapat dalam inti sel dan mempunyai fungsi dalam pembelahan sel sebagai pembawa sifat yang diturunkan. Dalam sub topik ini akan dibahas tentang bentuk dan susunan kromosom, karena pembahasan lebih lanjut tentang kromosom akan diperdalam dalam biokimia dan genetika kedokteran. Kromosom adalah kromatin yang merapat, memendek dan membesar pada waktu terjadi proses pembelahan dalam inti sel (nucleus), sehingga bagian – bagiannya dapat terlihat dengan jelas di bawah mikroskop biasa. Kromosom berasal dari kata chroma = berwarna, dan soma = badan. Terdapat di dalam plasma nucleus, berupa benda – benda berbentuk lurus seperti batang atau bengkok, dan terdiri dari bahan yang mudah mengikat zat warna.

Istilah kromosom pertama kali diperkenalkan oleh W. Waldeyer pada tahun 1888, walaupun Flemming (1879) telah melihat pembelahan kromosom di dalam inti sel. Ahli yang mula – mula menduga bahwa benda – benda tersebut terlibat dalam mekanisme keturunan ialah Roux (1887) yang melaporkan bahwa banyaknya benda itu di dalam nucleus dari makhluk yang berbeda adalah berlainan, dan jumlahnya tetap selama hidupnya. Sedangkan prinsip-prinsip klasik genetika merupakan pemikiran deduksi dari Gregor Mendel pada tahun 1865 yang banyak diabaikan orang hingga tahun 1902, Walter Sutton dan Theodor Boveri menemukan kesamaan antara perilaku kromosom saat meiosis dengan hukum Mendel dan menarik kesimpulan bahwa kromosom merupakan pembawa gen. Morgan (1903), menemukan fungsi kromosom dalam pemindahan sifat – sifat genetik. Beberapa ahli lainnya seperti Heitz (1935), Kuwanda (1939), Gritter (1940) dan Kauffmann (1948), kemudian menyusul memberi keterangan lebih banyak lagi tentang morfologi kromosom.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.6**

Uraian Materi Kromosom

## B. MORFOLOGI KROMOSOM

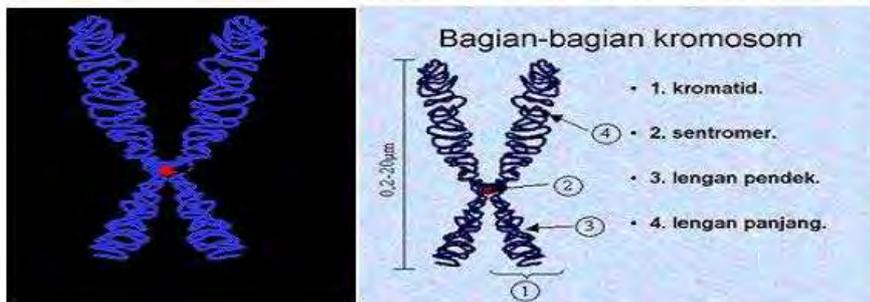
Kromosom berukuran sangat kecil yang bervariasi bagi setiap spesies, dengan panjang berkisar antara 0,2 – 50 mikron, diameter antara 0,2 – 20 mikron dan pada manusia mempunyai panjang 6 mikron, sehingga untuk dapat mengamati bentuk dan susunannya diperlukan cara-cara tertentu. Pada sel dalam stadium interfase, kromosom ini tidak akan tampak sehingga pengamatan dilakukan pada sel dalam stadium metafase dimana kromosom tampak lebih tebal dan bentuknya akan lebih jelas. Kromosom dapat dilihat dengan mudah, apabila menggunakan teknik pewarnaan khusus selama nukleus membelah. Hal ini karena pada saat itu kromosom mengadakan kontraksi sehingga menjadi lebih tebal, dan dapat mengisap zat warna lebih baik. Pada umumnya untuk pemeriksaan kromosom ini digunakan zat warna basis dengan menggunakan metode fuelgen atau dapat pula menggunakan hematoksilin atau acetocarmin. Penggunaan larutan yang bersifat hipotonik akan sangat membantu pengamatan kromosom karena adanya larutan hipotonik ini kromosom akan lebih terpisah-pisah letaknya dan mudah diamati. Pada sel-sel stadium metafase kromosom akan tampak sebagai suatu bangunan seperti batang-batang yang tersebar dalam inti sel.

### 1. Bagian Kromosom

Kromosom yang diamati lebih teliti akan dijumpai bagian-bagian pada satu kromosom yang terdiri dari 2 (dua) bagian:

- a. Sentromer, disebut juga kinetochore, merupakan bagian kepala kromosom yang terletak pada daerah penyempitan primer di antara lengan-lengan kromosom. Fungsinya adalah sebagai tempat berpegangan benang plasma dari gelendong inti (spindle) pada stadium anafase. Sentromer tidak mengandung kromonema dan gen.

- b. Lengan, ialah badan kromosom sendiri. Mengandung kromonema dan gen. Lengan sering memiliki penyempitan sekunder yang di dalamnya mengandung nuclear zone yang penting dalam pembentukan nucleolus. Lengan memiliki 3 daerah:
- 1) Selaput, ialah lapisan tipis yang menyelimuti badan kromosom.
  - 2) Kandung/matriks, mengisi seluruh lengan, terdiri dari cairan bening.
  - 3) Kromonema, ialah benang halus berpilin-pilin yang terendam dalam kandung, dan berasal dari kromonema kromatin sendiri. Di dalam kromonema terdapat kromomer (pada manusia tidak jelas).



**Gambar : Kromosom.**

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

(Sumber: Image.google.co.id)

### Gambar 5.7

#### Bagian-bagian Kromosom

## 2. Bagian Lengan Kromosom

Berdasarkan perbedaan dalam hal banyak sedikitnya penggunaan zat warna pada teknik mikroskopik, maka oleh E. Hertz (1928) kromatin (yaitu kromosom yang sedang tidak mengalami proses pembelahan) dibedakan atas:

- a. Heterokromatin, ialah daerah kromatin yang relatif lebih banyak dan lebih mudah mengisap zat warna dibandingkan dengan bagian lain dari lengan.
- b. Eukromatin, ialah daerah kromatin yang terang dan mengandung gen-gen yang sedang aktif.

Berdasarkan letak sentromer, dan melihat panjang lengannya, maka kromosom dapat dibedakan atas 4 macam:

- a. Metasentris: sentromer terletak median (kira-kira di tengah kromosom), sehingga kromosom terbagi menjadi dua, lengan sama panjang dan mempunyai bentuk seperti huruf V.

- b. Submetasentris: sentromer terletak submedian (ke arah salah satu ujung kromosom), sehingga kromosom terbagi menjadi dua bagian yang tidak sama panjang, lengan yang tidak sama panjang, dan mempunyai bentuk seperti huruf J.
- c. Akrosentris: sentromer terletak subterminal (di dekat ujung kromosom), sehingga kromosom tidak membengkok melainkan tetap lurus seperti batang. Salah satu lengan kromosom sangat pendek, sedang lengan lainnya sangat panjang.
- d. Telosentris: sentromer terletak di ujung kromosom, sehingga kromosom hanya terdiri dari sebuah lengan saja dan berbentuk lurus seperti batang. Kromosom manusia tidak ada yang berbentuk telosentris.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.8**

Bentuk-bentuk Kromosom

### C. TIPE KROMOSOM

Menjelang abad ke-20, banyak peneliti telah mencoba untuk mengetahui jumlah kromosom yang terdapat di dalam nucleus sel tubuh manusia, tetapi selalu menghasilkan data – data yang berbeda karena pada waktu itu teknik pemeriksaan kromosom masih sangat sederhana. Pada tahun 1912, Winiwater menyatakan bahwa di dalam sel tubuh manusia terdapat 47 kromosom. Tetapi kemudian pada tahun 1920 Painter menegaskan penemuannya, bahwa manusia memiliki 48 kromosom. Pendapat ini bertahan sampai 30 tahun lamanya, sampai akhirnya Joe Hin Tjio, seorang ilmuwan Amerika kelahiran Indonesia berhasil membuktikan bahwa kromosom manusia terdiri dari 23 pasang, bukan 24 pasang seperti yang diyakini para ahli genetika sejak lama. Tjio dan Levan pada tahun 1956 berhasil membuktikan melalui teknik pemeriksaan kromosom yang lebih sempurna, bahwa nucleus sel tubuh manusia mengandung 46 kromosom.

Kromosom manusia dibedakan atas 2 tipe:

1. Autosom, ialah kromosom biasa, yang tidak berperan menentukan/mengatur jenis kelamin. Dari 46 kromosom di dalam nucleus sel tubuh manusia, maka yang 44 buah (22 pasang) merupakan autosom.
2. Gonosom, ialah seks kromosom (kromosom kelamin), yang berperan dalam menentukan jenis kelamin. Biasanya terdapat sepasang kromosom yang dapat dibedakan atas Kromosom X dan Kromosom Y.

Pada beberapa hewan, termasuk manusia mempunyai sepasang kromosom seks, yaitu X dan Y. Kromosom ini akan menentukan jenis kelamin masing-masing individu. Ukuran kromosom X dan Y pada manusia tidak sama. Kromosom Y lebih kecil dibandingkan dengan kromosom X. Individu dengan satu kromosom X dan satu kromosom Y (XY) adalah jantan (laki-laki) dan individu dengan kromosom XX adalah betina (perempuan). Pada manusia, laki-laki dan perempuan mempunyai 44 (22 pasang) autosom dan 2 (1 pasang) gonosom.

Suatu organisme dapat tidak mempunyai kromosom seks. Contohnya jenis kelamin pada kebanyakan semut dan lebah ditentukan oleh jumlah kromosom. Organisme betina berkembang dari telur yang dibuahi sehingga bersifat diploid ( $2n$ ), sedangkan organisme jantan berkembang dari telur yang tidak dibuahi (bersifat haploid/ $n$ ).

#### **D. JUMLAH KROMOSOM MAKHLUK HIDUP**

Setiap makhluk hidup memiliki jumlah kromosom yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya tergantung spesiesnya, tetapi satu hal yang pasti bahwa jumlah kromosom dalam setiap selnya selalu tetap. Perubahan jumlah kromosom pada makhluk hidup akan menyebabkan berbagai macam kelainan, baik kelainan dalam pertumbuhan maupun perkembangannya. Banyak dari makhluk hidup tersebut yang memiliki jumlah kromosom yang lebih banyak ataupun yang lebih sedikit dari jumlah kromosom yang dimiliki oleh manusia. Jumlah kromosom pada tiap makhluk hidup sangat bervariasi dari dua sampai ratusan dalam tiap inti selnya. Perbedaan jumlah kromosom ini juga menjadi pembatas akan suatu spesies serta menggambarkan keragaman makhluk hidup yang terdapat di dunia.

Dalam Tabel 5.1 yang disajikan di bawah ini diberikan daftar jumlah kromosom yang dimiliki oleh beberapa makhluk hidup:

**Tabel 5.1**  
**Jenis makhluk hidup dan jumlah kromosomnya**

No.	Jenis makhluk hidup	Jumlah kromosom
1.	Manusia	46
2.	Anjing	78
3.	Ayam	78
4.	Bawang	16
5.	Beras	24
6.	Bintang laut	94
7.	Buncis	22
8.	Cacing tanah	36
9.	Cemara	24
10.	Gandum bir	14
11.	Gandum roti	42
12.	Hidra	32
13.	Ikan mas	94
14.	Jagung	14
15.	Jamur	4
16.	Kacang polong	14
17.	Kalkun	82
18.	Kapang Penicillium	2
19.	Kapas	52
20.	Katak	26
21.	Kecoa	23/24
22.	Keledai	62
23.	Kentang	48
24.	Kera	48
25.	Ketimun	14
26.	Kubis	18
27.	Kucing	38
28.	Kuda	64
29.	Lalat rumah	12
30.	Lobak	18
31.	Merpati	80
32.	Nyamuk	6

No.	Jenis makhluk hidup	Jumlah kromosom
33.	Ragi	34
34.	Sapi	60
35.	Simpanse	48
36.	Tembakau	48
37.	Tikus rumah	40
38.	Tikus sawah	42
39.	Tomat	24
40.	Ulat sutera	56

## E. METODE PEMETAAN KROMOSOM (KARIOTYPE)

Kariotype berasal dari dua kata karyon = inti dan typhos = bentuk. Kariotype adalah susunan kromosom yang berurutan menurut panjang, jumlah dan bentuk dari sel somatis suatu individu. Untuk mempelajari kromosom ini telah digunakan bermacam-macam jaringan, tetapi yang paling umum digunakan adalah kulit, sumsum tulang atau darah perifer. Kromosom berukuran sangat kecil, sehingga untuk dapat mengamati bentuk dan susunannya diperlukan cara-cara tertentu. Pada sel dalam stadium interfase maka kromosom ini tidak akan tampak sehingga pengamatan dilakukan pada sel dalam stadium metafase dimana kromosom tampak lebih tebal dan bentuknya akan lebih jelas. Pada umumnya untuk pemeriksaan kromosom ini digunakan zat warna basis dengan menggunakan metode fuelgen atau dapat pula menggunakan hematoksilin atau acetocarmin. Penggunaan larutan yang bersifat hipotonik akan sangat membantu pengamatan kromosom karena adanya larutan hipotonik ini kromosom akan lebih terpisah-pisah letaknya dan mudah diamati. Pada sel-sel stadium metafase kromosom akan tampak sebagai suatu bangunan seperti batang-batang yang tersebar dalam inti sel.

Penemuan penting dan mutakhir adalah dengan pembuatan kultur sel/jaringan. Pada umumnya pemeriksaan terhadap kromosom ini dilakukan dengan menggunakan kultur sel/jaringan, yaitu kultur fibroblast, sumsum tulang, kulit dan sel-sel eritrosit. Bahan untuk penelitian pengamatan kromosom salah satunya adalah menggunakan sampel darah vena. Dalam pembuatan kultur sel/jaringan yang dilakukan adalah:

1. Darah vena diambil sebanyak 5 cc.
2. Sel-sel darah dipisahkan dan dicampur dengan medium kultur yang mengandung zat phytohaemaglutinin (PHA): Sel-sel darah merah menggumpal, dan sel-sel darah putih dapat terpisah, sel-sel darah putih terpacu untuk membelah.
3. Sel-sel darah putih dipelihara dalam keadaan steril pada suhu 37 °C kurang lebih selama 3 hari.

4. Setelah terjadi pembelahan, dibutuhkan zat kolkhisin sedikit, sehingga pembelahan terhenti pada stadium metafase (kromosom mengalami kontraksi maksimal dan terlihat jelas).
5. Satu jam kemudian ditambah larutan hipotonik salin, sehingga sel-sel membesar dan kromosom-kromosom menyebar letaknya pada satu bidang datar.
6. Kromosom-kromosom dapat dilihat di bawah mikroskop dan dipotret dengan sebuah kamera yang dipasang pada mikroskop dan hasil foto diperbesar sehingga masing-masing kromosom dapat dilihat dengan jelas dan terpisah satu sama lain.
7. Kromosom hasil pemotretan kemudian digunting, diatur menurut kelompoknya masing-masing dalam pasangan homolog, mulai dari yang paling besar sampai ke yang paling kecil.
8. Terdapat 22 pasang autosom dan sepasang kromosom kelamin.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.9**

Tahapan Pemetaan Kromosom (Kariotype)

Dari hasil pertemuan di Denver pada tahun 1960, dikemukakan suatu standar untuk melakukan karyotyping pada kromosom manusia berdasarkan panjang kromosom dan letak sentromernya. Tiap autosom diberi nomor 1 sampai dengan 22, sedangkan seks kromosom diberi nama X dan Y. Seringkali sulit untuk membedakan kromosom satu dengan yang lain. Karenanya kromosom dikelompokkan menjadi kelompok A – G berdasarkan ukuran kromosom serta letak dari sentromer. Pada pertemuan di London tahun 1963, kromosom-kromosom yang sejenis dikelompokkan menjadi satu kelompok kemudian Patau mengusulkan pemberian nama dengan huruf besar untuk tiap kelompok.

Sedangkan untuk membedakan kromosom perempuan dan laki-laki terlihat pada kromosom X dan Y. Pada perempuan kromosom ke 23 merupakan pasangan XX dan laki-laki XY. Kromosom-X mirip dengan kromosom – kromosom pada kelompok C, dan kromosom-Y mirip dengan kromosom –kromosom dari kelompok G. Setiap spesies makhluk hidup memiliki bentuk dan jumlah kromosom yang berbeda, dengan demikian kariotypenya pun tentu berbeda pula.

**Tabel 5.2**  
**Penggolongan nama kromosom**

Denver	London	Keterangan
No. 1-3	Grup A	Kromosom besar, metasentrik
No. 4-5	Grup B	Kromosom besar, submetasentrik
No. 6-12	Grup C	Kromosom sedang, submetasentrik
No. 13-15	Grup D	Kromosom besar, akrosentrik
No. 16-18	Grup E	Kromosom kecil, 16 metasentrik, 17 dan 18 submetasentrik
No. 19-20	Grup F	Kromosom kecil, metasentrik
No. 21-22	Grup G	Kromosom kecil, akrosentrik
Kromosom X		Masuk grup C
Kromosom Y		Masuk grup G walaupun tidak punya satelit

Peranan kariotype dalam pengamatan sifat keturunan besar sekali. Dengan karyotype dapat diketahui kelainan kromosom pada manusia. Kelainan jumlah kromosom pada manusia akan menyebabkan kelainan dalam pertumbuhan dan perkembangannya sehingga secara anatomis akan dijumpai kelainan tertentu yang biasanya disertai dengan kelainan fungsional. Tanda-tanda atau kelainan yang terjadi akibat kelebihan atau kekurangan jumlah kromosom baik autosom maupun seks kromosom dibahas dalam ilmu kedokteran. Dalam hal menegakkan diagnosa untuk penyakit-penyakit tersebut, peran biologi sel ataupun sitogenetik sangat penting dalam melakukan kariotyping. Pembahasan kelainan jumlah kromosom akan dibahas pada Bab selanjutnya (Bab 6) yang akan lebih mendalam memaparkan tentang beragam kelainan genetika atau penyakit yang diturunkan/dapat diwariskan dari orangtua.

## Latihan

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

- 1) Jelaskan pengertian dari gen, alel, dan kromosom sebagai komponen penting dalam materi genetik organisme!
- 2) Jelaskan bagaimana alur penemuan oleh ilmuwan yang akhirnya ditemukan teori bahwa gen terletak di dalam kromosom!
- 3) Jelaskan bagian-bagian dari kromosom!
- 4) Sebutkan empat macam bentuk kromosom berdasarkan letak sentromernya!
- 5) Bagaimana tahapan pemetaan kromosom (karyotipe) menggunakan sampel darah vena?

## Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal latihan no 1 Anda dapat membaca Bab 5, Topik 2 Bagian A (1, 2, dan 3). Untuk menyelesaikan soal 2 silakan Anda baca kembali Bab 5, Topik 2 bagian A 1. Untuk soal 3 silakan Anda membaca Bab 5, Topik 2 bagian B. Untuk menjawab soal 4 silakan Anda Bab 5, Topik 2 Bagian B. Untuk menjawab soal 5 silakan Anda membaca Bab 5 Topik 2 bagian E.

## Ringkasan

- 1) Gen tertentu terdapat di lokasi yang dapat diprediksi pada kromosom yang disebut dengan lokus. Ada perbedaan versi gen tertentu di dalam suatu populasi, yang disebut dengan alel. Sebagai contoh, ada tiga alel untuk tipe darah: A, B atau O, namun hanya terdapat dua titik (lokus) tempat alel-alel ini berada yaitu satu pada kromosom yang Anda dapatkan dari ibu, dan satunya pada kromosom yang didapatkan dari ayah.
- 2) Gen adalah unit terkecil bahan sifat menurun. Pada pandangan modern, gen didefinisikan sebagai suatu lokasi tertentu pada genom yang berhubungan dengan pewarisan sifat dan dapat dihubungkan dengan fungsi sebagai regulator (pengendali), sasaran transkripsi, atau peran-peran fungsional lainnya.
- 3) Dari sudut pandang genetika klasik, alel merupakan bentuk alternatif dari gen dalam kaitan dengan ekspresi suatu sifat (fenotipe). Dalam arti modern, alel adalah berbagai ekspresi alternatif dari gen atau seberkas DNA, tergantung tingkat ekspresi genetik yang diamati.
- 4) Kromosom merupakan komponen sel yang terdapat dalam inti sel dan mempunyai fungsi dalam pembelahan sel sebagai pembawa sifat yang diturunkan.

- 5) Setiap makhluk hidup memiliki jumlah kromosom yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya tergantung spesiesnya, namun jumlah kromosom dalam setiap selnya selalu tetap. Manusia memiliki 46 kromosom.
- 6) Metode pemetaan kromosom (karyotype) dapat menggunakan sampel darah vena dan pengamatan dilakukan pada sel dalam stadium metafase dimana kromosom tampak lebih tebal dan bentuk lebih jelas.

## Tes 2

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Gen adalah unit terkecil bahan sifat menurun. Istilah gen pertama kali diperkenalkan oleh ..... sebagai pengganti istilah faktor keturunan yang dikemukakan oleh Gregor Mendel.
  - A. Oswald Avery
  - B. W. Johansen**
  - C. Alfred Hershey
  - D. Martha Chase
  
- 2) Ilmuwan bidang genetika dari Amerika Serikat yang mencetuskan teori bahwa faktor-faktor keturunan (gen) terletak di kromosom adalah ....
  - A. Gregor Mendel
  - B. Alfred Hershey
  - C. Thomas Hunt Morgan
  - D. Oswald Avery
  
- 3) Alel merupakan bentuk alternatif dari gen yang berkaitan dengan ekspresi suatu sifat yang disebut:
  - A. Fenotipe
  - B. Genotipe
  - C. Alotipe
  - D. Prototipe
  
- 4) Alel merupakan sepasang gen yang terletak pada lokus yang sama pada kromosom yang homolog dan bertugas membawa suatu sifat/karakter. Yang dimaksud sebagai alel homozigot adalah ...
  - A. Alel dengan pasangan kedua gen yang tidak sama
  - B. Alel dengan simbol berbeda dengan genotype yang sama

- C. Alel dengan jumlah banyak (alel ganda)
  - D. Alel dengan pasangan kedua gen pada suatu individu sama
- 5) Kromosom adalah kromatin yang merapat, memendek dan membesar pada waktu terjadi pembelahan dalam .... sehingga bagian-bagiannya dapat terlihat dengan jelas di bawah mikroskop biasa.
- A. Sitoplasma
  - B. Inti sel
  - C. Ribosom
  - D. Mitokondria
- 6) Bagian dari kromosom yang disebut sebagai kepala kromosom sebagai tempat berpegangan benang plasma dari gelendong inti (spindle) pada stadium anaphase adalah:
- A. Lengan
  - B. Selaput
  - C. Sentromer
  - D. Kromonema
- 7) Berdasarkan ukuran lengan yang sama panjang dan letak sentromer berada di tengah kromosom, maka kromosom ini disebut:
- A. Metasentris
  - B. Submetasentris
  - C. Akrosentris
  - D. Telosentris
- 8) Menjelang abad ke-20 banyak peneliti mencoba mengetahui jumlah kromosom di dalam sel tubuh manusia yang akhirnya telah dipastikan melalui teknik pemeriksaan yaitu sebanyak:
- A. 45 kromosom
  - B. 46 kromosom
  - C. 47 kromosom
  - D. 48 kromosom

- 9) Teknik pemetaan kromosom (kariotype) bertujuan untuk melihat susunan kromosom yang berurutan menurut panjang, jumlah dan bentuk dari sel somatik individu yang dilakukan pada tahap:
- A. Telofase
  - B. Anafase
  - C. Metafase
  - D. Profase
- 10) Kromosom manusia dibedakan atas 2 tipe yaitu autosom (kromosom biasa) dan gonosom (seks kromosom) yang dibedakan atas kromosom X dan kromosom Y. Bagaimana cara menuliskan formula kromosom yang tepat?
- A. 22 pasang autosom dan 1 pasang gonosom
  - B. 23 pasang autosom dan 1 pasang gonosom
  - C. 21 pasang autosom dan 2 pasang gonosom
  - D. 20 pasang autosom dan 2 pasang gonosom

# Topik 3

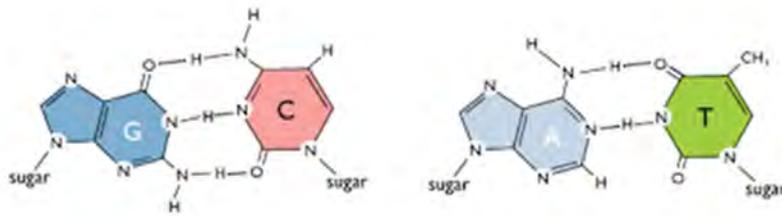
## Teknik Rekayasa Genetika

### A. PENGANTAR REKAYASA GENETIKA

Apakah Anda pernah mendengar istilah rekayasa genetika? Rekayasa genetika merupakan perubahan struktur gen. Perkembangan rekayasa genetika sangat didukung oleh ilmu dasar seperti biologi molekuler, biokimia, genetika, dan mikrobiologi. Penerapan rekayasa genetika sangat bermanfaat dalam bidang farmasi, kesehatan, dan produksi pangan. Rekayasa genetis (salah satunya teknologi kloning) merupakan isu yang makin hangat diperbincangkan masyarakat. Keterkaitannya sangat erat dengan aspek kehidupan seperti moral, etika, hak asasi manusia dan lingkungan makin mengundang perhatian publik. Sebenarnya kloning bukan teknologi yang terlalu mengejutkan karena alam sendiri telah sejak lama memberi tanda-tanda adanya kloning (kloning alami). Misalnya pada bakteri (tumbuhan bersel satu) yang berkembang biak melalui proses kloning (membelah diri dari satu sel menjadi dua sel yang identik secara genetis).

Menghubungkan adanya keterkaitan antara biologi sel dan genetika disini adalah dapat dicontohkan pada proses pembelahan sel, yang sudah Anda pelajari pada bab sebelumnya tentang konsep pembelahan sel maupun regulasi siklus selnya yaitu di Bab 3 dan Bab 4. Pada saat sel membelah terjadi duplikasi bahan genetik yang terdapat di dalam kromosom sehingga tiap sel anakan akan mengandung informasi genetik yang identik dengan induknya. Secara umum, kromosom tersusun atas nukleoprotein, yaitu persenyawaan antara asam nukleat (asam organik yang banyak terdapat di dalam inti sel) dan protein (histon atau protamin). Bagian yang membawa informasi genetik hanya asam nukleat saja.

Materi genetik pertama kali ditemukan oleh Friedrich Miescher (1869) dengan melakukan isolasi pada inti sel darah putih. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa inti sel mengandung suatu senyawa yang kaya akan fosfat. Ada dua materi genetik yang terdapat di dalam nukleus yaitu DNA (Deoxyribose Nucleic Acid) dan RNA (Ribosa Nucleic Acid). Asam nukleat tersusun atas tiga komponen yakni fosfat, gula pentosa (Ribosa dan Deoksiribosa) dan basa nitrogen (Purin dan Pirimidin).



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.10**

Basa nitrogen DNA

Basa nitrogen pada asam nukleat saling berpasangan antara purin dengan pirimidin dan dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Adenin dan timin dipasangkan dengan ikatan 2 hidrogen sementara sitosin dan guanin dipasangkan dengan ikatan 3 hidrogen.

Perbedaan RNA dan DNA terletak pada gula penyusunnya dan basa nitrogen pirimidinnya. DNA tersusun atas gula deoksiribosa sementara RNA tersusun atas gula ribosa. Basa nitrogen pirimidin pada DNA adalah sitosin dan timin, sementara pada RNA adalah sitosin dan urasil. DNA dapat ditemukan pada organel plastida, mitokondria dan nukleus. RNA berdasarkan tempatnya terdiri dari rRNA (RNA ribosom) terdapat pada ribosom, mRNA (RNA messenger) terdapat pada inti sel, tRNA (RNA transfer) terdapat di sitoplasma.

Agar Anda dapat lebih mudah dalam memahami perbedaan antara DNA dan RNA, berikut ini Anda diberikan pokok-pokok perbedaan tersebut yang disajikan pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3**

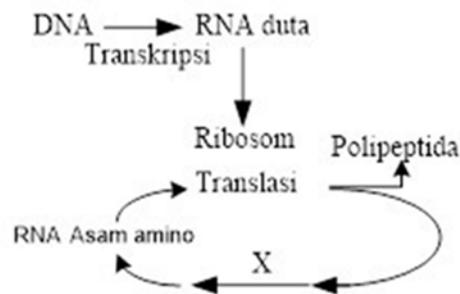
**Perbandingan DNA dan RNA**

PEMBEDA	DNA	RNA
Struktur	Rantai ganda (double helix)	Tunggal (single helix)
Lokasi	Inti sel, mitokondria, kloroplas	Ribosom, nukleus, sitoplasma
Gula penyusun	Deoksiribosa	Ribosa
Basa nitrogen	Timin	Urasil
Peran	Membawa informasi genetik dari suatu generasi ke generasi berikutnya	Mengekspresikan informasi genetik sel secara temporer

## Teori Dogma Sentral

Adalah proses pembentukan protein dengan mengubah DNA menjadi RNA kemudian asam amino. Proses sintesa protein ini terjadi melalui dua proses:

1. Transkripsi adalah mengubah DNA menjadi RNAd/mRNA
2. Translasi adalah mengubah RNAd menjadi polipeptida.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.11**

Proses sintesa protein

Kembali pada rekayasa genetika, para ahli biologi dari Jepang telah menunjukkan kesuksesannya menginjeksikan DNA dari organisme laut ke dalam tubuh tikus sehingga akan memendarkan warna hijau saat terkena sinar ultraviolet. DNA yang ada pada tikus tersebut dinamakan DNA rekombinan, yaitu DNA (dalam hal ini adalah gen) dari sumber yang berbeda (dalam hal ini dari dua spesies) menyatu. Para ahli di Jepang tersebut mengharapkan bahwa proses ini dapat digunakan untuk memonitor obat kanker baru dengan cara mengamati sinar hijau yang berpendar pada sel-sel kanker.

Penelitian tersebut hanyalah salah satu contoh bagaimana para ahli biologi memanfaatkan rekayasa genetik, yaitu manipulasi gen secara langsung untuk tujuan tertentu. Lebih lanjut, aplikasi rekayasa genetik meliputi ribuan produk yang bermanfaat. Dengan menggunakan biokimia dan peralatan mekanik dari teknologi DNA, ilmuwan dapat membuat DNA rekombinan secara *in vitro*. Mereka kemudian dapat mengintroduksi DNA ke dalam kultur sel, mereplikasikan DNA tersebut, serta mengekspresikan DNA tersebut di dalam kultur sel sehingga dihasilkan produk yang bermanfaat.

## B. BIOTEKNOLOGI

Anda pernah mendengar istilah bioteknologi? Teknologi DNA telah menimbulkan revolusi dalam bidang bioteknologi. Dalam batasan yang luas, bioteknologi dapat didefinisikan sebagai manipulasi organisme atau komponennya untuk menghasilkan produk yang

bermanfaat. Praktik-praktik pada masa lampau seperti penggunaan mikroba untuk menghasilkan anggur (wine) ataupun seleksi bibit unggul juga merupakan salah satu contoh dari bioteknologi. Namun bioteknologi yang didasarkan pada manipulasi DNA secara *in vitro* sangat berbeda dengan praktek-praktek pada masa lampau. Bioteknologi terkini merupakan modifikasi dari gen tertentu dan memindahkannya ke dalam organisme lain, seperti bakteri, tumbuhan ataupun hewan sesuai dengan tujuannya.

Teknologi DNA sekarang diaplikasikan dalam bidang pertanian sampai ke hukum-hukum kriminal, namun pencapaiannya saat ini sebagian besar pada tahap penelitian dasar. Teknologi DNA merangsang penemuan-penemuan yang penting dalam bidang biologi dengan memberikan alat baru untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang muncul pada masa lampau.

Aplikasi bioteknologi dapat dicontohkan salah satunya adalah kloning DNA. Molekul DNA di dalam makhluk hidup sangatlah panjang dan masing-masing molekul membawa banyak gen. Khusus untuk organisme eukariotik, gen-gen hanya menempati sebagian kecil dari seluruh DNA kromosom, sisanya merupakan rantai berulang nucleotida yang tidak mengode suatu sifat. Gen pada manusia hanya menempati 1/100.000 dari molekul DNA kromosom. Untuk mengelola suatu gen khusus, para ilmuwan perlu mengembangkan metode untuk mempersiapkan gen yang dimaksud yaitu dengan kloning gen.

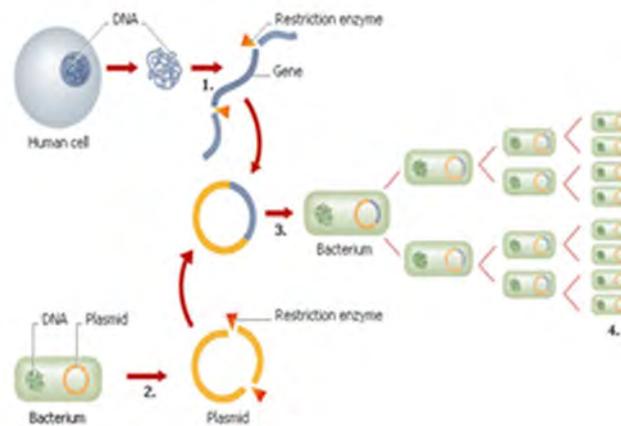
Manfaat kloning dalam dunia penelitian dan bioteknologi di bidang kedokteran misalnya produksi hormon insulin tidak lagi disintesis dari hewan mamalia namun dapat diproduksi oleh sel-sel bakteri dengan cara kloning DNA mamalia yang mengode sintesis hormon insulin. Pada tanaman dan hewan, kloning bertujuan untuk melestarikan pohon dan binatang langka atau organisme yang memiliki sifat menguntungkan; menciptakan dan memperbanyak hewan dan tanaman berkualitas tinggi; memproduksi obat dan senyawa bermanfaat dalam jumlah besar dengan harga murah. Pada manusia, kloning terutama bertujuan untuk melahirkan manusia unggul baik secara fisik dan mental.

### **C. PEMBUATAN HORMON INSULIN**

Salah satu produk rekayasa yang sudah dikembangkan adalah pembuatan insulin dengan menggunakan *Escherichia coli* sebagai vektor. Bakteri *E. coli* sering digunakan sebagai induk semang dalam DNA rekombinan karena *E. coli* mudah dibiakkan dan biokimianya telah diketahui dengan baik. Insulin merupakan hormon yang berperan dalam mengubah glukosa menjadi glikogen di dalam tubuh. Ketika seseorang kekurangan hormon ini maka akan menyebabkan kadar gula darah di dalam tubuh menjadi tinggi pada akhirnya dapat menyebabkan Diabetes mellitus. Salah satu solusi pencegahan diabetes adalah dengan menyuplai insulin dari luar tubuh. *E. coli* merupakan bakteri mempunyai plasmid yang dapat

digunakan sebagai vektor gen asing yang akan diperbanyak. Terdapat dua enzim yang sangat berperan dalam teknik rekayasa genetika tersebut:

1. Enzim restriksi, yaitu enzim yang dapat memotong sekuen DNA.
2. Enzim ligase yang merupakan enzim untuk menyambung ikatan DNA sehingga membentuk DNA rekombinan.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.12**

Proses rekayasa genetika

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan hormon insulin adalah seperti yang diuraikan berikut ini:

1. Mengisolasi plasmid pada sel bakteri yang akan direkayasa.
2. Plasmid dipotong menggunakan enzim restriksi yang nantinya akan disisipkan gen insulin.
3. Gen insulin dan plasmid disambung dengan menggunakan enzim ligase kemudian dimasukkan kembali ke dalam sel bakteri.
4. Bakteri yang sudah mengandung gen insulin selanjutnya berkembang biak dan menghasilkan gen insulin yang dibutuhkan.

## Latihan

**Untuk dapat memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah Latihan berikut!**

- 1) Sebutkan dua macam asam nukleat (materi genetik) di dalam nucleus dan jelaskan perbedaannya.
- 2) Apa yang dimaksud dengan rekayasa genetika?

- 3) Sebutkan contoh aplikasi bioteknologi
- 4) Sebutkan dua enzim yang berperan dalam teknik rekayasa genetika.
- 5) Bagaimana proses pembuatan hormon insulin?

## Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal latihan no 1 dan 2 Anda dapat membaca Bab 5, Topik 3. Bagian A. Untuk menyelesaikan soal no 3 silakan Anda baca kembali Bab 5, Topik 3 Bagian B. Untuk yang no 4 dan 5, silakan Anda baca di Bab 5, Topik 3 Bagian C.

## Ringkasan

- 1) Rekayasa genetika merupakan perubahan struktur gen. Perkembangan rekayasa genetika sangat didukung oleh ilmu dasar seperti biologi molekuler, biokimia, genetika dan mikrobiologi. Rekayasa genetika sangat dimanfaatkan dalam bidang farmasi, kesehatan dan produksi pangan.
- 2) Aplikasi bioteknologi dapat dicontohkan salah satunya adalah kloning DNA. Molekul DNA di dalam makhluk hidup sangatlah panjang dan masing-masing molekul membawa banyak gen. Untuk mengelola suatu gen khusus, para ilmuwan perlu mengembangkan metode untuk mempersiapkan gen yang dimaksud yaitu dengan kloning gen.
- 3) Salah satu produk rekayasa yang sudah dikembangkan adalah pembuatan insulin dengan menggunakan *Escherichia coli* sebagai vektor. Bakteri *E. coli* sering digunakan sebagai induk semang dalam DNA rekombinan karena *E. coli* mudah dibiakkan dan biokimianya telah diketahui dengan baik.

## Tes 3

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!**

- 1) Materi genetik pertama kali ditemukan oleh Friedrich Miescher (1869) dengan melakukan isolasi pada:
  - A. Sel darah merah
  - B. Trombosit
  - C. Inti sel darah putih
  - D. Plasma darah

- 2) Asam nukleat tersusun atas tiga komponen, kecuali:
- A. Fosfat
  - B. Oksigen
  - C. Gula pentosa
  - D. Basa nitrogen
- 3) Perbedaan basa nitrogen antara DNA dan RNA adalah jika pada DNA adalah Timin, maka pada RNA adalah:
- A. Adenin
  - B. Guanin
  - C. Timin
  - D. Urasil
- 4) Enzim yang berperan dalam rekayasa genetika dan dapat memotong sekuen DNA adalah:
- A. Restriksi
  - B. Ligase
  - C. Protease
  - D. Polimerase
- 5) Jika seseorang kekurangan hormon insulin, maka bisa terkena penyakit:
- A. Hipertensi
  - B. Asam urat
  - C. Diabetes melitus
  - D. Anemia

# Topik 4

## Genetika Golongan Darah Manusia

**A**nda memiliki golongan darah apa? Apakah semua sudah mengetahui golongan darah masing-masing, baik ABO dan rhesusnya? Membahas genetika golongan darah, sangat berkaitan erat dengan pewarisan dari orang tuanya. Golongan darah manusia ditentukan dari faktor keturunan. Golongan darah induk dapat menentukan golongan darah anaknya. Dalam topik 4 ini, anda akan mempelajari materi genetika golongan darah manusia yang meliputi alel-alel berganda, golongan darah ABO, Rhesus (Rh) dan MN. Sebenarnya masih banyak jenis golongan darah lainnya, namun tiga jenis itu yang utama dipelajari karena secara klinis berkaitan dengan transfusi darah.

Sejarah penemuan golongan darah dimulai pada tahun 1900 oleh K. Landstainer yang telah menemukan tiga dari empat golongan darah yaitu A, B dan O dengan cara memeriksa golongan darah teman sekerjanya. Tahun 1901 Von Decastelio dan Sturli menemukan golongan darah keempat yaitu AB. Selain itu pada tahun 1900 itu juga merupakan tahun Pengakuan “Hukum Hereditas” yang sebenarnya telah dikemukakan oleh Gregor Mendel pada tahun 1865. Itu artinya apa yang telah diusulkan oleh Mendel dapat diaplikasikan secara penuh oleh sistem golongan darah. Tahun 1939-1940 ditemukan faktor Rhesus terhadap penyakit Hemolytic Disease of Newborn (HDN) dan setelah itu ditemukan golongan darah lainnya seperti: MN, Lewis, Duffy, Kidd, Lutheran, dll.

**Tabel 5.4**  
**Jenis-jenis Golongan Darah**

No.	Sistem Golongan Darah	Antigen	Tahun Penemuan	No.	Sistem Golongan Darah	Antigen	Tahun Penemuan
1.	<b>ABO</b>	A,B, O	1900	11.	Wright	Wr a	1953
2.	MNSs	M, N, Ss	1927	12.	Diego	Di	1955
3.	P	P1, P2	1927	13.	I	I, i	1956
4.	<b>Rhesus</b>	C, D, E, c, d & e	1940	14.	Yt	Yt a, Yt b	1956
5.	Lutheran	Lu a, Le b	1945	15.	Sutter	Js a, Js b	1958
6.	Kell	K, k	1946	16.	Gerbich	Ge	1960
7.	Lewis	Le a, Le b	1946	17.	Auberger	Au a	1961

No.	Sistem Golongan Darah	Antigen	Tahun Penemuan	No.	Sistem Golongan Darah	Antigen	Tahun Penemuan
8.	Duffy	Fy a, Fy b	1950	18.	Lan	Lan	1961
9.	Kidd	Jk d, Jk b	1951	19.	Xg	Xg a	1962
10.	Vel	DI	1952				

Dasar penemuan golongan darah adalah adanya antigen yang terdapat pada permukaan eritrosit dan adanya zat anti (antibodi) yang terdapat dalam plasma/serum. Ada 400 antigen diturunkan, menurut Hukum Mendel dan antigen yang terpenting pada transfusi darah. Contoh: antigen A dan B pada sistem golongan darah ABO, dan antigen Rhesus pada Faktor Rhesus disebut sebagai aglutinogen. Antibodi merupakan protein yang dihasilkan oleh tubuh, baik secara alamiah ataupun sebagai reaksi terhadap masuknya antigen. Antibodi juga merupakan protein yang mempunyai struktur immunoglobulin. Contoh: anti A, anti B, dan anti AB pada sistem ABO disebut sebagai aglutinin.

## A. ALEL-ALEL BERGANDA

Sebagian besar gen yang ada dalam populasi sebenarnya hadir dalam lebih dari dua bentuk alel. Golongan darah ABO pada manusia merupakan satu contoh dari alel berganda dari sebuah gen tunggal. Ada empat kemungkinan fenotip untuk karakter ini: Golongan darah seseorang mungkin A, B, AB, atau O. Huruf-huruf ini menunjukkan dua karbohidrat, substansi A dan substansi B, yang mungkin ditemukan pada permukaan sel darah merah. Sel darah seseorang mungkin mempunyai sebuah substansi (tipe A atau B), kedua-duanya (tipe AB), atau tidak sama sekali (tipe O). Kesesuaian golongan darah sangatlah penting dalam transfusi darah. Jika darah donor mempunyai faktor (A atau B) yang dianggap asing oleh resipien, protein spesifik yang disebut antibodi yang diproduksi oleh resipien akan mengikatkan diri pada molekul asing tersebut sehingga menyebabkan sel-sel darah yang disumbangkan menggumpal. Penggumpalan ini dapat membunuh resipien.

Golongan darah seseorang ditetapkan berdasarkan macam antigen dalam eritrosit yang dimilikinya. Menurut F. Bermstein pada tahun 1925, antigen-antigen diwariskan oleh suatu seri Alel Ganda. Alel tersebut diberi simbol I (Isoaglutinin).

Keempat golongan darah dihasilkan dari berbagai kombinasi antara tiga alel yang berbeda dari satu gen, disimbolkan sebagai  $I^A$  (untuk karbohidrat A),  $I^B$  (untuk karbohidrat B) dan i (menghasilkan karbohidrat yang bukan A maupun B). Ada enam genotip yang mungkin. Alel  $I^A$  dan  $I^B$  kedua-duanya dominan terhadap alel i. Jadi, individu  $I^A I^A$  dan  $I^A i$  mempunyai golongan darah tipe A, dan  $I^B I^B$  dan  $I^B i$  mempunyai tipe B. Homozigot resesif, ii, mempunyai

golongan darah tipe O, sebab tidak ada substansi A maupun B yang diproduksi. Alel  $I^A$  dan  $I^B$  adalah kodominan; keduanya diekspresikan dalam fenotip dari heterozigot  $I^A I^B$ , yang memiliki golongan darah tipe AB.

## B. GOLONGAN DARAH ABO

Sebuah ciri bawaan yang familial adalah yang diwariskan oleh model dominan yang tidak sempurna, yaitu tipe golongan darah. Anda memiliki tiga alel: A, B dan alel yang tidak memproduksi antigen permukaan, O. Jadi, terdapat beberapa kemungkinan genotip yang ditunjukkan pada tabel 5.5. AO dan AA akan memiliki tipe darah A, sedangkan BO dan BB akan memiliki tipe darah B. AB akan memiliki tipe darah AB, dan OO akan memiliki tipe darah O.

**Tabel 5.5**  
**Genotip pada golongan darah ABO**

	A	B	O
O	AO	BO	OO
A	AA	AB	AO
B	AB	BB	BO

Lokus gen yang mengendalikan sistem golongan darah ABO terletak pada ujung lengan panjang kromosom nomor 9. Untuk memahami bagaimana sistem ini dapat bekerja sebagai satu rangkaian alel pada satu lokus tunggal, maka perlu mempertimbangkan secara ringkas biokimia substansi golongan darah ABO.

Akan terlihat bahwa kita segera akan menjumpai suatu kekecualian yang paling dicatat terhadap aturan umum, bahwa pada golongan darah biasanya tidak terdapat sifat dominan atau resesif. A dan B keduanya bersifat dominan terhadap O. Lebih mudah untuk melukiskan hasil dari setiap perkawinan. Jika dua orang yang mempunyai golongan darah O menikah, maka semua keturunannya akan mempunyai golongan darah O. A kawin dengan O hanya akan memberikan anak-anak dengan golongan darah A, apabila orang tua yang mempunyai golongan darah tadi bergenotip AA; dan anak-anak mereka akan bergolongan darah O dan A dengan perbandingan yang sama apabila orang tua yang bergolongan darah A tadi bergenotip AO. Perkawinan antara AB dengan O memberikan keturunan dimana separuhnya bergenotip AO dan separuhnya bergenotip BO. Ini adalah salah satu hasil yang telah dibicarakan mengenai **alel ganda**; pada perkawinan ini tidak ada anak yang mempunyai golongan yang sama dengan golongan darah kedua orang tuanya.

Jenis lain dari perkawinan yang istimewa untuk alel ganda dicontohkan dengan perkawinan antara AO dengan BO memberikan empat macam anak, yaitu AB, AO, BO dan OO; dengan kata lain dapat mempunyai anak dengan keempat macam golongan darah tadi. Dengan melihat contoh di atas dapat kita lihat bahwa mudahnya pewarisan gen-gen golongan darah ABO bisa diikuti dalam bentuk silsilah keluarga. Meskipun ada sifat dominan, bagaimana seringnya konstitusi genetik yang lengkap dapat memberikan keterangan genetik yang cukup. Golongan darah ABO memberikan contoh dari tingkat elaborasi pertama dan yang sangat sederhana yang dapat terjadi. Berikut golongan darah yang diketahui beserta lambang genotipnya.

**Tabel 5.6**  
**Genotip homozigot dan heterozigot golongan darah ABO**

Golongan darah	Genotip homozigot	Genotip heterozigot
A	$I^A I^A$	$I^A I^O$
B	$I^B I^B$	$I^B I^O$
AB	-	$I^A I^B$
O	$I^O I^O$	-

### 1. Antigen A dan B (Aglutinogen)

Dua antigen tipe A dan tipe B terdapat pada permukaan sel darah merah pada sebagian besar populasi. Antigen-antigen inilah (yang disebut juga aglutinogen karena mereka seringkali menyebabkan aglutinasi sel darah) yang menyebabkan reaksi transfusi. Karena antigen-antigen ini diturunkan, orang dapat tidak mempunyai antigen tersebut di dalam selnya, dapat hanya mempunyai satu, atau justru sekaligus mempunyai keduanya.

### 2. Golongan Darah A-B-O yang Utama

Pada transfusi darah dari orang ke orang, donor darah dan darah resipien normalnya diklasifikasikan ke dalam empat tipe A-B-O utama, bergantung pada ada atau tidaknya kedua aglutinogen, yaitu aglutinogen A dan B. Bila tidak terdapat aglutinogen A ataupun B, golongan darahnya adalah golongan O. Bila hanya terdapat aglutinogen tipe A, darahnya adalah golongan A. Bila hanya terdapat aglutinogen tipe B, darahnya adalah golongan B. Dan bila terdapat aglutinogen A dan B, darahnya adalah golongan AB.

### 3. Penentuan Genetik dari Aglutinogen

Dua gen, satu pada setiap dua kromosom yang berpasangan, akan menentukan golongan darah ABO. Kedua gen ini bersifat alelomorfik yang dapat menjadi salah satu dari ketiga golongan, tetapi hanya satu tipe saja pada setiap kromosom: tipe O, tipe A, atau tipe B.

Gen tipe O tidak berfungsi atau hampir tidak berfungsi, sehingga tipe ini menghasilkan aglutinogen tipe O yang tidak khas dalam sel. Sebaliknya, gen tipe A dan B menghasilkan aglutinogen yang kuat dalam sel. Enam kemungkinan kombinasi dari gen-gen ini, yaitu OO, OA, OB, AA, BB, dan AB. Kombinasi gen-gen ini dikenal sebagai genotip, dan setiap orang merupakan salah satu dari keenam genotip tersebut. Orang dengan genotip OO tidak menghasilkan aglutinogen, dan karena itu, golongan darahnya adalah O. Orang dengan genotip OA atau AA menghasilkan aglutinogen tipe A, dan karena itu, mempunyai golongan darah A. Genotip OB dan BB menghasilkan golongan darah B, dan genotip AB menghasilkan golongan darah AB.

#### 4. Aglutinin

Bila tidak terdapat aglutinogen tipe A dalam sel darah merah seseorang, maka dalam plasmanya akan terbentuk antibodi yang dikenal sebagai aglutinin anti A. Demikian pula, bila tidak terdapat aglutinogen tipe B di dalam sel darah merah, maka dalam plasmanya terbentuk antibodi yang dikenal sebagai aglutinin anti-B. Jadi, golongan darah O, meskipun tidak mengandung aglutinogen, tetapi mengandung agglutinin anti-A dan anti-B; golongan darah A mengandung aglutinogen tipe A dan aglutinin anti-B; dan golongan darah B mengandung aglutinogen tipe B dan aglutinin anti-A. Akhirnya, golongan darah AB mengandung kedua aglutinogen A dan B tetapi tidak mengandung aglutinin sama sekali.

**Tabel 5.7**

**Golongan darah dengan genotip, unsur pokok aglutinogen dan aglutininnya**

Genotip	Golongan Darah	Aglutinogen	Aglutinin
OO	O	-	Anti-A dan Anti-B
OA atau AA	A	A	Anti-B
OB atau BB	B	B	Anti-A
AB	AB	A dan B	-

#### 5. Pewarisan Antigen A dan B

Antigen A dan B diwariskan sebagai alelomorf Mendel, A dan B adalah dominan. Misalnya, seseorang yang bergolongan darah B mendapatkan turunan satu antigen B dari setiap ayah dan ibu atau satu antigen dari salah satu orang tua dan satu O dari orang tua lain; jadi, seorang individu yang berfenotip B dapat mempunyai genotip BB (homozigot) atau BO (heterozigot).

Kalau golongan darah orang tua diketahui, kemungkinan genotip pada anak-anak mereka dapat ditetapkan. Kalau kedua orang tuanya bergolongan B, mereka dapat

mempunyai anak bergenotip BB (antigen B dari kedua orang tua), BO (antigen B dari salah satu orang tua, O dari orang tua lain yang heterozigot), atau OO (antigen O dari kedua orang tuanya, yang keduanya heterozigot). Kalau golongan darah seorang ibu dan anaknya diketahui, penggolongan darah dapat membuktikan bahwa seseorang adalah bukan ayahnya, meskipun tidak dapat membuktikan bahwa ia adalah ayahnya.

Manfaat prediktif semakin besar kalau penggolongan darah kelompok orang yang bersangkutan ini meliputi pula identifikasi antigen lain selain aglutinogen ABO. Dengan menggunakan sidik DNA, angka penyingkiran paternal meningkat hampir mendekati 100%. Contoh diketahui seorang wanita bergolongan darah B homozigot menikah dengan laki laki bergolongan darah AB heterozigot. Tentukan golongan darah keturunannya!

Ibu ( $I^{B}I^{B}$ ) X ayah ( $I^{A}I^{B}$ ), maka kemungkinan keturunannya akan memiliki genotip  $I^{A}I^{B}$ ,  $I^{B}I^{B}$ ,  $I^{A}i$ ,  $I^{B}i$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kemungkinan golongan darah keturunannya adalah AB atau B.

Misalnya lagi jika ayahnya golongan darah A (genotipnya AO) dan ibu golongan darah B (genotipnya BO) maka kemungkinan anaknya:

**Tabel 5.8**  
**Kemungkinan golongan darah dari persilangan AO dan BO**

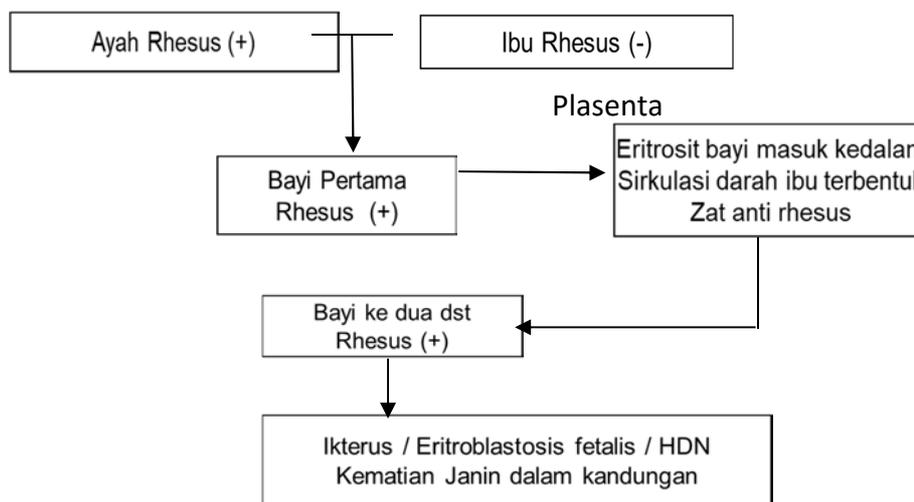
		Ayah	
		A	O
Ibu	B	AB	BO
	O	AO	OO

**Tabel 5.9**  
**Genotip dan jenis golongan darah yang dapat menerima**

Tipe Golongan Darah	Genotipe		Dapat menerima Darah
A	$i^{A}i$	AA	A atau O
	$i^{A}i^{A}$	AO	
B	$i^{B}i$	BB	B atau O
	$i^{B}i^{B}$	BO	
AB	$i^{A}i^{B}$	AB	A, B, O dan AB
O	$ii$	OO	O

### C. GOLONGAN DARAH RHESUS (RH)

Sistem Rhesus (Rh) mempunyai arti praktis yang bermakna dalam kedokteran. Antigen-antigen Rh jauh lebih penting dibandingkan dengan antigen-antigen lain sebagai penyebab penyakit hemolitik pada fetus dan neonatus. Tahun 1939-1940 ditemukan faktor Rhesus terhadap penyakit *Hemolytic Disease of Newborn* (HDN). Sekarang sudah dilakukan uji pada wanita hamil yang mempunyai Rh negatif, paling tidak pada kehamilan kedua atau seterusnya untuk mengetahui apakah wanita-wanita tadi membentuk antibodi Rh. Jika bayi meninggal dalam kandungan, maka pengobatan awal dengan metode yang baik adalah transfusi penggantian darah dan biasanya berhasil. Pada transfusi darah, inkompatibilitas Rh merupakan hal yang penting kedua setelah inkompatibilitas ABO sebagai sebab potensial terjadinya reaksi transfusi.



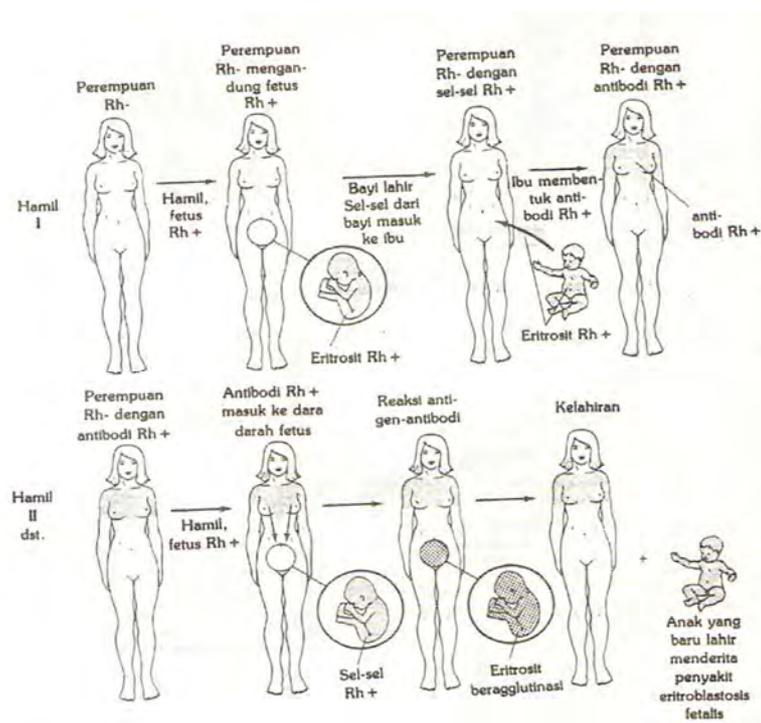
**Gambar 5.13**

Skema terjadinya peristiwa *Hemolytic Disease of Newborn* (HDN)

Bersama dengan sistem golongan darah ABO, sistem Rh juga penting dalam transfusi darah. Perbedaan utama antara sistem ABO dan sistem Rh adalah sebagai berikut: Pada sistem ABO aglutinin bertanggung jawab atas timbulnya reaksi transfusi yang terjadi secara spontan, sedangkan pada sistem Rh, reaksi aglutinin spontan hampir tak pernah terjadi. Malahan, orang mula-mula harus terpapar secara masif dengan antigen Rh, biasanya melalui transfusi darah atau melalui ibu yang memiliki bayi dengan antigen, sebelum terdapat cukup aglutinin untuk menyebabkan reaksi transfusi yang bermakna.

Terdapat hubungan yang menarik pada sistem ABO. Inkompatibilitas ABO antara ibu dan anak akan sangat protektif terhadap imunisasi Rh. Seorang ibu yang bergolongan darah O

sangat jarang mengalami sensitisasi oleh fetus yang bergolongan darah A atau B. Hal ini disebabkan ada tidaknya kebocoran sel darah merah lewat plasenta. Jika golongan darah fetus A atau B, maka antibodi ibu akan menghancurkannya dengan cepat. Kalau sudah terjadi sekali sensitisasi maka inkompatibilitas ABO tidak lagi dapat melindunginya. Wanita bergolongan darah OO Rh negatif yang menikah dengan seorang pria bergolongan darah AO Rh positif akan mengalami sensitisasi oleh anak pertamanya yang kebetulan bergolongan darah OO. Pada anak berikutnya, meskipun ia bergolongan darah AO, tidak akan dilindungi.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 5.13**

Pengaruh rhesus ibu terhadap bayi dan timbulnya penyakit Eritroblastosis fetalis

### 1. Antigen Rh

Terdapat enam tipe antigen Rh yang biasa, salah satunya disebut faktor Rh. Tipe-tipe ini ditandai dengan C, D, E, c, d dan e. Orang yang memiliki antigen C tidak mempunyai antigen c, tetapi orang yang kehilangan antigen C selalu mempunyai antigen c. Keadaan ini sama halnya untuk antigen D-d dan E-e. Juga, akibat cara penurunan faktor-faktor ini, maka setiap orang hanya mempunyai satu dari ketiga pasang antigen tersebut. Tipe antigen D dijumpai secara luas di masyarakat dan bersifat lebih antigenik daripada antigen Rh lain. Oleh karena itu, seseorang yang mempunyai tipe antigen ini dikatakan Rh-positif, sedangkan mereka yang tidak mempunyai tipe antigen D dikatakan Rh-negatif. Meskipun demikian, perlu diperhatikan

bahwa bahkan pada orang-orang dengan Rh-negatif, beberapa antigen Rh lainnya masih dapat menimbulkan reaksi transfusi, walaupun biasanya jauh lebih ringan. Kira-kira 85% dari seluruh orang kulit putih adalah Rh-positif dan 15 persennya Rh negatif. Pada orang kulit hitam Amerika, persentase Rh positifnya kira-kira 95%, sedangkan pada orang kulit hitam Afrika, betul-betul 100%.

## **2. Pembentukan Aglutinin Anti-Rh**

Bila sel darah merah yang mengandung faktor Rh, atau protein sebagai hasil pemecahan sel darah merah, disuntikkan ke tubuh orang yang darahnya tidak memiliki faktor yang sama – artinya, pada orang yang Rh negatif – akan terbentuk aglutinin anti-Rh dengan sangat lambat, konsentrasi maksimum aglutinin akan tercapai kira-kira 2 sampai 4 bulan kemudian. Respon imun ini untuk sebagian besar timbul pada orang-orang tertentu daripada yang lain. Bila berkali-kali terpapar dengan faktor Rh, maka orang dengan Rh negatif akhirnya menjadi sangat "peka" terhadap faktor Rh.

## **3. Gambaran Khas Reaksi Transfusi Rh**

Bila orang dengan Rh-negatif sebelumnya tidak pernah terpapar dengan darah Rh-positif, maka transfusi darah Rh-positif ke tubuh orang tersebut tidak segera menyebabkan reaksi. Meskipun demikian, pada beberapa orang, terbentuklah antibodi anti-Rh dalam jumlah yang cukup selama 2 sampai 4 minggu berikutnya, yang menimbulkan aglutinasi pada sel-sel transfusi yang masih terdapat dalam darah sirkulasi. Sel-sel ini kemudian dihemolisis oleh sistem makrofag jaringan. Jadi, timbul reaksi transfusi lambat, walaupun biasanya ringan. Pada transfusi darah Rh-positif selanjutnya pada orang yang sama, dimana ia sekarang sudah terimunisasi terhadap faktor Rh, maka reaksi transfusi menjadi sangat kuat dan dapat menjadi berat seperti reaksi transfusi akibat golongan darah A atau B.

## **D. GOLONGAN DARAH MN**

Pada tahun 1927 K. Ladsteiner dan P. Levine menemukan antigen baru lagi disebut antigen M dan antigen N. Terdapat reaksi dari sel-sel darah merah dengan antiserum pada golongan darah tipe MN. Pengelompokan ini didasarkan pada dua molekul spesifik yang terletak pada permukaan sel darah merah. Orang-orang dengan golongan darah M mempunyai satu dari kedua tipe molekul ini dan orang dengan golongan darah N mempunyai tipe yang lainnya. Golongan MN dikarakterisasi oleh adanya kedua molekul pada sel darah merah. Apa yang menjadi dasar genetik dari fenotip-fenotip ini? Sebuah lokus gen tunggal, dimana dua variasi alel bisa berada, menentukan golongan-golongan darah ini. Individu M adalah homozigot untuk satu alel; individu N adalah homozigot untuk alel yang lainnya.

Kondisi heterozigot terdapat pada golongan MN. Perlu diperhatikan bahwa fenotip MN bukanlah intermediet antara fenotip M dan N, tetapi kedua fenotip tersebut secara sendiri-sendiri terekspresikan oleh adanya kedua tipe molekul ini pada sel darah merah.

**Tabel 5.10**  
**Reaksi antigen pada golongan darah MN**

Jika eritrosit mengandung	Reaksi dengan Antiserum		Golongan Darah
	Anti M	Anti N	
Hanya M	+	-	M
Hanya N	-	+	N
M & N	+	+	MN

Adapun kemungkinan genotip dan fenotip seseorang dalam golongan darah sistem MN adalah seperti yang tersaji dalam tabel 5.11.

**Tabel 5.11**  
**Fenotip dan genotip golongan darah MN**

Fenotip Golongan Darah	Antigen dalam eritrosit	Alel dalam kromosom	Genotip
M	M	$L^M$	$L^M L^M$
N	N	$L^N$	$L^N L^N$
MN	M dan N	$L^M$ dan $L^N$	$L^M L^N$

## Latihan

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

- 1) Sebutkan tiga macam golongan darah yang harus dipelajari karena secara klinis berhubungan dengan transfusi darah.
- 2) Jelaskan istilah alel ganda!
- 3) Apa perbedaan fenotip dan genotip? Contohkan dengan pewarisan golongan darah.
- 4) Apakah orang tua yang sama-sama bergolongan darah O akan memiliki keturunan yang juga memiliki golongan darah O? Berapa persentase peluangnya? Jelaskan dasarnya.

- 5) Mengapa pada wanita dengan rhesus negatif yang menikah dengan laki-laki rhesus positif berisiko memiliki bayi yang meninggal dalam kandungan, terutama pada kehamilan kedua dan berikutnya?

## Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal latihan no 1 Anda dapat membaca Bab 5, Topik 4 Bagian A. Untuk menyelesaikan soal 2,3 dan 4 silakan Anda baca kembali Bab 5, Topik 4 Bagian A dan B. Untuk menyelesaikan soal 5 silakan Anda baca kembali Bab 5, Topik 4 Bagian C.

## Ringkasan

- 1) Dasar penemuan golongan darah adalah adanya antigen yang terdapat pada permukaan eritrosit dan adanya zat anti (antibodi) yang terdapat dalam plasma/serum. Golongan darah seseorang ditetapkan berdasarkan macam antigen dalam eritrosit yang dimilikinya. Menurut F. Bermstein pada tahun 1925, menyatakan bahwa antigen-antigen diwariskan oleh suatu seri Alel Ganda.
- 2) Golongan darah biasanya tidak terdapat sifat dominan atau resesif, baik A dan B keduanya bersifat dominan terhadap O. Jenis lain dari perkawinan yang istimewa untuk alel ganda dicontohkan dengan perkawinan antara AO dengan BO memberikan empat macam golongan darah anak, yaitu AB, AO, BO dan OO.
- 3) Jika golongan darah seorang ibu dan anaknya diketahui, penggolongan darah dapat membuktikan bahwa seseorang adalah bukan ayahnya, meskipun tidak dapat membuktikan bahwa ia adalah ayahnya. Manfaat prediktif semakin besar kalau penggolongan darah kelompok orang yang bersangkutan ini meliputi pula identifikasi antigen lain selain aglutinogen ABO. Dengan menggunakan sidik DNA, angka penyingkiran paternal meningkat hampir mendekati 100%.
- 4) Bersama dengan sistem golongan darah ABO, sistem Rh dan MN yang utama dipelajari karena secara klinis berkaitan dengan transfusi darah. Golongan MN dikarakterisasi oleh adanya kedua molekul pada sel darah merah.

## Tes 4

Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!

- 1) Siapakah ilmuwan penemu golongan darah ABO dan sebagai sebagai awal mula ilmu transfusi darah yang semakin berkembang pesat hingga saat ini?
  - A. K. Landsteiner
  - B. Von Decastelio
  - C. Bermstein
  - D. Levine
  
- 2) Tiga jenis golongan darah yang dipelajari karena secara klinis berkaitan dengan transfusi darah adalah, kecuali:
  - A. ABO
  - B. Rhesus
  - C. MN
  - D. Lewis
  
- 3) Contoh alel ganda adalah pada golongan darah yang mungkin A, B, AB atau O. Huruf-huruf ini menunjukkan dua ....., yaitu substansi A dan substansi B dapat yang ditemukan pada permukaan sel darah merah.
  - A. Protein
  - B. Lemak
  - C. Karbohidrat
  - D. Mineral
  
- 4) Alel  $I^A$  dan  $I^B$  kedua-duanya dominan terhadap alel  $i$ . Alel  $i$  mempunyai golongan darah tipe O dengan ciri:
  - A. Homozigot resesif
  - B. Homozigot dominan
  - C. Heterozigot resesif
  - D. Heterozigot dominan
  
- 5) Jika seorang wanita bergolongan darah B homozigot menikah dengan laki-laki bergolongan darah AB heterozigot, bagaimana kemungkinan golongan darah keturunannya?
  - A. B
  - B. AB

- C. AB atau B
  - D. AB atau A
- 6) Jika ayah bergolongan darah A (genotip AO) dan ibu bergolongan darah B (genotipnya BO) maka kemungkinan anaknya memiliki:
- A. Golongan darah A dan B
  - B. Golongan darah AB dan O
  - C. Golongan darah A, B dan AB
  - D. Golongan darah A, B, AB dan O
- 7) Sedangkan jika ayah golongan darah O dan ibu juga sama memiliki golongan darah O, maka anaknya akan bergolongan darah:
- A. A
  - B. O
  - C. AB
  - D. B
- 8) Wanita bergolongan darah OO Rhesus negatif yang menikah dengan seorang pria bergolongan darah AO Rhesus positif akan mengalami sensitisasi oleh anak pertamanya yang kebetulan bergolongan darah dengan genotip ....
- A. AA
  - B. OO
  - C. AO
  - D. BO
- 9) Terdapat enam tipe antigen Rh dan salah satunya adalah tipe .... yang dijumpai secara luas di masyarakat dan bersifat lebih antigenik daripada antigen Rh lainnya.
- A. Antigen C
  - B. Antigen E
  - C. Antigen D
  - D. Antigen E-e

10) Pada tahun 1927 K. Ladsteiner dan P. Levine menemukan antigen baru lagi disebut antigen M dan antigen N. Terdapat reaksi dari ..... dengan antiserum pada golongan darah tipe MN.

- A. Sel-sel darah merah
- B. Sel-sel darah putih
- C. Keping darah
- D. Plasma darah

# Kunci Jawaban Tes

## Tes 1

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

## Tes 2

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

## Tes 3

- 1) C
- 2) B
- 3) D
- 4) A
- 5) C

## Tes 4

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

# Glosarium

- Asam amino: zat organik yang mengandung gugus amino (-NH<sub>2</sub>) dan karboksil (-COOH)
- Alel: gen untuk sifat khusus terletak pada suatu lokus tertentu pada sepasang kromosom homolog.
- Diploid: jumlah kromosom yang berpasangan
- DNA: deoxiribo nucleid acid; asam nukleat yang mengandung deoksiribosa, terutama terdapat dalam nucleus, berfungsi dalam sintesis protein.
- Dominan: sifat yang tampak penuh pada fenotip.
- Faktor: sifat yang diturunkan menurut Mendel.
- Fenotip: sifat/karakter yang dapat diamati sebagai hasil interaksi antara genotip dan lingkungan; penampakan fisik suatu individu
- Gen: satuan sifat turunan yang terletak pada kromosom; suatu urutan nukleotida pada molekul DNA yang mengkode suatu polipeptida.
- Genotip: susunan/komposisi genetik (gen) dari suatu individu.
- Haploid: memiliki satu perangkat tunggal kromosom seperti pada gamet, pada manusia jumlah haploid adalah 23.
- Hereditas: penurunan sifat genetik dari orang tua ke anak
- Heterozigot: sebuah sel atau suatu organisme yang mempunyai dua alel beda pada lokus/kedudukan tertentu pada kromosom homolog.
- Homozigot: sebuah sel atau suatu organisme yang mempunyai dua alel sama pada lokus/kedudukan tertentu pada kromosom homolog.
- Kariotipe: susunan lengkap kromosom inti sel
- Kromatid: Dua lengan hasil replikasi kromosom
- Kromosom: Badan di dalam inti sel, berbentuk benang berasal dari kromatin, terdiri dari DNA yang berfungsi memindahkan informasi genetik.
- Kromomer: Penebalan-penebalan kromomera
- Kromomera: Sruktur berbentuk manik-manik
- Kultur: biakan, mikroorganisme, sel atau jaringan
- Lokus: tempat
- RNA: ribonucleid acid; asam nukleat yang mengandung ribosa
- Sentromer: Daerah konstruksi
- Telomer: Istilah yang menunjukkan daerah terujung pada kromosom.

# Daftar Pustaka

- Ayala, F. J. and Kiger, J.A. 1984. Modern Genetics. 2nded. Menlo Park: The Benjamin/Cunning Publ.Co., Inc.
- Campbell NA, dkk. 2000. Biologi. Edisi Kelima. Jilid 1. 265-267. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Depdiknas. 2003. Kamus Biologi. Penerbit Balai Pustaka. Jakarta.
- Ganong WF. 2003. Buku Ajar Fisiologi Kedokteran. Edisi 20. 515-518. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Gardner, E. J., Simmons, M. J., and Snustad, D. P. 1991. Principles of Genetics. 8th.ed.: John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Harti, Agnes Sri. 2013. Biologi Medik. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Idjah Soemarto, dkk. 1981. Biologi Umum II. PT Gramedia. Jakarta.
- John W. Kimball. 1991. Biologi. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Juwono, Juniarto, A.Z. 2003. Biologi Sel., EGC. Jakarta
- Kimbal, John W. 1994. Biologi. Jilid 1, 2, dan 3. Edisi kelima. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Markam, S. dkk., 2004. Kamus Kedokteran. Balai Penerbit FKUI. Jakarta.
- Pai, A.C. Dasar – dasar genetika. 1987. Ilmu untuk Masyarakat. Edisi kedua. McGraw-Hill, Inc. Alih Bahasa Dr. Muchidin Apandi, Msc, ITB. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Robert, J.A.F., Pembrey, M.E. 1995. Pengantar Genetika Kedokteran. Edisi delapan. Alih Bahasa Dr. Hartono, FK Univ – GAMA. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Sastrawinata, U.S. 2008. Bioteknologi Molekuler Praktis dan Aplikasi Sitogenetika Dasar. Penerbit P.T. Alumni. Bandung.
- Suryo, Ir. 1990. Genetika Manusia. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Suryo, Ir. 1994. Genetika Strata 1. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Walker, Sharon. 2014. Menyingkap Tabir Bioteknologi-Panduan Belajar Mandiri., Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Weaver, R. F., and Hedrick, P. W. 1992. Genetics. 2nd.ed. Dubuque: Wm.C. Brown Publ.
- Widayanti, H., Khrisnayanti, I.N. 2003. Bioteknologi. Penerbit INSIST PRESS. Yogyakarta.
- Yatim, W., 2003. Biologi Modern, Biologi Sel. PT. Tarsito. Bandung.
- Yatim, W. 1991. Genetika Untuk Mahasiswa. Edisi keempat. Penerbit Tarsito. Bandung.



# Bab 6

## KONSEP MENDEL, PEWARISAN SIFAT, DAN PENYAKIT KELAINAN GENETIKA

*Rudina Azimata Rosyidah, S.Si, M.Biomed*

*Rodhi Hartono, SKP, NS, M.Biomed*

### Pendahuluan

**S**elamat datang di Bab 6, silakan Anda mempelajari kelanjutan dari materi tentang dasar genetika di Bab 5. Pada Bab 6 ini dijabarkan lagi tentang pewarisan sifat dan pengetahuan tentang penyakit kelainan genetika. Mahasiswa D3 Teknologi Bank Darah bisa mempelajari aspek genetika lebih mendalam meliputi dasar-dasar pewarisan Mendel meliputi Hukum Mendel 1 dan 2 serta Hukum Non Mendel, konsep mutasi serta kelainan genetika atau penyakit kelainan darah yang diturunkan dari kromosom tubuh (autosom) seperti thalasemia dan diturunkan dari kromosom sex (gonosom) contohnya hemofilia. Untuk itu pelajarilah dengan seksama uraian yang disajikan dalam Bab 6 ini. Agar Anda dapat memahami bab ini dengan mudah dan mampu menjelaskannya dengan baik, maka Bab 6 dibagi menjadi 3 (tiga) topik:

1. Topik 1: Hukum Mendel dan Non Mendel
2. Topik 2: Kelainan Genetika dan Penyakit yang diturunkan dari Kromosom Autosomal Resesif dan Dominan
3. Topik 3: Kelainan Genetika dan Penyakit yang diwariskan dari Kromosom Gonosom (X-Linked dan Y-Linked) dan Pengaruh Mutasi/ Aberasi Kromosom

Isi Bab 6 ini sangat bermanfaat bagi mahasiswa selaku calon tenaga profesional kesehatan di bidang pelayanan darah. Dalam tugas tersebut Anda dituntut mampu memerankan diri sebagai teknisi yang mandiri dan profesional serta memiliki konsep dasar pengetahuan yang mendalam tentang genetika manusia sebagai calon pendonor darah yang perlu diketahui bagaimana latar belakang genetiknya, juga penyakit kelainan genetik pada darah yang bisa diwariskan pada keturunannya jika mempunyai sifat carrier. Hal ini juga dikarenakan seorang Teknisi Pelayanan Darah langsung menggunakan manusia sebagai objek transfusi darah. Harapannya, teknisi dapat fokus dalam bidang pelayanan namun tidak

melupakan konsep dasar keilmuan sebagai pondasinya. Biologi sel dan genetika merupakan ilmu dasar yang wajib dipelajari bagi mahasiswa kesehatan termasuk di Program Studi Diploma III Teknologi Bank Darah.

Setelah Anda mempelajari materi dalam Bab 6 ini dengan sungguh-sungguh maka di akhir proses pembelajaran Anda diharapkan akan dapat menjelaskan tentang Hukum Mendel, mekanisme pewarisan sifat dan memaparkan contoh-contoh penyakit kelainan genetika yang juga meliputi penyakit kelainan darah.

Agar diperoleh hasil yang optimal, maka dalam mempelajari Bab 6 ini Anda diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pelajari Topik 1 terlebih dahulu, pahami setiap isi paragrafnya baru kemudian dilanjutkan Topik 2 dan seterusnya, karena Topik 1 merupakan dasar Anda untuk memahami uraian pada Topik 2 dan selanjutnya.
2. Kerjakan Latihan tanpa melihat isi uraian Bab 6.
3. Kerjakan Tes tanpa melihat isi uraian Bab 6.

Ukur hasil pekerjaan Anda, kemudian beri nilai sesuai kunci jawaban yang tersedia. Setiap jawaban benar diberi skor 1 dan setiap jawaban salah tidak diberi skor. Jika jawaban benar Anda hasilnya 80% atau lebih, maka Anda dipandang sudah menguasai materi pada Bab 6.

Semoga dengan membaca bab ini, dapat mengantarkan Anda untuk memahami dan mempelajari keseluruhan tentang konsep Mendel, cara mempelajari penurunan sifat dan penelitian yang dilakukan Mendel, Hukum Mendel dan penyimpangan semu Hukum Mendel, serta penyakit kelainan genetika yang berkaitan dengan kromosom. Kesamaan jumlah kromosom suatu individu selalu tetap dari generasi ke generasi, dapat dipahami melalui mekanisme meiosis yang terjadi saat pembentukan gamet baik pada persilangan monohybrid maupun dihibrid. Kelainan genetik yang terjadi pada suatu individu tentu saja harus dikaji mulai dari tingkat gen, karena manifestasi umum yang dapat kita lihat merupakan akibat kelainan yang terjadi di tingkat yang paling rendah, sehingga pemahaman tentang kromosom merupakan modal untuk memahami akibat -akibat yang tampak. Dengan demikian, ilmu genetik ini merupakan ilmu yang sangat bermanfaat untuk memahami fenomena-fenomena penurunan genetik yang terjadi. Ilmu tentang genetika yang didapatkan, kelak bisa diterapkan dan bisa mendasari keilmuan dalam mempraktikkan kegiatan di bidang pelayanan darah.

**SELAMAT BELAJAR SEMOGA SUKSES!**

# Topik 1

## Hukum Mendel dan Non Mendel

### A. MEKANISME PEWARISAN SIFAT

Mata berwarna coklat, biru, hijau, atau abu-abu, rambut berwarna hitam, coklat, pirang atau merah, hanya merupakan sebagian contoh dari variasi warisan yang dapat kita amati pada individu-individu dalam suatu populasi. Prinsip genetika apa yang dapat menjelaskan mekanisme pemindahan sifat tersebut dari orang tua ke keturunannya? Suatu penjelasan yang mungkin diberikan mengenai hereditas adalah hipotesis “pencampuran”, suatu gagasan bahwa materi genetik yang disumbangkan kedua orang tua bercampur dengan cara didapatkannya warna hijau dari pencampuran warna biru dan kuning. Hipotesis ini memprediksi bahwa dari generasi ke generasi, populasi dengan perkawinan bebas akan memunculkan populasi individu yang seragam. Namun demikian, pengamatan kita setiap hari, dan hasil percobaan pengembangbiakan hewan dan tumbuhan, ternyata bertolak belakang dengan prediksi tersebut.

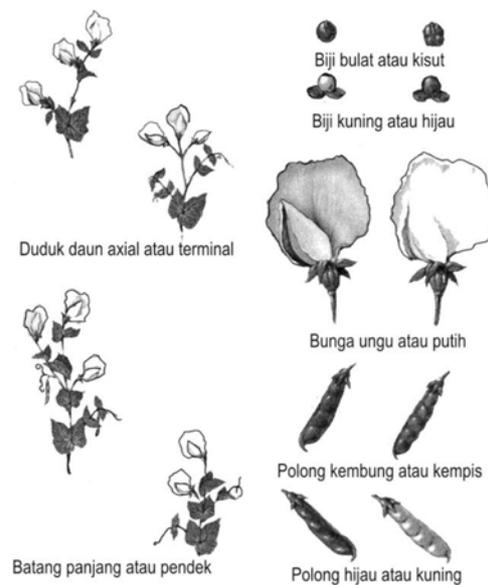
Hipotesis pencampuran juga gagal untuk menjelaskan fenomena lain dari penurunan sifat, misalnya sifat-sifat yang melompati sebuah generasi. Melalui teori pewarisan pencampuran (Blending Inheritance) dijelaskan bahwa sifat-sifat seorang anak merupakan hasil pencampuran dari sifat kedua orang tuanya. Perkawinan merupakan cara untuk terjadinya pencampuran darah atau cairan dari kedua tetua yang di dalamnya terdapat faktor penentu sifat. Sebuah alternatif terhadap model pencampuran ini adalah hipotesis penurunan sifat – “partikulat” (“particulate” inheritance): ide tentang gen. Menurut model ini, orang tua memberikan unit-unit warisan yang memiliki ciri sendiri – gen – yang tetap mempertahankan ciri khusus ini pada keturunan. Kumpulan gen suatu organisme lebih menyerupai sekumpulan kelereng dibandingkan seember cat. Seperti kelereng, gen dapat dipilah dan diteruskan dari generasi ke generasi, dalam bentuk yang tidak terbatas.

Apakah Anda mengenal istilah hereditas? Hereditas yang dimaksud dalam konteks genetika adalah kemampuan makhluk hidup untuk mewariskan sifat dan karakter fisik tubuhnya kepada keturunannya sehingga kelangsungan jenisnya dapat terus terjaga. Semua makhluk hidup memiliki kemampuan dasar ini yang terjadi melalui mekanisme perkawinan (fertilisasi/pembastaran), faktor internal yang dikenal sebagai gen adalah bagian yang bertanggung jawab dari mekanisme tersebut. Pada sebuah gen terdapat DNA (suatu asam nukleat yang dimiliki oleh semua makhluk hidup) yang berperan sebagai sketsa atau cetak biru

bagaimana bentuk, sifat serta karakter fisik dari suatu makhluk hidup. DNA sebagai bagian dari asam nukleat yang telah dijelaskan dalam Bab 5, memang berperan penting dalam pewarisan sifat. Hal ini pulalah yang menjelaskan bagaimana buah-buahan dapat memiliki sensasi rasa yang berbeda-beda, bagaimana seorang anak dapat mirip dengan orang tuanya atau yang lebih luas bagaimana menjelaskan terjadinya keberagaman makhluk hidup yang terdapat di dunia ini.

Semua hal yang besar dan menakjubkan itu bermula dari bagian kecil tersebut. Dari sebuah rantai DNA yang terdapat pada sebuah gen di setiap kromosom dari sel setiap makhluk hidup, mencirikan dan menampilkan berbagai jenis karakter dan sifat fisik makhluk hidup. Selanjutnya hal tersebut pada akhirnya menghasilkan suatu keanekaragaman makhluk hidup yang ada di dunia dan memenuhi tiap sisinya. Hal ini juga memberikan bukti serta tanda-tanda kebesaran Tuhan, yang menciptakan hal-hal besar serta menakjubkan dari hal-hal kecil yang bahkan tanpa kita sadari.

Genetika merupakan ilmu yang mempelajari pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya. Tokoh yang pertama kali memperkenalkan genetika adalah Gregor Mendel (1822-1884) merupakan seorang pendeta berkebangsaan Austria. Mendel melakukan uji coba persilangan dengan menggunakan kacang ercis (*Pisum sativum*) dalam penelitiannya. Beberapa alasan mendel menggunakan kacang ercis sebagai objek penelitian antara lain karena kacang ercis menghasilkan keturunan yang banyak, siklus hidup singkat serta mudah disilangkan.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.1**

Aneka Sifat Tanaman Kapri pada Penelitian Mendel

Mendel mengadakan percobaan di kebunnya dengan tanaman kacang kapri. Di kebunnya Mendel mempunyai tanaman kacang kapri yang beraneka ragam, ada yang mempunyai bunga merah dan putih, ada yang tanamannya tinggi dan rendah, duduk bunga, warna dan bentuk polong berbeda. Mendel memilih tanaman kapri yang berbunga merah dan putih untuk mempelajari penurunan sifat bunga merah dan putih kacang kapri. Dia berulang kali mengadakan pembastaran antara tanaman kacang kapri bunga merah dengan tanaman kapri berbunga putih dan hasilnya dicatat dengan sangat teliti. Caranya dengan menyerbukkan tepung sari bunga putih ke putik bunga merah.

Setelah diadakan penyerbukan, ditunggu beberapa bulan sampai muncul buah pada tanaman kacang kapri bunga merah atau pada tanaman yang berbunga putih. Setelah buah masak, bijinya diambil dan biji-biji tadi ditanam lagi. Ditunggu beberapa minggu sampai tanaman kacang kapri yang tumbuh dari biji tersebut berbunga. Tanaman kacang kapri hasil pembastaran ini disebut sebagai turunan ke-1, atau sebagai Filial ke-1 (disingkat F1). Warna-warna bunga yang terjadi diamati. Warna bunga apa saja yang timbul pada tanaman kacang kapri F1 tersebut? Mendel mencatat bunga yang timbul, yaitu semua bunganya berwarna merah pada tanaman kacang kapri F1.

Apa kesimpulan Mendel dari hasil percobaannya? Mendel menyimpulkan bahwa sifat merah dari bunga disebut sifat dominan terhadap sifat putih dari bunga tanaman kacang kapri. Artinya, sifat merah akan "mengalahkan" sifat putih bunga pada tanaman kacang kapri sehingga sifat putih "tertutup" oleh sifat merah sehingga sifat putih tidak tampak. Sifat putih yang seolah-olah tertutup atau kalah oleh sifat merah, disebut sebagai sifat resesif. Sifat merah atau putih dari bunga, atau sifat bulat atau lonjong dari bentuk biji, selanjutnya kita sebut sebagai gen. Selanjutnya, apa yang dilakukan Mendel? Mendel membastarkan tanaman kacang kapri F1 dengan tanaman kacang kapri F1 lainnya. Jadi, di sini tanaman kacang kapri F1 yang berbunga merah dibastarkan dengan kacang kapri F1 yang berbunga merah juga. Hasilnya bagaimana? Ternyata turunan yang dihasilkan atau turunan ke-2 atau Filial ke-2 (disingkat F2), memberikan hasil tanaman kacang kapri yang berbunga merah dan putih dengan perbandingan 3:1.

Umpamakan sifat atau gen bunga merah kita namakan M, dan sifat atau gen bunga putih kita namakan m. Ada perjanjian cara penulisan simbol huruf bagi gen yang bersifat dominan dan yang resesif. Gen yang dominan ditulis dengan huruf kapital (huruf besar), sedangkan yang bersifat resesif ditulis dengan simbol huruf kecil. Maka tanaman yang berbunga merah galur murni mempunyai genotip MM, dan yang berbunga putih galur murni mempunyai genotip mm. Gen-gen tadi juga berpasangan atau memiliki alel. Oleh karena itu, gen pada tanaman kacang kapri selalu ditulis dengan simbol huruf secara lengkap, misalnya MM, Mm, dan mm.

Agar Anda dapat mempelajari dan memahami tentang konsep ini, maka terlebih dahulu diperkenalkan beberapa istilah yang dipakai pada genetika. Kalau kita lihat tanaman kacang kapri berbunga merah atau berbunga putih maka apa yang dapat dilihat itu disebut sebagai fenotip. Apa fenotip tanaman kacang kapri yang berbunga merah itu? Fenotipnya ialah merah. Apa fenotip tanaman kacang kapri yang berbunga putih? Fenotipnya ialah putih. Begitu pula hal ini berlaku untuk fenotip rambut keriting pada orang yang mempunyai rambut keriting atau fenotip hidung mancung untuk orang berhidung mancung.

Jadi, pengertian fenotip berkaitan dengan sifat luar tanaman atau makhluk hidup sebagai ekspresi gen yang dimilikinya. Istilah lain yang perlu diketahui oleh Anda ialah istilah genotip. Tadi dikatakan bahwa tanaman kacang kapri yang berbunga merah mempunyai gen MM. Gen M inilah yang menyebabkan tanaman tersebut menjadi berwarna merah bunganya. Susunan gen pada tanaman kacang kapri berbunga merah adalah MM dan ini dikatakan bahwa genotip tanaman kacang kapri berbunga merah mempunyai genotip MM. Dengan demikian, kalau bicara mengenai genotip maka kita berbicara susunan gen yang terdapat pada kromosom sel tanaman atau makhluk hidup lain dan sudah barang tentu tidak tampak dari luar.

Sebelum membahas pembastaran Mendel lebih jauh, jika Anda cermati sejak awal uraian Bab 6 ini terdapat beberapa istilah yang khas jika kita membahas hereditas, misalnya fenotip, bastar, gamet, gen resesif, dan lain-lain. Mungkin Anda bingung dengan istilah-istilah tersebut ketika pertama ditampilkan. Untuk itu, agar Anda lebih mengenal dengan baik istilah-istilah tersebut, berikut ini Anda diberikan kumpulan istilah-istilah tersebut lengkap dengan maknanya:

1. Fenotip: sifat tampak atau yang dapat diamati, misalnya warna bunga, ukuran, rambut hitam,
2. Genotip: sifat yang tidak tampak berupa susunan genetik yang dikandung suatu individu.
3. Homozigot: pasangan gen yang sama (sejenis) contohnya AA, aa
4. Heterozigot: pasangan gen tidak sejenis (tidak sama) contohnya Aa, Bb
5. Bastar: persilangan dua individu yang berbeda jenis
6. Filial: keturunan
7. Parental: induk/tetua
8. Gen dominan: gen yang menutupi gen lain atau gen yang mendominasi (kuat), biasanya diberi simbol dengan huruf besar (A, B)
9. Gen resesif: gen yang tertutupi (lemah), dilambangkan dengan huruf kecil (a, b)
10. Gamet: macam gen yang dihasilkan.
11. Carrier: gen pembawa sifat, tidak menunjukkan gejala tapi membawa gen yang dapat diwariskan kepada keturunannya.

Apa yang dapat disimpulkan dari pembastaran yang dilakukan Mendel? Beberapa kesimpulan dari percobaan Mendel adalah sebagai berikut:

1. Gen dominan (M) akan "mengalahkan pengaruh" gen resesif (m) sehingga tanaman kacang kapri turunan F1 dengan genotip Mm akan berbunga merah. Ini disebut sebagai prinsip dominan.
2. Turunan F1 dengan genotip Mm akan menghasilkan dua macam gamet yang bergenotip M dan m dalam jumlah yang sama. Ini artinya kalau dihasilkan 100 serbuk sari maka 50 serbuk sari akan bergenotip M, dan sisanya 50 serbuk akan bergenotip m. Begitu pula jika dihasilkan 100 sel telur maka yang 50 akan bergenotip M, dan yang 50 lagi akan bergenotip m. Dengan kata lain, akan menghasilkan 50% serbuk sari bergenotip M dan 50% bergenotip m; dan 50% sel telur bergenotip M dan 50% bergenotip m. Hal ini terjadi karena pada waktu pembentukan sel kelamin (gamet), pasangan gen Mm akan mengadakan pemisahan (disebut juga segregasi) sehingga masing-masing sel kelamin yang terbentuk memperoleh hanya satu gen saja, M atau m. Peristiwa pemisahan ini selanjutnya disebut sebagai prinsip segregasi atau Hukum Mendel I.

Mendel menemukan hukum pewarisan sifat yang dikenal dengan hukum mendel I dan hukum mendel II. Berikut ini akan dibahas tentang bunyi hukum mendel 1 dan 2.

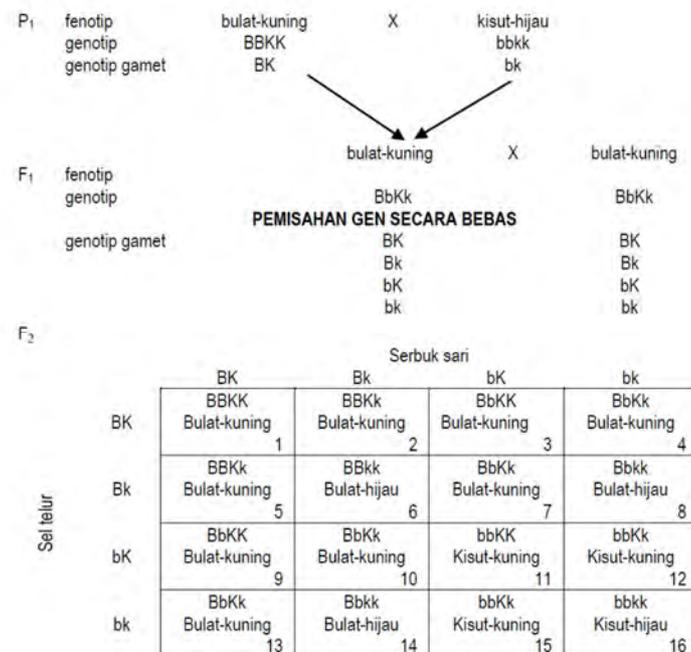
## **B. HUKUM MENDEL I**

Hukum mendel 1 merupakan hukum segregasi (pemisahan) menyatakan bahwa "gen gen akan memisah secara bebas." Hukum ini hanya berlaku untuk persilangan dengan satu sifat beda. Hukum Mendel I disebut juga hukum segregasi adalah mengenai kaidah pemisahan alel pada waktu pembentukan gamet. Pembentukan gamet terjadi secara meiosis, dimana pasangan-pasangan homolog saling berpisah dan tidak berpasangan lagi/ terjadi pemisahan alel-alel suatu gen secara bebas dari diploid menjadi haploid. Dengan demikian setiap sel gamet hanya mengandung satu gen dari alelnya. Fenomena ini dapat diamati pada persilangan monohybrid, yaitu persilangan satu karakter dengan dua sifat beda.

Contoh masalah pewarisan turunan: Disilangkan tanaman tinggi dengan tanaman rendah didapatkan keturunan pertama tanaman tinggi heterozigot, selanjutnya keturunan pertama disilangkan sesamanya. Tentukan fenotip keturunan berikutnya?



Untuk mendapatkan keturunan berikutnya disilangkan sesama keturunan pertama, yaitu TtBb x TtBb. Hasilnya adalah dengan perbandingan 9 (tinggi bulat) : 3 (tinggi kisut) : 3 (rendah bulat) : 1 (rendah kisut).



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.2**

Pembastaran antara tanaman kacang kapri biji bulat-kuning dengan tanaman kacang kapri biji kisut hijau

Contoh masalah persilangan dihibrid berikutnya: persilangan antara biji bulat-kuning dan kisut-hijau. Dari turunan F<sub>2</sub> terdapat 16 kemungkinan kombinasi turunan yang terdiri dari: 9 bagian bulat-kuning, 3 bagian bulat-hijau, 3 bagian kisut-kuning, dan 1 bagian kisut-hijau sehingga dapat dikatakan bahwa perbandingan turunan yang diperoleh pada F<sub>2</sub> adalah = 9:3:3:1. Perbandingan ini dapat ditulis dengan cara lain, yaitu 9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 6.2.

Dari pembastaran dihibrid yang dilakukan Mendel tersebut di atas dapat dibuat kesimpulan bahwa:

Pada pembastaran dihibrid, yaitu yang melibatkan dua sifat beda, setiap pasang gen dari turunan F<sub>1</sub> akan memisah dan mengelompok secara bebas menuju gamet pada waktu pembentukan gamet. Karena ada peristiwa pemisahan dan pengelompokan secara bebas ini pada turunan F<sub>1</sub>, dengan genotip BbKk akan dihasilkan 4 macam gamet, yaitu BK, Bk, bK dan bk, yang masing-masing

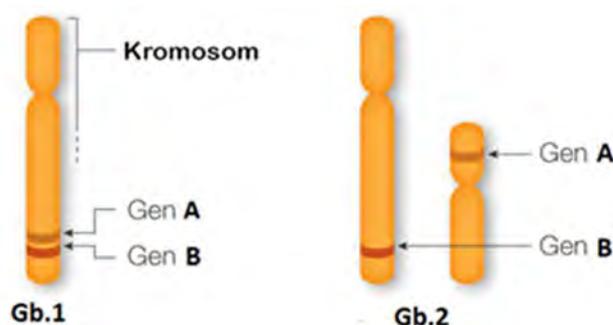
mempunyai perbandingan  $\frac{1}{4} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4}$ . Selanjutnya pemisahan secara bebas ini disebut Mendel sebagai prinsip pemisahan gen secara bebas atau disebut sebagai Prinsip/Hukum Mendel II.

## D. HUKUM NON MENDEL

Pada pewarisan sifat terdapat pola-pola tertentu dalam mewariskannya. Hukum non Mendel merupakan hukum yang menyimpang dari hukum Mendel. Aturan ini diperkenalkan oleh Morgan dengan menggunakan menyilangkan lalat buah (*Drosophilla melanogaster*). Adapun peristiwa yang termasuk hukum non mendel adalah pautan gen, pindah silang dan gagal berpisah.

### 1. Pautan gen (*gene linked*)

Setiap kromosom mengandung gen yang tersimpan di dalam lokus baik pada kromosom yang sama maupun kromosom yang berbeda. Gen yang terletak pada satu kromosom homolog akan saling berdekatan sehingga memungkinkan terjadinya pautan gen (*gene linked*). Semakin panjang kromosom maka akan semakin banyak gen yang dikandungnya sehingga makin besar peluang terjadinya pautan gen. Contoh peristiwa pautan gen pada kromosom AaBb. Dalam keadaan normal (Sesuai hukum mendel) kromosom ini akan menghasilkan 4 macam gamet yakni AB, Ab, aB, ab. Sementara jika terjadi pautan antara gen A dan B maka hanya akan terbentuk dua macam gamet yakni AB, ab karena gen yang terpaut akan berpisah secara bersama sama sehingga menghasilkan jumlah gamet yang lebih sedikit.



(Sumber: Image.google.co.id)

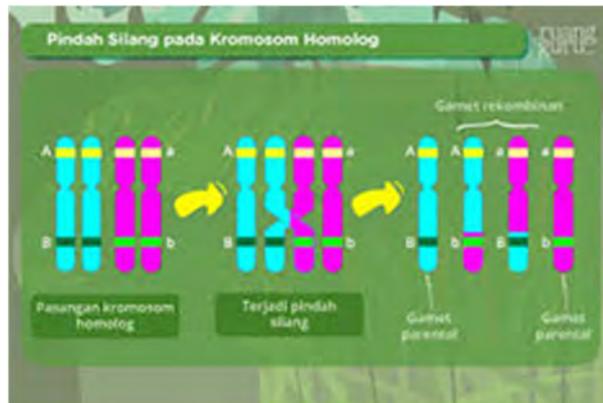
**Gambar 6.3**

Pautan gen (Gb. 1) dan tidak pautan (Gb. 2)

### 1. Pindah silang (*crossing over*)

Pindah silang merupakan peristiwa perpindahan gen dari satu kromosom ke kromosom lainnya. Peristiwa ini terjadi pada fase profase pada pembelahan meiosis 1. Makin panjang

gen yang terangkai maka akan semakin besar terjadinya pindah silang. Pada peristiwa pindah silang akan menghasilkan keturunan baru yang berbeda dari kedua induknya. Hal ini akan menimbulkan rekombinasi gen yakni menggabungkan sebagian gen induk jantan dan sebagian gen induk betina pada peristiwa fertilisasi sehingga menghasilkan susunan gen yang berbeda dari kedua induknya.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.4**

Peristiwa pindah silang menghasilkan gamet rekombinan

Menghitung nilai persentase dari pindah silang dapat menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Pindah Silang (NPS)} = \frac{\text{Jumlah fenotip rekombinan}}{\text{Jumlah fenotip rekombinan} + \text{jumlah fenotip parental}} \times 100 \%$$

*Contoh soal:*

Hasil persilangan antara jeruk rasa manis ukuran buah besar (manis-besar) dengan jeruk rasa asam ukuran buah kecil (asam-kecil) menghasilkan keturunan sebagai berikut:

- Manis-besar = 100 buah
- Manis-kecil = 50 buah
- Asam-besar = 150 buah
- Asam-kecil = 50 buah

Maka dapat dihitung nilai pindah silangnya adalah:

$$\text{Nilai Pindah Silang (NPS)} = \frac{\text{Jumlah fenotip rekombinan}}{\text{Jumlah fenotip rekombinan} + \text{jumlah fenotip parental}} \times 100 \%$$

$$\text{Nilai Pindah Silang (NPS)} = \frac{50 + 150}{(50 + 150) + (100 + 50)} \times 100 \%$$

$$\text{Nilai Pindah Silang (NPS)} = \frac{200}{350} \times 100 \%$$

$$\text{Nilai Pindah Silang (NPS)} = 66 \%$$

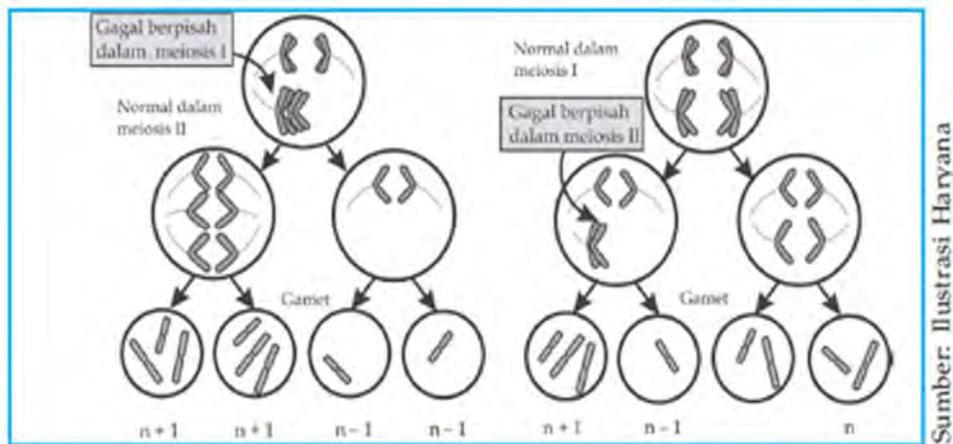
### 3. Gagal berpisah (*non disjunction*)

Gagal berpisah terjadi pada tahapan anafase 2 pada proses pembelahan sel. Pada tahapan anafase, kromosom akan ditarik pada kutub yang berlawanan akan tetapi pada keadaan abnormal (kelainan) dimana kromosom mengalami gagal berpisah. Hal ini akan menyebabkan kromosom hanya akan tertarik ke salah satu kutub saja. Akibat peristiwa tersebut ada gamet yang mengalami pengurangan atau penambahan jumlah kromosom. Contoh peristiwa gagal berpisah dapat dilihat pada penjelasan berikut:

- Ibu = (44A + XX)
  - Normal = (22A + X) dan (22A + X)
  - Gagal berpisah = (22A + XX) dan (22A + --)
  
- Ayah = (44A + XY)
  - Normal = (22A + X) dan (22A + Y)
  - Gagal berpisah = (22A + XY) dan (22A + --)
  
- Keturunan = (44A + XXY) (Sindrom Klinefelter)

Dalam keadaan normal, anak akan mewarisi setengah kromosom ibu dan setengah kromosom ayah. Jika salah satu parental (orang tua) mengalami gagal berpisah maka akan menyebabkan terjadinya sindrom. Contoh anak mewarisi setengah kromosom ibu dalam keadaan normal (22A+X) akan tetapi ayah mengalami gagal berpisah (22A+XY) sehingga menyebabkan kromosom anak menjadi 44A + XXY (trisomi) yang dikenal dengan sindrom

klinefelter. Penderita sindrom klinefelter memiliki ciri-ciri laki laki tapi testis tidak tumbuh, dan menunjukkan perkembangan ciri ciri sekunder wanita seperti payudara berkembang.



(Sumber: Image.google.co.id)

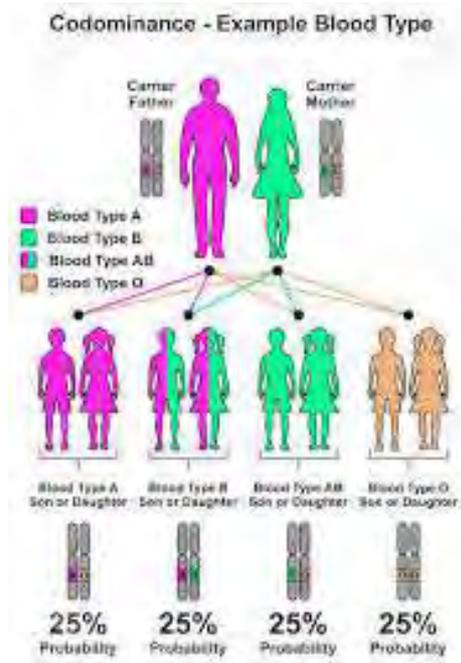
**Gambar 6.5**

Peristiwa gagal berpisah menyebabkan kelebihan dan kekurangan kromosom

Terdapat modifikasi nisbah Mendel antara lain:

- Modifikasi nisbah 3:1 seperti semi dominansi, kodominansi, dan gen letal.
- Modifikasi nisbah 9:3:3:1 seperti epistasis resesif, epistasis dominan, epistasis resesif ganda, epistasis dominan ganda, epistasis dominan resesif, epistasis gen duplikat dengan efek kumulatif dan interaktif gen.

Dari sekian banyak contoh modifikasi nisbah Mendel, Anda bisa mempelajarinya lebih mendalam dari berbagai sumber bahan ajar jika sebagai seorang Biolog. Namun tidak ada salahnya jika sebagai seorang Teknisi Pelayanan darah, Anda bisa memahami misalnya terkait modifikasi nisbah 3:1 yaitu kodominansi. Kodominansi tidak memunculkan sifat antara pada individu heterozigot, tetapi menghasilkan sifat yang merupakan hasil ekspresi masing-masing alel. Contoh pada pewarisan golongan darah sistem ABO pada manusia.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.6**

Kodominansi sistem pewarisan golongan darah sistem ABO pada manusia

## Latihan

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

- 1) Apa yang dimaksud dengan istilah hereditas?
- 2) Mendel sebagai Bapak Genetika melakukan persilangan dengan tanaman kacang kapri. Bagaimana kesimpulan dari hasil percobaannya?
- 3) Jelaskan tentang bunyi Hukum Mendel I!
- 4) Berikan contoh persilangan dihibrid berdasarkan Hukum Mendel II.
- 5) Gagal berpisah merupakan salah satu dari Hukum Non Mendel, apa contoh penyakit yang ditimbulkannya?

## Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal latihan no 1 dan 2 Anda dapat membaca Bab 6, Topik 1 Bagian A. Untuk menyelesaikan soal 3 silakan Anda baca kembali Bab 6, Topik 1 bagian B. Untuk soal 4 silakan Anda membaca Bab 6, Topik 1 bagian C. Untuk menjawab soal 5 silahkan Anda membaca Bab 6, Topik 1 Bagian D.

## Ringkasan

- 1) Melalui teori pewarisan percampuran (Blending Inheritance) dijelaskan bahwa sifat-sifat seorang anak merupakan hasil pencampuran dari sifat kedua orang tuanya. Perkawinan merupakan cara untuk terjadinya percampuran darah atau cairan dari kedua tetua yang di dalamnya terdapat faktor penentu sifat.
- 2) Hereditas yang dimaksud dalam konteks genetika adalah kemampuan makhluk hidup untuk mewariskan sifat dan karakter fisik tubuhnya kepada keturunannya sehingga kelangsungan jenisnya dapat terus terjaga. Semua makhluk hidup memiliki kemampuan dasar ini yang terjadi melalui mekanisme perkawinan (fertilisasi/pembastaran), faktor internal yang dikenal sebagai gen adalah bagian yang bertanggung jawab dari mekanisme tersebut.
- 3) Beberapa kesimpulan dari percobaan Mendel tentang pembastaran adalah gen dominan (M) akan "mengalahkan pengaruh" gen resesif (m) sehingga tanaman kacang kapri turunan F1 dengan genotip Mm akan berbunga merah. Ini disebut sebagai prinsip dominan.
- 4) Hukum Mendel I merupakan hukum segregasi (pemisahan) menyatakan bahwa "gen-gen akan memisah secara bebas." Hukum ini hanya berlaku untuk persilangan dengan satu sifat beda. Hukum Mendel II dikenal dengan hukum asortasi bebas yang menyatakan bahwa "gen-gen dari dua pasang atau lebih akan mengelompok secara bebas". Hukum Mendel II hanya berlaku untuk persilangan dengan dua sifat beda atau dihibrid.
- 5) Hukum non Mendel merupakan hukum yang menyimpang dari hukum Mendel. Aturan ini diperkenalkan oleh Morgan dengan menggunakan menyilangkan lalat buah (*Drosophilla melanogaster*). Adapun peristiwa yang termasuk hukum non Mendel adalah pautan gen, pindah silang dan gagal berpisah.

## Tes 1

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!**

- 1) Melalui teori pewarisan percampuran (Blending Inheritance) dijelaskan bahwa sifat-sifat seorang anak merupakan hasil pencampuran dari sifat kedua orang tuanya. Sebuah alternatif terhadap model pencampuran ini adalah hipotesis penurunan sifat – "partikulat" yang merupakan ide tentang:
  - A. Kromosom
  - B. Gen

- C. Alel
  - D. Sel
- 2) Semua hal yang besar dan menakjubkan terkait pewarisan sifat bermula dari bagian kecil, yaitu sebuah rantai... yang terdapat pada sebuah gen di setiap kromosom dari sel setiap makhluk hidup, mencirikan dan menampilkan berbagai jenis karakter dan sifat fisik makhluk hidup.
- A. Asam Nukleat
  - B. Protein
  - C. DNA
  - D. RNA
- 3) Mendel melakukan uji coba persilangan dengan menggunakan kacang ercis (*Pisum sativum*) dalam penelitiannya. Beberapa alasan Mendel menggunakan kacang ercis sebagai objek penelitian antara lain karena kacang ercis menghasilkan:
- A. keturunan yang banyak, siklus hidup singkat dan mudah disilangkan
  - B. keturunan yang banyak, siklus hidup lama dan mudah disilangkan
  - C. keturunan yang sedikit, siklus hidup singkat dan mudah disilangkan
  - D. keturunan yang banyak, siklus hidup singkat dan rumit disilangkan
- 4) Tanaman kacang kapri yang berbunga merah mempunyai gen MM dan menyebabkan tanaman tersebut menjadi berwarna merah bunganya. Genotip adalah susunan gen yang terdapat pada kromosom sel tanaman atau makhluk hidup lain. Sedangkan yang dimaksud dengan fenotip adalah:
- A. sifat tampak dari luar tanaman atau makhluk hidup yang tidak dipengaruhi faktor lingkungan
  - B. sifat tampak dari luar tanaman atau makhluk hidup sebagai ekspresi gen yang dimilikinya
  - C. sifat dari dalam yang tidak tampak dari luar yang dipengaruhi faktor lingkungan
  - D. sifat dari dalam yang tidak tampak dari luar sebagai ekspresi gen yang dimilikinya
- 5) Contoh masalah pewarisan turunan dari Hukum Mendel I yaitu persilangan tanaman tinggi (TT) dengan tanaman rendah (Tt) didapatkan keturunan pertama tanaman tinggi heterozigot, selanjutnya keturunan pertama (F1: Tt) disilangkan sesamanya. Tentukan fenotip keturunan berikutnya akan menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotip:

- A. 3 : 1
  - B. 2 : 1
  - C. 1 : 3 : 1
  - D. 1 : 2 : 1
- 6) Hukum Mendel II dikenal dengan hukum asortasi bebas yang menyatakan bahwa “gen gen dari dua pasang atau lebih akan mengelompok secara bebas”. Hukum Mendel II hanya berlaku untuk persilangan dengan.... sifat beda atau dihibrid.
- A. Satu
  - B. Dua
  - C. Tiga
  - D. Empat
- 7) Persilangan dihibrid antara biji bulat-kuning dan kisut-hijau. Dari turunan F2 terdapat beberapa kemungkinan kombinasi turunan yang terdiri dari: 9 bagian bulat-kuning, 3 bagian bulat-hijau, 3 bagian kisut-kuning, dan 1 bagian kisut-hijau sehingga dapat dikatakan bahwa perbandingan turunan yang diperoleh pada F2 adalah = 9:3:3:1. Perbandingan ini dapat ditulis dengan cara lain, yaitu:
- A.  $9/4 : 3/4 : 3/4 : 1/4$
  - B.  $9/12 : 3/12 : 3/12 : 1/12$
  - C.  $9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16$
  - D.  $9/18 : 3/18 : 3/18 : 1/18$
- 8) Pada pewarisan sifat terdapat pola-pola tertentu dalam mewariskannya. Hukum non Mendel merupakan hukum yang menyimpang dari hukum Mendel. Aturan ini diperkenalkan oleh Morgan dengan menyilangkan lalat buah (*Drosophilla melanogaster*). Yang termasuk hukum non Mendel adalah, kecuali:
- A. Pautan gen
  - B. Pindah silang
  - C. Gagal berpisah
  - D. Kodominansi
- 9) Setiap kromosom mengandung gen yang tersimpan di dalam lokus baik pada kromosom yang sama maupun kromosom yang berbeda. Gen yang terletak pada satu kromosom homolog akan saling..... sehingga memungkinkan terjadinya pautan gen (gene linked).
- A. Berjauhan
  - B. Berdekatan

- C. Berjarak
- D. Bersimpangan

10) Contoh dari peristiwa gagal berpisah (non disjunction) anak mewarisi setengah kromosom ibu dalam keadaan normal ( $22A+X$ ) akan tetapi ayah mengalami gagal berpisah ( $22A+XY$ ) sehingga menyebabkan kromosom anak menjadi  $44A + XXY$  (trisomi) yang dikenal dengan sindrom:

- A. Jacob
- B. Turner
- C. Klinefelter
- D. Down

## Topik 2

# Kelainan Genetika dan Penyakit yang diturunkan dari Kromosom Autosomal Resesif dan Dominan

**K**elainan dan Penyakit genetik adalah penyimpangan dari sifat umum atau sifat rata-rata manusia, serta merupakan penyakit yang muncul karena tidak berfungsinya faktor-faktor genetik yang mengatur struktur dan fungsi fisiologi tubuh manusia. Berdasarkan sifat alelnya maka kelainan dan penyakit genetik dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Kelainan dan penyakit genetik yang disebabkan faktor alel dominan autosomal
2. Kelainan dan penyakit genetik yang disebabkan faktor alel resesif autosomal
3. Kelainan dan penyakit genetik yang disebabkan alel tertaut dengan kromosom seks/gonosom
4. Kelainan dan penyakit genetik yang disebabkan oleh pengaruh aberasi kromosom

Bagian terkecil dari makhluk hidup adalah sel yang memiliki bagian inti yang disebut nucleus. Pada bagian inti terdapat kromosom yang sangat berperan dalam hereditas (keturunan). Jumlah kromosom pada makhluk hidup bervariasi, misalnya kromosom pada manusia berjumlah 46, simpanse berjumlah 48, jagung berjumlah 20, dan sebagainya yang pernah dibahas pada bab sebelumnya.

Di dalam kromosom terdapat ratusan ribu gen yang sangat berperan dalam sifat biologis dan genetis sel dalam suatu spesies. Pada makhluk hidup terdapat dua tipe kromosom yakni kromosom tubuh (autosom) dan kromosom kelamin (gonosom). Sehingga kelainan genetik pada manusia disebabkan oleh dua sebab yaitu kelainan autosom dan gonosom.

Determinasi seks pada manusia juga ditentukan oleh kromosom X dan Y. Jumlah kromosom manusia adalah 46 buah (23 pasang) yang terdiri dari 22 pasang autosom dan 1 pasang gonosom, maka formula kromosom manusia adalah:

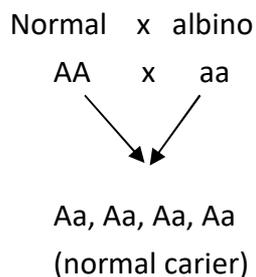
1. Untuk laki-laki adalah 46, XY atau dapat ditulis juga 44+XY
2. Untuk wanita adalah 46, XX atau dapat ditulis juga 44+XX

Rasio untuk dapat memperoleh anak laki-laki atau anak perempuan adalah sama yaitu 50% atau 1:1.

Penyakit genetik ditentukan secara genetis, secara lingkungan maupun kedua-duanya (genetis dan lingkungan). Perbedaan masing-masing tidak tegas, sampai dengan 20% penderita umumnya bayi mempunyai genetis abnormal, sekitar 50% pada abortus spontan mempunyai kelainan kromosomal. Penyakit genetik yang disebabkan autosom pada manusia biasanya bersifat resesif artinya dalam keadaan homozigot resesif baru menampakkan penyakit seperti albinisme, polidaktili, dll. Ada pula penyakit yang disebabkan karena mutasi kromosom misalnya pada Sindrom Down, Sindrom Patau, dll.

### A. PENYAKIT YANG DIWARISKAN DARI KROMOSOM AUTOSOMAL RESESIF

Manusia memiliki 22 pasang (44 buah) kromosom autosom. Beberapa penyakit yang dapat diturunkan dari kromosom autosom antara lain anemia sel sabit, fibrosis sistik, galaktosemia, albino, fenilketonuria, dan thallasemia. Contoh kasus, bagaimana jika seorang albino menikah dengan orang normal homozigot, bagaimanakah keturunannya?



Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jika seorang albino menikah dengan orang normal homozigot maka akan menghasilkan keturunan 100 % normal carier.

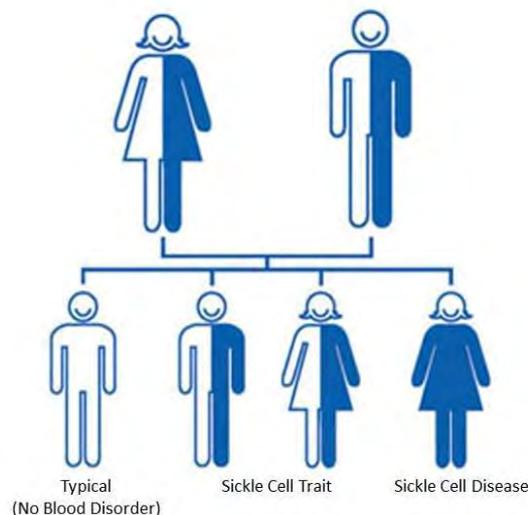
Perlu diingat bahwa setiap gen mengkode protein yang memiliki fungsi khusus. Alel yang menyebabkan kelainan genetik, mengkode protein yang tidak berfungsi atau tidak mengkode protein sama sekali. Pada kelainan yang bersifat resesif, heterozigot dikatakan normal dalam fenotipnya karena salah satu pasangan gen yang “normal”, dapat menghasilkan jumlah protein khusus yang cukup banyak. Dengan demikian, suatu penyakit yang diwarisi secara resesif, hanya muncul pada individu yang homozigot atau yang memiliki alel homozigot resesif. Kita dapat melambangkan genotipe penderita sebagai aa dan individu yang tidak memiliki kelainan dengan AA dan Aa. Namun heterozigot (Aa) yang secara fenotipe normal disebut karier secara genotipe, karena orang-orang seperti ini dapat saja menurunkan salah satu gen resesifnya kepada keturunan mereka. Sebagian orang yang memiliki kelainan resesif

lahir dari orang tua yang bergenotipe karier ( $Aa \times Aa$ ) ataupun dihasilkan dari perkawinan ( $Aa \times aa$ ) serta ( $aa \times aa$ ).

Penyakit autosomal resesif disebabkan mayoritas kelainan mendelian (monogenic disorders) dan hanya pada homozigot, sedangkan heterozigot sebagai carier (pembawa sifat) saja. Gejala terjadi pada masa anak-anak, seringkali terjadi kegagalan enzimatik. Untuk deteksinya menggunakan tes pada orang tua dan sel amnion. Penyakit autosomal resesif dapat dicontohkan sebagai berikut:

### 1. Anemia sel sabit

Penyakit anemia sel sabit disebabkan oleh substitusi suatu asam amino tunggal dalam protein hemoglobin berisi sel-sel darah merah. Ketika kandungan oksigen darah individu yang diserang dalam keadaan rendah (misalnya pada saat berada di tempat yang tinggi atau pada waktu mengalami ketegangan fisik), hemoglobin sel sabit akan mengubah bentuk sel-sel darah merah menjadi bentuk sabit. Individu yang menderita anemia sel sabit disimbolkan dengan  $ss$ . Sedangkan individu normal memiliki genotipe  $SS$  dan karier anemia sel sabit disimbolkan dengan  $Ss$ .



(Sumber: Image.google.co.id)

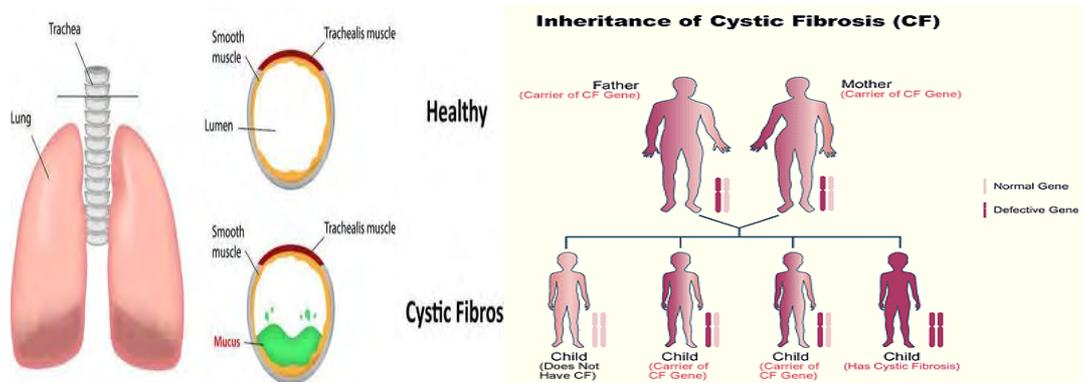
**Gambar 6.7**

Pewarisan Penyakit Anemia Sel Sabit

### 2. Fibrosis sistik (*cystic fibrosis*)

Fibrosis sistik disebabkan oleh tidak adanya protein yang membantu transpor ion klorida melalui membran plasma. Oleh karenanya dihasilkan banyak lendir yang mempengaruhi pankreas, saluran pernapasan, kelenjar keringat, dan lain-lain. Fibrosis sistik disebabkan oleh

alel homozigot resesif (cc). Individu heterozigot (Cc) tidak menderita gejala penyakit ini, namun merupakan karier. Sedangkan individu normal bergenotipe (CC).



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.8**

Fibrosis Sistik

### 3. Galaktosemia

Galaktosemia disebabkan tubuh tidak dapat menggunakan galaktosa (laktosa dari ASI ibu) karena tidak dihasilkan enzim pemecah laktosa. Pada keadaan normal seharusnya laktosa dirombak menjadi glukosa dan galaktosa, kemudian menjadi glukosa-1-fosfat yang kemudian dirombak melalui proses glikolisis atau diubah menjadi glikogen. Tingkat galaktosa yang tinggi pada darah dapat menyebabkan kerusakan mata, hati, dan otak.

Gejala galaktosemia adalah malnutrisi, diare, dan muntah-muntah. Gejala ini dapat dideteksi dengan pemeriksaan sampel urin. Gejala galaktosemia dapat dihindari dengan diet bebas laktosa. Alel homozigot resesif yang menyebabkan galaktosemia (gg). Individu yang normal mempunyai alel (GG), sedangkan individu karier dengan alel (Gg).

### 4. Albino

Kata albino berasal dari albus yang berarti putih. Kelainan terjadi karena tubuh tidak mampu membentuk enzim yang diperlukan untuk mengubah asam amino tirosin menjadi beta-3,4-dihidroksifenilalanin untuk selanjutnya diubah menjadi pigmen melanin. Pembentukan enzim yang mengubah tirosin menjadi melanin, ditentukan oleh gen dominan A, sehingga orang normal mempunyai genotipe AA atau Aa, dan albino aa.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.9**

Penderita Abino

Contoh pewarisan penyakit Albino jika perempuan normal carier menikah dengan laki-laki normal dicontohkan sebagai berikut:

Parental (P1)	:	♀ aa	><	♂ AA
		Albino		normal
Gamet	:	a		A
Filial (F1)	:	Aa (normal carrier) = 100%		

Jika F1 menikah dengan orang albino maka:

Parental	:	♀ Aa	><	♂ aa
		Normal carrier		albino
Gamet	:	A, a		a
Filial	:	Aa = normal carrier = 50%		
		Aa = albino = 50%		

## 5. Phenylketonuria (PKU)

Phenylketonuria merupakan suatu penyakit keturunan yang disebabkan oleh ketidakberesan metabolisme, dimana penderita tidak mampu melakukan metabolisme

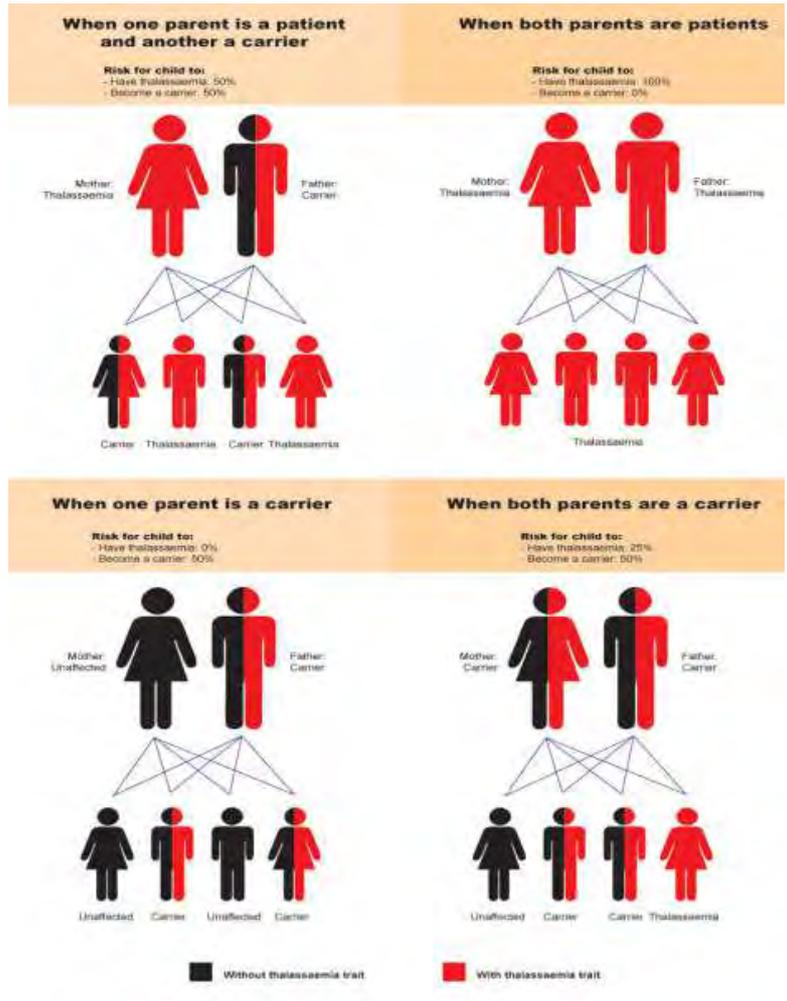
fenilalanin dengan normal. Asam amino ini merupakan bahan untuk mensintesis protein, tirosin, dan melanin. Sebagian fenilalanin diubah menjadi fenil piruvat. Gejala penyakit ditandai dengan bertimbunnya asam amino dalam darah yang banyak terbuang melalui urin, mental terbelakang (IQ<30), rambut putih, mata kebiruan (produksi melanin kurang baik), bentuk tubuh khas seperti orang *psychotic*, gerakan menyentak-nyentak, dan bau tubuh apak.

Bayi yang menderita phenylketonuria mengandung kadar fenilalanin yang tinggi di dalam darah dan jaringan, karena tidak memiliki enzim *phenylalanin hidroxylase*, yang mengubah fenilalanin menjadi tirosin. Asam phenyl piruvat pun meningkat, diekskresi melalui urin dan keringat, sehingga tubuh berbau apak. Kadar fenilalanin yang tinggi dapat merusak otak bayi, dan mundurnya kejiwaan setelah berumur 6 tahun. Penderita mempunyai genotip phph (homozigot resesif). Orang normal mempunyai genotip PhPh (homozigot dominan) dan Phph (heterozigot).

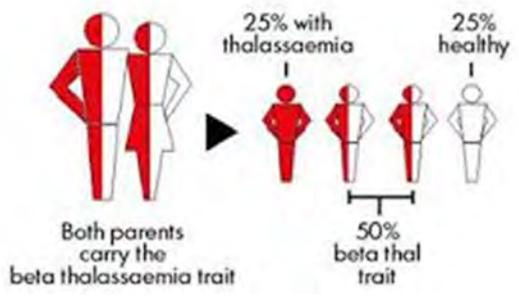
## 6. Thalassemia

Istilahnya berasal dari kata thalasa = laut dan anemia. Thalassemia merupakan kelainan genetik yang ditandai dengan berkurangnya atau tidak ada sama sekali sintesa rantai hemoglobin, sehingga hanya mempunyai kemampuan sedikit untuk mengikat oksigen. Pada thalassemia dimana eritrosit mempunyai gambaran: microcytic (kecil), leptocytic (lonjong) dan polycythemic (banyak), bercampur baur membentuk apa yang disebut "target cell". Thalassemia dibedakan atas:

- a. *Thalassemia* mayor, sangat parah, sering menyebabkan kematian waktu bayi.
- b. *Thalassemia* minor, tidak parah, mempunyai sedikit gejala pembengkakan limpa.



(a)



(b)

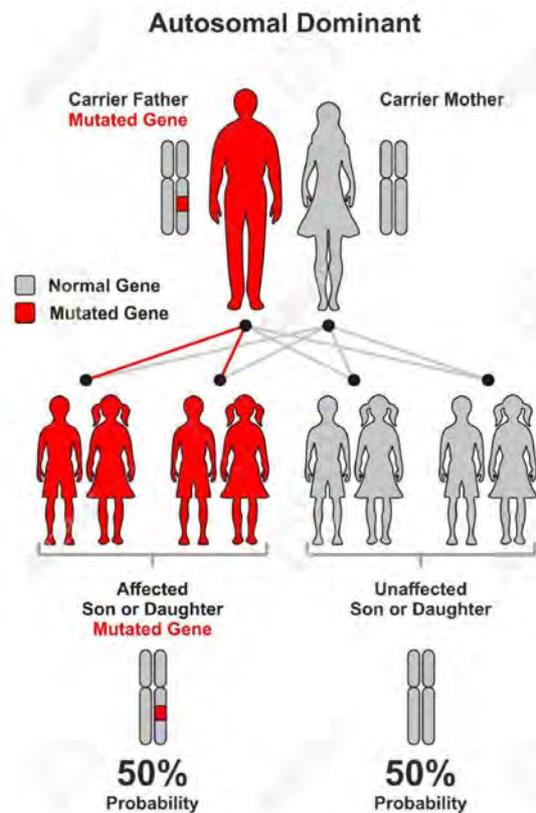
(Sumber: Image.google.co.id)

Gambar 6.10

a dan b Pewarisan Penyakit Thalasemia

## B. PENYAKIT YANG DIWARISKAN DARI KROMOSOM AUTOSOMAL DOMINAN

Penyakit autosomal dominan dapat terjadi pada homozigot maupun heterozigot, umumnya heterozigot yang diwariskan dari satu orang tua. Dapat terjadi pada pria dan wanita, juga transmisi dari satu generasi ke generasi lainnya. Beberapa penyakit yang dapat diturunkan dari kromosom autosomal dominan antara lain akondroplasia, brakidaktili, huntington, dan polidaktili.



(Sumber: Image.google.co.id)

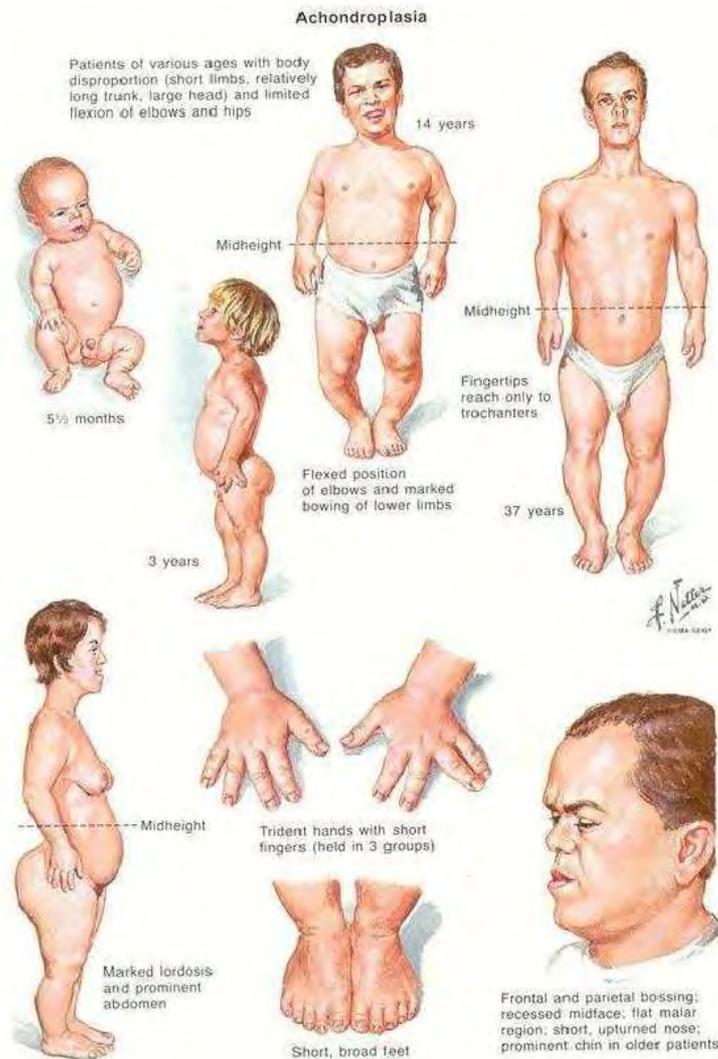
**Gambar 6.11**

Pewarisan Sifat dari Autosomal Dominan

Berkaitan dengan pewarisan sifat autosomal dominan ini, bagi individu normal ditandai dengan memiliki gen homozigot resesif, sedangkan bagi individu dengan penyakit autosomal dominan dapat terjadi pada genotip homozigot maupun heterozigot seperti pada beberapa penyakit sebagai berikut:

## 1. Akondroplasia

Akondroplasia disebabkan oleh tidak terbentuknya komponen tulang rawan pada kerangka tubuh secara benar. Individu akondroplasia dewasa mempunyai kaki dan lengan yang tidak normal (pendek) dengan tinggi tubuh kurang dari 1,2 meter. Namun intelegensi, ukuran kepala, dan ukuran tubuh normal. Individu penderita akondroplasia mempunyai genotipe KK atau Kk. Sedangkan individu normal bergenotipe homozigot resesif (kk).



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.12**

Penyakit Akondroplasia

## 2. Brakidaktili

Brakidaktili adalah suatu kelainan yang dicirikan dengan jari tangan atau kaki yang memendek karena memendeknya ruas-ruas tulang jari. Penderita brakidaktili memiliki gen dalam keadaan heterozigot (Bb). Individu yang memiliki gen dalam keadaan homozigot dominan (BB) menyebabkan kematian pada masa embrio, sedangkan dalam keadaan heterozigot hanya mempunyai dua ruas jari, karena ruas jari yang tengah sangat pendek dan tumbuh menyatu dengan ruas jari lain. Individu dengan gen homozigot resesif (bb) merupakan individu normal.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.13**

Brakidaktili pada jari tangan

## 3. Huntington

Huntington merupakan suatu penyakit karena terjadi degenerasi sistem saraf yang cepat dan tidak dapat balik, penderita menggelengkan kepala pada satu arah. Akibat degenerasi neuron-neuron dalam otak yang terprogram secara genetik bisa menyebabkan gerakan-gerakan yang tidak terkontrol, kehilangan kemampuan intelektual dan gangguan emosional. Tiap anak dari orang tua yang terkena penyakit ini memiliki 50 persen kesempatan menderita penyakit Huntington. Penyakit ini disebabkan oleh alel dominan (H). Oleh karena itu, dengan satu alel H saja semua individu yang heterozigot akan mendapatkan Huntington. Individu normal mempunyai alel resesif (hh).



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.14**

Penderita Penyakit Huntington

#### 4. Polidaktili

Polidaktili ialah terdapatnya jari tambahan pada satu atau kedua tangan/kaki. Tempat jari tambahan itu berbeda-beda, ada yang terdapat dekat ibu jari dan ada pula yang terdapat dari jari kelingking.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.15**

Polidaktili

## Latihan

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

- 1) Apa perbedaan kromosom autosom dan gonosom?
- 2) Sebutkan beberapa penyakit yang diturunkan dari kromosom autosom!
- 3) Apa penyebab penyakit anemia sel sabit dan thalassemia?
- 4) Bagaimana genotip individu dengan penyakit akondroplasia?
- 5) Jelaskan tentang penyakit huntington yang berkaitan dengan autosomal dominan?

## Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal latihan no 1 Anda dapat membaca paragraf awal Bab 6 Topik 2. Untuk menjawab soal no 2 Anda dapat membaca Bab 6, Topik 2 Bagian A. Untuk menyelesaikan soal 3 silakan Anda baca kembali Bab 6, Topik 2 bagian A.1 dan A.6. Untuk soal 4 silakan Anda membaca Bab 6, Topik 2 bagian B.1. Untuk menjawab soal 5 silahkan Anda membaca Bab 6, Topik 2 Bagian B.3.

## Ringkasan

- 1) Kelainan dan Penyakit genetik adalah penyimpangan dari sifat umum atau sifat rata-rata manusia, serta merupakan penyakit yang muncul karena tidak berfungsinya faktor-faktor genetik yang mengatur struktur dan fungsi fisiologi tubuh manusia.
- 2) Di dalam kromosom terdapat ratusan ribu gen yang sangat berperan dalam sifat biologis dan genetis sel dalam suatu spesies. Pada makhluk hidup terdapat dua tipe kromosom yakni kromosom tubuh (autosom) dan kromosom kelamin (gonosom). Sehingga kelainan genetik pada manusia disebabkan oleh dua sebab yaitu kelainan autosom dan gonosom.
- 3) Beberapa penyakit yang dapat diturunkan dari kromosom autosom antara lain anemia sel sabit, fibrosis sistik, galaktosemia, albino, fenilketonuria, dan thalassemia.
- 4) Penyakit autosomal resesif disebabkan mayoritas kelainan mendelian (monogenic disorders) dan hanya pada homozigot, sedangkan heterozigot sebagai carier (pembawa sifat) saja. Gejala terjadi pada masa anak-anak, seringkali terjadi kegagalan enzimatik. Untuk deteksinya menggunakan tes pada orang tua dan sel amnion.
- 5) Penyakit autosomal dominan dapat terjadi pada homozigot maupun heterozigot, umumnya heterozigot yang diwariskan dari satu orang tua. Dapat terjadi pada pria dan

wanita, juga transmisi dari satu generasi ke generasi lainnya. Beberapa penyakit yang dapat diturunkan dari kromosom autosomal dominan antara lain akondroplasia, brakidaktili, huntington dan polidaktili.

## Tes 2

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!**

- 1) Penyakit genetik yang disebabkan autosom pada manusia biasanya bersifat resesif artinya dalam keadaan homozigot resesif baru menampakkan penyakit seperti albinisme, polidaktili, dan lain-lain. Ada pula penyakit yang disebabkan karena .... kromosom misalnya pada Sindrom Down dan Sindrom Patau.
  - A. Mutasi
  - B. Migrasi
  - C. Duplikasi
  - D. Inversi
- 2) Beberapa penyakit yang dapat diturunkan dari kromosom autosomal resesif antara lain adalah, kecuali:
  - A. Anemia sel sabit
  - B. Albino
  - C. Polidaktili
  - D. Thalasemia
- 3) Contoh kasus jika seorang albino (aa) menikah dengan orang normal homozigot (AA), bagaimanakah keturunannya? Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jika seorang albino menikah dengan orang normal homozigot maka akan menghasilkan keturunan:
  - A. 50% normal carier
  - B. 100 % normal carier
  - C. 25% normal carier
  - D. 75% normal carier
- 4) Penyakit autosomal resesif disebabkan mayoritas kelainan mendelian (monogenic disorders) dan hanya pada....., sedangkan..... sebagai carier (pembawa sifat) saja.
  - A. Heterozigot; homozigot
  - B. Heterozigot; heterozigot
  - C. Homozigot; heterozigot
  - D. Homozigot; homozigot

- 5) Gejala penyakit autosomal resesif terjadi pada masa anak-anak, seringkali terjadi kegagalan enzimatis dan deteksinya menggunakan tes pada orang tua dan sel.....
- A. Amnion
  - B. Otak
  - C. Darah
  - D. Sumsum tulang
- 6) Thalassemia merupakan kelainan genetik yang ditandai dengan berkurangnya atau tidak ada sama sekali sintesa rantai....., sehingga hanya mempunyai kemampuan sedikit untuk mengikat oksigen.
- A. lipid
  - B. karbohidrat
  - C. glikoprotein
  - D. hemoglobin
- 7) Penyakit autosomal dominan dapat terjadi pada homozigot maupun heterozigot, umumnya heterozigot yang diwariskan dari satu orang tua. Dapat terjadi pada pria dan wanita, juga transmisi dari satu generasi ke generasi lainnya. Beberapa penyakit yang dapat diturunkan dari kromosom autosomal dominan antara lain, kecuali:
- A. akondroplasia
  - B. brakidaktili
  - C. albino
  - D. huntington
- 8) Akondroplasia disebabkan oleh tidak terbentuknya komponen tulang rawan pada kerangka tubuh secara benar. Individu akondroplasia dewasa mempunyai kaki dan lengan yang tidak normal (pendek) dengan tinggi tubuh kurang dari 1,2 meter. Individu penderita akondroplasia mempunyai genotipe KK atau Kk. Sedangkan individu normal bergenotipe:
- A. homozigot resesif (kk)
  - B. homozigot dominan (KK)
  - C. heterozigot (Kk)
  - D. heterozigot dan homozigot

- 9) Huntington merupakan suatu penyakit karena terjadi degenerasi sistem saraf yang cepat dan tidak dapat balik, penderita menggelengkan kepala pada satu arah. Tiap anak dari orang tua yang terkena penyakit ini memiliki..... kesempatan menderita penyakit Huntington.
- A. 25%
  - B. 50%
  - C. 75%
  - D. 100%
- 10) Brakidaktili adalah suatu kelainan yang dicirikan dengan jari tangan atau kaki yang memendek karena memendeknya ruas-ruas tulang jari. Penderita brakidaktili memiliki gen dalam keadaan heterozigot (Bb). Individu dengan gen homozigot resesif (bb) merupakan individu:
- A. carier
  - B. sakit
  - C. normal
  - D. dominan

# Topik 3

## Kelainan Genetika dan Penyakit yang Diwariskan dari Kromosom Gonosom (*X-Linked* dan *Y-Linked*) dan Pengaruh Mutasi/Aberasi Kromosom

### A. PENYAKIT YANG DIWARISKAN DARI KROMOSOM GONOSOM *X-LINKED* (TERTAUT KROMOSOM X) DAN *Y-LINKED* (TERTAUT KROMOSOM Y)

Kromosom gonosom berperan dalam menentukan jenis kelamin. Pada manusia terdapat dua jenis kelamin, yaitu X menentukan jenis kelamin wanita dan Y untuk menentukan jenis kelamin laki-laki. Contoh penyakit yang tertaut kromosom X adalah hemofilia dan buta warna. Sedangkan gen tertaut kromosom Y merupakan gen tertaut kelamin sempurna, artinya kelainannya hanya terjadi pada laki-laki.

Penyakit yang diwariskan karena X-linked (tertaut kromosom X) dapat ditransmisikan secara heterozigot dari ibu ke anak laki-laknya. Pada anak perempuan 50% carier dan 50% sehat, sedangkan pada anak laki-laki 50% sakit dan 50% sehat. Karakteristik yang dibawa pada kromosom X diketahui sebagai terkait seks. Wanita memiliki dua kromosom X dan pria hanya memiliki satu kromosom X. Oleh sebab itu, karakteristik resesif yang dibawa pada kromosom X kemungkinan besar diekspresikan pada pria daripada pada wanita.

#### 1. Penyakit genetika karena *X-linked*

##### a. *Hemofilia*

Hemofilia merupakan gangguan koagulasi herediter yang paling sering dijumpai. Hemofilia disebabkan oleh mutasi gen faktor VIII atau faktor IX sehingga dapat dikelompokkan menjadi hemofilia A dan hemofilia B. Kedua gen tersebut terletak pada kromosom X, sehingga termasuk penyakit resesif terkait  $-X$ , yang disebabkan karena tidak adanya protein tertentu yang diperlukan untuk penggumpalan darah, atau walaupun ada kadarnya rendah sekali.

Umumnya luka pada orang normal akan menutup (darah akan membeku) dalam waktu 5 – 7 menit. Tetapi pada penderita hemofilia terluka, darah akan membeku 50 menit sampai 2 jam, sehingga mudah menyebabkan kematian karena kehilangan terlalu banyak darah. Hemofilia merupakan penyakit keturunan yang menyebabkan darah seseorang tidak bisa membeku. Hemofilia terpaut oleh kromosom X sehingga wanita akan lebih berpeluang besar menderita penyakit ini.



Seperti yang disebutkan di atas, hemofilia yang merupakan gangguan koagulasi tersebut dibedakan atas 3 macam, yaitu:

1) Hemofilia A

Penderita tidak memiliki zat anti hemofili globulin (faktor VIII). Tipe ini terdapat  $\pm$  80 % dari penderita hemofilia. Seorang yang normal mampu membentuk anti hemofiloglobulin (AHG) dalam serum darahnya karena mempunyai gen dominan H, sedangkan alel yang resesif tidak dapat membentuk zat tersebut. Karena gennya terangkai X Perempuan yang homozigot resesif untuk gen ini merupakan penderita (XhXh), sedangkan perempuan yang heterozigot (XhXH) pembekuan darahnya normal namun ia hanya berperan sebagai pembawa/carier dan laki – laki penderita hanya mempunyai satu genotip yaitu (XhY).

2) Hemofilia B (Christmast)

Penderita tidak memiliki komponen plasma tromboplastin (KTP atau faktor IX). Diberi nama Christmas karena mengacu pada nama seorang anak laki – laki yang terluka pada waktu Inggris dibom oleh Jerman selama Perang Dunia ke II. Terdapat  $\pm$  20 % dari penderita hemofili.

3) Hemofilia C

Penderita tidak mampu membentuk zat plasma tromboplastin anteseden (PTA). Penyakit ini tidak disebabkan oleh gen resesif yang terangkai-X, melainkan oleh gen resesif yang jarang dijumpai pada autosom. Hanya terjadi sedikit dari penderita. Tidak lebih dari 1 %.

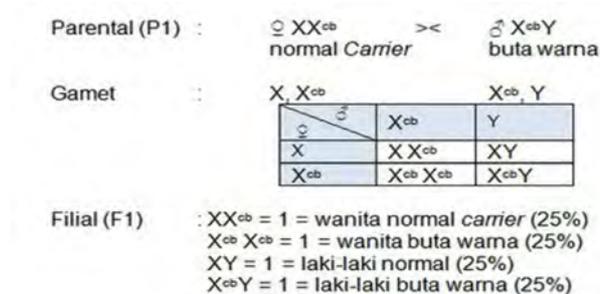
Secara keseluruhan hemofilia terjadi karena tidak terbentuknya tromboplastin. Dimana tromboplastin ini pada tubuh yang normal berguna sebagai zat aktivasi protrombin saat luka, sehingga prothrombin dapat diubah menjadi trombin. Hemofilia diklasifikasikan sebagai:

- 1) Berat, dengan kadar aktivitas faktor yang tersedia kurang dari 1%.
- 2) Sedang, dengan kadar aktivitas faktor yang ada antara 1% - 5%
- 3) Kecil, dengan kadar aktivitas faktor yang tersedia lebih dari 5 %

b. *Buta Warna*

Penderita tidak dapat membedakan warna hijau dan merah, atau semua warna. Individu yang buta terhadap warna hijau (tipe deutan) dan merah (tipe protan) dikarenakan individu tersebut tidak mempunyai reseptor yang dapat mendeteksi cahaya pada panjang gelombang hijau atau merah. Buta warna merupakan penyakit yang disebabkan oleh gen resesif c (color blind) yang terdapat pada kromosom X. Perempuan normal mempunyai genotip homozigotik

dominan CC dan heterozigotik Cc, sedangkan yang buta warna adalah homozigotik resesif cc. Laki-laki hanya mempunyai sebuah kromosom-X, sehingga hanya dapat normal XY atau buta warna XcY.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.17**

Contoh persilangan pada kelainan Buta Warna

c. *Distorsi Otot*

Kelainan tersebut ditandai dengan makin melemahnya otot-otot dan hilangnya koordinasi. Kelainan ini terjadi karena tidak adanya satu protein otot penting yang disebut distrofin, yang terletak pada lokus yang spesifik pada kromosom X.

d. *Sindrom Fragile X*

Nama sindrom fragile diambil dari penampakan fisik kromosom X yang tidak normal. Bagian kromosom X yang mengalami konstiksi (pelekukan) di bagian ujung lengan kromosom yang panjang. Dari semua bentuk keterbelakangan mental yang disebabkan oleh faktor genetik, bentuk yang paling umum adalah fragile.

e. *Sindrom Lesch-Nyhan*

Penyakit ini timbul karena adanya pembentukan purin yang berlebihan. Sebagai hasil metabolisme purin yang abnormal ini, penderita memperlihatkan kelakuan yang abnormal, yakni kejang otak yang tidak disadari serta menggeliatkan anggota kaki dan jari-jari tangan. Selain dari itu penderita juga tuna mental, menggigit serta merusak jari-jari tangan dan jaringan bibir. Semua penderita adalah laki-laki di bawah umur 10 tahun, dan belum pernah ditemukan pada perempuan. Penyakit yang jarang dijumpai ini disebabkan oleh gen resesif dalam kromosom-X.

## 2. Penyakit genetika karena *Y-linked*

Pewarisan sifat terangkai Y ini hanya akan terkena pada laki-laki, merupakan pewarisan dari ayah ke anak laki-laki. Penyakit genetika karena Y-linked tersebut adalah sebagai berikut:

### a. *Hypertrichosis*

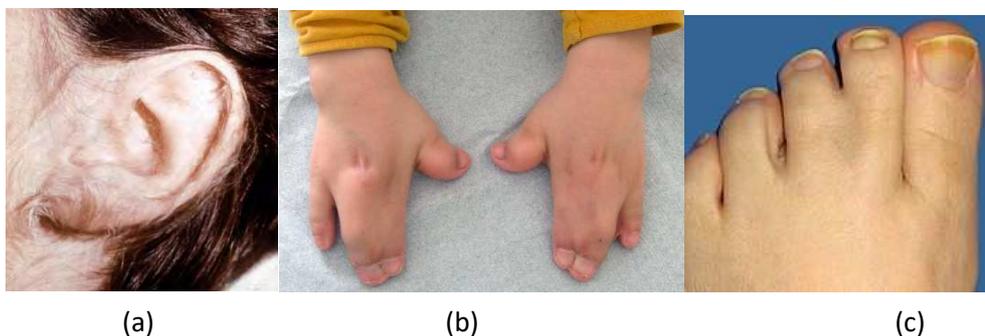
*Hypertrichosis* ditandai dengan tumbuhnya rambut pada bagian-bagian tertentu di tepi daun telinga. Pada laki-laki normal, akan memiliki gen dominan H. Gen resesif h menyebabkan *hypertrichosis*.

### b. *Weebed Toes*

Penyakit ini disebabkan oleh gen resesif wt sehingga tumbuh kulit diantara jari tangan atau kaki, sehingga kaki yang bergelambir ini mirip dengan kaki katak atau burung air. Alel dominan Wt menentukan keadaan normal.

### c. *Hystrixgravier*

Gen resesif hg menyebabkan pertumbuhan rambut panjang dan kaku di permukaan tubuh, sehingga terlihat menyerupai hewan landak yang tubuhnya berduri. Alel dominan Hg menentukan pertumbuhan rambut normal.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.18**

a. *Hypertrichosis*; b. *Weebed Toes* pada jari tangan; c. *Weebed Toes* pada jari kaki

## B. PENYAKIT KELAINAN GENETIKA KARENA PENGARUH MUTASI/ABERASI KROMOSOM

### 1. Mutasi

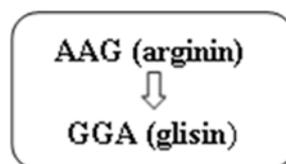
Mutasi berasal dari kata *mutatus* (bahasa latin) yang artinya adalah perubahan. Mutasi adalah perubahan materi genetik (DNA) yang diwariskan secara genetis pada keturunannya. Agen yang menyebabkan mutasi disebut mutagen. Makhluk yang mengalami mutasi disebut

mutan. Sedangkan bagian DNA yang mengalami mutasi disebut muton. Perubahan susunan genetik ini menyebabkan perubahan alel dan genotip makhluk hidup. Mutasi terbagi atas dua, yaitu:

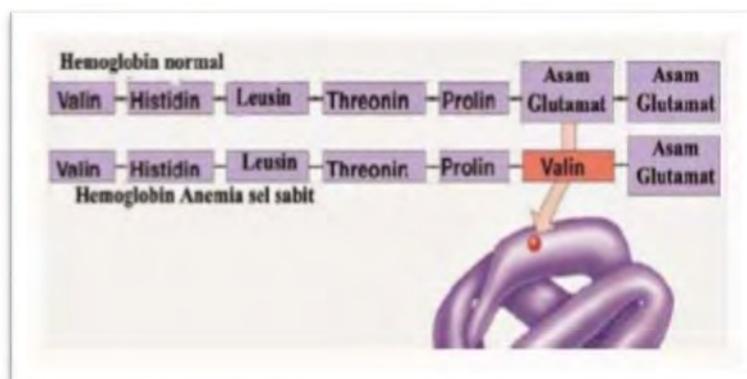
- a. Mutasi gen (kecil)
- b. Mutasi kromosom (besar)

a. *Mutasi gen, terjadi pada satu basa nitrogen dari gen. Mutasi gen terbagi atas dua:*

- 1) Mutasi gen transisi merupakan perubahan basa nitrogen sejenis.  
Contoh: purin diganti purin atau pirimidin diganti pirimidin.
- 2) Mutasi gen tranversi merupakan perubahan basa nitrogen tidak sejenis.  
Contoh: purin diganti pirimidin atau pirimidin diganti purin.



Contoh diagram di atas merupakan mutasi pada basa purin yang menyebabkan asam amino arginin diganti menjadi asam amino glisin. Contoh lain mutasi kecil dapat menyebabkan penyakit sickle cell anemia yang terjadi karena asam amino valin digantikan oleh asam amino glutamat.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.19**

Mutasi pada Anemia Sel Sabit (sickle cell anemia)

*Mutasi kromosom*, terjadi pada kromosom yang menyebabkan perubahan fenotip penderita. Mutasi kromosom dapat disebabkan karena perubahan susunan atau jumlah dari kromosom yang menyebabkan perubahan sifat individu dan dikenal dengan istilah aberasi kromosom.

## 2. Perubahan Jumlah (aneusomi)

Perubahan jumlah kromosom terjadi karena adanya kromosom yang gagal berpisah (non disjunction) pada anafase. Berikut ini adalah ilustrasi tentang perubahan jumlah kromosom yang gagal berpisah tersebut.

Normal (2n)	: 44 A + XY	(46)
	44 A + XX	(46)
Mutasi (2n – 2)	: 43 A + X-	(44) (nullisomik)
(2n – 1)	: 44A + X-	(45) (monosomik)
(2n + 1)	: 44A + XXY	(47) (trisomik)
(2n + 2)	: 44A + XXXY	(48) (tetrasomik)

Nomen Klatur Kromosom	Formula Kromosom	Sindroma Klinis	Perkiraan Frek Waktu Lahir
47 + 21	2n+1	Down	1 : 700
47 + 13	2n+1	Trisomi 13	1 : 20.000
47 + 18	2n+1	Trisomi 18	1 : 8.000
45 . XO	2n-1	Turner	1 : 300
47 XXY	2n+1	Klining Felter	1 : 500
48 XXXY	2n+2	Klining Felter	1 : 500
48 XXXY	2n+2	Klining Felter	1 : 500
47 XXX	2n+1	Triple X	1 : 700

(Sumber: Image.google.co.id)

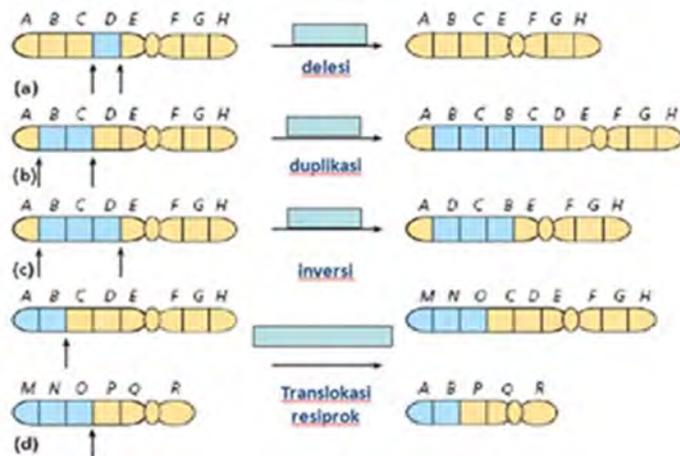
**Gambar 6.20**

Jumlah kromosom dari berbagai macam Sindroma Klinis

## 3. Perubahan Struktur

Beberapa contoh peristiwa mutasi kromosom yang disebabkan oleh terjadinya perubahan struktur kromosom adalah:

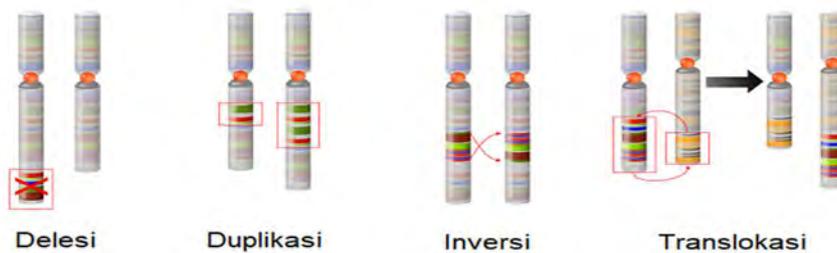
- Delesi, pengurangan bagian kromosom.
- Duplikasi, penambahan bagian kromosom.
- Inversi, perubahan letak gen dalam satu kromosom.
- Translokasi, perpindahan bagian kromosom ke kromosom lain yang tidak sealel.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.21**

Mutasi perubahan struktur kromosom



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.22**

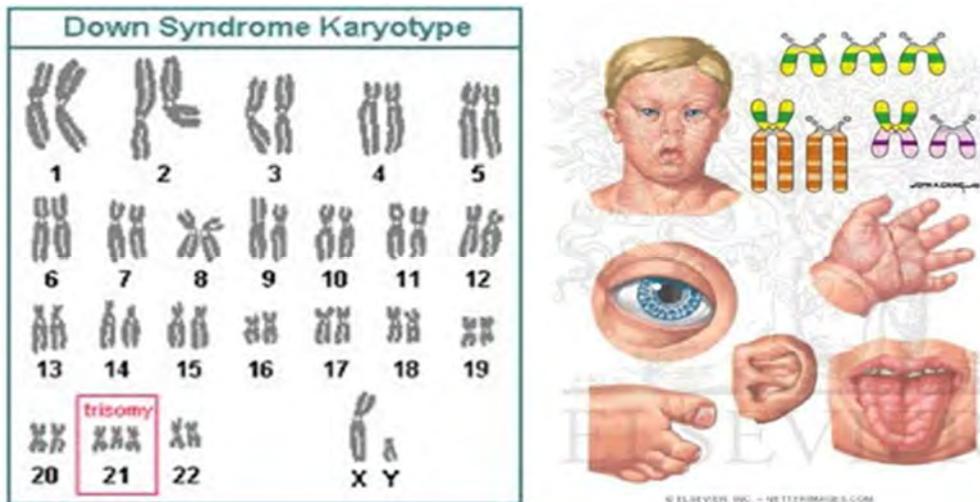
Mutasi kromosom

Peristiwa perubahan jumlah (aneusomi) kromosom karena adanya kromosom yang gagal berpisah (non disjunction) maupun perubahan struktur kromosom tersebut dapat menyebabkan kelainan di antaranya adalah:

a. *Sindrom Down* ( $47,XY + 21$  dan  $47,XX + 21$ )

Sindrom Down memiliki jumlah kromosom  $2n + 1$  (trisomi 21). Penderita mengalami kelebihan kromosom autosom nomor 21. Frekuensi kemungkinan 1:700 kelahiran, orang tua memiliki kariotipe normal. Usia mencapai kurang dari 20 tahun pada 1:1550 kelahiran dan lebih dari 45 tahun pada 1:25 kelahiran. Terbanyak terjadi abnormalitas ovum, kasusnya terjadi 1 dalam 600 kelahiran. Penderita Sindrom Down dapat terjadi pada laki-laki ataupun perempuan. Kelainan ini ditemukan oleh J. Langdon Down pada tahun 1866, yang menemukan penderita Sindrom Down dengan ciri-ciri: tubuh pendek/tinggi badan sekitar 120 cm, wajah

membulat, kepala lebar dan pendek, bibir tebal, lidah besar dan menjulur, hidung lebar, liur selalu menetes, jari pendek dan gemuk terutama kelingking, telapak tangan tebal, mata sipit miring ke samping, gigi kecil-kecil dan jarang, IQ rendah (20-50), dan umumnya steril. Penderita juga berisiko tinggi terkena leukemia akut.



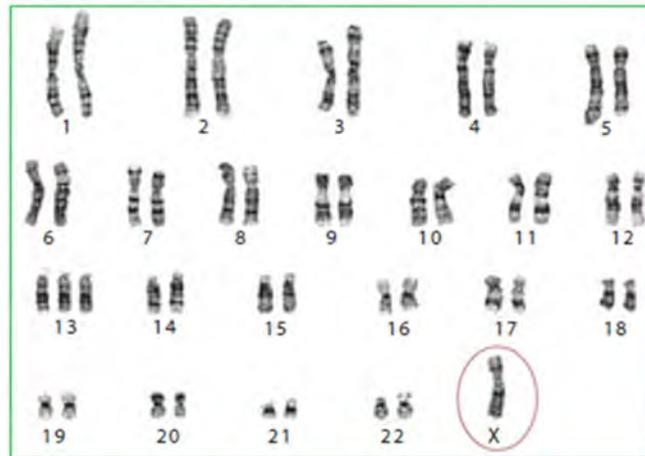
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.23**

Sindrom Down memiliki kromosom trisomy

*b. Sindrom Turner (45,XO atau 44A + X)*

Sindrom Turner mengalami pengurangan jumlah kromosom ( $2n-1$ /monosomi). Ciri-ciri umum penderita Sindrom Turner adalah berkelamin wanita (1:3000), tapi ovarium tidak tumbuh alias steril dan tanda kelamin sekunder tidak tumbuh. Penderita mempunyai 44 Autosom dan hanya 1 kromosom kelamin yaitu X. Kelainan ini ditemukan oleh H.H. Turner pada tahun 1938, yang menemukan penderita Sindrom Turner dengan ciri-ciri: berkelamin wanita namun tidak memiliki ovarium, alat kelamin bagian dalam terlambat berkembang dan tidak sempurna, steril, kedua puting susu berjarak melebar, payudara tidak berkembang, badan cenderung pendek (kurang lebih 120 cm), dada lebar, leher pendek, mempunyai gelambir pada leher, dan mengalami keterbelakangan mental.



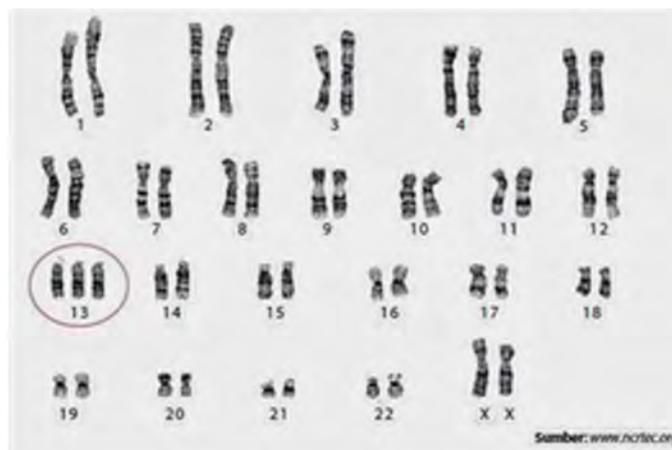
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.24**

Penderita Sindrom Turner kekurangan kromosom gonosom

c. *Sindrom Patau (47,XY + 13 dan 47,XX + 13)*

Sindrom Patau memiliki 45 autosom dan kelebihan 1 kromosom autosom yang terjadi pada kromosom 13, 14, 15. Sindrom ini merupakan trisomi ( $2n + 1$ ) dan terjadi pada 1 dalam 20.000 kelahiran. Ciri-ciri penderita Sindrom Patau: kepala kecil, mata kecil, sumbing celah langit-langit, tuli, polidaktili, mempunyai kelainan otak, jantung, ginjal dan usus serta pertumbuhan mentalnya terbelakang/ cacat mental. Biasanya penderita meninggal pada usia kurang dari 1 tahun. Umumnya penderita Sindrom Patau akan meninggal pada tiga bulan pertama setelah dilahirkan, dan sekitar 75% meninggal pada tahun pertama.



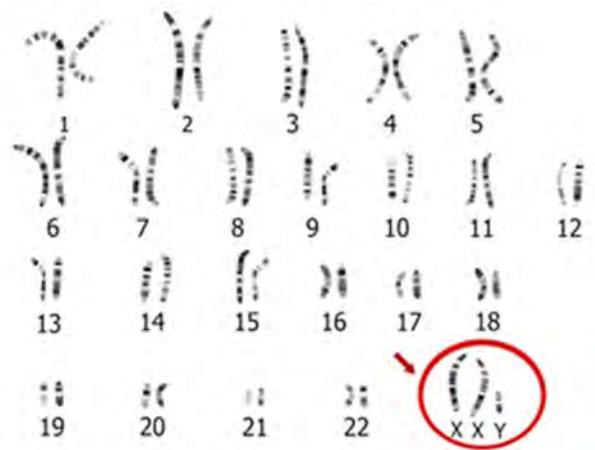
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.25**

Penderita Sindrom Patau

d. *Sindrom Klinefelter (47,XXY atau 44A + XXY)*

Sindrom Klinefelter memiliki jumlah kromosom  $2n + 1$  (trisomi) dengan kariotipe  $22AA + XXY$ . Tampak pada kariotipe penderita mengalami kelebihan 1 kromosom gonosom. Hal ini akan menunjukkan ciri-ciri penderita Sindrom Klinefelter adalah pada laki laki (1:1000). Penderita mempunyai 44 Autosom dan 3 kromosom kelamin (XXY). Kelainan ini ditemukan oleh H.F. Klinefelter pada tahun 1942. Penderita Sindrom Klinefelter yang ditemukan oleh H.F. Klinefelter tersebut memiliki ciri-ciri: berjenis kelamin laki-laki tetapi cenderung bersifat kewanitaan/ menunjukkan perkembangan ciri sekunder wanita, testis mengecil dan mandul, payudara membesar, dada sempit, pinggul lebar, rambut badan tidak tumbuh, tubuhnya cenderung tinggi (lengan dan kakinya panjang), dan mental terbelakang.



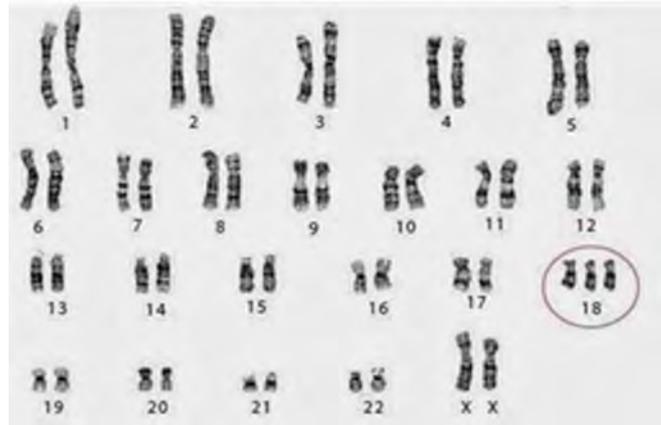
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.26**

Penderita Sindrom Klinefelter memiliki kariotipe  $22AA+XXY$

e. *Sindrom Edwards (47,XY + 18 dan 47,XX + 18)*

Sindrom Edwards merupakan trisomi pada kromosom autosom no 16, 17, 18. Penderita mengalami trisomi atau kelebihan satu Autosom nomor 18. Ciri-ciri penderita Sindrom Edwards adalah kelainan pada alat tubuh seperti rahang bawah kedudukannya rendah, letak telinga rendah, tulang dada pendek dan lebar, tengkorak lonjong serta umumnya memiliki keterbelakangan mental. Umumnya penderita hanya mencapai umur 6 bulan saja.



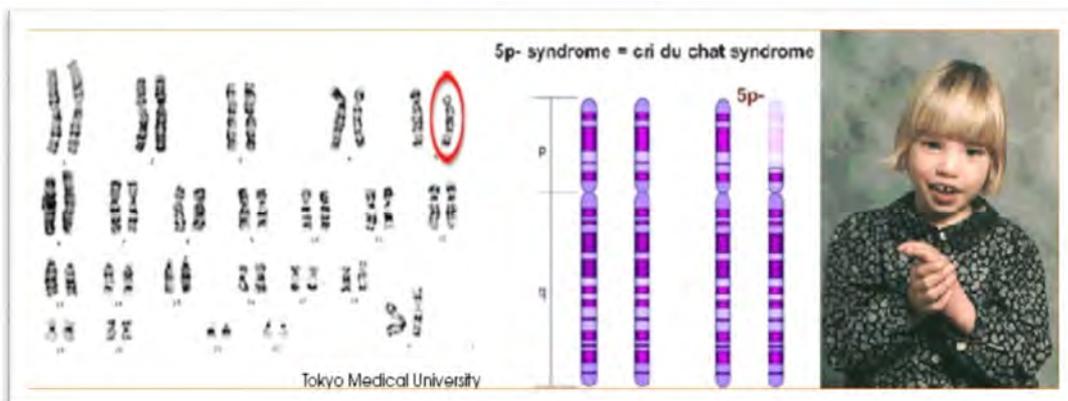
(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.27**

Sindrom Edwards merupakan trisomi

f. *Sindrom Cri Du Chat*

Anak yang dilahirkan dengan delesi pada kromosom nomor 5 ini mempunyai mental terbelakang, memiliki kepala yang kecil dengan penampakan wajah yang tidak biasa, dan memiliki tangisan yang suaranya seperti suara kucing. Penderita biasanya meninggal ketika masih bayi atau anak-anak.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.28**

Sindrom Cri Du Chat dengan delesi pada kromosom nomor 5

g. *Sindrom Jacobs (47, XYY atau 44A + XYY)*

Penderita mempunyai 44 Autosom dan 3 kromosom kelamin (XYY). Kelainan ini ditemukan oleh P.A. Jacobs pada tahun 1965 dengan ciri-ciri pria bertubuh normal, terjadi pada 1 dari 1000 pria, berperawakan tinggi (bisa lebih dari 6 kaki), bersifat antisosial, perilaku kasar dan agresif, memperlihatkan watak kriminal, IQ di bawah normal, dan penderita disebut sebagai Super Male/pria super.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.29**

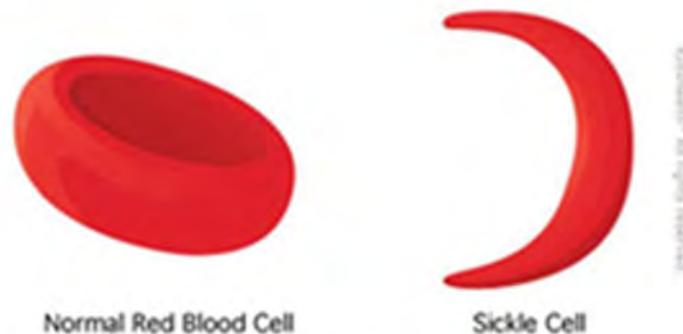
Sindrom Jacobs dengan 3 kromosom kelamin (XYY)

Mutasi selain mengakibatkan kelainan seperti yang diuraikan di atas juga menyebabkan penyakit kelainan darah. Penyakit kelainan darah dipengaruhi secara genetik dari orang tua kepada anak-anaknya. Gangguan darah tertentu disebabkan oleh berkurangnya produksi sel darah merah. Sel-sel darah merah dalam tubuh tidak bertahan selamanya dan perlu diproduksi setelah beberapa waktu, ketika produksi sel-sel darah merah ini berhenti saat itulah menyebabkan kelainan darah. Kondisi ini dapat menyebabkan beberapa penyakit serius mulai dari hemoglobin abnormal, seperti anemia sel sabit dan talasemia. Penyakit ini diturunkan dari orang tua melalui gen dan kromosom.

Sebagian besar kondisi medis yang disebabkan oleh kelainan genetik tidak dapat dicegah. Namun ada yang bisa terdeteksi sejak di dalam kandungan melalui pemeriksaan kromosom, sehingga orang tua dapat mengantisipasi perawatan medis yang tepat untuk meningkatkan kualitas hidup anak tersebut setelah lahir. Karena itu, penting bagi ibu hamil untuk rutin memeriksakan kehamilan ke dokter kandungan untuk mendeteksi sejak dini adanya kelainan genetik pada janin. Penyakit kelainan darah yang disebabkan oleh mutasi tersebut antara lain adalah:

- 1) *Anemia sel sabit (sickle cell anemia)*, merupakan penyakit dimana sel darah merah berbentuk sabit. Hal ini terjadi karena terbentuknya asam amino yang berbeda dari normal pada sintesis asam amino akibat kesalahan basa pada mutasi kecil.
- 2) *Hemofilia*, Merupakan penyakit darah sukar membeku yang diturunkan dari kromosom X.

- 3) *Thalasemia*, merupakan kelainan pada darah akibat sumsum tulang belakang tidak bisa membentuk protein untuk memproduksi sel darah merah (hemoglobin). Umur eritrosit lebih pendek, yaitu kurang dari 120 hari.



(Sumber: Image.google.co.id)

**Gambar 6.30**  
Anemia sel sabit

## PENUTUP

Setelah selesai mempelajari topik ini, berarti Anda sudah mempelajari materi terakhir dari Bahan Ajar Biologi Sel dan Genetika. Semoga dari 6 bab yang sudah dipelajari, Anda dapat memahami dan menjelaskan terkait materi tentang sel sampai kelainan genetik. Pemahaman ini akan sangat berharga bagi Anda untuk mendalami konsep pengetahuan lebih lanjut di Biologi Molekuler yang akan Anda pelajari di semester selanjutnya dalam program RPL D3 Teknologi Bank Darah. Semoga bermanfaat dan sukses bagi Anda semua.

## Latihan

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

- 1) Apa peran kromosom gonosom dalam tubuh manusia dan perbedaan penyakit yang tertaut kromosom X dan Y?
- 2) Bagaimana persentase anak-anak hemofilia yang mungkin lahir dari perempuan hemofilia yang bersuamikan laki-laki normal?
- 3) Sebutkan contoh penyakit karena Y-linked atau tertaut kromosom Y!

- 4) Apa yang dimaksud dengan mutasi? Ada berapa macam, jelaskan!
- 5) Sebutkan beberapa jenis sindrom akibat perubahan jumlah (aneusomi) kromosom!

## Latihan

Untuk dapat menyelesaikan latihan soal latihan no 1 Anda dapat membaca paragraf awal Bab 6 Topik 3 Bagian A. Untuk menjawab soal no 2 Anda dapat membaca Bab 6, Topik 3 Bagian A. Untuk menyelesaikan soal 3 silakan Anda baca kembali Bab 6, Topik 3 Bagian A paragraf akhir. Untuk soal 4 silakan Anda membaca Bab 6, Topik 3 bagian B.1. Untuk menjawab soal 5 silahkan Anda membaca Bab 6, Topik 3 Bagian B.2 dan B.3.

## Ringkasan

- 1) Kromosom gonosom berperan dalam menentukan jenis kelamin. Pada manusia terdapat dua jenis kelamin, yaitu X menentukan jenis kelamin wanita dan Y untuk menentukan jenis kelamin laki-laki. Contoh penyakit yang tertaut kromosom X adalah hemofilia dan buta warna. Sedangkan gen tertaut kromosom Y merupakan gen tertaut kelamin sempurna, artinya kelainannya hanya terjadi pada laki-laki.
- 2) Penyakit yang diwariskan karena X-linked (tertaut kromosom X) dapat ditransmisikan secara heterozigot dari ibu ke anak laki-laknya. Pada anak perempuan 50% carier dan 50% sehat, sedangkan pada anak laki-laki 50% sakit dan 50% sehat. Karakteristik yang dibawa pada kromosom X diketahui sebagai terkait seks. Wanita memiliki dua kromosom X dan pria hanya memiliki satu kromosom X. Oleh sebab itu, karakteristik resesif yang dibawa pada kromosom X kemungkinan besar diekspresikan pada pria daripada pada wanita.
- 3) Penyakit genetik karena X-linked (tertaut kromosom X) dapat dicontohkan pada penyakit hemofilia, buta warna, ditrofi otot, dan lain-lain. Sedangkan penyakit yang diwariskan karena Y-linked (tertaut kromosom Y) adalah hypertrichosis, weebed toes, hystricgravier.
- 4) Mutasi adalah perubahan materi genetik (DNA) yang diwariskan secara genetik pada keturunannya. Agen yang menyebabkan mutasi disebut mutagen. Makhluk yang mengalami mutasi disebut mutan. Sedangkan bagian DNA yang mengalami mutasi disebut muton. Perubahan susunan genetik ini menyebabkan perubahan alel dan genotip makhluk hidup.
- 5) Penyakit kelainan darah dipengaruhi secara genetik dari orang tua kepada anak-anaknya. Gangguan darah tertentu disebabkan oleh berkurangnya produksi sel darah merah. Sel-sel darah merah dalam tubuh tidak bertahan selamanya dan perlu diproduksi

setelah beberapa waktu, ketika produksi sel-sel darah merah ini berhenti saat itulah menyebabkan penyakit kelainan darah, seperti anemia sel sabit dan talasemia. Penyakit ini diturunkan dari orang tua melalui gen dan kromosom.

## Tes 3

**Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar!**

- 1) Kromosom gonosom berperan dalam menentukan jenis kelamin. Pada manusia terdapat dua jenis kelamin, yaitu X menentukan jenis kelamin wanita dan Y untuk menentukan jenis kelamin laki-laki. Contoh penyakit yang tertaut kromosom X adalah, kecuali:
  - A. Hemofilia
  - B. Buta warna
  - C. Distrofi otot
  - D. Hypertrichosis
  
- 2) Gen tertaut kromosom Y merupakan gen tertaut kelamin sempurna, artinya kelainannya hanya terjadi pada:
  - A. Perempuan
  - B. Laki-laki
  - C. Anak perempuan dan laki-laki
  - D. Bayi laki-laki saja
  
- 3) Hemofilia merupakan gangguan koagulasi herediter yang paling sering dijumpai. Hemofilia merupakan penyakit keturunan yang menyebabkan darah seseorang tidak bisa membeku. Hemofilia terpaut oleh kromosom X sehingga wanita akan lebih berpeluang besar menderita penyakit ini.
  - A. Perempuan
  - B. Laki-laki
  - C. Bayi perempuan saja
  - D. Anak perempuan dan laki-laki
  
- 4) Buta warna merupakan penyakit yang disebabkan oleh gen resesif c (color blind) yang terdapat pada kromosom X. Perempuan normal mempunyai genotip homozigotik dominan CC dan heterozigotik Cc, sedangkan yang buta warna adalah homozigotik resesif yang ditunjukkan dengan genotip:
  - A. CC
  - B. Cc

- C. cc
  - D. cC
- 5) Penyakit weebed toes ini disebabkan oleh gen resesif wt sehingga tumbuh kulit diantara jari tangan atau kaki, sehingga kaki yang bergelambir ini mirip dengan kaki katak atau burung air. Alel dominan Wt menentukan keadaan:
- A. Carier
  - B. Normal
  - C. Sakit
  - D. Pembawa sifat
- 6) Mutasi adalah perubahan materi genetik (DNA) yang diwariskan secara genetis pada keturunannya. Agen yang menyebabkan mutasi disebut ..... Perubahan susunan genetik ini menyebabkan perubahan alel dan genotip makhluk hidup.
- A. Mutagen
  - B. Mutan
  - C. Muton
  - D. Mitosis
- 7) Mutasi gen terjadi pada satu basa nitrogen dari gen. Contoh lain mutasi gen dapat menyebabkan penyakit sickle cell anemia yang terjadi karena asam amino ..... digantikan oleh asam amino glutamat.
- A. Prolin
  - B. Leusin
  - C. Histidin
  - D. Valin
- 8) Beberapa contoh peristiwa mutasi kromosom yang disebabkan oleh terjadinya perubahan struktur kromosom adalah, kecuali:
- A. Delesi, pengurangan bagian kromosom.
  - B. Duplikasi, pemendekan bagian kromosom.
  - C. Inversi, perubahan letak gen dalam satu kromosom.
  - D. Translokasi, perpindahan bagian kromosom ke kromosom lain yang tidak sealel.

- 9) Sindrom Down memiliki jumlah kromosom  $2n + 1$  (trisomi 21). Penderita mengalami kelebihan kromosom autosom nomor 21. Penderita Sindrom Down dapat terjadi pada laki-laki ataupun perempuan. Kelainan ini ditemukan oleh J. Langdon Down pada tahun 1866, dengan ciri-ciri: tinggi badan sekitar 120 cm, kepala lebar dan pendek, bibir tebal, lidah besar dan menjulur, liur selalu menetes, jari pendek dan gemuk terutama kelingking, telapak tangan tebal, mata sempit miring ke samping, gigi kecil-kecil dan jarang, IQ rendah (20-50), dan umumnya steril. Penderita juga berisiko tinggi terkena penyakit:
- A. Leukemia akut
  - B. Anemia
  - C. Thalasemia
  - D. Hemofilia
- 10) Penderita Sindrom Jacobs mempunyai 44 Autosom dan 3 kromosom kelamin yang ditunjukkan dengan formula kromosom .... Kelainan ini ditemukan oleh P.A. Jacobs pada tahun 1965 dengan ciri-ciri pria bertubuh normal, terjadi pada 1 dari 1000 pria, berperawakan tinggi, bersifat antisosial, perilaku kasar dan agresif, memperlihatkan watak kriminal, IQ di bawah normal, dan penderita disebut sebagai Super Male/pria super.
- A. (47,XY + 18 dan 47,XX +18)
  - B. (47,XXY atau 44A + XXY)
  - C. (47, XYY atau 44A + XYY)
  - D. (47,XY + 13 dan 47,XX + 13)

# Kunci Jawaban Tes

## Tes 1

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

## Tes 2

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

## Tes 3

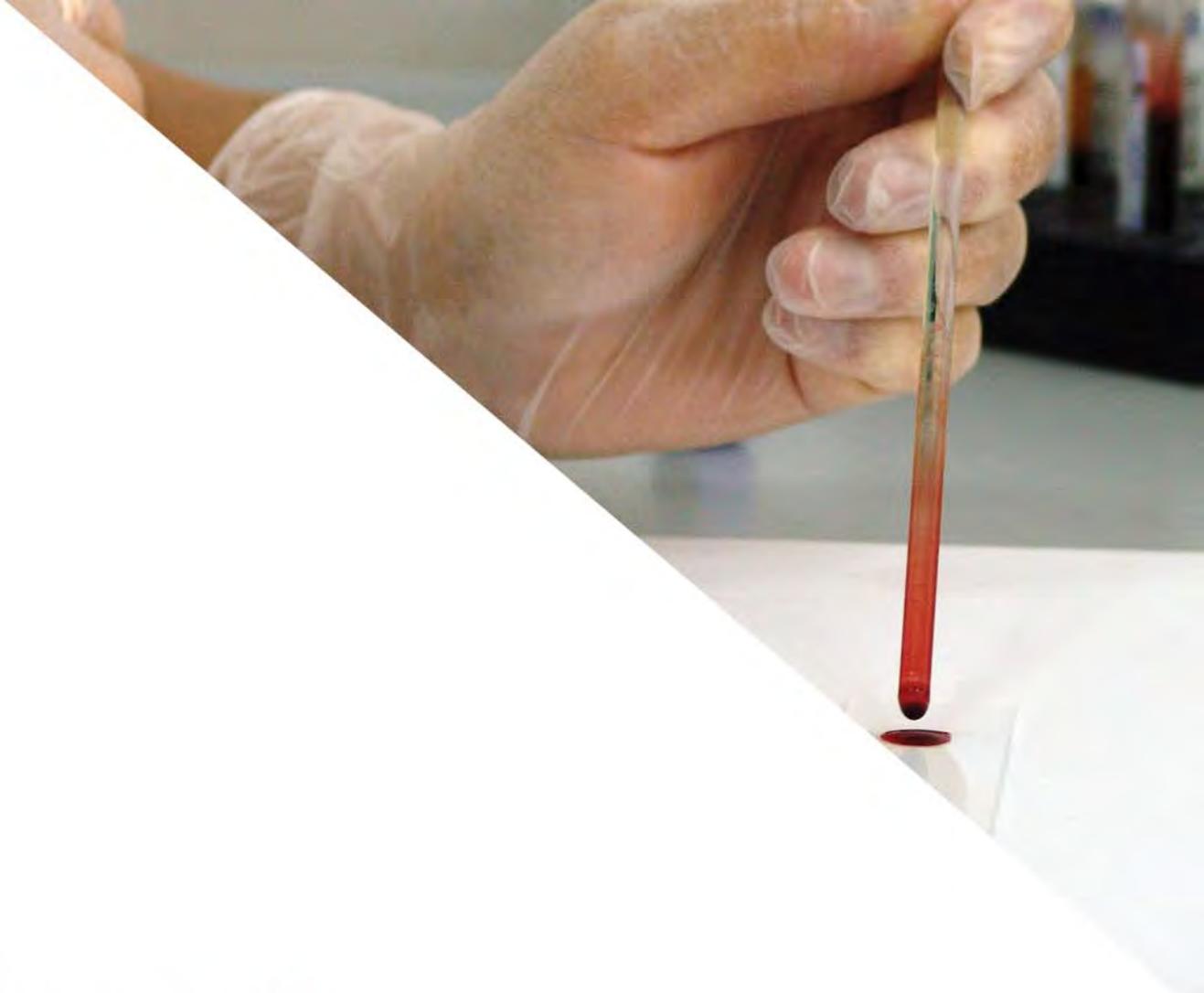
- 1) D
- 2) B
- 3) A
- 4) C
- 5) B
- 6) A
- 7) D
- 8) B
- 9) A
- 10) C

# Glosarium

- Alel : gen untuk sifat khusus terletak pada suatu lokus tertentu pada sepasang kromosom homolog
- Daur sel (siklus sel) : siklus pertumbuhan sebuah sel yang meliputi mitosis dan interfase.
- Dominan : sifat yang tampak penuh pada fenotip.
- Epistasi : interaksi dua gen sehingga salah satu gen menutup ekspresi fenotip gen lain.
- Faktor : sifat yang diturunkan menurut Mendel.
- Fenotip : sifat/karakter yang dapat diamati sebagai hasil interaksi antara genotip dan lingkungan.
- Filial ke-1 : turunan pertama dari pembastaran dua individu.
- Filial ke-2 : turunan kedua dari pembastaran dua individu; pembastaran antara F1 dengan F1.
- Galur murni : turunan yang selalu memiliki sifat yang sama dengan induk.
- Gen : satuan sifat turunan yang terletak pada kromosom; suatu urutan nukleotida pada molekul DNA yang mengkode suatu polipeptida.
- Genotip : susunan genetik (gen) dari suatu individu.
- Heterozigot : sebuah sel atau suatu organisme yang mempunyai dua alel beda pada lokus/kedudukan tertentu pada kromosom homolog.
- Homozigot : sebuah sel atau suatu organisme yang mempunyai dua alel sama pada lokus/kedudukan tertentu pada kromosom homolog.
- Meiosis : suatu bentuk pembelahan sel ( $2n$ ), yang akan menghasilkan gamet ( $n$ ).
- Mitosis : bentuk pembelahan sel ( $2n$ ) yang berhubungan dengan pertumbuhan sel, dan akan menghasilkan dua anak sel ( $2n$ ) yang identik.
- Parental : sifat seperti Induk.
- Pemisahan gen secara bebas: pada pembentukan gamet distribusi sepasang alel tidak berpengaruh pada distribusi terhadap pasangan alel lain, apabila tidak dalam keadaan berpautan.
- Rekombinasi : suatu kelompok susunan gen yang beda dengan susunan gen pada induk, terbentuk melalui peristiwa pindah silang.
- Resesif : suatu sifat/gen yang tidak terekspresi pada fenotip bila ada sifat/gen yang dominan.
- Segregasi : pemisahan kromosom homolog, termasuk alel, menuju ke gamet

# Daftar Pustaka

- Ayala, F. J. and Kiger, J.A. (1984). *Modern Genetics*. 2nded. Menlo Park: The Benjamin/Cunning Publ. Co., Inc.
- Campbell NA, dkk. 2000. *Biologi*. Edisi Kelima. Jilid 1. Jakarta: Erlangga. 265-267.
- Ganong WF. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 20. Jakarta: EGC Penerbit Buku Kedokteran. 2003. 515-518.
- Gardner, E. J., Simmons, M. J., and Snustad, D. P. (1991). *Principles of Genetics*. 8th.ed. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc.
- Harti, Agnes Sri. 2013. *Biologi Medik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Pai, A.C. *Dasar – dasar genetika*. Ilmu untuk Masyarakat. Edisi kedua. McGraw-Hill, Inc. Alih Bahasa Dr. Muchidin Apandi, Msc, ITB. Penerbit Erlangga. Jakarta, 1987.
- Robert, J.A.F. *Pengantar Genetika Kedokteran*. Edisi delapan. Alih Bahasa Dr. Hartono, FK Univ – GAMA. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta, 1995.
- Suryo, Ir. 1990. *Genetika Manusia*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Suryo. 1994. *Genetika Strata 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Walker, Sharon. 2014. *Menyingkap Tabir Bioteknologi-Panduan Belajar Mandiri*., Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Weaver, R. F., and Hedrick, P. W. 1992. *Genetics*. 2nd.ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publ.
- Yatim, W. Genetika Untuk Mahasiswa. Edisi keempat. Penerbit Tarsito. Ba*



# BIOLOGI SEL DAN GENETIKA

**PUSAT PENDIDIKAN SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN**  
Badan Pengembangan dan Pemberdayaan  
Sumber Daya Manusia Kesehatan

Jl. Hang Jebat III Blok F3,  
Kebayoran Baru Jakarta Selatan - 12120

**Telp.** 021 726 0401

**Fax.** 021 726 0485

**Email.** [pusdiknakes@yahoo.com](mailto:pusdiknakes@yahoo.com)

ISBN 978-602-416-873-5

