



Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Modul Belajar Mandiri

CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)

Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)

Bidang Studi

**Ilmu Pengetahuan
Alam - Biologi**





Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Modul Belajar Mandiri

CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)

Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)

Bidang Studi

**Ilmu Pengetahuan
Alam - Biologi**



MODUL BELAJAR MANDIRI CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)

Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)

**Bidang Studi
Ilmu Pengetahuan Alam –
Biologi**

Penulis :

Tim GTK DIKDAS

Desain Grafis dan Ilustrasi :

Tim Desain Grafis

Copyright © 2021

Direktorat GTK Pendidikan Dasar

Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengopi sebagian atau keseluruhan isi buku ini untuk kepentingan komersial tanpa izin tertulis dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Kata Sambutan

Peran guru profesional dalam proses pembelajaran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar peserta didik. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas dan berkarakter Pancasila yang prima. Hal tersebut menjadikan guru sebagai komponen utama dalam pendidikan sehingga menjadi fokus perhatian Pemerintah maupun Pemerintah Daerah dalam seleksi Guru Aparatur Sipil Negara (ASN) Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kontrak (PPPK).

Seleksi Guru ASN PPPK dibuka berdasarkan pada Data Pokok Pendidikan. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan mengestimasi bahwa kebutuhan guru di sekolah negeri mencapai satu juta guru (di luar guru PNS yang saat ini mengajar). Pembukaan seleksi untuk menjadi guru ASN PPPK adalah upaya menyediakan kesempatan yang adil bagi guru-guru honorer yang kompeten agar mendapatkan penghasilan yang layak. Pemerintah membuka kesempatan bagi: 1). Guru honorer di sekolah negeri dan swasta (termasuk guru eks-Tenaga Honorer Kategori dua yang belum pernah lulus seleksi menjadi PNS atau PPPK sebelumnya. 2). Guru yang terdaftar di Data Pokok Pendidikan; dan Lulusan Pendidikan Profesi Guru yang saat ini tidak mengajar.

Seleksi guru ASN PPPK kali ini berbeda dari tahun-tahun sebelumnya, dimana pada tahun sebelumnya formasi untuk guru ASN PPPK terbatas. Sedangkan pada tahun 2021 semua guru honorer dan lulusan PPG bisa mendaftar untuk mengikuti seleksi. Semua yang lulus seleksi akan menjadi guru ASN PPPK hingga batas satu juta guru. Oleh karenanya agar pemerintah bisa mencapai target satu juta guru, maka pemerintah pusat mengundang pemerintah daerah untuk mengajukan formasi lebih banyak sesuai kebutuhan.

Untuk mempersiapkan calon guru ASN PPPK siap dalam melaksanakan seleksi guru ASN PPPK, maka Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan (Ditjen GTK) mempersiapkan modul-modul pembelajaran setiap bidang studi yang digunakan sebagai bahan

belajar mandiri, pemanfaatan komunitas pembelajaran menjadi hal yang sangat penting dalam belajar antara calon guru ASN PPPK secara mandiri. Modul akan disajikan dalam konsep pembelajaran mandiri menyajikan pembelajaran yang berfungsi sebagai bahan belajar untuk mengingatkan kembali substansi materi pada setiap bidang studi, modul yang dikembangkan bukanlah modul utama yang menjadi dasar atau satu-satunya sumber belajar dalam pelaksanaan seleksi calon guru ASN PPPK tetapi dapat dikombinasikan dengan sumber belajar lainnya. Peran Kemendikbud melalui Ditjen GTK dalam rangka meningkatkan kualitas lulusan guru ASN PPPK melalui pembelajaran yang bermuara pada peningkatan kualitas peserta didik adalah menyiapkan modul belajar mandiri.

Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Pendidikan Dasar (Direktorat GTK Dikdas) bekerja sama dengan Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK) yang merupakan Unit Pelaksana Teknis di lingkungan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan yang bertanggung jawab dalam mengembangkan modul belajar mandiri bagi calon guru ASN PPPK. Adapun modul belajar mandiri yang dikembangkan tersebut adalah modul yang di tulis oleh penulis dengan menggabungkan hasil kurasi dari modul Pendidikan Profesi Guru (PPG), Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB), Peningkatan Kompetensi Pembelajaran (PKP), dan bahan lainnya yang relevan. Dengan modul ini diharapkan calon guru ASN PPPK memiliki salah satu sumber dari banyaknya sumber yang tersedia dalam mempersiapkan seleksi Guru ASN PPPK.

Mari kita tingkatkan terus kemampuan dan profesionalisme dalam mewujudkan pelajar Pancasila.

Jakarta, Februari 2021

Direktur Jenderal Guru dan Tenaga
Kependidikan,



Iwan Syahril

Kata Pengantar

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas selesainya Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru Aparatur Sipil Negara (ASN) Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kontrak (PPPK) untuk 25 Bidang Studi (berjumlah 39 Modul). Modul ini merupakan salah satu bahan belajar mandiri yang dapat digunakan oleh calon guru ASN PPPK dan bukan bahan belajar yang utama.

Seleksi Guru ASN PPPK adalah upaya menyediakan kesempatan yang adil untuk guru-guru honorer yang kompeten dan profesional yang memiliki peran sangat penting sebagai kunci keberhasilan belajar peserta didik. Guru profesional adalah guru yang kompeten membangun proses pembelajaran yang baik sehingga dapat menghasilkan pendidikan yang berkualitas dan berkarakter Pancasila yang prima.

Sebagai salah satu upaya untuk mendukung keberhasilan seleksi guru ASN PPPK, Direktorat Guru dan Tenaga Kependidikan Pendidikan Dasar pada tahun 2021 mengembangkan dan mengkurasi modul Pendidikan Profesi Guru (PPG), Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB), Peningkatan Kompetensi Pembelajaran (PKP), dan bahan lainnya yang relevan sebagai salah satu bahan belajar mandiri.

Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru ASN PPPK ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan bacaan (bukan bacaan utama) untuk dapat meningkatkan pemahaman tentang kompetensi pedagogik dan profesional sesuai dengan bidang studinya masing-masing.

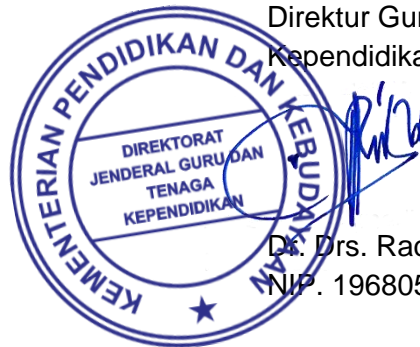
Terima kasih dan penghargaan yang tinggi disampaikan kepada pimpinan Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK) yang telah mengizinkan stafnya dalam menyelesaikan Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru ASN PPPK. Tidak lupa saya juga sampaikan terima kasih kepada para widyaiswara dan Pengembang Teknologi Pembelajaran (PTP) di dalam penyusunan modul ini.

Modul Belajar Mandiri

Semoga Modul Belajar Mandiri bagi Calon Guru ASN PPPK dapat memberikan dan mengingatkan pemahaman dan keterampilan sesuai dengan bidang studinya masing-masing.

Jakarta, Februari 2021

Direktur Guru dan Tenaga
Kependidikan Pendidikan Dasar,



Dr. Drs. Rachmadi Widdiharto, M. A
NIP. 196805211995121002

Daftar Isi

	Hlm.
Kata Sambutan.....	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel.....	xiii
Pendahuluan	1
A. Deskripsi Singkat	1
B. Peta Kompetensi	1
C. Ruang Lingkup	7
D. Petunjuk Belajar	7
Pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup.....	9
A. Kompetensi.....	9
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	9
C. Uraian Materi	10
1. Struktur dan Fungsi Sel.....	10
2. Membran, Inti dan Organel Sel	19
3. Sistem Organ	38
4. Reproduksi Sel dan Hereditas	91
5. Teori Asal Usul Kehidupan dan Evolusi	133
D. Rangkuman.....	155
Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi	159
A. Kompetensi.....	159
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	159

C.	Uraian Materi.....	160
1.	Klasifikasi dan Keanekaragaman Tumbuhan.....	160
2.	Klasifikasi dan Keanekaragaman Hewan.....	187
3.	Ekologi Biologi Populasi.....	236
4.	Ekologi Biologi Konservasi.....	250
D.	Rangkuman.....	271
Pembelajaran 3. Energi dalam Kehidupan.....		277
A.	Kompetensi.....	277
B.	Indikator Pencapaian Kompetensi.....	277
C.	Uraian Materi.....	278
1.	Transformasi Energi dalam Sel.....	278
2.	Metabolisme pada Manusia.....	285
3.	Sistem Gerak Manusia.....	288
4.	Tekanan Zat pada Makhluk Hidup.....	298
5.	Pengangkutan Air pada Tumbuhan.....	298
6.	Pengangkutan Nutrisi pada Tumbuhan.....	303
7.	Tekanan Osmotik.....	304
8.	Pengaturan Suhu pada Makhluk Hidup.....	310
9.	Mekanisme perubahan panas tubuh hewan.....	319
10.	Jenis-jenis Transpirasi.....	322
D.	Rangkuman.....	325
Pembelajaran 4. Pendengaran, Penglihatan, dan Kelistrikan pada Manusia dan Hewan.....		329
A.	Kompetensi.....	329
B.	Indikator Pencapaian Kompetensi.....	329
C.	Uraian Materi.....	330
1.	Pendengaran pada Manusia dan Hewan.....	330

2. Indra Penglihatan Manusia dan Hewan	335
3. Kelistrikan pada Sel Saraf	343
4. Migrasi Burung	349
5. Migrasi Salmon	351
6. Migrasi Penyu	351
7. Migrasi LobsterDuri	352
8. Magnet dalam TubuhBakteri	353
D. Rangkuman	354
Penutup	356

Daftar Gambar

Gambar 1. Alur Pembelajaran Bahan Belajar Mandiri.....	7
Gambar 2. Mikroskop Antonie van Leeuwenhoek	11
Gambar 3. Mikroskop Cahaya	11
Gambar 4. Cara membawa mikroskop	14
Gambar 5. Melihat objek dengan pembesaran paling kecil.....	15
Gambar 6. Meletakkan preparat.....	15
Gambar 7. Pengaturan makrometer untuk melihat objek lebih jelas	16
Gambar 8. Mikroskop Elektron	17
Gambar 9. Perbedaan hasil pembesaran mikroskop cahaya dan mikroskop electron	18
Gambar 10. Sel dengan organelnya.....	19
Gambar 11. Membran sel	20
Gambar 12. Retikulum endoplasma	21
Gambar 13. Struktur Ribosom	22
Gambar 14. Mitokondria	23
Gambar 15. Lisosom	24
Gambar 16. Badan Golgi	24
Gambar 17. Sentrosom	25
Gambar 18. Plastida/kloroplas.....	26
Gambar 19. Nukleous.....	28
Gambar 20. Perbedaan sel prokariotik dan eukariotik (tumbuhan dan hewan)...	29
Gambar 21. Teori Endosimbiosis	31
Gambar 22. Peristiwa difusi.....	33
Gambar 23. Peristiwa Osmosis	34
Gambar 24. Mekanisme Transpor Aktif	35
Gambar 25. Mekanisme Eksositosis	36
Gambar 26. Mekanisme Endositosis	37
Gambar 27. Rangka hidrostatis pada cacing tanah.....	39
Gambar 28. Eksoskeleton pada serangga	39
Gambar 29. Endoskeleton pada hewan vertebrata	40
Gambar 30. Kerangka aksial dan appendicular pada manusia	41

Gambar 31. Sistem Peredaran darah terbuka pada serangga.....	44
Gambar 32. Sistem Peredaran darah tertutup	45
Gambar 33. Jantung Manusia	46
Gambar 34. Sistem Endokrin pada manusia.....	49
Gambar 35. Sistem Saraf pada berbagai hewan	53
Gambar 36. Sistem saraf Pusat dan system saraf tepi	54
Gambar 37. Alat Indera pada Manusia	57
Gambar 38. Sistem Respirasi pada Manusia	62
Gambar 39. Sistem Imunitas pada Manusia	65
Gambar 40. Sistem Pencernaan pada Manusia.....	68
Gambar 41. Sistem Ekskresi pada Manusia	76
Gambar 42. Sistem otot pada Manusia	79
Gambar 43. Penampang kulit.....	83
Gambar 44. Sistem Reproduksi pada Manusia.....	88
Gambar 45. Pembelahan Amitosis.....	93
Gambar 46. Kromosom	94
Gambar 47. Tahapan pembelahan Mitosis	96
Gambar 48. Tahapan Interfase	97
Gambar 49. Tahap Profase	99
Gambar 50. Tahapan Metafase.....	100
Gambar 51. Tahapan Anafase	101
Gambar 52. Tahapan Telofase	102
Gambar 53. Tahapan Sitokinesis	102
Gambar 54. Tahapan pembelahan Meiosis	104
Gambar 55. Tahapan Profase 1	105
Gambar 56. Struktur kromosom manusia.....	110
Gambar 57. Posisi Sentromer Kromosom.....	111
Gambar 58. Struktur DNA	111
Gambar 59. Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri yang berbunga putih, akan menghasilkan turunan F2 dengan tanaman kacang kapri berbunga merah 3 bagian, dan yang berbunga putih 1 bagian (3:1), dilihat dari fenotip dan genotipnya.....	116
Gambar 60. Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri berbunga putih, akan menghasilkan turunan F2 dengan tanaman kacang	

kapri berbunga merah 1 bagian, yang berbunga ros 2 bagian dan yang berbunga putih 1 bagian atau dengan perbandingan =	116
Gambar 61. Pembastaran antara tanaman kacang kapri biji bulat-kuning dengan tanaman kacang kapri biji kisut-hijau akan menghasilkan turunan F2 dengan perbandingan 9:3:3:1.....	118
Gambar 62. Perbandingan sel darah normal dan sel darah sabit	121
Gambar 63. Anak Penderita Albino	122
Gambar 64. Perbandingan Anak Normal dengan Anak Akondroplasia.....	124
Gambar 65. Kaki penderita polidaktili	125
Gambar 66. Wajah penderita Hipertrikosis	127
Gambar 67. Kaki penderita webbed toes	127
Gambar 68. Penderita Sindrom Down.....	128
Gambar 69. Penderita sindrom cri du chat.....	130
Gambar 70. Seleksi pedigree pada sapi.....	132
Gambar 71. Keanekaragaman Belalang	133
Gambar 72. Percobaan Aristoteles.....	134
Gambar 73. Percobaan Jan Baptist Van Helmont.....	135
Gambar 74. Percobaan Needham.....	135
Gambar 75. Percobaan Francisco Redi	137
Gambar 76. Percobaan Spallanzani.....	138
Gambar 77. Percobaan Louis Pasteur	139
Gambar 78. Percobaan Miller – Urrey.....	141
Gambar 79. Teori Oparin.....	144
Gambar 80 Perbandingan Teori Lamarck dan Darwin	146
Gambar 81. Evolusi dan bukan evolusi	149
Gambar 82. Mekanisme perubahan genetik karena mutasi	150
Gambar 83. Mekanisme perubahan genetik karena migrasi	150
Gambar 84. Mekanisme perubahan genetik karena pergeseran genetik.....	151
Gambar 85. Mekanisme perubahan genetik karena seleksi alam.....	151
Gambar 86. Contoh Kunci Dikotomi pada Tumbuhan	161
Gambar 87. Contoh Kunci Determinasi pada Tumbuhan.....	162
Gambar 88. Tumbuhan Lumut.....	166
Gambar 89. Metagenesis (pergiliran keturunan) pada tumbuhan lumut	167
Gambar 90. Klasifikasi Tumbuhan Lumut (Bryophyta)	168

Gambar 91. Contoh lumut daun	168
Gambar 92. Struktur morfologi hidup lumut daun atau moss (divisi Briofita)	169
Gambar 93. Siklus hidup lumut daun atau moss (divisi Briofita)	169
Gambar 94. Contoh lumut hati	170
Gambar 95. Siklus hidup lumut hati (liverwort).....	171
Gambar 96. Contoh lumut tanduk (Anthoceros sp)	171
Gambar 97. Tumbuhan Paku	172
Gambar 98. Metagenesis pada tumbuhan paku	173
Gambar 99. Struktur Morfologi Tumbuhan Paku.....	174
Gambar 100. Psilotum.....	174
Gambar 101. Contoh paku kawat.....	175
Gambar 102. Contoh paku ekor kuda (Equisetum debile)	175
Gambar 103. Siklus hidup tumbuhan paku	176
Gambar 104. Contoh tumbuhan paku sejati.....	177
Gambar 105. Contoh Tumbuhan Gimnosperma	178
Gambar 106. Siklus hidup pinus.....	179
Gambar 107. Struktur bunga	181
Gambar 108. Jenis penyerbukan pada tumbuhan Angiospermae	183
Gambar 109. Pembuhan Ganda pada Angiosperma	184
Gambar 110. Siklus hidup Angiosperma	185
Gambar 111. Contoh tumbuhan monokotil.....	186
Gambar 112. Contoh tumbuhan dikotil.....	187
Gambar 113. Contoh Kunci Dikotomi pada Hewan.....	187
Gambar 114. Pohon filogeni hewan	188
Gambar 115. Porifera.....	191
Gambar 116. Struktur tubuh Porifera	192
Gambar 117. Tipe Porifera berdasarkan sistem salurannya	193
Gambar 118. Serat rangka pada Porifera	193
Gambar 119. Contoh Porifera kelas Calcarea.....	194
Gambar 120. Contoh Porifera kelas Hexatinellida(Euplectella aspergillum)	195
Gambar 121. Contoh Porifera kelas Demospongia.....	195
Gambar 122. Contoh hewan tipe Cnidaria	196
Gambar 123. Filogeni Cnidaria.....	197
Gambar 124. Struktur tubuh Cnidaria	198

Gambar 125. Hewan kelas Scyphozoa	200
Gambar 126. Hewan kelas Scyphozoa	200
Gambar 127. Hewan kelas Hydrozoa	201
Gambar 128. Siklus hidup Hidrozoa	201
Gambar 129. Struktur tubuh cacing pipih (Platyhelminthes)	203
Gambar 130. Struktur dan regenerasi pada Planaria	205
Gambar 131. Siklus hidup Trematoda	206
Gambar 132. Fluke darah (Schistosoma)	207
Gambar 133. Taenia	208
Gambar 134. Siklus hidup kelas cacing pita	209
Gambar 135. Struktur tubuh cacing gilig (Nematoda)	210
Gambar 136. Contoh cacing Nematoda	211
Gambar 137. Struktur tubuh bekicot	214
Gambar 138. Struktur tubuh cacing tanah	215
Gambar 139. Struktur tubuh belalang	217
Gambar 140. Contoh hewan yang mengalami metamorfosis (a) metamorfosis tak sempurna (b) metamorfosis sempurna	219
Gambar 141. Bintang laut	224
Gambar 142. Bintang mengular	225
Gambar 143. Bulu babi (b) dollar pasir	225
Gambar 144. Lili laut	226
Gambar 145. Ketimun laut	227
Gambar 146. (a) Hagfish dan (b) lamprey	229
Gambar 147. Bunga dengan kupu-kupu	237
Gambar 148. Tali putri dengan inangnya	238
Gambar 149. Pola penyebaran populasi	246
Gambar 150. Lingkungan	250
Gambar 151. Pencemaran pada Suatu Lingkungan	252
Gambar 152. Eutrofikasi yang Terjadi di Indonesia	254
Gambar 153. Kematian Ikan Secara Mendadak di Teluk Jakarta	255
Gambar 154. Magnifikasi biologis DDT dalam Suatu Rantai Makanan	256
Gambar 155. Kerusakan Terumbu Karang Akibat Pemanasan Global	257
Gambar 156. Permafrost	258

Daftar Tabel

Pendahuluan

A. Deskripsi Singkat

Dalam rangka memudahkan guru mempelajarinya bahan belajar mandiri calon guru P3K, di dalam bahan belajar ini dimuat pada model kompetensi terkait yang memuat target kompetensi guru dan indikator pencapaian kompetensi.

Bahan belajar mandiri bidang studi IPA(Biologi) berisi pembelajaran - pembelajaran bagi calon guru P3K yang yang terdiri dari,

- Pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup
- Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi
- Pembelajaran 3. Energi dalam Kehidupan
- Pembelajaran 4. Pendengaran, Penglihatan, dan Kelistrikan pada Manusia dan Hewan

Bahan belajar mandiri ini memberikan pengamalan belajar bagi calon guru P3K dalam memahami teori dan konsep dari pembelajaran dari setiap materi dan substansi materi yang disajikan.

Komponen-komponen di dalam bahan belajar mandiri ini dikembangkan dengan tujuan agar calon guru P3K dapat dengan mudah memahami teori dan konsep bidang studi IPA, sekaligus mendorong guru untuk mencapai kemampuan berpikir tingkat tinggi.

Rangkuman pembelajaran selalu diberikan di setiap akhir pembelajaran yang berfungsi untuk memudahkan dalam membaca, mengingat, dan memahami materi-materi esensial.

B. Peta Kompetensi

Bahan belajar mandiri ini dikembangkan berdasarkan model kompetensi guru. Kompetensi tersebut dapat dijabarkan menjadi beberapa indikator. Target kompetensi menjadi patokan penguasaan kompetensi oleh guru P3K.

Kategori Penguasaan Pengetahuan Profesional yang terdapat pada dokumen model kompetensi yang akan dicapai oleh guru P3K ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Target Kompetensi Guru P3K

KOMPETENSI	INDIKATOR
Menganalisis struktur & alur pengetahuan untuk pembelajaran	1.1.1 Menganalisis struktur & alur pengetahuan untuk pembelajaran
	1.1.2 Menganalisis prasyarat untuk menguasai konsep dari suatu disiplin ilmu
	1.1.3. Menjelaskan keterkaitan suatu konsep dengan konsep yang lain

Untuk menterjemahkan model kompetensi guru, maka dijabarkanlah target kompetensi guru bidang studi yang terangkum dalam pembelajaran-pembelajaran dan disajikan dalam bahan belajar mandiri bidang studi IPA. Kompetensi guru bidang studi IPA dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Kompetensi Bahan Belajar Bidang Studi IPA Biologi

KOMPETENSI GURU	INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI
Pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup	
Mampu menguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA, (2) materi dan interaksinya, (3) gerak, gaya, dan tekanan, (4) energi, usaha, dan pesawat sederhana, (5) gelombang dan optik serta aplikasinya dalam teknologi, (6) kelistrikan dan kemagnetan, (7) ciri, klasifikasi, sistem, struktur, fungsi makhluk hidup, zat aditif dan adiktif serta dampaknya terhadap kesehatan, (8) interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan, (9) reproduksi, hereditas, evolusi (10) mikroorganisme dan bioteknologi, (11) tata surya, struktur bumi, perubahan iklim, dan mitigasi bencana, termasuk <i>advanced materials</i> dalam IPA secara bermakna yang	<p>1.1.1 Mengidentifikasi konsep-konsep IPA yang dapat dipadukan jika akan melaksanakan pembelajaran tentang pengamatan sel dengan metode praktikum.</p> <p>1.1.2 Mengaitkan hubungan antara struktur dan fungsi sel pada jaringan tertentu.</p> <p>1.2.1 Mengaitkan hubungan antara struktur dan fungsi organ tersebut dalam mendukung sistem organ.</p> <p>1.2.2 Memilih upaya untuk menjaga kesehatan dari penyakit tersebut.</p> <p>1.2.3 Menganalisis materi esensial yang sesuai dengan metode dan teknologi yang digunakan sesuai dengan Kompetensi Dasar (KD) pada materi sistem organ.</p>

<p>dapat menjelaskan aspek “apa” (konten), “mengapa” (filosofi), dan “bagaimana” (penerapan) dalam kehidupan sehari-hari</p>	<p>1.3.1 Memprediksi perbandingan fenotif pada F2 pada contoh kasus pewarisan sifat tertentu dari induk kepada keturunannya.</p> <p>1.3.2 Menganalisis mekanisme munculnya kelainan genetik pada manusia.</p> <p>1.3.3 Merumuskan alat evaluasi yang relevan dengan indikator pembelajaran Kompetensi Dasar (KD) materi hereditas.</p> <p>1.4.1 Menentukan alasan kasus tersebut pada salah satu teori asal usul kehidupan berdasarkan contoh kasus tentang asal usul kehidupan.</p> <p>1.4.2 Menarik kesimpulan terhadap fakta sebagai bukti adanya evolusi berdasarkan teori Darwin.</p>
<p>Pembelajaran 2.Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi</p>	
<p>Mampu menganalisis interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan</p>	<p>2.1.1 Mengkorelasikan adaptasi struktural, kimiawi dan reproduksi dengan fakta asal mula tumbuhan.</p> <p>2.1.2 Mengkategorikan jenis tumbuhan dengan menggunakan kunci dikotomi dan kunci determinasi.</p> <p>2.1.3 Membandingkan karakteristik pada tumbuhan nonvaskuler, tumbuhan vaskuler tak berbiji dan tumbuhan berbiji.</p> <p>2.1.4 Menafsirkan tipe reproduksi pada tumbuhan nonvaskuler, tumbuhan vaskuler tak berbiji dan tumbuhan berbiji.</p>

	<p>2.1.5 Menelaah objek permasalahan biologi berdasarkan kasus penelitian di tumbuhan pada salah satu tingkat organisasi kehidupan.</p> <p>2.2.1 Mendeskripsikan gambaran umum tentang filogeni dan keanekaragaman hewan.</p> <p>2.2.2 Mengkategorikan jenis hewan dengan menggunakan kunci dikotomi dan kunci determinasi.</p> <p>2.2.3 Membandingkan karakteristik pada hewan invertebrata dan vertebrata.</p> <p>2.2.4 Menafsirkan tipe reproduksi pada hewan invertebrata dan vertebrata.</p> <p>2.2.5 Menelaah objek permasalahan biologi berdasarkan kasus penelitian terhadap hewan pada salah satu tingkat organisasi kehidupan.</p> <p>2.3.1 Mengkategorikan jenis-jenis simbiosis sebagai bentuk interaksi antar makhluk hidup.</p> <p>2.3.2 Mengkorelasikan hubungan antara populasi makhluk hidup dengan kebutuhan hidupnya.</p> <p>2.4.1 Menganalisis penyebab terjadinya pencemaran lingkungan berdasarkan dampak yang ditimbulkannya.</p> <p>2.4.2 Menganalisis peran mikroorganisme dalam menjaga kesuburan tanah berdasarkan sifat fisika atau kimianya.</p> <p>2.4.3 Menemukan berbagai alternatif strategi atau solusi yang paling tepat untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan.</p>
--	---

Pembelajaran 3. Energi dalam Kehidupan	
<p>Mampu menguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA, (2) materi dan interaksinya, (3) gerak, gaya, dan tekanan, (4) energi, usaha, dan pesawat sederhana, (5) gelombang dan optik serta aplikasinya dalam teknologi, (6) kelistrikan dan kemagnetan, (7) ciri, klasifikasi, sistem, struktur, fungsi makhluk hidup, zat aditif dan adiktif serta dampaknya terhadap kesehatan, (8) interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan, (9) reproduksi, hereditas, evolusi (10) mikroorganisme dan bioteknologi, (11) tata surya, struktur bumi, perubahan iklim, dan mitigasi bencana, termasuk <i>advanced materials</i> dalam IPA secara bermakna yang dapat menjelaskan aspek “apa” (konten), “mengapa” (filosofi), dan “bagaimana” (penerapan) dalam kehidupan sehari-hari</p>	<p>3.1.1 Menganalisis perubahan energi dalam sel. 3.1.2 Menganalisis proses metabolisme dalam sel. 3.1.3 Menganalisis transformasi energi pada proses biologis makhluk hidup. 3.2.1 Menganalisis sistem gerak manusia. 3.3.1 Menganalisis mekanisme pengangkutan air dan nutrisi pada tumbuhan. 3.3.2 Menganalisis proses peredaran darah pada manusia. 3.3.3 Menganalisis proses pernapasan pada manusia. 3.4.1 Menganalisis mekanisme pengaturan suhu tubuh pada manusia. 3.4.2 Menganalisis mekanisme pengaturan suhu tubuh pada hewan. 3.4.3 Menganalisis mekanisme pengaturan suhu tubuh pada tumbuhan.</p>
Pembelajaran 4. Pendengaran, Penglihatan, dan Kelistrikan pada Manusia dan Hewan	
<p>Mampu menguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA, (2) materi dan interaksinya, (3) gerak, gaya, dan tekanan, (4) energi, usaha, dan pesawat sederhana, (5) gelombang dan optik serta aplikasinya dalam teknologi, (6) kelistrikan dan kemagnetan, (7) ciri,</p>	<p>4.1.1 Menganalisis mekanisme pendengaran pada manusia. 4.1.2 Menganalisis mekanisme pendengaran pada hewan. 4.2.1 Menganalisis mekanisme penglihatan pada manusia. 4.2.2 Menganalisis mekanisme penglihatan pada hewan.</p>

<p>klasifikasi, sistem, struktur, fungsi makhluk hidup, zat aditif dan adiktif serta dampaknya terhadap kesehatan, (8) interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan, (9) reproduksi, hereditas, evolusi (10) mikroorganisme dan bioteknologi, (11) tata surya, struktur bumi, perubahan iklim, dan mitigasi bencana, termasuk <i>advanced materials</i> dalam IPA secara bermakna yang dapat menjelaskan aspek “apa” (konten), “mengapa” (filosofi), dan “bagaimana” (penerapan) dalam kehidupan sehari-hari</p>	<p>4.3.1 Menganalisis kelistrikan pada sel saraf.</p> <p>4.3.2 Menjelaskan medan magnet pada navigasi hewan saat migrasi.</p>
--	---

C. Ruang Lingkup

Ruang lingkup materi pada bahan belajar mandiri calon guru P3K ini disusun dalam dua bagian besar, bagian pertama adalah pendahuluan dan bagian berikutnya adalah pembelajaran–pembelajaran.

Bagian Pendahuluan berisi deskripsi singkat, Peta Kompetensi yang diharapkan dicapai setelah pembelajaran, Ruang Lingkup, dan Petunjuk Belajar. Bagian Pembelajaran terdiri dari empat bagian, yaitu bagian Kompetensi, Indikator Pencapaian Kompetensi, Uraian Materi, dan Rangkuman. Bahan belajar mandiri diakhiri dengan Penutup, Daftar Pustaka, dan Lampiran.

Rincian materi pada bahan belajar mandiri bagi calon guru P3K adalah substansi materi esensial terkait Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup; Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi; Energi dalam Kehidupan; serta Pendengaran, Penglihatan, dan Kelistrikan pada Manusia dan Hewan.

D. Petunjuk Belajar

Secara umum, cara penggunaan bahan belajar mandiri bagi calon guru P3K pada setiap Pembelajaran disesuaikan dengan skenario setiap penyajian substansi materi bidang studi. Bahan belajar mandiri ini dapat digunakan dalam kegiatan peningkatan kompetensi guru bidang studi, baik melalui moda mandiri maupun moda daring yang menggunakan konsep pembelajaran bersama dalam komunitas pembelajaran secara daring.



Gambar 1. Alur Pembelajaran Bahan Belajar Mandiri

Modul Belajar Mandiri

Berdasarkan Gambar 1. dapat dilihat bahwa akses ke bahan belajar mandiri dapat melalui SIMPB, dimana bahan belajar mandiri akan didapat secara mudah dan dipelajari secara mandiri oleh calon Guru P3K. Bahan belajar mandiri dapat di unduh dan dipelajari secara mandiri, sistem LMS akan memberikan perangkat ajar lainnya dan latihan-latihan soal yang memungkinkan guru untuk berlatih.

Sistem dikembangkan secara sederhana, mudah, dan ringan sehingga *user friendly* dengan memanfaatkan komunitas pembelajaran secara daring, sehingga segala permasalahan yang muncul dalam proses pembelajaran mandiri dapat di selesaikan secara komunitas, karena konsep dari bahan belajar ini tidak ada pendampingan Narasumber / Instruktur / Fasilitator sehingga komunitas pembelajaran menjadi hal yang sangat membantu guru

Pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 2. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup
Penulis. Ikmanda Nugraha

A. Kompetensi

Penjabaran model kompetensi yang selanjutnya dikembangkan pada kompetensi guru bidang studi yang lebih spesifik pada pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup, ada beberapa kompetensi guru bidang studi yang akan dicapai pada pembelajaran ini, kompetensi yang akan dicapai pada pembelajaran ini adalah calon guru P3K mampumenguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA, (2) materi dan interaksinya, (3) gerak, gaya, dan tekanan, (4) energi, usaha, dan pesawat sederhana, (5) gelombang dan optik serta aplikasinya dalam teknologi, (6) kelistrikan dan kemagnetan, (7) ciri, klasifikasi, sistem, struktur, fungsi makhluk hidup, zat aditif dan adiktif serta dampaknya terhadap kesehatan, (8) interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan, (9) reproduksi, hereditas, evolusi (10) mikroorganisme dan bioteknologi, (11) tata surya, struktur bumi, perubahan iklim, dan mitigasi bencana, termasuk advanced materials dalam IPA secara bermakna yang dapat menjelaskan aspek “apa” (konten), “mengapa” (filosofi), dan “bagaimana” (penerapan) dalam kehidupan sehari-hari.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Dalam rangka mencapai kompetensi guru bidang studi, maka dikembangkanlah indikator - indikator yang sesuai dengan tuntutan kompetensi guru bidang studi.

Indikator pencapaian kompetensi yang akan dicapai dalam pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup adalah sebagai berikut.

- 1.1.1 Mengidentifikasi konsep-konsep IPA yang dapat dipadukan jika akan melaksanakan pembelajaran tentang pengamatan sel dengan metode praktikum.

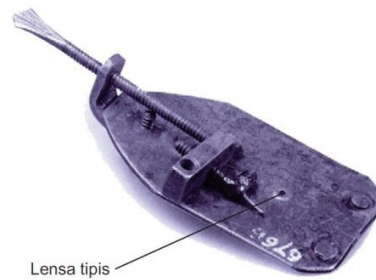
- 1.1.2 Mengaitkan hubungan antara struktur dan fungsi sel pada jaringan tertentu.
- 1.2.1 Mengaitkan hubungan antara struktur dan fungsi organ tersebut dalam mendukung sistem organ.
- 1.2.2 Memilih upaya untuk menjaga kesehatan dari penyakit tersebut.
- 1.2.3 Menganalisis materi esensial yang sesuai dengan metode dan teknologi yang digunakan sesuai dengan Kompetensi Dasar (KD) pada materi sistem organ.
- 1.3.1 Memprediksi perbandingan fenotif pada F2 pada contoh kasus pewarisan sifat tertentu dari induk kepada keturunannya.
- 1.3.2 Menganalisis mekanisme munculnya kelainan genetik pada manusia.
- 1.3.3 Merumuskan alat evaluasi yang relevan dengan indikator pembelajaran Kompetensi Dasar (KD) materi hereditas.
- 1.4.1 Menentukan alasan kasus tersebut pada salah satu teori asal usul kehidupan berdasarkan contoh kasus tentang asal usul kehidupan.
- 1.4.2 Menarik kesimpulan terhadap fakta sebagai bukti adanya evolusi berdasarkan teori Darwin.

C. Uraian Materi

1. Struktur dan Fungsi Sel

- **Mikroskop**

Mikroskop merupakan suatu alat yang digunakan untuk meneliti objek-objek yang ukurannya sangat kecil (disebut mikroskopis), seperti sel misalnya. Ilmuwan Belanda bernama Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) merancang sebuah mikroskop kecil berlensa tunggal (Gambar 1.1). Mikroskop itu digunakan untuk mengamati air rendaman jerami. Ia menemukan organisme yang bergerak-gerak di dalam air, yang kemudian disebut Protozoa. Antonie van Leeuwenhoek merupakan orang pertama yang menemukan sel hidup. Ada dua jenis mikroskop yang umum digunakan saat ini yaitu mikroskop cahaya dan mikroskop elektron.



Gambar 2. Mikroskop Antonie van Leeuwenhoek

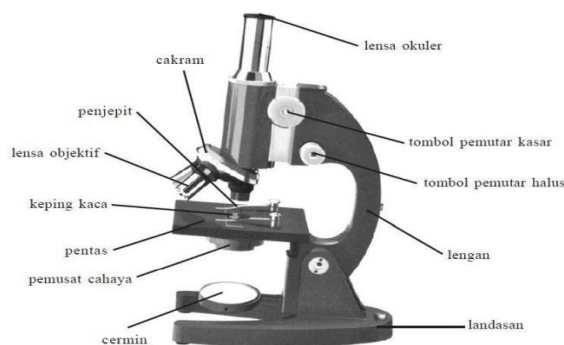
Sumber: <https://micro.magnet.fsu.edu>

a. Mikroskop Cahaya

Jenis mikroskop ini merupakan mikroskop yang memanfaatkan cahaya sebagai sumber energi. Mikroskop cahaya contohnya adalah yang sering digunakan di sekolah. Sumber cahaya yang digunakan biasanya dari cahaya matahari, bisa juga dari cahaya lampu dengan sumber listrik. Benda dapat diperbesar dengan 40 kali, 100 kali, 400 kali, bahkan 1000 kali dengan bantuan mikroskop cahaya. Ilmu yang mempelajari tentang benda kecil yang diamati dengan mikroskop disebut mikroskopi.

b. Bagian-Bagian Mikroskop Cahaya

Bagian mikroskop (Gambar. 1.2) dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian optik dan bagian mekanik.



Gambar 3. Mikroskop Cahaya

Sumber: <https://www.berpendidikan.com>

c. Bagian Optik

1) Lensa Okuler

Lensa okuler yaitu ada di ujung paling atas, digunakan untuk melihat objek melalui lensa. Lensa okuler berfungsi memperbesar bayangan dengan perbesaran 6 kali, 10 kali, atau 12 kali.

2) Lensa Objektif

Lensa objektif yaitu lensa yang paling dekat dengan objek. Terdapat tiga lensa objektif dengan perbesaran 10 kali, 40 kali, 100 kali atau juga ada yang 1000 kali pada jenis mikroskop terbaru. Saat menggunakan lensa objektif, perlu diberi minyak pelumas karena benda atau objek pada pembesaran 100 kali bisa sampai menempel atau bersentuhan dengan lensa. Untuk memperjelas gambaran benda, maka diberikanlah minyak pelumas atau minyak emersi.

3) Kondensor

Kondensor merupakan bagian yang bisa diputar naik turun berfungsi untuk memusatkan objek atau benda serta memperjelas cahaya yang dipantulkan oleh cermin.

4) Diafragma

Benda atau objek mikro biasanya diletakkan pada preparat atau lempengan kaca yang di jepitkan pada tatakan bawah lensa. Diafragma berfungsi mengatur seberapa banyak cahaya yang digunakan untuk melihat objek pada preparat.

5) Cermin

Cermin berada pada posisi bawah berbentuk bulat dan berfungsi menerima dan memantulkan cahaya ke arah preparat agar objek yang sedang diamati bisa terlihat jelas. Cermin bisa diarahkan ke segala arah untuk mendapatkan pencahayaan yang cukup terang.

d. Bagian Mekanik

1) Revolver

Revolver merupakan bagian yang digunakan untuk mengatur seberapa banyak perbesaran lensa yang diinginkan. Revolver bisa diatur dengan memutarkannya sesuai dengan perbesaran yang tertera atau tertulis.

2) Tabung Mikroskop

Tabung mikroskop ini yang berbentuk panjang karena merupakan penghubung antara lensa objektif dan lensa okuler pada mikroskop.

3) Lengan Mikroskop

Lengan mikroskop merupakan tempat pegangan untuk pengamat. Lengan mikroskop ini untuk memberi kenyamanan bagi pengamat saat menggunakan mikroskop.

4) Meja Benda

Meja benda merupakan tatakan tempat objek atau preparat diletakkan. Pada meja tersebut terdapat penjepit di kanan dan kiri meja benda yang berfungsi untuk menjaga agar preparat tidak bergeser.

5) Makrometer

Makrometer merupakan bagian untuk menaikkan atau menurunkan tabung mikroskop secara cepat dengan tujuan memperjelas gambaran pada objek.

6) Mikrometer

Mikrometer merupakan bagian untuk menaikkan atau menurunkan tabung mikroskop secara lambat dengan tujuan memperjelas gambaran pada objek.

7) Kaki Mikroskop

Kaki mikroskop merupakan bagian dasar yang menopang mikroskop secara keseluruhan, dan juga penyangga saat mikroskop akan dipindahkan. Pada umumnya kaki mikroskop ini berbentuk persegi empat.

8) Sendi Inklinasi

Pengatur sudut atau tegaknya mikroskop sesuai dengan kenyamanan pengamat. Sendi inklinasi ini bisa ditegakkan atau dibungkukkan tergantung kenyamanan pengamat dan disesuaikan dengan arah lensa okulernya.

e. Cara Penggunaan Mikroskop

Ketika ingin mengangkat atau memindahkan mikroskop, peganglah lengan mikroskop dengan satu tangan dan tangan yang lain menopang bagian bawah mikroskop (**Gambar 1.3**). Letakkan di tempat yang dekat dengan sumber cahaya. Pasanglah lensa okuler dan hadapkan tepat dengan kenyamanan Anda.



Gambar 4. Cara membawa mikroskop

Sumber: <http://www.csun.edu>

Untuk mendapatkan penglihatan yang baik, Anda bisa memperkecil gambaran lensa yang searah antara lensa objektif dan lensa okuler. Dapatkan gambaran objek dengan perbesaran paling kecil terlebih dahulu untuk menilai kualitas gambaran objek secara keseluruhan. Baru perbesarlah sedikit demi sedikit dan sesuaikan agar terlihat lebih jelas **(5)**.

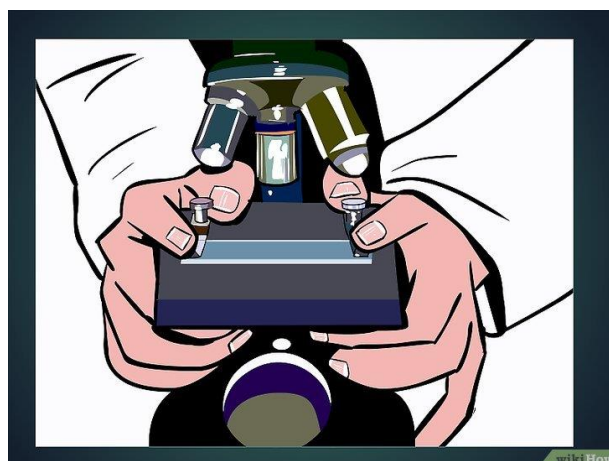


Gambar 5. Melihat objek dengan pembesaran paling kecil

Sumber: <https://www.wikihow.com>

Putar-putar cermin untuk mendapatkan pencahayaan yang cerah. Lihatlah melalui lensa okuler apakah medan atau area pengamatan sudah tampak terang atau belum. Jika sangat terang maka area pengamatan akan tampak putih, dan tampak suram ketika cahaya yang didapatkan kurang. Pastikan Anda mendapatkan cahaya yang baik agar tidak mempengaruhi hasil pengamatan. Cahaya yang digunakan bisa pantulan dari cahaya matahari atau cahaya lampu, namun biasanya cahaya matahari lebih cerah dan membuat objek lebih jelas.

Letakkan preparat objek yang akan diamati di meja benda dan jepitlah sisi kiri dan kanannya agar tidak bergeser (**Gambar 1.5**). Lakukan secara tepat sehingga cahaya bisa menembus kaca benda dan tampak objek terlihat dengan jelas.



Gambar 6. Meletakkan preparat

Sumber: <https://www.wikihow.com>

Dua cara untuk mencari fokus objek :

- (1) Perbesaran lemah : lensa okuler disetel pada perbesaran 5 kali dan lensa objektif 10 kali, hal ini menyatakan bahwa preparat diamati pada perbesaran 50 kali. Anda juga bisa memutar mutar makrometer untuk mendapatkan gambaran objek yang jelas.
- (2) Perbesaran kuat : lensa okuler dengan perbesaran 12,5 ditambah lensa objektif 60 kali memiliki arti bahwa pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran 750 kali. Perbesaran ini sangat besar sehingga lensa bisa mendekat atau menyentuh preparat. Sehingga, preparat terlebih dahulu perlu ditutup dengan kaca penutup lalu kondensor dinaikkan sampai menyentuh kaca. Kaca pelapis ini berfungsi agar preparat tidak rusak karena bersentuhan dengan lensa mikroskop. Kemudian, Diafragma dibuka selebar-lebarnya dan lensa objektif diturunkan sampai menyentuh kaca preparat. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas, putar-putar makrometer sampai terlihat objek dengan jelas (**Gambar 1.6**).



Gambar 7. Pengaturan makrometer untuk melihat objek lebih jelas

Sumber: <https://www.wikihow.com>

Setelah selesai menggunakan, bersihkan mikroskop sebelum disimpan dengan xylol. Simpan mikroskop di tempat yang kering dan bersih.

f. Mikroskop Elektron

Mikroskop elektron memanfaatkan elektron sebagai sumber energi. Jenis mikroskop ini menggunakan magnet sebagai pengganti lensa. Mikroskop elektron

lebih unggul daripada mikroskop cahaya dalam hal memperbesar objek bisa hingga jutaan kali (**Gambar 1.7**).

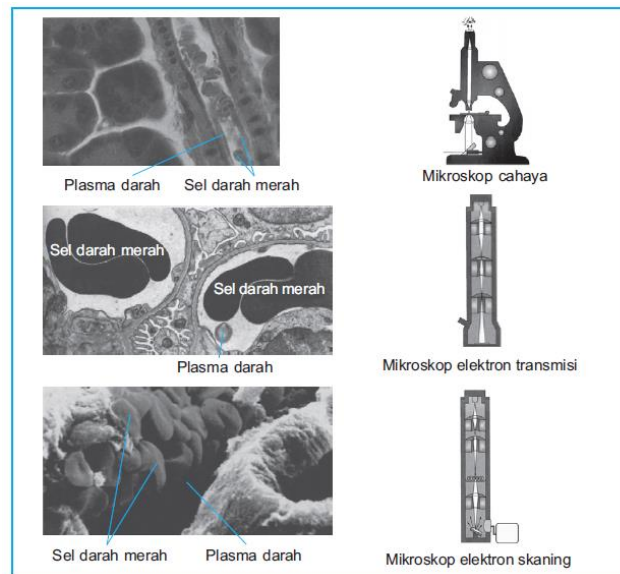


Gambar 8. Mikroskop Elektron

Sumber: Inquiry into Life, Mader, S (1982)

Mikroskop elektron ada dua macam, yaitu mikroskop elektron skaning (SEM : Scanning Electron Microscope) dan mikroskop elektron transmisi (TEM : Transmission Electron Microscope). Mikroskop elektron skaning digunakan untuk mengamati secara detail permukaan sel, sedangkan mikroskop elektron transmisi digunakan untuk mengamati struktur internal sel. Perhatikan hasil pengamatan suatu objek menggunakan tiga jenis mikroskop yang berbeda (**Gambar 1.8**).

Jenis mikroskop ini jarang digunakan sebagai alat pembelajaran di sekolah sehingga jarang ditemui. Mikroskop semacam ini mungkin digunakan oleh para peneliti profesional untuk mendapatkan gambaran objek yang jelas hingga jutaan kali lipat pembesaran.



Gambar 9. Perbedaan hasil pembesaran mikroskop cahaya dan mikroskop electron

Sumber: Inquiry into Life, Mader, S (1982)

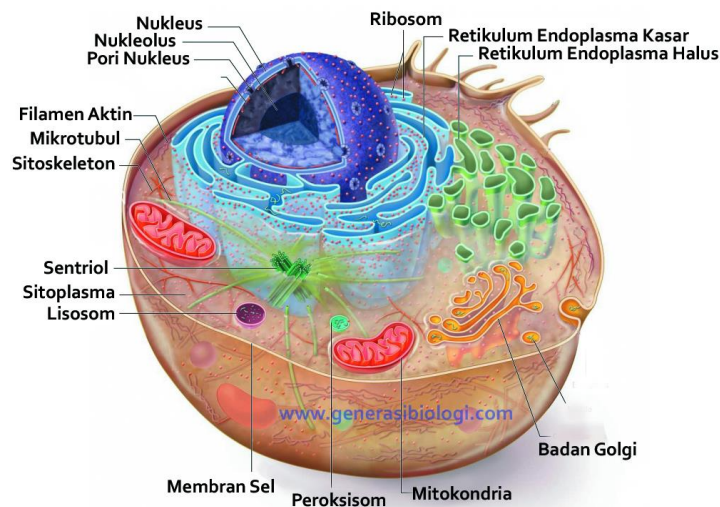
• Organisasi Sel

Unit satuan terkecil dari kehidupan ialah sel. Secara umum, sel dapat diartikan sebagai unit struktural dan fungsional makhluk hidup. Setiap sel memiliki membran plasma, nukleus, dan sitoplasma. Membran plasma yang mengelilingi sel menjaga sel tetap utuh dan mengatur apa yang masuk dan keluar dari sel. Membran plasma adalah fosfolipid bilayer yang bersifat semipermeabel karena memungkinkan molekul tertentu masuk ke sel. Protein dalam membran plasma memainkan peran penting dalam memungkinkan zat untuk memasuki sel.

Nukleus adalah struktur besar, berlokasi sentral di tengah sel dan sering dapat dilihat dengan bantuan mikroskop cahaya. Inti nukleus mengandung kromosom dan merupakan pusat kendali sel. Inti mengontrol fungsi metabolisme dan karakteristik struktural sel. Nukleolus adalah wilayah di dalam nukleus. Sitoplasma adalah bagian dari sel antara nukleus dan membran plasma. Matriks sitoplasma adalah media semifluid yang mengandung air dan berbagai jenis molekul yang tersuspensi atau terlarut dalam medium. Kehadiran protein dalam sitoplasma menjadikan sifat semifluid dari matriksnya.

Sitoplasma mengandung berbagai organel (**Gambar 1.9**). Organel berukuran kecil, biasanya memiliki membran yang paling bagus dilihat dengan mikroskop

elektron. Setiap jenis organel memiliki fungsi tertentu. Sebagai contoh, satu jenis organel mengangkut zat, dan jenis lain menghasilkan ATP untuk sel. Karena organel terdiri atas membran, kita dapat mengatakan bahwa membran membentuk sel, menjaga berbagai aktivitas seluler terpisah satu sama lain. Sama seperti kamar-kamar di rumah Anda yang memiliki perabot khusus yang melayani tujuan tertentu, organel memiliki struktur yang sesuai dengan fungsinya.



Gambar 10. Sel dengan organelnya

Sumber: www.generasibiologi.com

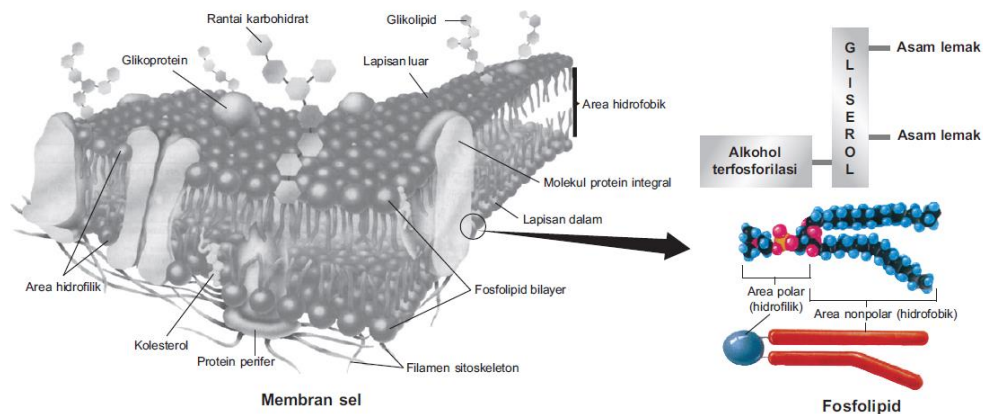
Sel juga memiliki sitoskeleton, jaringan filamen yang saling berhubungan dan mikrotubulus di sitoplasma. Nama sitoskeleton adalah cocok dengan sel karena memungkinkan kita untuk membandingkan sitoskeleton ke tulang dan otot kita. Tulang dan otot memberi kita struktur dan menghasilkan gerakan. Demikian pula, unsur-unsur sitoskeleton mempertahankan bentuk sel dan memungkinkan sel dan isinya untuk bergerak. Beberapa sel bergerak dengan menggunakan silia dan flagela, yang terdiri dari mikrotubulus.

2. Membran, Inti dan Organel Sel

Membran Sel (Plasmalemma atau Selaput Plasma)

Membran sel merupakan membran sel atau selaput yang letaknya paling luar yang terbentuk dari senyawa kimia Lipoprotein (gabungan protein dan lemak) dengan perbandingan 50:50. Lipid penyusun membran yaitu pospolid. Protein yang ada di

permukaan luar dan dalam disebut protein intrinsik yang mempunyai sifat hidrofilik (larut dalam air) dan yang ada dan menembus kedua lapis lipid disebut protein intriksi yang mempunyai sifat hidrofobik (tidak larut dalam air). Oleh karenanya membran sel bersifat Selektif Permeabel (Semi Permeabel) yang artinya hanya bisa dilewati oleh molekul tertentu saja (**Gambar. 1.10**).



Gambar 11. Membran sel

Sumber: Inquiry into Life, Mader, S (2015)

Khusus sel tumbuhan, selain selaput plasma terdapat satu struktur yang letaknya diluar selaput plasma yaitu Dinding Sel. Dinding sel tersusun dari dua lapisan senyawa Selulosa. Diantara kedua lapisan selulosa terdapat ronggayang dinamakan Lamel Tengah (Middle Lamel) yang bisa terisi oleh zat penguat (contoh: chitine, pektin, suberine, lignin). Pada sel tumbuhan terkadang juga terdapat celah yang disebut Noktah atau pit. Di noktah/pit ini sering dijumpai penjuluran Sitoplasma yang disebut Plasmodesma yang mempunyai fungsi hampir sama dengan fungsi saraf pada hewan.

a. Sitoplasma

Bagian cair dalam sel disebut dengan Sitoplasma yang ada dalam dua bentuk yaitu Fase Sol (padat) dan Fase Gel (cair) dan khusus cairan yang berada di dalam inti sel disebut Nukleoplasma. Sitoplasma disusun oleh 90% air dimana air menjadi penyusun utamanya, dan berfungsi melarutkan zat-zat kimia dan tempat reaksi kimia sel.

Matriks sitoplasma atau bahan dasar sitoplasma disebut sitosol. Sitoplasma dapat berubah dari fase sol ke gel dan sebaliknya. Matriks sitoplasma tersusun atas

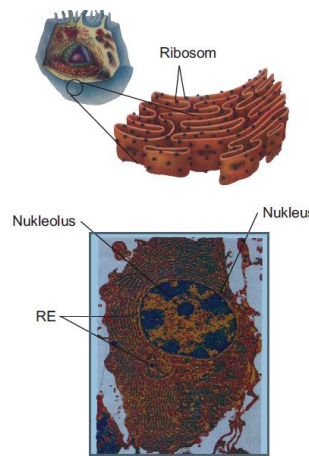
oksigen 62%, karbon 20%, hidrogen 10%, dan nitrogen 3% yang tersusun dalam senyawa organik dan anorganik. Unsur-unsur lain adalah: Ca 2,5%; P 1,14%; Cl 0,16%; S 0,14%; K 0,11%; Na 0,10%; Mg 0,07%; I 0,014%; Fe 0,10%; dan unsur-unsur lain dalam jumlah yang **sangat kecil**.

b. Organel Sel

Organel sel merupakan benda-benda solid yang ada di dalam sitoplasma dan menjalankan fungsi kehidupan (bersifat hidup).

1) Retikulum Endoplasma (RE)

Retikulum Endoplasma merupakan organel yang berupa sistem membran berlipat-lipat menghubungkan membran sel dengan membran inti berbentuk seperti benang-benang jala. Ikut berperan juga dalam proses transpor zat intra sel. Ada dua macam Retikulum Endoplasma yaitu RE Kasar dan RE Halus. Struktur Retikulum Endoplasma hanya bisa dilihat dengan mikroskop elektron. RE Halus memiliki fungsi sebagai transpor atau pengangkut sintesis lemak dan steroid, tempat menyimpan fosfolipid, glikolipid, dan steroid, melaksanakan detoksifikasi drug dan racun. Sedangkan Fungsi RE Kasar alah untuk transpor atau pengangkut sintesis protein, terdapat juga di ribosom (**Gambar 1.11**).

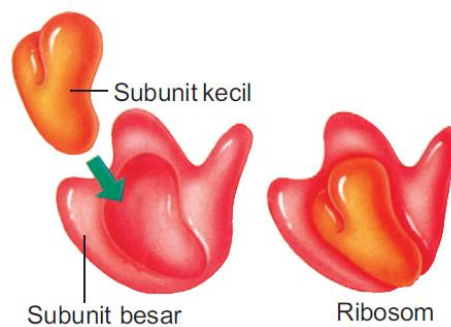


Gambar 12. Retikulum endoplasma

Sumber: Biology, Raven dan Johnson

2) Ribosom (Ergastoplasma)

Ribosom merupakan organel pensintesis protein. Ribosom kerap menempel satu sama lain dan membentuk rantai yang sering disebut polisom atau pololiribosom. Struktur ribosom berbentuk bulat bundar terdiri dari dua partikel besar dan kecil, ada yang soliter dan ada yang melekat sepanjang R.E (**Gambar 1.12**). Ribosom adalah organel sel terkecil yang tersuspensi dalam sel. Antara satu ribosom dengan yang lainnya diikat oleh mRNA. Menurut kecepatan sedimentasi dibedakan menjadi ribosom sub unit kecil (40s) dan ribosom sub unit besar (60s). Ribosom berfungsi sebagai tempat berlangsungnya sintesis protein dan contoh organel tidak bermembran. Oleh penyusun utamanya yaitu asam ribonukleat dan berada bebas di dalam sitoplasma ataupun melekat pada RE.



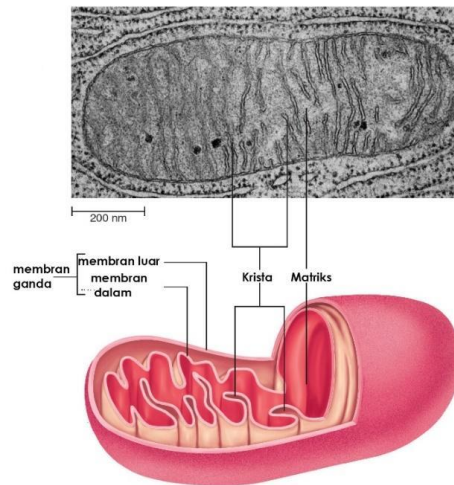
Gambar 13. Struktur Ribosom

Sumber: Biology, Raven dan Johnson

3) Mitokondria (*The Power House*)

Di dalam biologi Mitokondria diberi julukan *The Power House* karena merupakan organel yang mempunyai fungsi sebagai tempat respirasi aerob untuk pembentukan ATP sebagai sumber energi sel. Mitokondria memiliki dua lapisan membran yaitu membran dalam dan membran luar. Membran dalam membentuk tonjolan-tonjolan ke arah dalam (membran krista). Krista mempunyai fungsi memperluas permukaan agar proses pengikatan oksigen dalam respirasi sel berlangsung semakin efektif (**Gambar 1.13**). Terdapat Matrik Mitokondria yang terletak diantara membran krista dan banyak mengandung enzim pernafasan atau sitokrom, protein, DNA dan ribosom yang memungkinkan sintesis enzim-enzim respirasi secara otonom. Untuk melintasi membran mitokondria memerlukan

mekanisme transpor aktif. Matriks Mitokondria berfungsi sebagai tempat berlangsungnya respirasi untuk menghasilkan energi.



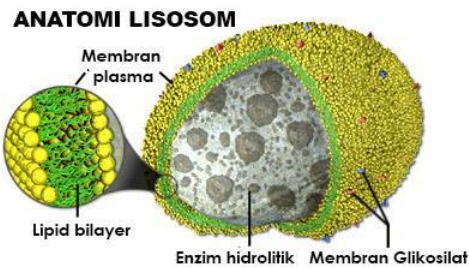
Gambar 14. Mitokondria

Sumber: Campbell biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

4) Lisosom

Lisosom dihasilkan oleh aparatus golgi yang penuh dengan protein. Berbentuk kantong-lantong kecil (**Gambar 1.14**) dan menghasilkan enzim-enzim hidrolitik seperti fosfatase, lipase, dan proteolitik. Enzim hidrolitik mempunyai fungsi untuk mencerna makanan yang masuk ke dalam sel secara fagositosis.

Lisosom menghasilkan zat kekebalan sehingga banyak ditemui pada sel darah putih, bersifat autofagi, autolisis, dan menghancurkan makanan secara edsosistosis. Fungsi organel sel lisosom ini ialah sebagai penghasil dan penyimpan enzim pencernaan seluler. Salah satunya yaitu Lisozym. Ada dua macam lisosom yaitu lisosom primer dan sekunder, lisosom primer memproduksi enzim yang belum aktif. Berfungsi sebagai vakuola makanan. Lisosom sekunder adalah lisosom yang terlibat dalam kegiatan mencerna, berfungsi sebagai autofagosom.



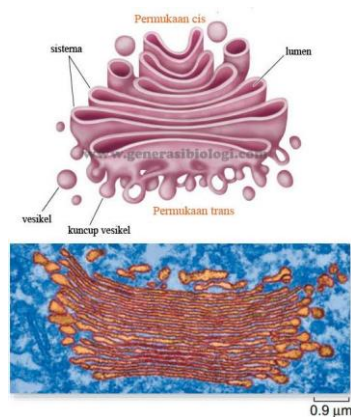
Gambar 15. Lisosom

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

5) Badan Golgi (Aparatus Golgi = Diktiosom)

Badan Golgi terdiri dari kumpulan vesikel pipih yang mempunyai bentuk berkelok-kelok (sisternae) atau berbentuk seperti kantong pipih (**Gambar 1.15**). Badan golgi yang ada di dalam sel tumbuhan disebut diktiosom, dimana kebanyakan berada di dekat membran sel. Di dalam badan golgi terdapat banyak enzim pencernaan yang belum aktif, seperti koenzim dan zimogen. Dihasilkan juga lendir yang disebut musin, badan golgi juga dapat membentuk lisosom. Badan golgi bisa bergerak mendekati membran sel untuk mensekresikan isinya ke luar sel, karena ini disebut juga organ sekresi.

Organel sel ini dihubungkan dengan fungsi ekskresi sel, dan struktur nya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop cahaya biasa. Badan golgi banyak ditemui di organ tubuh yang melaksanakan fungsi ekskresi atau sel-sel penyusun kelenjar seperti ginjal.

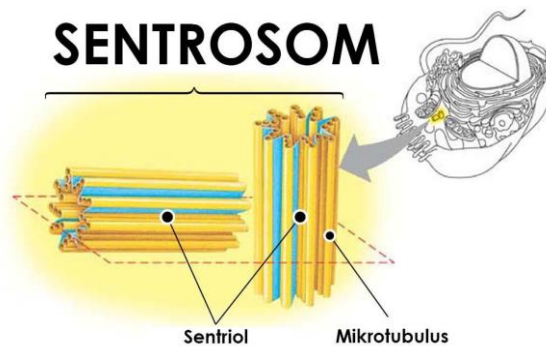


Gambar 16. Badan Golgi

Sumber : www.generasibiologi.com

6) Sentrosom (Sentriol)

Hal yang sangat penting yaitu sentrosom hanya bisa ditemukan pada sel hewan. Sentrosom disaat reproduksi sel akan membelah menjadi sentriol. Struktur sentrosom berbentuk bintang dengan fungsi untuk pembelahan sel (Meiosis maupun Mitosis). Sentriol berbentuk layaknya tabung dan tersusun oleh mikrotubulus yang terdiri 9 triplet, terletak disalah satu kutub inti sel (**Gambar 1.16**). Sentriol berperan dalam kegiatan pembelahan sel dengan membentuk benang spindel. Benang ini yang menarik kromosom menuju ke kutub sel berlawanan.

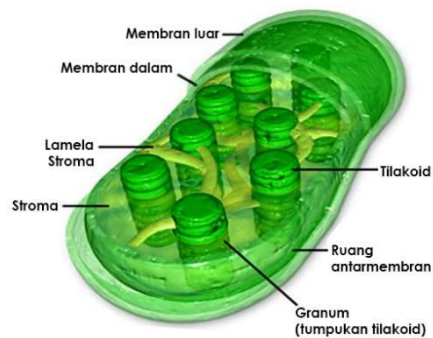


Gambar 17. Sentrosom

Sumber: Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

7) Plastida

Plastida ialah organel yang umumnya berisi pigmen (**Gambar 1.17**). Plastida yang berisi pigmen klorofil disebut kloroplas, fungsinya yaitu sebagai organel utama dalam proses fotosintesis. Kloroplas berasal dari proplastida, proplastida berukuran lebih kecil dari kloroplas dimana terdapat sedikit bahkan tanpa membran internal. Kloroplas terbungkus membran ganda, membran yang berperang mengatur keluar masuk senyawa atau ion ke dan dari dalam kloroplas. Di membran internal kloroplas ada pigmen fotosintesis yang banyak ditemui di permukaan luar membran internal yang disebut thilakoid. Sedangkan plastida yang berisi pigmen selain klorofil (contoh: fikosantin, xantofil, karoten) disebut dengan Kromoplas. Plastida yang tidak mempunyai warna (tidak berwarna) disebut leukoplas.



Gambar 18. Plastida/kloroplas

Sumber: Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

Ada macam-macam leukoplas berdasarkan bahan yang dikandungnya yaitu elaioplas (lipoplas) berisi lemak, amiloplas berisi amilum, dan proteoplas berisi protein. Yang dapat dilihat dengan mikroskop cahaya biasa. Tiga jenis plastisida, yaitu:

- Lekoplas yaitu plastida berwarna putih yang berfungsi sebagai tempat menyimpan makanan. terdiri dari: Amiloplas: tempat menyimpan amilum; Elaioplas (Lipidoplas): tempat menyimpan lemak/minyak; dan Proteoplas: tempat menyimpan protein.
- Kloroplas yaitu plastida berwarna hijau yang berfungsi menghasilkan klorofil dan tempat berlangsungnya fotosintesis
- Klomoplas yaitu plastida yang mengandung pigmen, misalnya: Fikodanin (biru), Fikosantin (kuning), Karotin (kuning) dan Fikoeritrin (merah)

8) Vakuola (Rongga Sel)

Vakuola tidak dimasukkan dalam organel sel oleh beberapa ahli, benda ini bisa dilihat melalui mikroskop cahaya biasa. Vakuola berisi garam-garam organik, tanin (zat penyamak), glikosida, minyak eteris, enzyme, alkaloid, dan butir-butir pati. Selaput pembatas antara vakuola dengan sitoplasma disebut Tonoplas. Pada beberapa spesies terdapat vakuola kontraktil dan vakuola nonkontraktil. Pada beberapa terdapat vakuola kecil atau bahkan tidak ada, kecuali hewan bersel satu. Hewan bersel satu terdapat dua jenis vakuola yaitu vakuola makanan dengan fungsi dalam proses pencernaan intrasel dan vakuola kontraktil yang berfungsi sebagai osmoregulator.

9) Mikrotubulus

Mikrotubulus berbentuk benang silindris, kaku dan mempunyai fungsi untuk membentuk silia, flagela, sentriol dan benang-benang spindel, serta mempertahankan bentuk sel dan sebagai rangka sel. Contoh organel ini antaranya yaitu benang-benang gelembung pembelahan. Mikrotubulus ini disusun oleh protein yang disebut tubulin. Diameter mikrotubulus kira-kira 25 nm. Organel ini merupakan serabut penyusun sitoskeleton terbesar.

10) Mikrofilamen

Organel mikrofilamen mirip seperti mikrotubulus tetapi mempunyai diameter yang lebih kecil. Bahan pembentuk mikrofilamen adalah miosin dan aktin seperti yang ditemui pada otot. Berdasarkan hasil penelitian, mikrofilamen ikut andil dalam proses pergerakan sel, eksositosis, dan endositosis. Contohnya yaitu gerakan amuba.

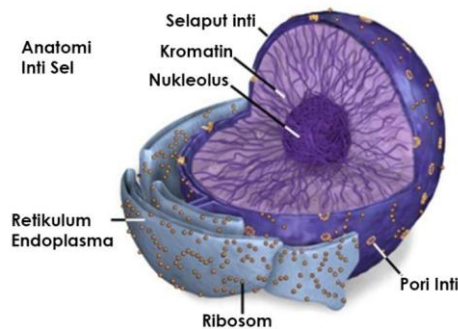
11) Peroxisom (Badan Mikro)

Peroxisom atau badan mikro mempunyai ukuran sama seperti Lisosom dan dibentuk dalam Retikulum Endoplasma Granular. organel peroksisom ini terus menerus berasosiasi dengan organel sel lain, banyak juga mengandung enzim katalase dan oksidase yang banyak disimpan dalam sel-sel hati. Peroxisom memiliki fungsi mengurangkan peroksida (H_2O_2) dimana ini merupakan sisa metabolisme yang bersifat toksik menjadi oksigen dan air. Badan mikro pada tumbuhan disebut Gliosisom, ikut andil dalam proses perubahan senyawa lemak menjadi sukrosa.

c. Inti Sel (Nukleus)

Nukleus merupakan bagian sel yang berukuran lebih besar dibandingkan dengan organel sel seperti biasanya, mempunyai ukuran 10 – 20 nm. Letak inti sel (nukleus) terkadang di bagian tepi atau di tengah, mempunyai bentuk bulat atau lonjong seperti cakram. Inti sel atau Nukleus merupakan bagian sel yang mempunyai fungsi sebagai pusat pengendali aktivitas atau pusat perintah sel karena adanya benang-benang kromosom di dalam nukleus. Umumnya sel-sel mempunyai satu nukelus inti. Inti sel (nukelus) dibatasi oleh membran inti atau selaput inti yang mempunyai kontrol keluar masuk nucleus (**Gambar 1.18**).

Nukleus diperlukan untuk mengontrol reaksi-reaksi kimia, pembelahan sel, dan pertumbuhan.



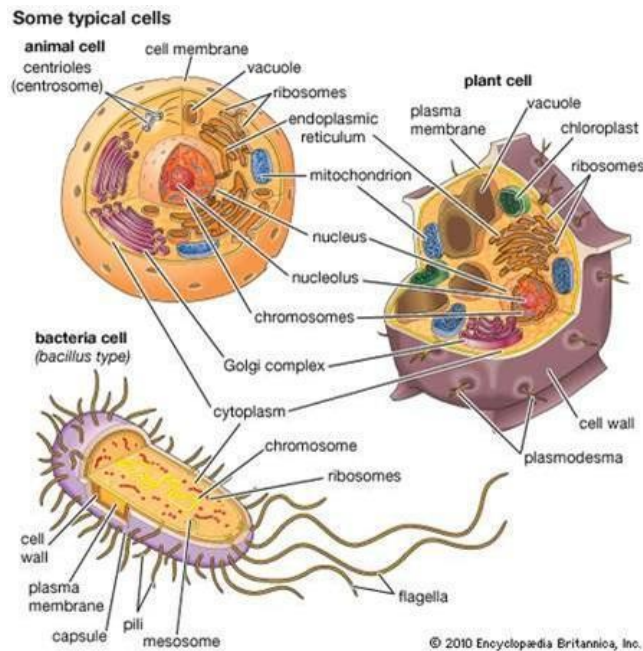
Gambar 19. Nukleous

Sumber: Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

Tetapi sesuai dengan fungsinya, ada juga sel yang mempunyai dua atau lebih inti. Nukelus juga mempunyai tugas untuk membawa perintah sintesis di inti DNA dikarenakan terdapat sandi DNA (*DNA code*) di dalamnya untuk menentukan urutan asam amino protein. Berdasarkan ada tidaknya selaput inti, dikenal dua penggolongan sel yaitu: Sel Prokariotik (Sel yang tidak memiliki selaput inti, contohnya pada ganggang biru, bakteri) dan Sel Eukariotik (Sel yang mempunyai selaput inti).

Fungsi dari nukelus sendiri adalah mengatur semua aktivitas sel, karena di dalam nukleus terdapat kromosom yang berisikan DNA yang mengatur sintesis protein. Inti mempunyai tugas mengendalikan semua kegiatan sel mulai dari metabolisme sampai pembelahan sel.

Pada sel eukariotik, inti diselubungi membran inti atau karioteka rangkap dua dan berpori, lain hal dengan sel prokariotik dimana sel ini tidak memiliki membran. Di dalam nukleus terdapat cairan yang biasa disebut nukleoplasma, kromosom yang biasanya berupa benang kromatin, serta Nukleolus (anak inti) yang digunakan sebagai tempat pembentukan asam ribonukleat (ARN). Perbedaan sel prokariotik dan eukariotik dapat dilihat pada gambar 1.19 berikut.



Gambar 20. Perbedaan sel prokariotik dan eukariotik (tumbuhan dan hewan)

Sumber: www.britannica.com

- **Teori Endosimbiosis**

Pada mulanya semua makhluk hidup diduga berasal dari makhluk bersel satu yang sangat sederhana, yaitu bakteri prokariot. Dugaan ini diperkuat dengan ditemukannya fosil sel prokariotik yang ada dalam batu-batuan yang berumur hingga miliaran tahun. Evolusionist juga menduga bahwa munculnya makhluk hidup yang terorganisasi dengan baik merupakan hasil dari proses evolusi dari sel-sel prokariotik sederhana yang berkembang menjadi sel eukarya yang lebih kompleks.

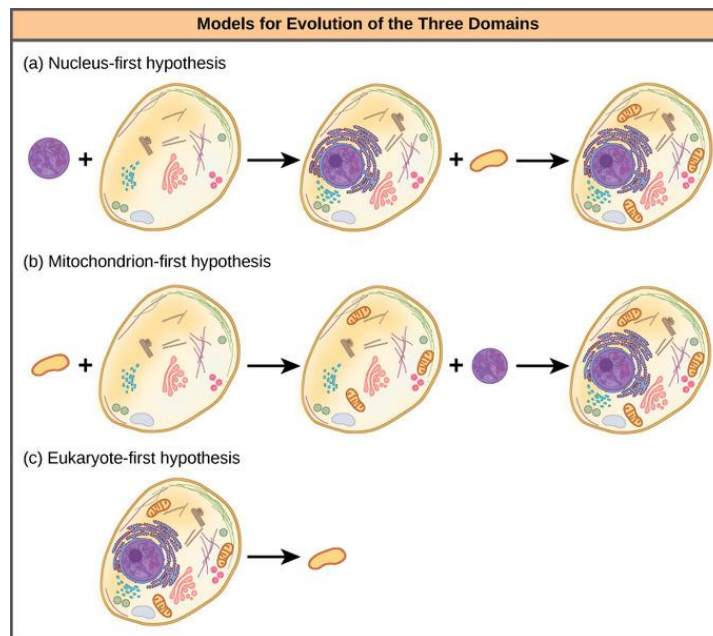
Perbedaan utama yang dapat dijumpai antara sel prokariotik dengan sel eukariotik adalah bahwa seluruh sel prokariotik tampak jelas tidak memiliki membran yang menyelubungi nukleus dan juga tidak memiliki organel-organel sel yang merupakan karakter kunci dari sel eukariotik. Sudah sejak lama dipelajari bagaimana asal-usul darimana asal-usul sel eukariotik, namun hingga kini fosil sel yang merupakan bentuk antara dari prokariotik dengan eukariotik seluler belum ditemukan. Juga belum diketahui bagaimana organel-organel terbentuk pada sel eukariotik.

Para peneliti pendahulu telah mencoba menjelaskan asal-usul makhluk hidup dengan berbagai hipotesis tentang asal-usul kehidupan. Salah satu hipotesis yang paling populer dan umum diterima adalah hipotesis endosimbiosis. Bagaimana hipotesis ini dapat diterima, dan bukti apa yang menyebabkan hipotesis ini dapat diterima akan dibahas dalam tulisan ini. Walaupun masih berupa hipotesis tetapi dugaan ini dapat disebut sebagai dugaan cerdas peneliti yang dapat dijadikan model pendekatan yang dapat menerangkan asal usul Eukariota dimasa lampau. Beberapa literatur menyebutnya sebagai “Teori Endosimbiosis” namun pada tulisan ini penulis menyebutnya sebagai “Hipotesis Endosimbiosis” dengan alasan karena memang hanya berupa hipotesis yang sampai saat ini belum ada bukti ilmiah yang empiris untuk membenarkan hipotesis ini. semua fakta yang mendukung berupa rekonstruksi untuk memperoleh bukti pendekatan saja atau kebenaran yang bersifat hipotetical.

Hipotesis endosimbiosis pertama sekali diusulkan oleh seorang biologis dari Universitas Boston bernama Lynn Margulis pada tahun 1970 dan secara resmi dalam bukunya “*Symbiosis in Cell Evolution*” (1981). Munculnya hipotesis ini dulu menjadi bahan tertawaan oleh para ahli biologi karena disebut-sebut sebagai teori yang dinilai tidak masuk akal, namun berkat kegigihan dan kesabarannya Lynn dapat memberi penjelasan, bukti yang mendekati yang membuat hipotesis ini menjadi hipotesis masuk akal dan diterima.

Ide atau gagasan tentang hipotesis Endosimbiosis ini sebelumnya pernah dikemukakan oleh seorang ahli biologi Rusia bernama C. Mereschkovsky memperkenalkan hipotesis bahwa kelompok yang berbeda dari cyanobacteria menjadi endosimbion sehingga terbentuk kloroplas. Teori inilah yang kemudian dikembangkan secara luas oleh Lynn Margulis adalah hipotesis endosimbiosis berseri (serial endosymbiosis) yang menyatakan bahwa mitokondria dan kloroplas pada awalnya adalah prokariota kecil yang hidup di dalam sel prokariota yang lebih besar (**Gambar 1.20**). (Istilah endosimbion digunakan untuk sel yang hidup di dalam sel lain, yang disebut sel inang). Nenek moyang mitokondria diperkirakan adalah heterotrofik aerobik yang menjadi endosimbion. Nenek moyang kloroplas pada eukariota awal diperkirakan adalah prokariota fotosintetik, kemungkinan sianobakteri, yang menjadi endosimbion. Bisa jadi nenek moyang prokariotik

mitokondria dan kloroplas pada awalnya masuk ke dalam sel inang sebagai mangsa yang tidak tercerna atau sebagai parasit internal.



Gambar 21. Teori Endosimbiosis

Sumber: <https://bio.libretexts.org>

Sel inang itu mungkin sebelumnya telah memiliki suatu sistem endomembran. Dengan cara apapun hubungan itu dimulai, tidak sulit membayangkan bahwa simbiosis akhirnya menjadi menguntungkan secara mutualistik. Inang heterotrofik dapat memperoleh zat-zat makanan dari endosimbion fotosintetik. Dan pada dunia yang semakin aerobik, suatu sel yang sendirinya telah anaerobik akan diuntungkan dari endosimbion aerobik tersebut, yang mengubah oksigen menjadi menguntungkan. Dalam proses menjadi saling tergantung itu, inang dan endosimbion menjadi suatu organisme tunggal, dan bagian-bagiannya menjadi tidak terpisahkan lagi. Hampir semua eukariota, baik heterotrofik ataupun autotrofik, memiliki mitokondria atau sisa-sisa genetik organel tersebut. Akan tetapi hanya eukariota fotosintetik yang memiliki kloroplas. Dengan demikian, hipotesis endosimbion berseri (serangkaian peristiwa endosimbiotik) mengasumsikan bahwa mitokondria berkembang sebelum kloroplas.

Para nenek moyang simbiosis masuk ke sel inang sebagai makanan yang tidak dicerna atau sebagai parasit internal yang kemudian antar mereka saling

bekerjasama yang disebut endosimbiosis. Ketika mereka menjadi saling tergantung maka simbiosis antar mereka menjadi saling tak terpisahkan.

Bukti bahwa mitokondria dan plastida berasal dari endosimbiosis adalah sebagai berikut:

- Mitokondria dan plastida awalnya terbentuk hanya melalui proses yang sama dengan pembelahan biner.
- Dalam beberapa ganggang, seperti *Euglena*, plastidnya dapat dihancurkan oleh bahan kimia tertentu tanpa mempengaruhi sel. Dalam kasus seperti itu, plastida tidak akan beregenerasi. Hal ini menunjukkan bahwa regenerasi plastid bergantung pada sumber ekstraseluler, seperti dari pembelahan sel atau endosimbiosis.
- Kedua organel ini dikelilingi oleh dua atau lebih membran, yang menunjukkan perbedaan komposisi dari membran sel lainnya.
- Kedua mitokondria dan plastida mengandung DNA yang berbeda dari inti sel.
- Analisa urutan DNA dan perkiraan filogenetik menunjukkan bahwa DNA nuklir mengandung gen yang mungkin berasal dari plastida.
- Ribosom dalam organel-organel ini adalah seperti yang ditemukan pada bakteri (70S).
- Protein asal organel, seperti bakterinya, juga menggunakan N-formilmethionin dalam menginisiasi asam amino.
- Sebagian besar struktur internal dan biokimia dari plastida, misalnya tilakoid dan klorofil tertentu, sangat mirip dengan cyanobacteria. Filogenetik menunjukkan bahwa plastida paling erat kaitannya dengan cyanobacteria.
- Mitokondria memiliki beberapa enzim dan sistem transportasi yang mirip dengan bakteri.
- Beberapa protein yang dikodekan dalam nukleus diangkut ke kedua organel ini, dan keduanya, mitokondria dan plastida memiliki genom kecil dibandingkan dengan bakteri. Ini konsisten dengan meningkatnya ketergantungan pada host eukariotik setelah mereka membentuk endosimbiosis. Sebagian besar

gen pada genom organel telah hilang atau pindah ke nukleus. Gen yang paling dibutuhkan untuk fungsi mitokondria dan plastid berada dalam nukleus bakterinya.

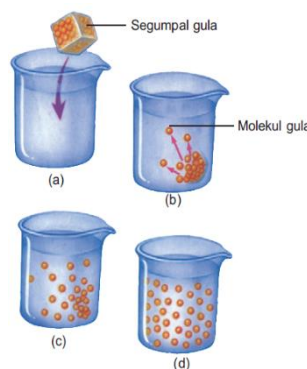
- **Mekanisme Transpor pada Membran**

Sel-sel membutuhkan zat atau molekul untuk menjalankan semua aktivitas metabolisme. Beberapa zat yang diperlukan harus bergerak masuk ke dalam sel. Hal ini berlawanan dengan sampah metabolisme yang harus bergerak ke luar sel. Membran sel memegang peranan yang sangat penting dalam proses keluar masuknya zat. Transportasi zat-zat dibagi menjadi dua, yaitu transportasi pasif dan transportasi aktif.

Transportasi pasif adalah perpindahan zat-zat mengikuti aliran perbedaan konsentrasi, sedangkan transportasi aktif adalah perpindahan zat-zat melawan aliran perbedaan konsentrasi dan memerlukan energi. Transportasi pasif berlangsung melalui proses difusi dan osmosis. Adapun transportasi aktif, berlangsung melalui proses transpor aktif, eksositosis, dan endositosis.

a. Difusi

Secara tidak sadar proses difusi sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari. Misalnya, Anda akan memasukkan satu sendok gula ke dalam segelas air teh jika ingin membuat air teh manis. Apa yang akan terjadi dengan gula tersebut? Awalnya, gula tersebut akan mengendap di dasar gelas. Akan tetapi, lama kelamaan gula tersebut akan larut ke dalam air teh tersebut (**Gambar 1.21**). Peristiwa difusi sederhana dapat diamati ketika kita memasukkan segumpal gula ke dalam air teh (a), molekul-molekulnya terlarut (b), dan tersebar (berdifusi) (c). Pada akhirnya proses difusi menyebabkan gula tersebar merata ke dalam air (d).



Gambar 22. Peristiwa difusi

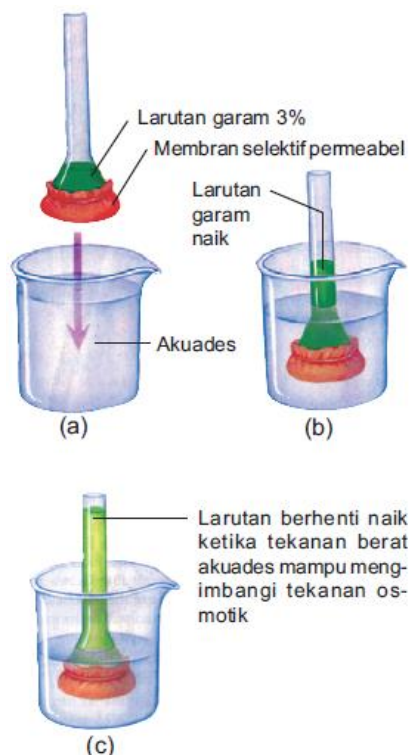
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

Peristiwa tersebut akan terjadi pula pada tinta yang Anda teteskan ke dalam air bening dalam suatu wadah. Tinta tersebut akan larut dan membuat air bening berubah warna menjadi seperti warna tinta. Peristiwa larutnya gula dan tinta merupakan contoh peristiwa difusi.

Difusi merupakan perpindahan molekul-molekul suatu zat dari bagian yang berkonsentrasi tinggi menuju bagian yang berkonsentrasi rendah. Difusi dapat terjadi melalui membran ataupun tidak melalui membran. Dalam tingkatan sel, difusi dapat diartikan perpindahan molekul sel dari konsentrasi molekul tinggi menuju konsentrasi molekul rendah.

b. Osmosis

Osmosis adalah pergerakan molekul air dari konsentrasi air yang tinggi menuju konsentrasi air yang rendah melalui membran selektif permeabel (semipermeabel). Dengan kata lain, osmosis adalah difusi molekul air melalui membran semipermeabel (**Gambar 1.22**).



Gambar 23. Peristiwa Osmosis

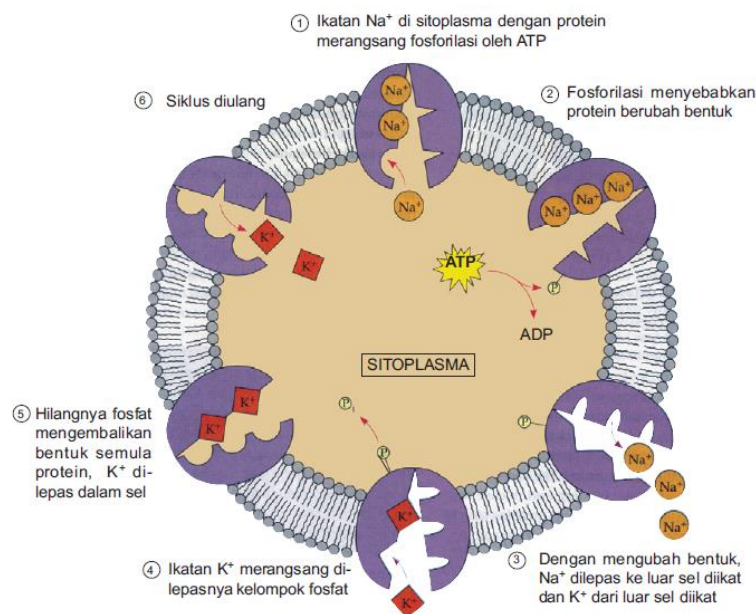
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

Semipermeabel berarti membran tersebut hanya bisa dilalui oleh molekul-molekul air atau molekul-molekul seukuran dengan air. Air merupakan zat pelarut. Oleh karena itu, osmosis dapat diartikan sebagai gerak cairan yang encer menuju cairan yang pekat melalui membran semipermeabel. Apabila kepekatan cairan di luar dan di dalam sel sama (isotonis), kondisi sel akan tetap.

Namun, apabila cairan di luar sel lebih encer daripada di dalam sel (hipotonis) maka air akan masuk ke dalam sel. Sebaliknya, apabila cairan di luar sel lebih pekat daripada di dalam sel (hipertonis) maka air dari dalam sel akan bergerak ke luar. Kondisi hipotonis dapat mengakibatkan sel menggelembung dan mungkin pecah. Adapun pada kondisi hipertonis, sel akan mengerut.

c. Transpor Aktif

Transpor aktif terjadi apabila sel secara aktif memindahkan zat-zat melewati membran sel dengan menggunakan energi (**Gambar 1.23**). Biasanya, transpor aktif dilakukan untuk memindahkan zat dari konsentrasi rendah menuju konsentrasi tinggi. Misalnya, glukosa tidak dapat melewati membran sel karena ukurannya terlalu besar.



Gambar 24. Mekanisme Transpor Aktif

Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

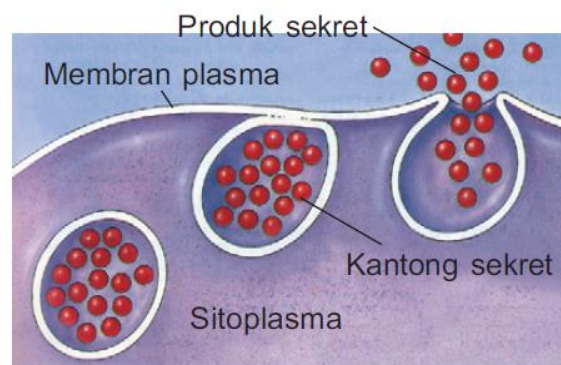
Oleh karena itu, molekul glukosa ini akan diangkut secara aktif. Energi yang digunakan untuk transpor aktif ini didapat dari pemecahan ATP menjadi ADP, fosfat, dan energi. Glukosa tersebut akan berikatan dengan fosfat menjadi glukosa-fosfat. Glukosafosfat inilah yang dapat melewati membran sel. Contoh transpor aktif yang paling sering muncul adalah mekanisme pompa natrium-kalium. Mekanisme pompa natrium-kalium akan memompa masuk ion kalium (K^+) dan memompa keluar ion natrium (Na^+).

Mekanisme pompa natrium-kalium dapat Anda perhatikan pada dibawah. Ion Na^+ akan melekat pada protein di dalam membran sel. Ketika ATP dihidrolisis menjadi ADP, fosfat yang dihasilkan akan melekat pada protein. Melekatnya fosfat pada protein menyebabkan protein berubah bentuk. Perubahan bentuk protein membuat ion Na^+ keluar dari dalam sel.

d. Eksositosis

Eksositosis terjadi apabila terdapat molekul-molekul berukuran besar yang tidak dapat ditransportasikan melalui mekanisme transpor aktif. Eksositosis (ex = keluar dari, cytos = sel) merupakan mekanisme transpor molekul keluar dari sel dengan cara membentuk vesikula.

Suatu sel akan membentuk vesikula apabila akan mengeluarkan suatu molekul. Vesikula yang terbentuk akan melingkupi molekul yang akan dikeluarkan. Vesikula bersama molekul yang dilingkupinya tersebut akan bergerak menuju membran sel (**Gambar 1.24**). Setelah melekat dengan membran sel, molekul yang dibawa vesikula akan dikeluarkan dari dalam sel.



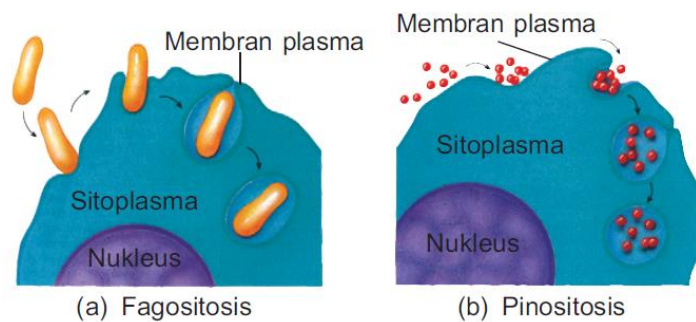
Gambar 25. Mekanisme Eksositosis

Sumber: Biology, Raven dan Johnson

e. Endositosis

Sebaliknya dari eksositosis, endositosis merupakan mekanisme masuknya molekul ke dalam sel dengan bantuan vesikula. Endositosis berasal dari endon yang berarti dalam dan cytos yang berarti sel. Mekanismenya, suatu sel akan membentuk vesikula dengan cara menjulurkan bagian luar membran sel.

Bagian luar membran sel tersebut akan mengurung atau menangkap molekul yang akan dibawa masuk. Kemudian, vesikula akan menelan molekul tersebut sehingga masuk ke dalam sel. Terdapat dua jenis endositosis (**Gambar 1.25**), yaitu pinositosis dan fagositosis. Pinositosis adalah proses endositosis berupa cairan, sedangkan fagositosis adalah proses endositosis tidak berupa cairan, misalnya bakteri.



Gambar 26. Mekanisme Endositosis

Sumber: Biology, Raven dan Johnson

- **Hubungan Bentuk sel pada jaringan dengan fungsinya**

Struktur dan bentuk setiap jenis sel manusia berkaitan dengan fungsi apa yang akan dilakukan dalam tubuh. Sebagai contoh, sel darah merah berukuran sangat kecil, berbentuk cakram datar, yang memungkinkan sel tersebut untuk dengan mudah masuk melalui kapiler darah yang sempit dalam sistem peredaran darah untuk mengirimkan oksigen ke seluruh tubuh.

Neuron atau sel saraf membawa pesan dari otak dan sumsum tulang belakang ke seluruh tubuh, menggunakan sinyal listrik sepanjang dan sinyal kimia di antara neuron. Karena sinyal listrik bergerak jauh lebih cepat daripada sinyal kimia, neuron berbentuk panjang dan tipis untuk meminimalkan jumlah sinyal kimia yang

lebih lambat yang akan diperlukan antara hubungan neuron dalam rantai banyak neuron yang lebih pendek.

Bentuk sel otot yang memanjang memungkinkan protein kontraksi untuk berbaris dalam pola yang tumpang tindih yang memungkinkan pelenturan otot pada saat tubuh bergerak.

Struktur sel sperma manusia memungkinkan mereka untuk "berenang" jarak jauh untuk mencapai sel telur untuk pembuahan. Mereka melakukan ini dengan menggunakan flagela, ekor panjang seperti cambuk.

3. Sistem Organ

- **Sistem Organ**

Organ adalah struktur tubuh yang terdiri dari beberapa jaringan berbeda yang membentuk unit struktural dan fungsional. Sistem organ adalah sekelompok organ yang berfungsi bersama untuk melakukan kegiatan utama tubuh. Tubuh vertebrata mengandung 11 sistem organ utama, yaitu sistem rangka, sistem peredaran darah, sistem endokrin, sistem saraf dan indera, sistem pernapasan, sistem imunitas, sistem pencernaan, sistem ekskresi, sistem otot, sistem integumen dan sistem reproduksi.

- **Sistem Rangka**

Dari tiga kerajaan multiseluler, hanya hewan yang mengeksplorasi lingkungannya secara aktif, melalui gerak. Dalam kegiatan belajar ini kita akan mengkaji bagaimana vertebrata menggunakan otot yang terhubung ke tulang untuk melakukan gerakan.

a. Jenis-jenis rangka pada hewan

1) Rangka hidrostatik

Kerangka hidrostatik terutama ditemukan pada invertebrata bertubuh lunak seperti cacing tanah dan ubur-ubur. Dalam hal ini, rongga berisi cairan dikelilingi oleh serat otot. Saat otot berkontraksi, cairan dalam rongga bergerak dan mengubah bentuk rongga. Pada cacing tanah (**Gambar. 2.1**), misalnya, gelombang kontraksi otot-otot melingkar dimulai secara anterior dan menekan setiap segmen tubuh,

sehingga tekanan cairan mendorongnya ke depan. Kontraksi otot longitudinal kemudian menarik bagian belakang tubuh ke depan.



Gambar 27. Rangka hidrostatik pada cacing tanah

Gambar 27.

Sumber: <https://nationalgeographic.com>

2) Eksoskeleton

Eksoskeleton mengelilingi tubuh sebagai pembungkus keras yang kaku pada kebanyakan hewan. Arthropoda, seperti krustasea dan serangga, memiliki eksoskeleton yang terbuat dari polisakarida kitin. Eksoskeleton menawarkan perlindungan yang sangat baik bagi organ-organ internal dan menahan pembengkokan. Namun, untuk tumbuh, hewan harus mengganti kulit secara berkala. Memiliki eksoskeleton juga membatasi ukuran hewan. Hewan dengan eksoskeleton seperti serangga (Gambar 28) tidak bisa menjadi terlalu besar karena eksoskeletonnya harus menjadi lebih tebal dan lebih berat, untuk mencegah kerusakan, karena hewan itu tumbuh lebih besar.

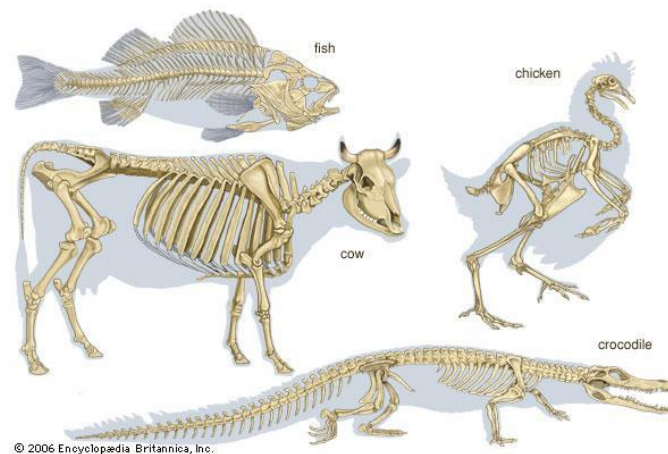


Gambar 28. Eksoskeleton pada serangga

Sumber: <https://australianmuseum.net.au>

3) Endoskeleton

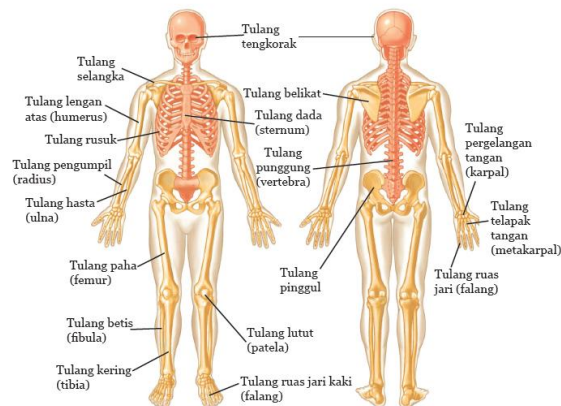
Endoskeleton, yang ditemukan pada vertebrata dan echinodermata, adalah kerangka internal yang kaku yang melekat pada otot. Vertebrata memiliki eksterior fleksibel yang mengakomodasi pergerakan kerangka mereka seperti terlihat pada Gambar. 2. 3. Endoskeleton vertebrata tersusun atas tulang rawan atau tulang. Tidak seperti chitin, tulang adalah sel, jaringan hidup yang mampu tumbuh, memperbaiki diri, dan mengubah bentuk tubuh sebagai respons terhadap tekanan fisik.



Gambar 29. Endoskeleton pada hewan vertebrata

Sumber: <https://cdn.britannica.com>

Endoskeleton vertebrata contohnya pada manusia (Gambar. 2. 4) dibagi menjadi kerangka aksial dan appendicular. Tulang kerangka aksial membentuk poros tubuh, menopang dan melindungi organ-organ kepala, leher, dan dada. Tulang kerangka appendicular termasuk tulang tungkai, tulang penyangga pundak dan panggul yang menempel pada kerangka aksial. Tulang-tulang sistem kerangka mendukung dan melindungi tubuh, dan berfungsi sebagai pengungkit untuk kekuatan yang dihasilkan oleh kontraksi otot rangka. Sel-sel darah terbentuk di dalam sumsum tulang, dan matriks tulang yang dikalsifikasi bertindak sebagai cadangan bagi ion kalsium dan fosfat.



Gambar 30. Kerangka aksial dan appendicular pada manusia

Sumber: <https://www.scientistcindy.com>

Manusia terlahir dengan 300 tulang. Namun seiring dengan bertambahnya usia, beberapa tulang menyatu, sehingga saat dewasa menjadi terdapat 206 tulang di dalam tubuh manusia.

Kerangka aksial terdiri dari 80 tulang yang terletak di sepanjang sumbu tubuh manusia. Kerangka aksial terdiri dari tengkorak, tulang telinga tengah, tulang hyoid, tulang rusuk, dan tulang belakang. Kerangka apendikular terdiri dari 126 tulang yang merupakan tulang-tulang pelengkap yang menghubungkan kerangka aksial. Kerangka apendikular terletak di daerah tungkai atas, tungkai bawah, panggul, dan bahu. Fungsi sistem rangka untuk bergerak, menopang dan memberikan bentuk tubuh, melindungi organ-organ dalam, serta sebagai tempat melekatnya otot-otot.

b. Tipe-tipe Tulang

Berdasarkan bentuknya, tulang pada rangka tubuh manusia terbagi menjadi:

1) Tulang Pipih

Tulang pipih memiliki permukaan yang datar dan lebar. Tulang pipih di antaranya tulang tengkorak, tulang rusuk, tulang rahang bawah, tulang belikat, dan tulang dada (sternum).

2) Tulang Panjang

Tulang panjang berbentuk lurus dan tipis. Tulang yang tergolong tulang panjang yakni humerus (tulang lengan atas), femur (tulang paha), radius (tulang pengumpil), ulna (tulang hasta), dan tulang kering.

3) Tulang Pendek

Tulang pendek cenderung kecil dan berbuku. Yang termasuk ke dalam golongan ini di antaranya patella (tulang lutut), dan tulang-tulang kaki dan tangan.

4) Tulang Tidak Beraturan (Irregular)

Memiliki bentuk yang tidak sesuai dengan ketiga jenis tulang di atas. Contohnya adalah tulang belakang.

c. Gangguan dan Kelainan Sistem Rangka Manusia

1) Kelainan Tulang Belakang

Kelainan tulang belakang adalah kondisi yang terjadi ketika tulang belakang melengkung melebihi batas normal atau tidak selaras sehingga terlihat bengkok. Padahal seharusnya tulang belakang itu berbentuk lurus. Ada tiga jenis kelainan tulang belakang yang paling umum, yaitu:

- **Lordosis:** kondisi saat tulang belakang melengkung ke depan secara berlebihan. Biasanya lordosis memengaruhi punggung bawah dan leher.
- **Kifosis:** kondisi saat lengkungan pada punggung atas lebih dari 50 derajat. Biasanya orang dengan kifosis postur tubuhnya terlihat seperti membungkuk.
- **Skoliosis:** kondisi saat lengkungan tulang belakang justru menyamping, terkadang berbentuk seperti huruf S atau C. Seseorang dikatakan mengalami skoliosis ketika sudut lengkungannya mencapai lebih dari 10 derajat. Orang dengan skoliosis umumnya terlihat dari bahu atau pinggulnya yang tidak rata.

2) Fraktur

Fraktur merupakan kerusakan tulang bisa berupa retak atau patah sehingga memengaruhi fungsinya.

3) Osteomielitis

Osteomielitis adalah infeksi pada tulang. Infeksi bisa terjadi karena adanya infeksi pada bagian tubuh lain yang menyerang tulang, atau karena komplikasi dari operasi.

4) Rakitis

Rakitis merupakan pertumbuhan abnormal pada anak yang disebabkan kekurangan vitamin D.

5) Osteoporosis

Osteoporosis lebih mengancam wanita karena jumlah sel tulang wanita lebih sedikit daripada pria. Menopause juga berperan dalam meningkatnya risiko terkena osteoporosis.

6) Akromegali

Akromegali disebabkan oleh kelebihan jumlah hormon pertumbuhan (growth hormone) dalam tubuh. Akibatnya, terjadi pertumbuhan berlebihan pada tulang, terutama pada wajah, lengan, dan kaki.

7) Fibrous Dysplasia

Kelainan tulang langka di mana jaringan seperti luka tumbuh pada tulang yang normal. Jaringan ini dapat melemahkan tulang dan mengakibatkan kerusakan jaringan.

8) Osteogenesis Imperfecta

Penyakit akibat kelainan genetik yang menyebabkan seseorang terlahir dengan tulang yang rapuh dan tidak terbentuk dengan baik. Kelainan langka ini bersifat turunan.

9) Kanker tulang

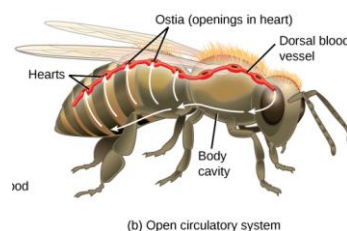
Umumnya kanker tulang berasal dari kanker pada organ lain, seperti prostat, paru-paru, ginjal, atau payudara, yang kemudian menyebar ke tulang.

• Sistem Peredaran Darah

Setiap sel dalam tubuh hewan harus mendapatkan energi yang dibutuhkan untuk hidup dari molekul-molekul yang ada dalam makanan. Sel-sel dalam tubuh membutuhkan kendaraan untuk membawa makanan.

a. Sistem Peredaran Darah Terbuka dan Tertutup

Ada dua jenis utama sistem sirkulasi: terbuka atau tertutup. Dalam sistem sirkulasi terbuka, seperti yang ditemukan dalam moluska dan arthropoda, tidak ada perbedaan antara cairan yang bersirkulasi (darah) dan cairan ekstraseluler dari jaringan tubuh (cairan interstitial atau getah bening). Cairan ini disebut hemolymph. Pada serangga (Gambar. 2. 5), jantung adalah tabung berotot yang memompa hemolimf melalui jaringan saluran dan rongga dalam tubuh. Cairan kemudian mengalir kembali ke rongga sentral.

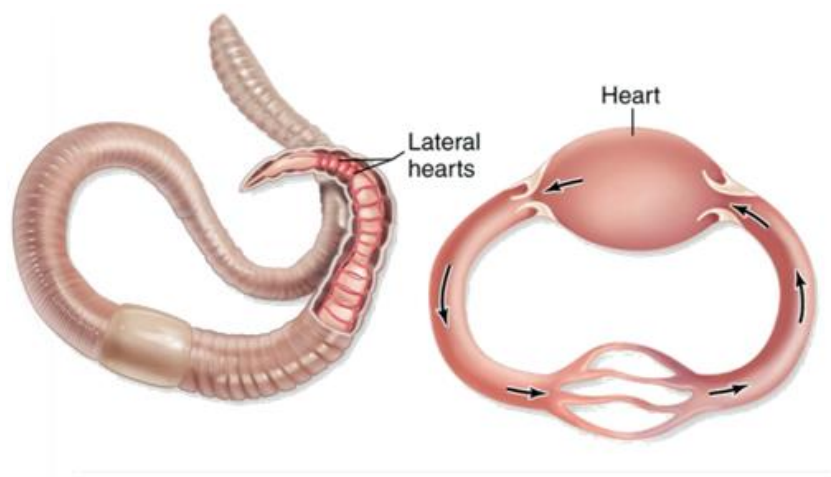


Gambar 31. Sistem Peredaran darah terbuka pada serangga

Sumber: <https://www.texasgateway.org>

Dalam sistem sirkulasi tertutup, cairan yang bersirkulasi, atau darah, selalu tertutup di dalam pembuluh darah yang mengangkut darah dari dan kembali ke pompa, jantung. Annelida (Gambar 2.6) dan semua vertebrata memiliki sistem sirkulasi tertutup. Dalam annelida seperti cacing tanah, pembuluh dorsal berkontraksi secara ritmis untuk berfungsi sebagai pompa. Darah dipompa melalui lima arteri penghubung kecil yang juga berfungsi sebagai pompa, ke pembuluh darah ventral, yang mengangkut darah ke posterior sampai akhirnya memasuki kembali pembuluh dorsal. Pembuluh-pembuluh yang lebih kecil bercabang dari

masing-masing arteri untuk memasok jaringan cacing tanah dengan oksigen dan nutrisi dan untuk mengangkut produk limbah.



Gambar 32. Sistem Peredaran darah tertutup

Sumber: <https://study.com>

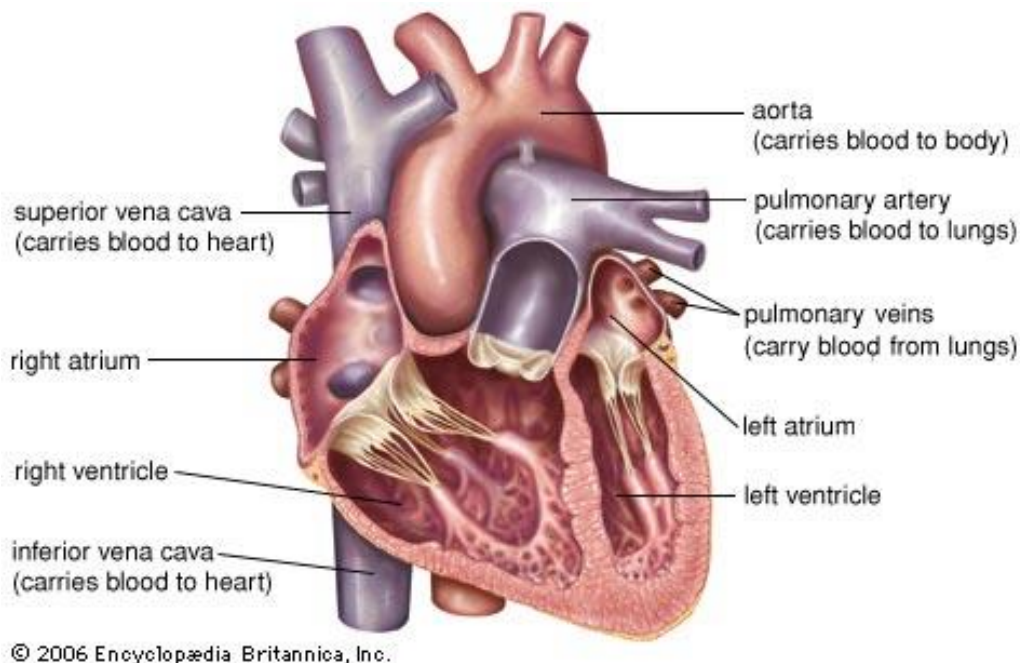
b. Sistem Peredaran Darah Manusia

Sistem peredaran darah terdiri dari jantung, pembuluh darah, dan sekitar 5 liter darah yang dibawa oleh pembuluh darah. Sistem peredaran darah didukung oleh jantung, yang hanya seukuran kepalan tangan tertutup. Bahkan pada saat istirahat, rata-rata jantung dengan mudah memompa lebih dari 5 liter darah ke seluruh tubuh setiap menitnya. Sistem peredaran darah memiliki tiga fungsi utama yaitu:

- 1) Mengedarkan darah ke seluruh tubuh. Darah memberikan nutrisi penting dan oksigen dan menghilangkan limbah dan karbon dioksida untuk dikeluarkan dari tubuh. Hormon diangkut ke seluruh tubuh melalui cairan plasma darah.
- 2) Melindungi tubuh melalui sel darah putih dengan melawan patogen (kuman) yang telah masuk ke dalam tubuh. Trombosit berfungsi untuk menghentikan perdarahan saat luka dan mencegah patogen memasuki tubuh. Darah juga membawa antibodi yang memberi kekebalan spesifik pada patogen yang sebelumnya telah terpapar tubuh atau telah divaksinasi.

- 3) Mempertahankan homeostasis (keseimbangan kondisi tubuh) pada beberapa kondisi internal. Pembuluh darah membantu menjaga suhu tubuh yang stabil dengan mengendalikan aliran darah ke permukaan kulit.

Mamalia seperti manusia memiliki empat bilik jantung (ventrikel) dengan dua atrium terpisah dan dua ventrikel terpisah (Gambar. 2.7). Atrium kanan menerima darah yang terdeoksigenasi dari tubuh dan mengirimkannya ke ventrikel kanan, yang memompa darah ke paru-paru. Atrium kiri menerima darah beroksigen dari paru-paru dan mengirimkannya ke ventrikel kiri, yang memompa darah teroksigenasi ke seluruh tubuh. Sirkulasi ganda ini didukung oleh pompa dua siklus. Kedua atria terisi dengan darah dan secara bersamaan berkontraksi, mengosongkan darah mereka ke ventrikel. Kedua ventrikel berkontraksi pada saat yang sama, mendorong darah secara bersamaan ke dalam sirkulasi paru dan sistemik. Peningkatan efisiensi sistem sirkulasi ganda pada mamalia dan burung dianggap penting dalam evolusi endotermia (hewan berdarah panas), karena sirkulasi yang lebih efisien diperlukan untuk mendukung laju metabolisme yang tinggi.



Gambar 33. Jantung Manusia

Sumber: <https://cdn.britannica.com>

Karena sistem peredaran darah secara keseluruhan tertutup, maka volume darah yang sama harus bergerak melalui sirkulasi paru seperti melalui sirkulasi sistemik yang jauh lebih besar dengan setiap detak jantung. Oleh karena itu, ventrikel kanan dan kiri harus memompa jumlah darah yang sama setiap kali mereka berkontraksi. Jika output dari satu ventrikel tidak sesuai dengan yang lain, cairan akan menumpuk dan tekanan akan meningkat di salah satu bagian. Hasilnya akan meningkat penyaringan keluar dari kapiler dan edema (seperti yang terjadi pada gagal jantung kongestif). Meskipun volume darah yang dipompa oleh kedua ventrikel adalah sama, tekanan yang dihasilkannya tidak sama. Ventrikel kiri, yang memompa darah melalui jalur sistemik yang lebih resistan, lebih berotot dan menghasilkan lebih banyak tekanan daripada ventrikel kanan.

c. Gangguan dan Kelainan Sistem Peredaran Darah

1) Angina

Kondisi kurangnya pasokan darah atau suplai oksigen ke otot jantung. Kondisi tersebut menyebabkan dada menjadi nyeri.

2) Aritmia

Gangguan yang mengakibatkan irama jantung tidak teratur. Jantung tidak berdetak secara normal, melainkan menjadi berdetak lebih cepat atau berdetak lebih lambat.

3) Cardiomyopathy

Penyakit yang terjadi karena otot jantung melemah. Otot jantung tersebut juga mengalami kelainan, baik secara struktur maupun secara fungsi.

4) Penyakit Jantung Koroner (PJK)

PJK terjadi karena pasokan darah yang mengandung banyak oksigen tidak berhasil mencapai otot jantung karena ada plak pada arteri koroner.

5) Stroke

Kondisi yang terjadi ketika pasokan darah ke otak terganggu atau berkurang akibat penyumbatan atau pecahnya pembuluh darah.

6) Aterosklerosis

Kondisi penyempitan dan penebalan arteri karena penumpukan plak pada dinding arteri. Plak yang menyebabkan aterosklerosis terdiri dari kolesterol, zat lemak, kalsium, dan fibrin (zat dalam darah).

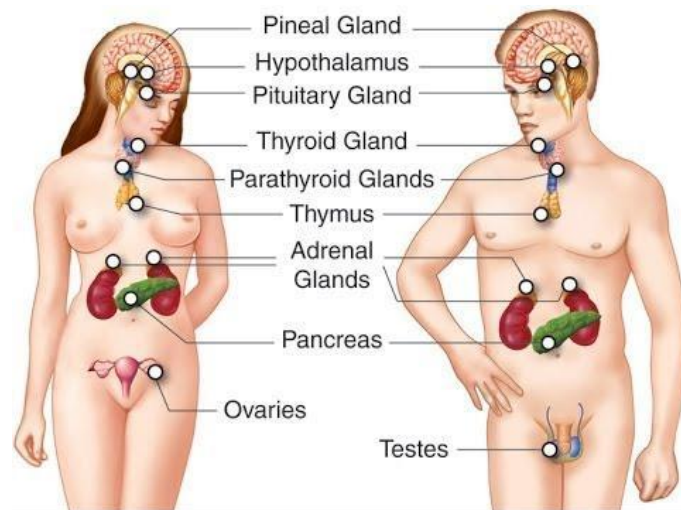
7) Arteriosklerosis

Kondisi pengerasan pembuluh darah arteri yang membawa darah dari jantung untuk dialirkan ke seluruh tubuh. Kondisi ini tidak normal karena pembuluh darah yang sehat seharusnya bersifat lentur, fleksibel, dan elastis. Arteriosklerosis menyebabkan aliran darah yang kaya akan oksigen dan nutrisi dari jantung menuju berbagai jaringan tubuh menjadi terganggu.

- **Sistem Endokrin**

Jaringan dan organ tubuh vertebrata bekerja sama untuk menjaga homeostasis lingkungan internal tubuh dan mengontrol fungsi tubuh lainnya seperti reproduksi. Homeostasis dicapai melalui mekanisme pengaturan yang melibatkan semua organ tubuh. Namun, dua sistem dikhususkan untuk pengaturan organ tubuh: sistem saraf dan sistem endokrin. Keduanya melepaskan molekul pengatur yang mengontrol organ-organ tubuh dengan pertama-tama mengikat protein reseptor dalam sel-sel organ-organ itu.

Hormon adalah zat kimia pengatur yang dikeluarkan ke dalam darah oleh kelenjar endokrin atau organ tubuh yang menunjukkan fungsi endokrin (Gambar. 2. 8). Darah membawa hormon ke setiap sel dalam tubuh, tetapi hanya sel target untuk hormon tertentu yang dapat meresponsnya. Dengan demikian, perbedaan antara neurotransmitter dan hormon tidak dalam sifat kimiawi dari molekul pengatur, tetapi alih-alih dengan cara diangkut ke sel target, dan jaraknya dari sel target ini. Regulator kimia yang disebut norepinefrin, misalnya, dilepaskan sebagai neurotransmitter oleh ujung saraf simpatik dan juga disekresi oleh kelenjar adrenal sebagai hormon.



Gambar 34. Sistem Endokrin pada manusia

Sumber: <http://www.thyroiduk.org.uk>

Di dalam sistem endokrin, kelenjar dan hormon bagaikan sebagai fondasi. Hormon merupakan senyawa kimia yang tugasnya mengirim informasi dan perintah dari sel satu ke sel yang lain. Masing-masing hormon dirancang khusus untuk bekerja spesifik pada sel-sel tertentu. Oleh karena itu, banyak hormon berbeda yang mengalir di dalam aliran darah.

Sistem endokrin terdiri dari beberapa kelenjar yang mengeluarkan hormon ke dalam darah. Kelenjar-kelenjar ini termasuk hipotalamus, kelenjar pituitari, kelenjar pineal, kelenjar tiroid, kelenjar paratiroid, kelenjar adrenal, pankreas, dan kelenjar kelamin (gonad).

Secara umum, kelenjar endokrin bertanggung jawab atas hampir seluruh proses dalam tubuh yang berlangsung lambat, mencakup pertumbuhan sel, tumbuh kembang badan, proses reproduksi, serta metabolisme. Sedangkan proses tubuh yang berlangsung lebih cepat, misalnya pernapasan dan pergerakan tubuh, diatur oleh sistem saraf. Kelenjar dikendalikan secara langsung oleh rangsangan dari sistem saraf dan juga oleh reseptor kimiawi dalam darah dan hormon yang diproduksi oleh kelenjar lain.

Dengan mengatur fungsi organ dalam tubuh, kelenjar ini membantu menjaga homeostasis tubuh. Metabolisme seluler, reproduksi, perkembangan seksual,

homeostasis gula dan mineral, denyut jantung, dan pencernaan merupakan salah satu dari banyak proses yang diatur oleh hormon.

a. Kelenjar-kelenjar di dalam Sistem Endokrin

Macam-macam kelenjar di dalam sistem endokrin, antara lain adalah:

1) Kelenjar tiroid

Kelenjar tiroid memproduksi hormon tiroksin (T4) dan triiodotironin (T3) yang bertugas mengendalikan tingkat pembakaran energi dari makanan. Selain itu sel parafolikular di kelenjar tiroid menghasilkan hormon kalsitonin yang berperan dalam pembentukan tulang.

2) Kelenjar paratiroid

Kelenjar ini melepaskan hormon paratiroid yang tugasnya adalah mengatur kadar kalsium dalam darah. Tugas hormon ini dibantu oleh hormon kalsitonin yang dihasilkan tiroid.

3) Kelenjar pituitari

Kelenjar pituitari atau hipofisis merupakan kelenjar terpenting dalam sistem endokrin. Kelenjar pituitari memproduksi hormon yang fungsinya mengatur berbagai kelenjar endokrin lainnya. Termasuk di dalamnya hormon prolaktin yang sangat penting bagi ibu menyusui, dan hormon luteinizing yang berperan dalam mengatur estrogen pada wanita dan testosterone pada pria.

4) Kelenjar adrenal

Kelenjar adrenal terbagi menjadi dua bagian. Pertama, bagian korteks yang memproduksi hormon kortikosteroid. Hormon ini bertugas mengatur keseimbangan cairan dan kadar garam di dalam tubuh. Hormon ini juga memengaruhi metabolisme, sistem imun, respons tubuh terhadap stres, serta perkembangan dan fungsi seksual. Kedua, bagian medulla yang memproduksi hormon epinefrin atau adrenalin. Ketika tubuh mengalami stres, epinefrin meningkatkan tekanan darah dan detak jantung.

5) Kelenjar pankreas

Memproduksi dua hormon penting, yaitu glukagon dan hormon insulin. Kedua hormon ini bekerja sama untuk memelihara kadar gula darah dan memelihara simpanan energi di dalam tubuh.

6) Kelenjar reproduksi

Kelenjar reproduksi pada pria (testis) terdapat di skrotum, sedangkan kelenjar reproduksi wanita (indung telur atau ovarium) terdapat di rongga panggul. Testis memproduksi hormon testosteron, sedangkan indung telur memproduksi hormon estrogen dan progesteron.

b. Gangguan dan Kelainan Sistem Endokrin

Tubuh terdiri dari begitu banyak unsur dan senyawa kimia. Jika terjadi gangguan yang menyebabkan kondisi berbagai senyawa tersebut menjadi tidak seimbang, misalnya terlalu sedikit atau terlalu banyak, dapat mengakibatkan berbagai masalah kesehatan. Berikut adalah gangguan dan penyakit pada system endokrin.

1) Diabetes mellitus

Gangguan endokrin yang paling umum adalah diabetes mellitus, yang terjadi apabila pankreas tidak menghasilkan insulin yang cukup atau tubuh tidak dapat menggunakan insulin yang tersedia dengan optimal.

2) Akromegali

Akromegali adalah gangguan di mana kelenjar pituitari menghasilkan hormon pertumbuhan yang berlebih. Hal ini menyebabkan pertumbuhan yang berlebih, terutama pada tangan dan kaki.

3) Penyakit Addison

Penyakit Addison ditandai dengan penurunan produksi kortisol dan aldosteron akibat kerusakan kelenjar adrenal.

4) Sindrom Cushing

Sindrom Cushing disebabkan oleh kelebihan kortisol, dihasilkan oleh kelenjar adrenal. Gejala dari sindrom Cushing biasanya adalah Buffalo hump (lemak di antara bahu seperti punuk) dan diskolorasi kulit seperti memar.

5) Penyakit Graves

Penyakit Graves merupakan salah satu jenis hipertiroidisme yang mengakibatkan produksi hormon tiroid. Gejala penyakit Graves biasanya adalah Mata menonjol.

6) Hashimoto's thyroiditis

Hashimoto's thyroiditis adalah suatu kondisi di mana tiroid diserang oleh sistem imun, menyebabkan hipotiroidisme dan produksi hormon tiroid yang rendah.

7) Hipertiroidisme

Hipertiroidisme adalah kondisi yang ditandai dengan kelenjar tiroid yang overaktif.

8) Hipotiroidisme

Hipotiroidisme merupakan kondisi di mana tiroid underaktif dan menghasilkan terlalu sedikit hormon tiroid.

9) Prolaktinoma

Prolaktinoma muncul apabila kelenjar pituitari yang disfungsi menghasilkan hormon prolactin berlebih, yang berguna dalam produksi ASI. Prolaktin berlebih dapat menyebabkan berbagai gejala, seperti disfungsi ereksi dan kemandulan.

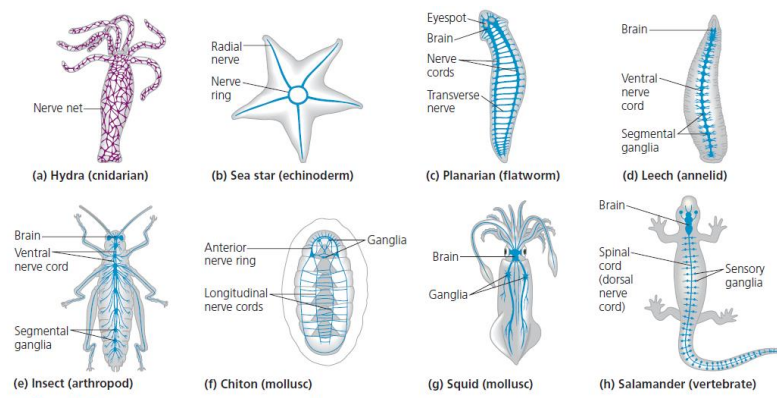
- **Sistem Saraf**

Semua input dari semua neuron sensorik yang dikirim ke sistem saraf pusat tiba dalam bentuk yang sama, karena potensi aksi diperkuat oleh neuron sensorik aferen (penghantar ke dalam). Neuron sensorik yang berbeda memproyeksikan ke daerah otak yang berbeda, dan berhubungan dengan modalitas sensorik yang berbeda. Intensitas sensasi tergantung pada frekuensi potensial aksi yang dilakukan oleh neuron sensorik. Matahari terbenam, simfoni, dan rasa sakit yang membakar dibedakan oleh otak hanya dalam hal identitas neuron sensorik yang membawa potensi aksi dan frekuensi impuls ini. Jadi, jika saraf pendengaran dirangsang secara artifisial, otak menganggap stimulasi sebagai suara. Tetapi jika

saraf optik dirangsang secara artifisial dengan tepat dengan cara dan tingkat yang sama, otak merasakan kilatan cahaya.

Hydra, ubur-ubur, dan cnidaria lainnya adalah hewan paling sederhana dengan sistem saraf. Hewan-hewan ini memiliki tubuh simetris radial yang diorganisir di sekitar kompartemen pencernaan pusat, rongga gastrovaskular. Pada kebanyakan cnidaria, sel-sel saraf yang saling berhubungan membentuk jaring saraf difus yang mengontrol kontraksi dan perluasan rongga gastrovaskular. Berbeda dengan sistem saraf hewan lain, jaring saraf cnidaria tidak memiliki kelompok neuron yang melakukan fungsi khusus. Macam-macam sistem saraf dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut ini.

Pada hewan yang lebih kompleks, akson dari beberapa sel saraf sering dibundel bersama, membentuk saraf. Struktur berserat ini menyalurkan dan mengatur aliran informasi di sepanjang rute tertentu melalui sistem saraf. Sebagai contoh, bintang laut memiliki satu set saraf radial yang menghubungkan ke cincin saraf pusat. Dalam setiap lengan bintang laut, saraf radial terhubung ke jaring saraf yang darinya ia menerima input dan yang mengirimkan sinyal yang mengendalikan kontraksi otot. Hewan yang memanjang, tubuh simetris bilateral bahkan memiliki sistem saraf yang lebih khusus. Hewan-hewan tersebut menunjukkan sepalisasi (membentuk kepala).



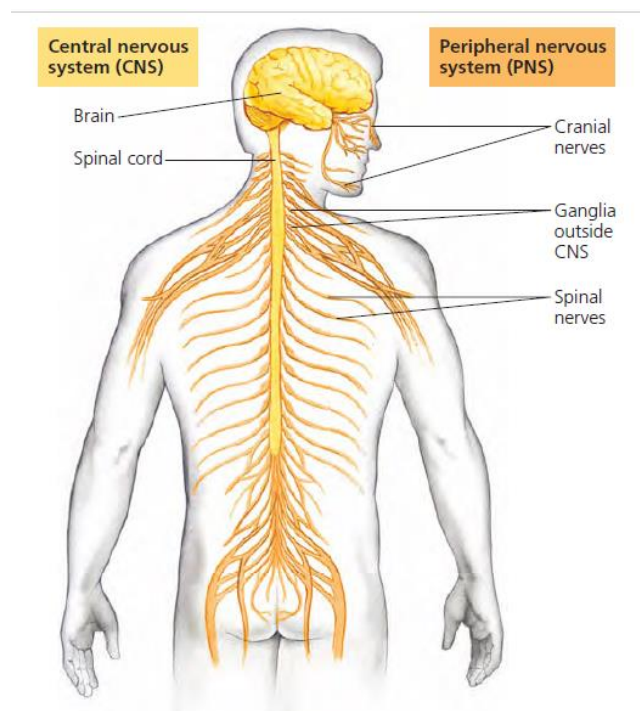
Gambar 35. Sistem Saraf pada berbagai hewan

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

a. Sistem Saraf pada Manusia

Semua yang dilakukan tubuh terhubung dengan saraf. Sistem saraf terdiri dari otak, sumsum tulang belakang, organ-organ sensorik, dan semua saraf yang menghubungkan organ-organ ini dengan seluruh tubuh. Sistem saraf bertugas mengoordinasikan setiap tindakan bagian tubuh dengan mengirimkan sinyal ke dan dari berbagai bagian tubuhnya. Bersama-sama, setiap organ ini bertanggung jawab untuk mengendalikan tubuh dan komunikasi di antara bagian-bagiannya. Contoh, saraf memberi tahu jantung untuk berdetak atau memberi tahu paru-paru untuk bernapas tanpa harus Anda sadari.

Sistem saraf manusia itu sendiri terbagi menjadi dua, yaitu sistem saraf pusat dan saraf tepi (Gambar. 2. 9). Saraf pusat terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang, sementara saraf tepi terdiri dari sistem saraf somatik dan otonom.



Gambar 36. Sistem saraf Pusat dan system saraf tepi

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Sistem saraf pusat berfungsi menerima informasi dari semua area tubuh dan kemudian mengoordinasikan semua arus lalu lintas tersebut untuk menghasilkan

respons tubuh. Organ tubuh yang termasuk dalam sistem saraf pusat manusia meliputi:

Otak adalah mesin pengendali utama dari segala fungsi tubuh termasuk sensasi, pikiran, gerakan, kesadaran, dan memori atau ingatan. Sumsum tulang belakang langsung terhubung ke otak melalui batang otak dan kemudian mengalir sepanjang ruas tulang belakang. Sumsum tulang belakang berfungsi membawa informasi dari berbagai bagian tubuh ke otak dan sebaliknya.

Neuron adalah blok sel yang membangun sistem saraf pusat. Miliaran sel-sel saraf ini dapat ditemukan di seluruh tubuh dan berkomunikasi satu sama lain untuk menghasilkan respons dan tindakan fisik. Diperkirakan ada 86 miliar neuron yang ada di otak, belum lagi yang ada di seluruh tubuh. Saraf tepi fungsinya menghubungkan respon sistem saraf pusat ke organ tubuh dan bagian lainnya di tubuh Anda. Saraf ini meluas dari sistem saraf pusat ke area terluar tubuh sebagai jalur penerimaan dan pengiriman rangsangan dari dan ke otak. Saraf yang membentuk sistem saraf tepi dinamakan sebagai akson. Dalam beberapa kasus, saraf ini sangat kecil tetapi beberapa ikatan saraf ada yang bentuknya besar dan dapat dilihat jelas oleh mata.

1) Sistem saraf somatik

Sistem ini terdiri dari serabut saraf perifer. Fungsi saraf ini mengambil informasi sensorik atau sensasi dari organ perifer seperti kulit, dan nantinya dibawa ke sistem saraf pusat. Pada saraf somatik juga terdiri serabut saraf motor yang keluar dari otak dan membawa pesan untuk menggerakkan tubuh yang dibantu oleh otot rangka. Misalnya saat menyentuh termos panas, saraf sensorik membawa informasi bahwa ini adalah sensasi panas ke otak. Saraf motorik memberi tahu otak untuk menggerakkan otot-otot tangan untuk segera menghindar, melepas, atau menarik tangan dari termos panas tersebut. Keseluruhan proses ini terjadi kurang lebih dalam waktu satu detik.

2) Sistem saraf otonom

Ada dua bagian lagi dari saraf ini:

a) Sistem simpatik

Sistem ini mengatur respons perlawanan dari dalam tubuh ketika ada ancaman pada diri Anda. Sistem ini juga mempersiapkan tubuh untuk mengeluarkan energi dan menghadapi potensi ancaman di lingkungan.

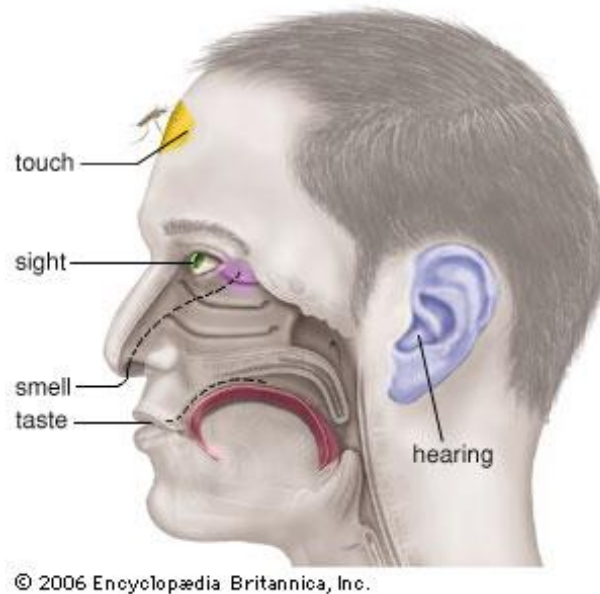
Contoh, ketika Anda sedang cemas atau takut saraf simpatik akan memicu respons dengan mempercepat detak jantung, meningkatkan laju pernapasan, meningkatkan aliran darah ke otot, mengaktifkan kelenjar produksi keringat, dan melebarkan pupil mata. Ini dapat membuat tubuh merespon dengan cepat dalam situasi gawat darurat.

b) Sistem parasimpatik

Sistem ini gunanya menjaga fungsi tubuh normal setelah ada sesuatu yang mengancam diri Anda. Setelah ancaman berlalu, sistem ini akan memperlambat detak jantung, memperlambat pernapasan, mengurangi aliran darah ke otot, dan menyempitkan pupil mata. Ini memungkinkan kita untuk mengembalikan tubuh ke kondisi rileks yang normal.

b. Alat-Alat Indera

Alat indera merupakan organ-organ pada tubuh manusia yang mampu untuk menerima rangsang dari luar dan mengolahnya di otak sebelum diterjemahkan menjadi kerja organ tersebut. Manusia mempunyai 5 alat indera meliputi mata, kulit, lidah, telinga, dan hidung (Gambar. 10). Alat indera ini hanya akan berfungsi apabila tidak terjadi kelainan pada organnya, saraf penghubung antara organ indera dan sistem saraf pusat, dan sistem saraf pusat manusia. Ke lima alat indera yang ada di tubuh manusia itu sendiri mempunyai fungsi masing-masing. Mata memiliki fungsi sebagai indera penglihatan, lidah memiliki fungsi sebagai indera perasa, kulit sebagai indera peraba, telinga sebagai indera pendengaran, dan hidung sebagai indera penghirup.



Gambar 37. Alat Indera pada Manusia

Sumber: <https://cdn.britannica.com>

Bermula dari rangsangan dari dunia luar yang diterima oleh masing-masing alat indera ini, maka rangsangan tersebut akan diteruskan ke otak dalam bentuk impuls. Sesampai di otak, impuls tersebut akan diolah menjadi data-data sehingga selanjutnya akan diteruskan ke organ indera semula untuk memberikan tanggapan atas rangsangan yang diterima sebelumnya.

c. Gangguan dan Kelainan pada system saraf manusia

Sistem saraf manusia berfungsi sangat vital, tapi di sisi lain juga rentan mengalami masalah. ada banyak macam gangguan otak dan saraf yang bisa mengacaukan lalu lintas pengiriman dan pemrosesan sinyal neuron. Beberapa di antaranya adalah:

1) Alzheimer

Alzheimer adalah penyakit yang menyerang sel-sel otak dan neurotransmitter (bahan kimia yang membawa pesan di antara sel-sel otak). Penyakit ini memengaruhi fungsi otak, memengaruhi ingatan Anda, dan cara Anda berperilaku.

2) Bell's palsy

Bell's palsy adalah kondisi lemah atau lumpuh tiba-tiba pada satu sisi wajah. Ini disebabkan karena adanya saraf di wajah Anda sedang meradang. Biasanya kondisi ini hanya sementara, bisa pulih dalam jangka waktu tertentu.

3) Multiple sclerosis

Multiple sclerosis adalah penyakit kronis yang memengaruhi sistem saraf pusat. Ini 3 kali lebih umum menyerang wanita daripada pria. Kondisi ini ditandai dengan adanya kerusakan pada selubung pelindung (dikenal sebagai mielin) yang mengelilingi serabut saraf di otak dan sumsum tulang belakang.

4) Epilepsi

Epilepsi adalah kelainan pada neuron di otak. Penderita epilepsi tidak dapat merespon berbagai rangsangan dalam berbagai bentuk. Selain itu, otot-otot rangka juga berkontraksi secara tidak terkontrol.

5) Amnesia

Amnesia adalah ketidakmampuan mengingat hal yang telah terjadi karena ada cedera pada otak. Amnesia sendiri ada yang bersifat permanen, ada pula yang bersifat sebagian.

● Sistem Respirasi

Hewan menggunakan energi dari molekul makanan menggunakan proses biokimia yang disebut respirasi sel. Sementara istilah respirasi seluler berkaitan dengan penggunaan oksigen dan produksi karbon dioksida pada tingkat seluler, istilah respirasi secara umum menggambarkan penyerapan oksigen dari lingkungan dan pembuangan karbon dioksida ke lingkungan pada tingkat sistem tubuh. Sistem pernapasan dapat diartikan sebagai proses pemasukan oksigen menuju dalam tubuh hingga menghasilkan energi CO₂ dan uap air.

a. Sistem Respirasi pada Hewan Bersel Satu

Proses respirasi pada hewan bersel satu seperti protozoa melewati membran sel kulit. Sistem pernapasannya secara difusi sebagai alat bernafas, dimana

konsentrasi oksigen dalam sel semakin berkurang sementara diluar konsentrasi sisa metabolisme berbentuk CO₂ justru semakin meningkat.

b. Sistem Respirasi pada Insekta

Hewan yang termasuk dalam insekta/serangga bernapas menggunakan alat pernapasan bernama trakea. Trakea mempunyai struktur bercabang-cabang dengan menembus struktur jaringan tubuh (disebut trakeol). Trakea berakhir dilubang kecil bernama spirakel. Spirakel adalah tempat yang memfasilitasi dari masuk keluarnya udara pernapasan insekta. Pada umumnya, sistem pernapasan serangga dibagi menjadi 3 fase, yakni fase inspirasi, fase pertukaran gas, serta fase ekspirasi.

c. Sistem Respirasi pada Cacing

Pada umumnya, cacing bernapas menggunakan permukaan kulitnya. Hewan ini, biasanya memanfaatkan permukaan kulitnya guna melakukan pertukaran gas oksigen dan karbondioksida dengan cara memanfaatkan proses difusi.

d. Sistem Respirasi pada Arachnida

Hewan yang termasuk jenis arachnida biasanya bernapas memakai alat pernapasan yang disebut paru-paru buku bila sedang hidup di darat, sementara insang buku bila sedang hidup di air. Hewan yang tergolong ke dalam golongan arachnida adalah laba-laba dan kalajengking.

Masing-masing dari paru-paru buku arachnida ini mempunyai sejenis lembaran-lembaran tipis dengan menyusun sejajar yang biasa disebut lamela. Selain itu juga, paru-paru buku arachnida ini juga mempunyai spirakel sebagai tempat keluar masuknya sebuah udara dari luar serta dalam tubuh arachnida.

e. Sistem Respirasi pada Crustacea

Hewan yang termasuk dalam kelompok crustacea tersebut adalah hewan yang napasnya dengan menggunakan insang, sama halnya pada ikan. Hewan yang jenis crustacea adalah udang, lobster, dan kepiting. Secara umum, insang yang ada pada crustacea ini letaknya pada kamar-kamar insang yakni terletak diantara branchiostegit maupun sebagai pelindung insang serta dinding badan.

Pada insang yang ada pada hewan crustacean, terkadang juga ada suatu pembuluh darah menggunakan membran yang tipis. Nah, pembuluh darah pada membran yang tipis tersebut akan paling bermanfaat guna pertukaran gas secara difusi, yang mana proses pemasukan oksigen udara luar menuju darah dan pengeluaran karbondioksida dari dalam darah menuju ke udara luar bisa berjalan secara cepat serta efisien.

f. Sistem Respirasi pada Ikan

Sistem pernapasan pada ikan ini ialah memakai insang yang terkadang jumlahnya empat pasang. Nah, keempat pasang insang dari ikan tersebut ada disamping kiri dan juga kanan pada ikan serta ada di bagian kepalanya. Insang ini mempunyai lembaran yang terselubung dengan jaringan kapitel yang isinya jaringan-jaringan pada pembuluh darah kapiler. Ikan melakukan sebuah sistem pernapasan dengan cara membuka dan menutup mulutnya sambil bergantian membuka dan juga menutup insangnya.

g. Sistem Respirasi pada Amfibia

Hewan amfibi adalah hewan yang bisa hidup di dua wilayah tempat, yakni di darat dan di air. Maka tidak heran bila sistem pernapasan dari hewan amfibi ini bisa berupa kulit, paru-paru, maupun insang. Contohnya ialah katak. Pada waktu katak masih dalam bentuk larva, maka katak akan bernapas dengan cara menggunakan insang luar, sementara ketika katak masih bentuk beludru, maka bernapasnya akan menggunakan insang dalam jadi ketika ia sudah tumbuh menjadi dewasa, katak nantinya akan bernapas dengan menggunakan paru-paru dan kulit.

h. Sistem Respirasi pada Reptil

Proses respirasi hewan reptile identik dengan proses pernapasan hewan mamalia, yakni fase inspirasi dan ekspirasi. Ketika fase inspirasi, tulang rusuknya mengangkat dan merenggang jadi volume rongga dada juga semakin besar sehingga terjadilah masuknya udara ke paru-paru. Sementara fase ekspirasi ini tulang rusuk melemas dan melaksanakan relaksasi jadi volume rongga dada juga semakin kecil.

Khusus untuk reptile buaya, ada katup dalam hidung, batang tenggorok serta kerongkongan. Sementara kura-kura pernapasannya menggunakan paru-paru dibantu lapisan kulit tipis dan disekitar kloaka banyak kapiler darah.

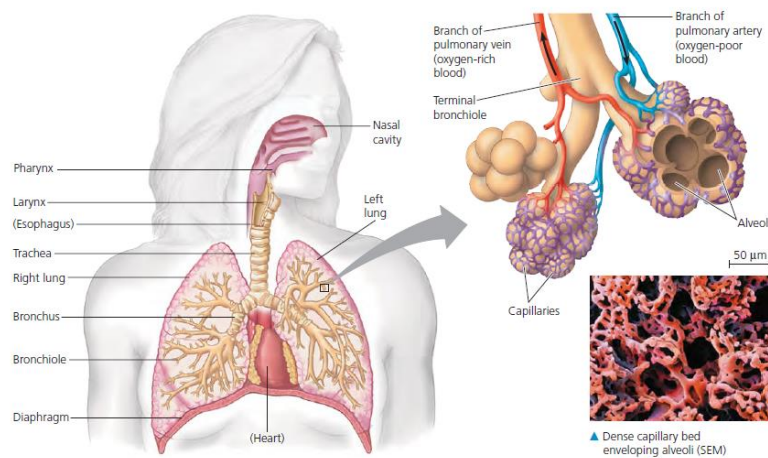
i. Sistem Respirasi pada Aves

Pada umumnya, cara hewan aves dalam melakukan sistem pernapasannya ini dibagi ketika sedang terbang dan sedang tak terbang. Hewan aves memanfaatkan cadangan udara pada saat diatas/ terbang melalui pundi-pundi udaranya lalu udara tersebut masuk dalam paru-paru.

j. Sistem Respirasi pada Manusia

Pada mamalia seperti manusia, sistem saluran pernafasan bercabang menyampaikan udara ke paru-paru, yang terletak di rongga dada. Udara masuk melalui lubang hidung dan kemudian disaring oleh rambut, dihangatkan, dilembabkan, dan diinderaai untuk mendapatkan bau ketika udara mengalir melalui labirin ruang pada rongga hidung. Rongga hidung mengarah ke faring, persimpangan tempat jalur udara dan jalur masuk makanan. Ketika makanan ditelan, laring (bagian atas dari saluran pernapasan) bergerak ke atas dan memberi ujung epiglotis di atas glotis (pembukaan trakea, atau batang tenggorokan). Hal ini memungkinkan makanan untuk turun ke kerongkongan ke perut. Setiap saat, glotis terbuka, memungkinkan pernapasan.

Dari laring, udara masuk ke trakea. Tulang rawan yang memperkuat dinding laring dan trakea membuat bagian jalan napas ini tetap terbuka. Di dalam laring mamalia, udara yang dihembuskan mengalir oleh sepasang pita elastis otot yang disebut lipatan vokal, atau, pada manusia, pita suara. Bunyi dihasilkan ketika otot-otot di laring menegang, meregangkan pita suara sehingga bergetar.



Gambar 38. Sistem Respirasi pada Manusia

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Trakea bercabang menjadi dua bronkus (tunggal, bronkus), satumengarah ke masing-masing paru-paru. Di dalam paru-paru, cabang bronkus kembali bercabang menjadi tabung yang lebih kecil dan lebih kecil lagi yang disebut bronkiolus (Gambar. 2.11) . Seluruh sistem saluran udara memiliki bentuk seperti pohon terbalik, batangnya adalah trakea. Epitel yang melapisi cabang-cabang utama pohon pernapasan ini ditutupi oleh silia dan lapisan tipis lendir. Lendir menjebak debu, serbuk sari, dan kontaminan partikulat lainnya, dan silia yang bergerak terus untuk memindahkan lendir ke atas ke faring, tempat lendir itu dapat ditelan ke dalam kerongkongan. Proses ini, kadang-kadang disebut sebagai "escalator lendir" yang memainkan peran penting dalam membersihkan sistem pernapasan.

Pertukaran gas pada mamalia terjadi pada alveoli (singular, alveolus), kantung udara yang terkumpul di ujung bronkiolus terkecil. Paru-paru manusia mengandung jutaan alveoli, yang bersama-sama memiliki luas permukaan sekitar 100 m², 50 kali lipat dari luas permukaan kulit. Oksigen di udara yang masuk ke alveoli larut dalam Lapisan lembab yang melapisi permukaan bagian dalam mereka dan dengan cepat berdifusi melintasi epitel ke dalam jaringan kapiler yang mengelilingi setiap alveolus. Difusi bersih karbon dioksida terjadi dalam arah yang berlawanan, dari kapiler melintasi epitel alveolus dan ke ruang udara.

k. Gangguan dan Kelainan pada Sistem Respirasi

Jika salah satu bagian dari organ respirasi bermasalah, secara otomatis sistem respirasi pun akan terganggu. Berikut beberapa gangguan respirasi:

1) Flu (Influenza)

Penyakit influenza disebabkan oleh virus dan mudah sekali menular. Penularan bisa melalui kontak langsung ke cairan atau melalui cairan yang keluar dari penderita saat batuk atau bersin. Saat flu, hidung dipenuhi lendir sehingga mengganggu pernapasan.

2) Faringitis

Keluhan utama pada penyakit ini adalah nyeri tenggorokan. Faringitis seringkali disebabkan oleh infeksi virus, namun dapat juga disebabkan oleh bakteri, sehingga untuk penanganannya dibutuhkan antibiotik. Beberapa kasus faringitis disebabkan oleh alergi atau iritasi pada tenggorokan.

3) Laringitis

Laringitis adalah gangguan pernapasan yang menyerang laring atau pita suara. Peradangan yang terjadi biasanya disebabkan oleh penggunaan pita suara berlebihan, iritasi, atau infeksi pada laring. Suara serak atau parau bahkan hilang sama sekali adalah gejala umum yang muncul jika seseorang mengalami laringitis.

4) Asma

Asma disebabkan oleh penyempitan saluran napas. Sesak napas menjadi tanda umum dari penyakit ini. Biasanya sesak napas dibarengi oleh mengi (wheezing) yang merupakan suara khas bernada tinggi saat pasien mengeluarkan napas.

5) Bronkitis

Bronkitis adalah peradangan pada bronkus, yang merupakan saluran udara dari dan ke paru-paru. Bronkitis umumnya dicirikan dengan batuk berdahak yang kadang dahaknya bisa berubah warna.

6) Emfisema

Emfisema menyerang kantung udara alias alveoli. Seseorang yang terkena emfisema tidak selalu menunjukkan gejala yang khas. Namun seiring perjalanan

penyakitnya, biasanya penderita kondisi ini lambat laun akan mengalami sesak saat bernapas. Gangguan ini adalah salah satu kondisi yang digolongkan sebagai penyakit paru obstruktif kronik (PPOK).

7) Pneumonia

Pneumonia, atau yang biasa disebut dengan radang paru-paru, merupakan peradangan akibat infeksi. Batuk berdahak, demam, dan sesak napas adalah gejala umum dari pneumonia. Ciri lain dari penyakit ini adalah dahak kental yang dapat berwarna kuning, hijau, cokelat, atau bernoda darah.

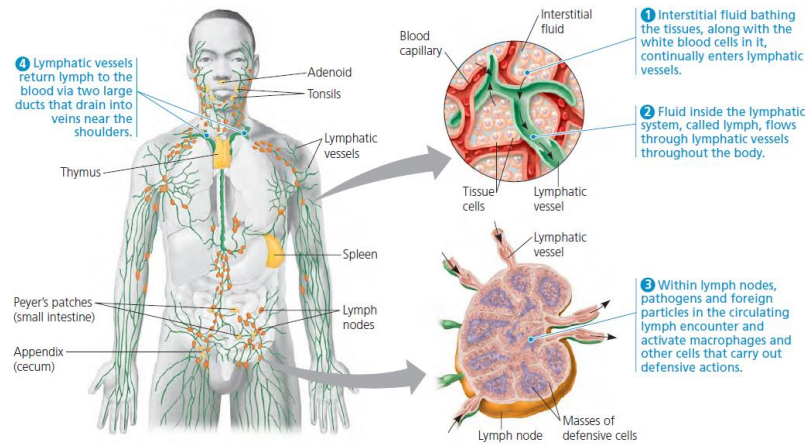
8) Kanker Paru-Paru

Merupakan salah satu jenis kanker paling berbahaya dengan angka kematian yang tinggi. Terjadinya kanker paru-paru pada seseorang berkaitan erat dengan merokok baik aktif maupun pasif, riwayat kanker paru-paru di keluarga, riwayat paparan zat kimia dan gas beracun seperti asbestos dan radon, atau menghirup udara berpolusi dalam jangka panjang.

- **Sistem Imunitas**

Sistem imunitas atau kekebalan tubuh adalah pertahanan tubuh terhadap bakteri, virus, dan patogen lainnya yang mungkin berbahaya, dengan menjaga dan menyerang dari patogen-patogen tersebut. Ini termasuk kelenjar getah bening, limpa, sumsum tulang, limfosit (termasuk sel B dan sel T), timus, dan leukosit, yang merupakan sel darah putih.

Dalam anatomi tubuh manusia, sistem limfatik mencakup kelenjar getah bening, saluran getah bening, dan pembuluh getah bening, dan juga berperan dalam pertahanan tubuh (Gambar. 2. 12). Tugas utamanya adalah membuat dan memindahkan getah bening, cairan bening yang mengandung sel darah putih, yang membantu tubuh melawan infeksi. Sistem limfatik juga menghilangkan kelebihan cairan getah bening dari jaringan tubuh, dan mengembalikannya ke darah. Terdapat 2 jenis imunitas yang dimiliki oleh tubuh kita. Kedua jenis imunitas tersebut adalah imunitas aktif dan imunitas pasif.



Gambar 39. Sistem Imunitas pada Manusia

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Imunitas aktif alami terjadi jika setelah seseorang terpapar penyakit, sistem imunitas memproduksi antibodi dan limfosit khusus. Imunitas ini dapat bersifat seumur hidup, seperti pada kasus cacar dan campak, atau sementara seperti pada kasus gonore dan pneumonia. Berbeda dengan imunitas aktif alami, imunitas aktif buatan timbul karena adanya rangsangan dari patogen yang dimasukkan ke dalam tubuh melalui vaksin yang kemudian mengaktifkan sistem imun. Vaksin sendiri merupakan patogen yang sudah dilemahkan atau toksin yang sudah diubah sebelumnya. Oleh karena itu, vaksin ini tidak menimbulkan penyakit, contohnya adalah vaksin TFT (tetanus formol toxoid) untuk melawan tetanus.

Imunitas pasif alami terjadi melalui pemberian ASI kepada bayi dan saat antibodi IgG (inunoglobulin G) milik ibu masuk ke plasenta. Antibodi IgG tersebut dapat memberikan kekebalan sementara untuk beberapa minggu atau beberapa bulan setelah kelahiran. Imunitas pasif buatan adalah imunitas pasif yang terjadi melalui injeksi antibodi dalam serum. Imunitas pasif dihasilkan oleh orang atau hewan yang kebal karena pernah terpapar antigen tertentu. Contohnya antara lain antibodi dari kuda yang kebal terhadap gigitan ular dapat diinjeksikan kepada manusia yang digigit ular sejenis.

Gangguan dan Kelainan pada Sistem Imunitas

Terdapat beberapa penyakit yang termasuk dalam gangguan autoimun, yaitu:

a. Lupus

Lupus adalah kondisi di mana tubuh mengembangkan antibodi autoimun yang dapat menempel pada jaringan di seluruh tubuh, seperti sendi, paru-paru, sel darah, saraf, dan ginjal. Sel darah putih pada pengidap lupus justru menyerang tubuh sendiri, sehingga kerap disebut penyakit autoimun. Penyakit yang tidak bisa sembuh ini membutuhkan terapi jangka panjang, untuk menekan efek serangan sistem imun.

b. Rheumatoid arthritis

Rheumatoid arthritis atau radang sendi adalah peradangan kronis pada sendi yang bisa menghancurkan jaringan persendian dan bentuk tulang. Jika tidak diobati dengan baik, pengidapnya akan mengalami cacat permanen. Perawatan untuk rheumatoid arthritis dapat mencakup berbagai obat oral atau injeksi yang mengurangi aktivitas dari sistem kekebalan tubuh itu sendiri.

c. Multiple sclerosis (MS)

MS adalah gangguan progresif yang terkait dengan kerja sistem imun. Sistem yang seharusnya bertugas menjaga tubuh, justru berbalik menyerang organ yang penting untuk kehidupan sehari-hari. Gangguan sistem imun ini merusak lapisan pelindung sistem saraf dan menyebabkan penurunan fungsi sel tersebut di otak dan tulang punggung. Akibatnya, koordinasi antara otak dan bagian tubuh lain terganggu.

d. Sindrom Guillain-Barre

Sindrom Guillain-Barre (GBS) merupakan penyakit langka di mana sistem imun tubuh kita menyerang saraf. Penyebab dari penyakit ini belum diketahui, namun kerap GBS didahului dengan penyakit pernapasan atau flu perut. Rasa lumpuh dan kesemutan di kaki dan tangan (atau wajah pada beberapa orang) biasanya jadi gejala pertama dari penyakit langka ini. Lalu sensasi ini dengan cepat menyebar dan akhirnya membuat seluruh tubuhmu lumpuh. Jika gejalanya terlalu parah, pasien harus segera dapat pertolongan medis dan dirawat di rumah sakit.

e. Psoriasis

Pada pengidap Psoriasis sel-sel darah sistem kekebalan tubuh yang terlalu aktif yang disebut sel-T berkumpul di kulit. Aktivitas sistem kekebalan merangsang sel-sel kulit untuk bereproduksi dengan cepat, dan menghasilkan plak bersisik atau berwarna perak pada kulit.

f. Penyakit Graves

Penyakit Graves terjadi saat sistem kekebalan tubuh menghasilkan antibodi yang merangsang kelenjar tiroid untuk melepaskan kelebihan hormon tiroid ke dalam darah (hipertiroidisme). Gejala penyakit Graves dapat berupa mata melotot serta penurunan berat badan, gugup, lekas marah, detak jantung yang cepat, kelemahan, dan rambut rapuh.

g. Penyakit Hashimoto

Penyakit Hashimoto sendiri merupakan gangguan pada kelenjar tiroid yang membuat fungsinya tidak maksimal, atau dalam beberapa kasus menjadi tidak aktif sama sekali. Gangguan pada produksi hormon tiroid ini memicu serangkaian gejala, termasuk kelelahan ekstrem dan gangguan metabolisme. Satu lagi efek penyakit Hashimoto adalah penambahan berat badan. Meski begitu, sebagian besar berat badan yang bertambah hanya air, dan bisa ditangkal dengan diet sehat.

h. Myasthenia gravis (MG)

MG merupakan penyakit autoimun yang cukup langka yang dipicu karena ada kelainan di paut saraf dan otot. Bagian tersebut merupakan tempat di mana saraf mengirim sinyal ke otot untuk bergerak tapi hal ini tak terjadi karena imunitas menyerang reseptor atau penerima sinyal. Akibatnya tubuh pasien MG akan sulit mengendalikan otot-ototnya termasuk juga otot pernapasan yang vital.

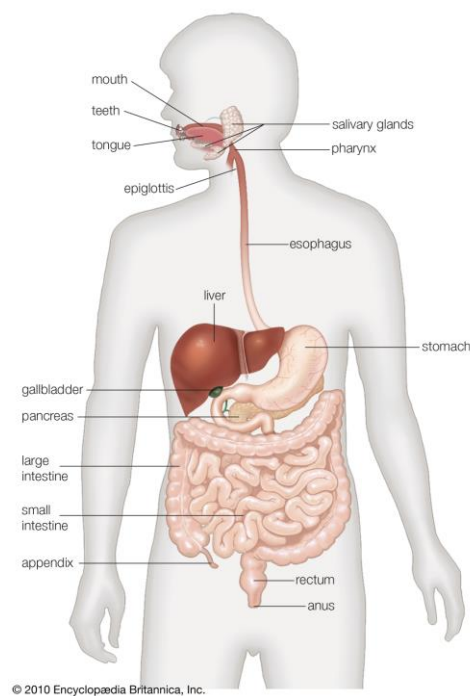
i. Vaskulitis

Vaskulitis adalah penyakit yang disebabkan sistem kekebalan tubuh menyerang dan merusak pembuluh darah dalam kelompok penyakit autoimun ini. Vaskulitis dapat memengaruhi organ apa pun, sehingga gejalanya sangat bervariasi dan dapat terjadi hampir di semua bagian tubuh.

● Sistem Pencernaan

Sistem pencernaan adalah sekelompok organ yang bekerja untuk menerima makanan, mengubah dan memproses makanan menjadi energi, menyerap zat gizi yang terdapat pada makanan ke aliran darah, serta membuang sisa makanan yang tersisa atau tidak dapat dicerna oleh tubuh.

Makanan melewati saluran pencernaan yang terdiri dari rongga mulut, faring (tenggorokan), laring (kerongkongan), lambung, usus halus, usus besar, dan berakhir di anus. Selain saluran pencernaan, ada beberapa organ aksesori penting dalam anatomi tubuh manusia yang membantu mencerna makanan. Organ aksesori dari sistem pencernaan meliputi gigi, lidah, kelenjar ludah, hati, kantong empedu, dan pankreas. Organ-organ yang terlibat dalam proses pencernaan manusia dapat dilihat pada gambar 2.13 berikut.



Gambar 40. Sistem Pencernaan pada Manusia

Sumber: <https://www.britannica.com>

Proses pencernaan dimulai di mulut, di mana pencernaan kimia dan mekanik terjadi. Di dalam mulut terdapat organ aksesori yang membantu pencernaan makanan, yaitu lidah, gigi, dan kelenjar air liur. Mulut berfungsi untuk mengunyah

makanan menjadi lebih halus dan lunak agar lebih mudah untuk ditelan dan dicerna. Gigi memotong makanan menjadi potongan-potongan kecil, yang dibasahi oleh air liur sebelum lidah dan otot-otot lain mendorong makanan ke dalam faring (Pharynx) dan melewatkannya ke dalam kerongkongan (esophagus).

Esofagus (kerongkongan) adalah saluran penghubung antara mulut dengan lambung, yang letaknya di antara tenggorokan dan lambung. Kerongkongan sebagai jalan untuk makanan yang telah dikunyah dari mulut menuju lambung. Otot kerongkongan dapat berkontraksi sehingga mendorong makanan masuk ke dalam lambung. Gerakan ini disebut dengan gerak peristaltik. Pada ujung kerongkongan terdapat sfingter (cincin otot), yang memungkinkan makanan untuk masuk ke lambung dan kemudian menutupnya untuk mencegah makanan dan cairan naik kembali ke kerongkongan.

Lambung adalah organ berbentuk huruf “J”, yang ukurannya sekitar dua kepalan tangan. Lambung terletak di antara esofagus dan usus halus di perut bagian atas.

Lambung memiliki tiga fungsi utama dalam sistem pencernaan, yaitu untuk menyimpan makanan dan cairan yang tertelan; untuk mencampur makanan dan cairan pencernaan yang diproduksinya, dan perlahan-lahan mengosongkan isinya ke dalam usus kecil. Hanya beberapa zat, seperti air dan alkohol, yang dapat diserap langsung dari lambung. Zat-zat makanan lainnya harus menjalani proses pencernaan lambung.

Dinding otot perut yang kuat mencampur dan mengocok makanan dengan asam dan enzim, memecahnya menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Makanan diolah menjadi bentuk semi padat yang disebut chyme. Setelah makan, chyme perlahan dilepaskan sedikit demi sedikit melalui pyloric sphincter, sebuah cincin otot antara lambung dan bagian pertama dari usus halus yang disebut duodenum (usus 12 jari). Sebagian besar makanan meninggalkan perut hingga empat jam setelah makan.

Usus halus berbentuk tabung tipis sekitar satu inci dengan panjang sekitar 10 meter. Usus halus terletak hanya lebih rendah daripada lambung dan memakan sebagian besar ruang di rongga perut. Seluruh usus halus digulung seperti selang dan permukaan bagian dalamnya penuh dengan banyak tonjolan dan lipatan.

Lipatan ini digunakan untuk memaksimalkan pencernaan makanan dan penyerapan nutrisi. Pada saat makanan meninggalkan usus halus, sekitar 90 persen dari semua nutrisi telah diekstraksi dari makanan yang masuk ke dalamnya.

Usus besar membentuk huruf “U” terbalik di atas usus halus yang digulung. Ini dimulai di sisi kanan bawah tubuh dan berakhir di sisi kiri bawah. Usus besar berukuran sekitar 5-6 meter, yang memiliki tiga bagian, yaitu sekum (cecum), kolon dan rektum (rectum). Sekum adalah kantung di awal usus besar. Area ini memungkinkan makanan lewat dari usus halus ke usus besar. Kolon adalah tempat cairan dan garam diserap dan memanjang dari sekum ke rektum. Bagian terakhir dari usus besar adalah rektum, yang mana kotoran (bahan limbah) disimpan sebelum meninggalkan tubuh melalui anus.

Fungsi utama dari usus besar adalah membuang air dan garam (elektrolit) dari bahan yang tidak tercerna dan membentuk limbah padat yang dapat dikeluarkan. Bakteri di usus besar membantu memecah bahan yang tidak tercerna. Sisa isi usus besar dipindahkan ke arah rektum, di mana feses disimpan sampai meninggalkan tubuh melalui anus.

Gangguan dan Kelainan pada sistem Pencernaan

Berikut ini akan dijelaskan beberapa penyakit gangguan pencernaan beserta penyebab yang mendasarinya.

a. Penyakit refluks asam lambung

Penyakit refluks asam lambung atau gastroesophageal reflux disease (GERD) adalah kondisi ketika asam lambung naik ke esofagus (kerongkongan). Kondisi ini terjadi akibat melemahnya cincin otot kerongkongan yang berfungsi mencegah makanan kembali ke kerongkongan setelah masuk ke lambung.

b. Esofagitis

Esofagitis adalah peradangan di lapisan kerongkongan yang dapat menimbulkan nyeri, sulit menelan, dan nyeri di bagian dada. Apabila dibiarkan tidak tertangani, esofagitis dapat menyebabkan penyempitan pada kerongkongan.

c. Akalasia

Akalasia adalah kondisi ketika saraf di area esofagus (kerongkongan) mengalami kerusakan. Kondisi tersebut menyebabkan otot katup di antara kerongkongan dan lambung kehilangan kelenturan, sehingga makanan sulit terdorong ke lambung.

d. Gastritis

Gastritis adalah peradangan di dinding lambung, yang dapat terjadi tiba-tiba (akut), atau berlangsung dalam jangka panjang (kronis). Kondisi ini dapat menyebabkan tukak lambung.

e. Tukak lambung

Tukak lambung (peptic ulcer) merupakan luka terbuka yang terbentuk di lapisan lambung, atau bisa juga terjadi di usus 12 jari (ulkus duodenum). Tukak lambung dapat disebabkan oleh infeksi bakteri, dan penggunaan aspirin atau obat antiinflamasi nonsteroid dalam jangka panjang.

f. Radang usus

Sebagaimana namanya, radang usus adalah kondisi ketika usus mengalami peradangan. Radang usus terdiri dari 2 jenis, yaitu penyakit Crohn dan kolitis ulseratif. Bedanya, radang pada kolitis ulseratif hanya terjadi di usus besar. Sedangkan pada penyakit Crohn, radang dapat terjadi di seluruh bagian saluran pencernaan.

g. Divertikulitis

Divertikulitis adalah peradangan pada divertikula. Divertikula sendiri adalah kantong-kantong abnormal yang terbentuk di saluran pencernaan. Divertikulitis dapat menimbulkan gejala demam, sakit perut, mual, muntah, sembelit atau diare.

h. Proktitis

Proktitis adalah peradangan pada rektum (bagian akhir dari usus besar yang tersambung ke anus). Kondisi ini dapat menimbulkan rasa ingin BAB yang sering (tenesmus). Proktitis juga menyebabkan nyeri di perut, rektum, dan anus.

i. Kanker usus besar

Kanker usus besar bisa bermula dari tumor jinak yang disebut polip adenoma. Seiring waktu, polip tersebut berkembang menjadi ganas.

j. Fisura ani

Fisura ani adalah luka terbuka pada jaringan yang melapisi anus. Kondisi ini dapat menyebabkan nyeri dan tegang pada dubur atau anus. Penderita juga dapat mengalami perdarahan saat buang air besar.

k. Wasir

Wasir merupakan pembengkakan pembuluh darah di sekitar atau di dalam anus. Meskipun wasir bisa tidak menimbulkan gejala, pada beberapa kasus dapat menimbulkan gatal dan nyeri pada anus, serta keluarnya darah atau nanah saat atau setelah buang air besar.

● **Sistem Ekskresi**

Sistem ekskresi yaitu sistem pengeluaran zat sisa metabolisme dari dalam tubuh keluar tubuh. Sistem ekskresi sering diartikan keliru dengan sistem sekresi. Memang keduanya memiliki kemiripan, yaitu berhubungan dengan zat yang dikeluarkan dari dalam tubuh. Akan tetapi sesungguhnya keduanya berbeda. Zat sisa metabolisme dari sekresi tidak benar-benar dikeluarkan dari tubuh, melainkan masih digunakan lagi untuk keperluan yang lain. Sementara itu, ekskresi benar-benar mengeluarkan zat sisa metabolisme dari tubuh. Dengan kata lain, zat hasil ekskresi benar-benar tak bisa dimanfaatkan lagi oleh tubuh manusia.

a. Sistem Ekskresi Pada Hewan Invertebrata

Hewan invertebrate adalah hewan yang tidak memiliki tulang belakang. Hewan invertebrate adalah hewan yang ukurannya relative kecil dan bahkan ada yang mikroskopik, seperti cacing, insect (serangga), porifera, coelenterate, dan protozoa (baca pula sistem pernapasan hewan invertebrate). Berikut adalah sistem ekskresi dari hewan-hewan tersebut:

1) Porifera dan coelenterate

Porifera adalah hewan berpori sedangkan coelenterate adalah hewan berongga. Porifera dan coelenterate adalah hewan tingkat terendah. Baik porifera dan coelenterate mengeluarkan zat sisa metabolismenya tanpa alat ekskresi tertentu. Porifera dan coelenterata mengeluarkan zat sisa berupa karbon dioksida dengan cara gas tersebut berdifusi secara langsung dari sekujur tubuhnya.

2) Protozoa

Protozoa adalah hewan bersel satu. Contoh dari protozoa adalah amoeba dan paramecium. Sebenarnya amoeba tidak termasuk dalam kingdom animalia, melainkan Protista. Namun pada beberapa buku, protozoa dikelompokkan dalam kingdom animalia karena kemiripannya dengan hewan. Protozoa mengeluarkan zat sisa metabolisme tubuhnya juga dengan cara berdifusi secara langsung.

3) Insecta

Serangga mengeluarkan zat sisa metabolisme tubuhnya melalui pembuluh malphigi. Pembuluh malphigi terletak di dekat usus. Hal ini berguna karena pembuluh malphigi akan menyerap zat sisa dari darah dan menyalurkannya ke usus untuk kemudian dikeluarkan dari sana. Baca pula artikel sistem pernapasan pada serangga.

4) Cacing

Cacing dibagi menjadi tiga, yaitu Platyhelminthes, nemathelminthes, dan annelida. Secara umum, ketiganya memiliki sistem ekskresi yang mirip. Alat ekskresi cacing tanah bernama nefridia. Nefridia berpasangan dan terletak pada setiap segmen tubuh cacing tanah. Nefridia yang berpasangan disebut metanefridia.

Sedangkan cacing pipih memiliki alat ekskresi berupa sel api. Sel api akan menyerap zat sisa dari tubuh. Kemudian zat sisa akan dikeluarkan melalui saluran yang bermuara di permukaan tubuh.

b. Sistem Ekskresi pada Vertebrata

Hewan vertebrata adalah hewan bertulang belakang. Jenis ini dibagi lagi menjadi lima, sesuai urutan dari yang paling primitive ke yang paling modern adalah pisces,

amfibi, reptile, aves, dan mamalia (baca pula sistem pernapasan hewan vertebrata). Kelimanya memiliki sistem ekskresi yang berbeda sebagai berikut:

1) Pisces

Ikan memiliki tiga buah organ atau alat yang turut berperan dalam sistem ekskresi, yaitu insang, ginjal, dan kulit. Pada ikan, ginjal dan saluran genitalia bermuara di lubang yang sama, yaitu lubang urogenital. Sebenarnya hal ini juga berlaku mirip buat manusia, di mana saluran urin dan genital bermuara di tempat yang searea, namun berbeda lubang.

Sementara itu, insang dan kulit pada ikan berfungsi sebagai sistem pernapasan pada ikan. Insang akan membuka dan menutup sejalan dengan membuka dan menutupnya operculum. Lalu insang akan menyaring air yang masuk melaluinya dan mengikat oksigen yang ada di sana, lalu melepaskan karbon dioksida.

2) Amfibi

Amfibi adalah kelompok hewan yang dapat hidup baik di daratan maupun di air. Contoh dari hewan amfibi adalah katak dan salamander. Organ ekskresi dari amfibi adalah ginjal, paru-paru, dan kulit.

Ginjal pada amfibi sama halnya dengan pisces, juga bermuara pada saluran genitalia, bermuara pada kloaka. Seperti halnya pada manusia, ginjal pada amfibi juga menyaring dan membuang zat sisa metabolisme yang disebut dengan urin.

Sementara itu paru-paru dan kulit berperan dalam sistem pernapasan pada hewan amfibi. Pada amfibi, selain dilakukan oleh paru-paru selama di daratan, selama berada di air pernapasan dilakukan oleh kulit.

3) Reptil

Hewan reptil contohnya adalah cicak, ular, biawak, bunglon, dan buaya. Sama seperti hewan sebelumnya, alat sekresi pada reptile juga merupakan ginjal, paru-paru, dan kulit. Baca pula artikel mengenai sistem peredaran darah pada reptile. Ginjal berfungsi dalam pengeluaran urin. Pada beberapareptil seperti kura-kura, saluran ginjalnya sangatlah pendek. Bahkan untuk ular tidak memiliki kandung kemih yang berfungsi untuk menampung urin. Sementara itu, paru-paru dan kulit berperan dalam sistem pernapasan pada hewan reptile.

4) Aves

Aves adalah kelompok burung. Aves adalah hewan yang sistemnya telah mendekati mamalia. Oleh karena itu sistem ekskresinya juga mirip dengan mamalia. Alat ekskresinya adalah ginjal dan paru-paru.

5) Mamalia

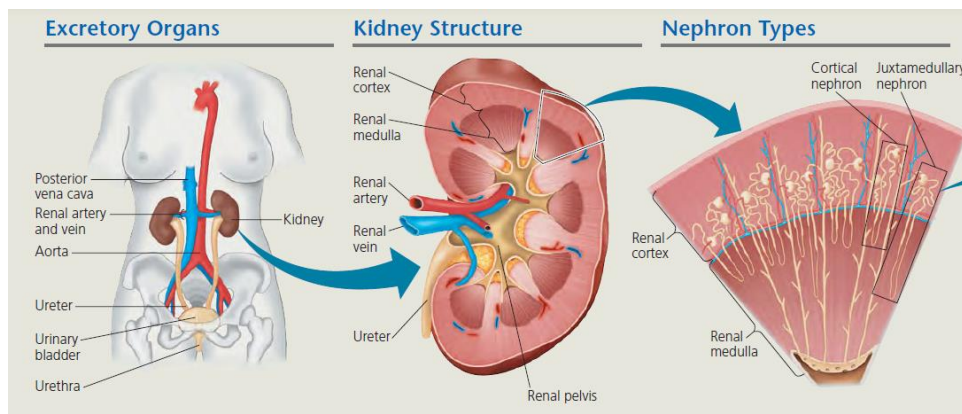
Salah satu ciri-ciri hewan mamalia yang paling terkenal adalah menyusui karena mamalia memang berarti hewan menyusui. Mamalia adalah kelompok hewan yang tertinggi. Bahkan beberapa buku mengelompokkan manusia sebagai bagian dari mamalia. Sistem-sistem pada tubuhnya mayoritas sama dengan manusia. Baca pula sistem peredaran darah pada mamalia.

Alat ekskresinya sama seperti manusia yaitu kulit, paru-paru, ginjal, dan hati. Kulit mengeluarkan keringat, ginjal mengeluarkan urin, hati mengeluarkan urea, dan paru-paru mengeluarkan karbon dioksida.

c. Sistem Ekskresi pada Manusia

Sistem ekskresi mengeluarkan zat sisa yang tidak dibutuhkan lagi oleh manusia. Pada anatomi tubuh manusia, organ-organ ekskresi terdiri dari ginjal, hati, kulit, dan paru-paru.

Sistem urinaria atau perkemihan termasuk ke dalam sistem ekskresi yang terdiri dari ginjal, ureter, kandung kemih, dan uretra. Ginjal menyaring darah untuk membuang limbah dan menghasilkan urine. Ureter, kandung kemih, dan uretra bersama-sama membentuk saluran kemih, yang berfungsi sebagai sistem untuk mengalirkan urine dari ginjal, menyimpannya, dan kemudian melepaskannya saat buang air kecil. Selain menyaring dan menghilangkan limbah dari tubuh, sistem urinaria juga mempertahankan homeostasis air, ion, pH, tekanan darah, kalsium, dan sel darah merah.



Gambar 41. Sistem Ekskresi pada Manusia

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Pembentukan urine terdiri dari tiga proses yaitu filtrasi (penyaringan), reabsorpsi (penyerapan kembali), dan augmentasi (pengumpulan) atau sekresi.

1) Filtrasi (penyaringan)

Setiap ginjal memiliki sekitar satu juta nefron, yang merupakan tempat pembentukan urine. Pada waktu tertentu, sekitar 20 persen dari darah akan melalui ginjal untuk disaring sehingga tubuh dapat menghilangkan zat-zat sisa metabolisme dan menjaga keseimbangan cairan, pH darah, dan kadar darah.

Bagian pertama dari proses pembentukan urine adalah filtrasi yaitu proses penyaringan darah yang mengandung zat sisa metabolisme yang dapat menjadi racun untuk tubuh. Filtrasi terjadi di badan malphigi yang terdiri dari glomerulus dan kapsul Bowman. Glomerulus menyaring air, garam, glukosa, asam amino, urea dan limbah lainnya untuk melewati kapsul Bowman. Hasil filtrasi ini menghasilkan urine primer.

Urine primer termasuk urea di dalamnya, yang dihasilkan dari amonia yang terkumpul ketika hati memproses asam amino dan disaring oleh glomerulus.

2) Reabsorpsi

Sekitar 43 galon cairan melewati proses filtrasi, tetapi sebagian besar diserap kembali sebelum dikeluarkan dari tubuh. Reabsorpsi terjadi di tubulus proksimal nefron, lengkung Henle (loop of Henle), tubulus distal dan tubulus pengumpul.

Air, glukosa, asam amino, natrium, dan nutrisi lainnya diserap kembali ke aliran darah di kapiler yang mengelilingi tubulus. Air bergerak melalui proses osmosis, yaitu pergerakan air dari area konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Hasil pada proses pembentukan urine ini adalah urine sekunder.

Biasanya semua glukosa diserap kembali. Namun, pada orang dengan diabetes, kelebihan glukosa tetap bertahan dalam filtrat. Natrium dan ion-ion lain diserap kembali secara tidak lengkap, dengan proporsi yang lebih besar tersisa dalam filtrat ketika lebih banyak dikonsumsi dalam makanan, menghasilkan konsentrasi darah yang lebih tinggi. Hormon mengatur proses transport aktif di mana ion seperti natrium dan fosfor diserap kembali.

3) Sekresi atau augmentasi

Sekresi adalah tahap terakhir dalam pembentukan urine, yaitu ketika urine akhirnya dibuang. Beberapa zat mengalir langsung dari darah di sekitar tubulus distal (distal convoluted tubule) dan tubulus pengumpul (collecting tubule) ke tubulus tersebut.

Sekresi alias pembuangan ion hidrogen melalui proses ini adalah bagian dari mekanisme tubuh untuk menjaga pH yang tepat, atau keseimbangan asam dan basa tubuh. Ion kalium, ion kalsium, dan amonia juga dibuang pada tahap ini, seperti beberapa obat. Ini supaya komposisi kimia darah tetap seimbang dan normal.

Prosesnya terjadi dengan meningkatkan pembuangan zat seperti kalium dan kalsium ketika konsentrasi tinggi dan dengan meningkatkan reabsorpsi dan mengurangi sekresi ketika tingkatnya rendah. Urine yang dibuat oleh proses ini kemudian mengalir ke bagian tengah ginjal yang disebut pelvis ginjal, kemudian terus mengalir ke ureter dan kemudian tersimpan di kandung kemih. Dari kandung kemih, urine selanjutnya mengalir ke uretra dan akan dibuang keluar saat buang air kecil.

d. Gangguan dan Kelainan pada sistem Ekskresi

Organ utama yang membantu dalam pembentukan urine adalah ginjal. Ginjal menyaring semua limbah dalam tubuh dan aliran darah. Hal ini menyebabkan

pembentukan urine yang memerah keluar dari tubuh. Penyakit umum yang memengaruhi ginjal adalah sebagai berikut:

1) Diabetes Insipidus

Diabetes insipidus adalah suatu penyakit yang penderitanya mengeluarkan urine terlalu banyak. Penyebab penyakit ini adalah kekurangan hormon ADH (Anti Diuretic Hormone). ADH adalah hormon yang memengaruhi proses reabsorpsi cairan pada ginjal. Bila kekurangan hormon ADH, jumlah urine dapat meningkat menjadi 30 kali lipat.

2) Glukosuria

Glukosuria adalah penyakit yang ditandai adanya glukosa dalam urine. Penyakit ini disebut juga kencing manis. Kadar gula dalam darah meningkat karena kekurangan hormon insulin. Nefron tidak mampu menyerap kembali kelebihan glukosa, sehingga kelebihan glukosa dibuang bersama urine.

3) Batu ginjal

Batu ginjal dapat terbentuk karena pengendapan garam kalsium di dalam rongga ginjal, saluran ginjal, dan kantong kemih. Batu ginjal terbentuk kristal yang tidak bisa larut dan mengandung kalsium oksalat, asam urat, dan kristal kalsium fosfat. Penyebabnya adalah karena terlalu banyak mengonsumsi garam mineral dan terlalu sedikit mengonsumsi air. Batu ginjal tersebut dapat menimbulkan hidronefosis (membesarnya ginjal karena urine tidak dapat mengalir keluar) hal itu akibat penyempitan aliran ginjal atau tersumbat oleh batu ginjal.

4) Gagal ginjal

Gagal ginjal adalah kelainan ginjal yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Penyakit ini disebabkan karena kondisi yang mengganggu fungsi ginjal. Penyakit ini terbagi menjadi 2 yaitu penyakit ginjal semestara dan penyakit ginjal tetap. Penderita penyakit ginjal sementara dapat ditolong dengan cuci darah. Sedangkan penderita penyakit ginjal tetap dapat ditolong dengan cangkok ginjal.

5) Nefritis

Nefritis adalah peradangan pada ginjal yang terjadi karena infeksi bakteri penyakit pada nefron. Bakteri ini masuk melalui saluran pernapasan kemudian dibawa

darah ke ginjal. Karena infeksi ini nefron mengalami peradangan sehingga protein dan sel-sel darah yang masuk bersama urine primer tidak dapat disaring dan keluar bersama urine.

6) Albuminuria

Albuminuria adalah penyakit gangguan sistem ekskresi yang ditandai dengan urine penderita mengandung albumin. Albumin merupakan protein yang bermanfaat bagi manusia karena berfungsi untuk mencegah agar cairan tidak terlalu banyak keluar dari darah. Penyakit ini menyebabkan terlalu banyak albumin yang lolos dari saringan ginjal dan terbuang bersama urine.

- **Sistem Otot**

Sistem otot terdiri dari sekitar 650 otot yang membantu pergerakan, aliran darah, dan fungsi tubuh lainnya. Ada tiga jenis otot yaitu otot rangka yang terhubung dengan tulang, otot polos yang ditemukan di dalam organ pencernaan, dan otot jantung yang ditemukan di jantung dan membantu memompa darah.



Gambar 42. Sistem otot pada Manusia

Sumber: <https://www.britannica.com>

a. Fungsi sistem otot manusia

Setiap jenis otot manusia memiliki fungsinya masing-masing. Berikut beberapa fungsi dari sistem otot manusia.

1) Melakukan gerakan tubuh

Otot rangka bertanggung jawab atas gerakan yang Anda lakukan. Otot rangka melekat pada tulang dan sebagian dikendalikan oleh sistem saraf pusat (SSP). Manusia menggunakan otot rangka kapan pun untuk bergerak. Otot mengikuti arah gerakan yang diinginkan, bersama-sama dengan tulang dan tendon.

2) Membantu dalam peredaran darah manusia

Otot jantung dan otot polos yang tidak disadari membantu detak jantung dan aliran darah ke seluruh tubuh dengan menghasilkan impuls listrik. Otot jantung ditemukan di dinding jantung. Ini dikendalikan oleh sistem saraf otonom yang bertanggung jawab untuk sebagian besar fungsi tubuh. Pembuluh darah sendiri terdiri dari otot polos, dan juga dikendalikan oleh sistem saraf otonom.

3) Pernapasan

Diafragma adalah otot utama yang bekerja selama pernapasan. Saat bernapas lebih berat, seperti saat sedang berolahraga, diafragma memerlukan bantuan dari otot lain, seperti otot perut, otot leher, dan otot punggung.

4) Proses pencernaan

Pencernaan dikendalikan oleh otot-otot polos yang ditemukan di saluran pencernaan. Otot polos melemas dan menegang saat makanan melewati tubuh selama pencernaan. Otot-otot ini juga membantu mendorong makanan keluar dari tubuh melalui buang air besar, atau muntah ketika sakit.

5) Persalinan

Otot polos juga ditemukan di rahim. Selama kehamilan, otot-otot ini tumbuh dan meregang saat bayi tumbuh. Saat proses melahirkan, otot polos di rahim berkontraksi dan relaksasi untuk membantu mendorong bayi melewati vagina.

6) Keseimbangan

Otot rangka membantu melindungi tulang belakang dan membantu keseimbangan. Dalam otot ada yang disebut dengan otot inti, yang termasuk otot perut, otot punggung, dan otot panggul. Semakin kuat otot inti, maka akan keseimbangan tubuh semakin baik.

7) Mengatur postur tubuh

Otot rangka juga mengatur postur tubuh. Kelenturan dan kekuatan adalah kunci untuk mempertahankan postur yang tepat. Otot-otot leher kaku, otot punggung yang lemah, atau otot-otot pinggul yang kaku dapat merusak keselarasan. Postur yang buruk dapat memengaruhi bagian tubuh dan menyebabkan nyeri sendi dan otot yang lebih lemah.

b. Gangguan dan Kelainan pada Sistem Otot

Secara garis besar, kelainan pada otot bisa dikategorikan menjadi dua, yaitu kelainan bawaan (inherited) dan kelainan yang didapat (acquired). Beberapa kondisi yang termasuk dalam kelainan otot bawaan yakni:

1) Distrofi otot

Distrofi otot adalah kelainan bawaan yang menyebabkan penurunan dan kelemahan massa otot secara bertahap. Kondisi yang termasuk distrofi otot antara lain adalah distrofi otot Duchenne, distrofi otot Becker, distrofi mionik, distrofi otot facioscapulohumeral, serta distrofi otot anggota gerak dan badan (Limb-girdle dystrophy).

2) Miopati kongenital

Kelainan otot jenis ini biasanya ditandai dengan keterlambatan perkembangan pada keterampilan motorik, serta kelainan otot rangka dan wajah sejak lahir. Kelainan otot jenis ini umumnya mulai terlihat sejak lahir atau sebelum usia 2 tahun. Miopati nemaline dan miopati central core adalah jenis miopati kongenital yang umum ditemukan.

3) Miopati mitokondria

Miopati yang satu ini disebabkan oleh kelainan genetik pada mitokondria, yaitu komponen di dalam sel yang berfungsi menghasilkan energi.

4) Miopati metabolik

Kelainan otot juga dapat terjadi karena adanya masalah pada enzim di dalam tubuh yang berperan dalam metabolisme otot. Kelainan otot metabolik bisa disebabkan oleh beberapa kondisi, seperti defisiensi carnitine, kelainan oksidasi asam lemak, defisiensi carnitine palmitoyl transferase, gangguan penyimpanan glikogen, defisiensi asam maltase (penyakit Pompe).

5) Miopati inflamatori

Kelainan otot yang disebabkan oleh peradangan otot kronis. Miopati inflamatori yang umum terjadi adalah polimiositis dan dermatomiositis.

Polimiositis memengaruhi otot rangka di kedua sisi tubuh dan umumnya terjadi pada rentang usia 30 dan 60 tahun. Tanda dan gejala polimiositis bervariasi dari orang ke orang. Sedangkan kelainan otot dermatomiositis ditandai dengan munculnya ruam kulit yang disertai kelemahan otot. Orang dewasa penderita dermatomiositis mungkin mengalami penurunan berat badan atau demam ringan, radang paru-paru, dan sensitif terhadap cahaya.

6) Miopati infeksi

Ini adalah kelainan otot yang disebabkan oleh infeksi virus, bakteri dan parasit. Infeksi virus yang menyebabkan miopati antara lain HIV, virus influenza, dan virus Epstein-Barr. Sedangkan infeksi bakteri dan parasit yang bisa menyebabkan kelainan otot adalah infeksi *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus*, *Spirochaeta* (penyebab penyakit Lyme), dan infeksi parasit *Trichinella* (penyebab trichinosis). Dalam kasus yang sangat jarang, infeksi jamur juga bisa menyebabkan kelainan otot.

7) Miopati karena obat-obatan (toxic myopathy)

Gangguan atau kelainan pada otot juga bisa disebabkan oleh efek samping obat-obatan tertentu, seperti kortikosteroid, obat penurun kolesterol golongan statin, obat antimalaria chloroquine, obat asam urat colchicine, dan obat golongan NAPZA seperti kokain. Minuman beralkohol dan zat kimia beracun juga bisa menjadi penyebabnya.

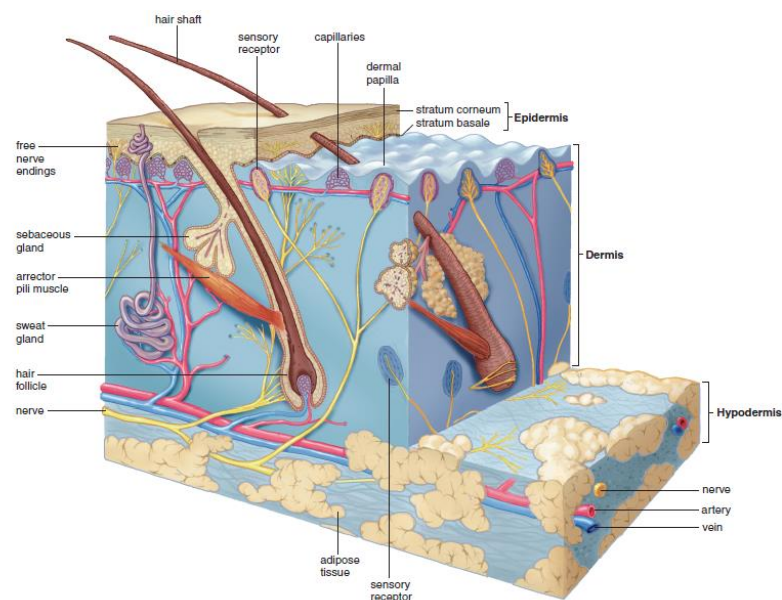
8) Miopati yang terkait penyakit sistemik

Miopati jenis ini terjadi akibat adanya penyakit yang menyerang sistem organ tertentu di dalam tubuh. Kelainan otot jenis ini dapat disebabkan oleh banyak penyakit seperti gangguan tiroid, penyakit autoimun seperti lupus dan rheumatoid arthritis, gangguan elektrolit, gizi buruk, dan critical illness myopathy atau kelainan otot akibat kondisi kritis pada pasien yang terlalu lama berada di ruangan ICU.

- **Sistem Integumen**

Kulit atau sistem integumen adalah organ terbesar dalam anatomi tubuh manusia. Sistem ini melindungi dari dunia luar, dan merupakan pertahanan pertama tubuh melawan bakteri, virus dan patogen lainnya. Kulit juga membantu mengatur suhu tubuh dan menghilangkan limbah zat sisa melalui keringat.

Kata integumen itu sendiri berasal dari bahasa latin yaitu *integumentum*, yang artinya adalah penutup. Sistem integumen adalah suatu sistem organ membedakan, memisahkan, melindungi, dan menginformasikan hewan atau manusia terhadap lingkungan sekitarnya. Sistem integumen ini meliputi kulit,ambut, bulu, sisik, kuku, kelenjar keringat dan produknya seperti misalnya keringat atau lendir.



Gambar 43. Penampang kulit

Sumber: Losos, J. B., Mason, K. A., Singer, S. R., Raven, P. H., & Johnson, G. B. (2008). *Biology*.

Seluruh bagian tubuh manusia di bagian terluar dibungkus oleh sistem, yang disebut dengan sistem integumen. Jadi sistem integumen adalah bagian sistem organ pada manusia di bagian terluar. Sistem ini terdiri dari kulit dan juga aksesorisnya, termasuk pada kuku, rambut, kelenjar seperti keringat dan sebaceous, serta reseptor saraf khusus. Yang menstimuli perubahan internal dan lingkungan eksternal. Sesuai dengan fungsinya, beberapa organ pada integumen memiliki fungsi yaitu untuk menutup organ atau jaringan pada manusia di bagian luar.

Sistem integumen manusia ini terdiri dari kulit, kuku, rambut, kelenjar keringat, kelenjar minyak dan kelenjar susu. Sistem integumen juga mampu memperbaiki dirinya sendiri, serta memiliki mekanisme pertahanan tubuh yang pertama. Atau sebagai pembatas diantara lingkungan di luar tubuh dan di dalam tubuh.

Kulit adalah organ tubuh pada manusia yang kontribusinya paling luas, pada total berat tubuhnya dengan jumlah 7%. Keberadaan kulit ini memiliki peranan yang penting, dalam mencegah terjadinya kehilangan cairan yang berlebihan. Serta mencegah masuknya agen yang ada di lingkungan misalnya bakteri, kimia dan radiasi ultraviolet. Kulit akan menahan jika terjadi beberapa kekuatan mekanik, seperti misalnya gesekan, getaran, dan dapat mendeteksi perubahan fisik pada lingkungan luar. Dengan demikian hal itu memungkinkan seseorang untuk menghindari terjadinya stimuli yang tidak nyaman. Kulit juga membangun sebuah barier yang memisahkan beberapa organ internal, dengan lingkungan luarnya. Serta ikut berpartisipasi dalam berbagai fungsi tubuh yang vital.

Gangguan dan Kelainan pada sistem Integumen

Penyakit kulit atau integumen banyak ditemukan timbulnya dari kesalahan penderita sendiri, misalnya kesehatan kurang baik atau tidak memperhatikan kondisi kulit. Berikut ini adalah macam-macam penyakit kulit yang sering terjadi:

a. Bisul (furunkel)

Bisul adalah infeksi kulit berbentuk benjolan merah dan dapat membesar. Bisul dapat tumbuh di seluruh sisi tubuh, namun bisul lebih sering ditemukan di bagian tubuh yang lembap, seperti lipatan paha, sela bokong, leher, ketiak hingga kepala.

Bisul disebabkan karena adanya infeksi bakteri stafilokokus aureus pada kulit yang melewati folikel rambut, kelenjar minyak, kelenjar keringat, lantas menyebabkan infeksi lokal. Faktor yang menambah risiko terkena bisul diantaranya kebersihan yang buruk, luka yang terinfeksi, pelemahan diabetes, kosmetik yang menyumbat pori, serta penggunaan bahan kimia. Untuk menghindari bisul, jaga kebersihan diri serta lingkungan, dan konsumsi gizi yang seimbang.

b. Kudis (skabies)

Kudis adalah penyakit kulit yang disebabkan oleh parasit tungau yakni *sarcoptes scabiei var hominis*. Orang yang terjangkit penyakit kulit kudis biasanya tinggal di tempat kumuh serta tidak melindungi kebersihan tubuhnya. Tanda-tanda kudis yaitu ada rasa gatal yang demikian hebat saat malam hari, terlebih di sela-sela jari kaki, tangan, di bawah ketiak, alat kelamin, pinggang dan sebagainya. Kudis amat mudah menular pada orang lain.

c. Eksim (dermatitis)

Tanda-tanda utama yang dirasakan pasien penyakit kulit eksim yaitu rasa gatal berlebih pada kulit dibarengi dengan kulit memerah, bersisik serta pecah-pecah, hingga timbul gelembung-gelembung kecil yang mengandung air atau nanah. Tangan, kaki, lipatan paha serta telinga yaitu sisi tubuh yang sangat berisiko terkena eksim.

Eksim disebabkan karena alergi pada rangsangan zat kimia spesifik seperti detergen, sabun, obat-obatan serta kosmetik. Sementara kepekaan pada tipe makanan spesifik seperti udang, ikan laut, telur, daging ayam, alkohol, vetsin (msg), dan sebagainya. Eksim juga bisa dikarenakan alergi serbuk sari tanaman, debu, iklim, hingga masalah emosi. Eksim sering kali menyerang orang-orang yang memiliki kecenderungan alergi.

d. Kurap

Kurap disebabkan karena adanya jamur. Gejala yang mudah dikenali adalah timbul lingkaran-lingkaran yang bersisik, bercak putih, lembap, dan disertai rasa gatal. Penyakit kulit urap timbul dikarenakan kurangnya menjaga kebersihan kulit. Bagian tubuh yang sering diserang kurap yakni tengkuk, leher serta kulit kepala.

e. Melanoma

Melanoma adalah kanker kulit berbahaya yang bisa mengakibatkan kematian bila tidak diobati. Melanoma amat beresiko bila nampak pada leher atau kulit kepala. Melanoma menunjukkan tanda berbahaya apabila tahi lalat yang ada pada kulit semakin membesar, mengalami perubahan warna dan menunjukkan gejala peradangan.

f. Herpes

Jenis penyakit kulit herpes sering menjangkit orang dewasa. Tanda munculnya penyakit ini adalah adanya ruam tidak rata dan berukuran kecil yang akhirnya melepuh. Dampak yang dirasa penderita adalah rasa perih dan gatal serta membuat kulit menjadi lebih sensitif. Daerah kulit yang sering terkena adalah daerah tubuh yang lembap seperti lipatan paha, bokong atau bagian tubuh lainnya.

g. Jerawat

Ini merupakan jenis penyakit kulit yang cukup populer karena sekitar 80% orang pernah mengalami hal ini. Jerawat disebabkan karena masalah pada kelenjar minyak kulit. Untuk diketahui, pori-pori terhubung ke kelenjar oleh kanal yang disebut folikel. Ketika folikel dari kelenjar kulit tersumbat, maka timbulah jerawat.

h. Psoriasis

Psoriasis termasuk salah satu penyakit kulit yang sulit untuk didiagnosa. Bagian tubuh yang biasa terkena eksim biasanya sama dengan bagian tubuh yang terkena psoriasis. Kulit kepala, punggung sisi bawah, telapak tangan, serta telapak kaki adalah beberapa bagian tubuh yang rawan terkena psoriasis. Stres, trauma, serta tingkat kalsium yang rendah juga bisa mengakibatkan psoriasis.

Tanda-tanda psoriasis yaitu munculnya bercak-bercak merah dan di atasnya ada sisik-sisik putih berlapis-lapis. Apabila digaruk, sisik-sisik tersebut dapat rontok. Meski pada awalnya luas permukaan kulit yang terkena kecil, psoriasis bisa semakin melebar jika tidak segera ditangani.

● **Sistem Reproduksi**

Sistem reproduksi memungkinkan manusia untuk bereproduksi. Sistem reproduksi pria mencakup penis dan testis, yang menghasilkan sperma.

a. Penis

Penis adalah organ vital pria yang digunakan untuk berhubungan seksual. Di saat mencapai klimaks seksual, sperma keluar melalui saluran di dalam penis.

b. Skrotum

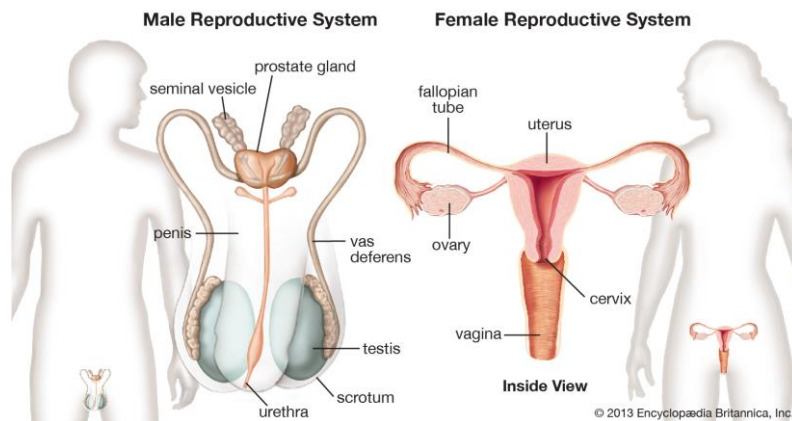
Skrotum adalah kantong kulit yang menggantung pada pangkal penis. Kantong kecil dan berotot ini melindungi testis, beserta saraf dan pembuluh darah.

c. Testis

Testis adalah organ paling penting dari sistem reproduksi laki-laki yang terletak di dalam skrotum. Testis merupakan kelenjar di mana sperma dan testosteron diproduksi. Selain itu, struktur organ reproduksi pria didukung oleh organ internal yang juga dikenal sebagai organ aksesoris. Organ-organ ini bermanfaat untuk membantu menjalankan fungsi produksi, penyimpanan dan keluarnya sperma meliputi uretra, vas deferens, epididimis, vesikula seminalis, duktus ejakulatorius, kelenjar prostat dan kelenjar bulbourethral.

Kinerja organ-organ reproduksi pria akan bergantung pada kondisi hormon reproduksi dalam tubuh pria, yakni testosteron yang memiliki manfaat dalam perkembangan karakteristik seorang pria termasuk fisik dan gairah seksual, serta FSH (follicle stimulating hormone) dan LH (luteinizing hormone) yang bekerja membantu produksi sperma.

Sistem reproduksi wanita terdiri dari vagina, rahim dan ovarium, yang menghasilkan ovum (sel telur). Selama pembuahan, sel sperma bertemu dengan sel telur di tuba falopi. Kedua sel tersebut kemudian melakukan pembuahan yang ditanamkan dan tumbuh di dinding rahim. Bila tidak dibuahi, dinding rahim yang telah menebal untuk mempersiapkan kehamilan akan luruh menjadi menstruasi.



Gambar 44. Sistem Reproduksi pada Manusia

Sumber: <https://www.britannica.com>

Bagi wanita, struktur organ reproduksinya lebih banyak terletak di bagian dalam tubuh (organ reproduksi internal), meliputi:

a. Tuba Falopi

Organ ini berbentuk tabung kecil yang menempel bagian atas rahim. Tuba falopi berfungsi sebagai jalur sel telur untuk bergerak dari ovarium ke rahim.

b. Ovarium

Ovarium adalah kelenjar berbentuk oval kecil yang terletak di kedua sisi rahim. Ovarium menghasilkan sel telur dan hormon estrogen serta progesteron.

c. Vagina & Serviks

Vagina adalah jalur yang menghubungkan serviks (mulut rahim) ke bagian luar tubuh. Vagina dikenal juga sebagai jalan lahir. Pada saat berhubungan seksual, penis akan masuk ke dalam organ ini.

d. Uterus (Rahim)

Rahim adalah organ berongga berbentuk seperti buah pir yang merupakan tempat bagi janin berkembang semasa kehamilan.

Organ reproduksi wanita dilengkapi dengan organ reproduksi eksternal pada wanita yakni labium mayor, labium minor, kelenjar Bartholin dan klitoris. Organ-organ eksternal ini berfungsi untuk memicu hasrat seksual pada wanita,

melindungi organ reproduksi internal wanita dari berbagai penyebab infeksi, dan juga memiliki peran dalam memungkinkan sperma untuk memasuki tubuh wanita, guna mencapai sel telur.

Sistem reproduksi wanita bekerja bersama dengan empat hormon reproduksi utama yakni FSH dan LH yang membantu proses pembentukan sel telur di ovarium, serta estrogen dan progesteron yang berperan penting untuk kehamilan.

Sistem reproduksi pada manusia, baik itu pria maupun wanita, memiliki keunikan dengan fungsinya masing-masing. Kesehatan setiap organ dalam sistem reproduksi perlu dijaga dengan baik, dimulai dari pola hidup yang sehat, hingga perilaku seksual yang aman, demi menunjang proses reproduksi dan kesehatan tubuh secara keseluruhan.

Gangguan dan Kelainan pada sistem Reproduksi

a. Vaginitis

Vaginitis adalah penyakit pada sistem reproduksi wanita dengan kondisi vagina yang mengalami infeksi. Infeksi pada vagina disebabkan oleh beberapa jenis mikroorganisme, yaitu seperti bakteri, jamur, dan parasit.

b. Condiloma accuminata

Condiloma Accuminata adalah penyakit pada sistem reproduksi wanita yang disebabkan oleh virus yang tak asing lagi. Virus yang dimaksud adalah virus Human Papiloma.

Virus tersebut juga merupakan virus penyebab kutil. Wanita yang mengalami penyakit condiloma accuminata sebaiknya segera diobati. Hal ini dikarenakan obat condiloma accuminata bisa berkembang menjadi kanker pada organ lainnya seperti rahim wanita.

c. Kanker ovarium

Kanker ovarium juga termasuk ke dalam penyakit pada sistem reproduksi wanita. Penyakit ini berawal dari kista ovarium yang merupakan tumor jinak dan kecil di dalam rahim.

Kista ovarium yang paling sering terjadi adalah kista dermoid, kista lutein, dan kista cokelat. Tumor jinak atau kista ovarium tersebut lambat laun akan berkembang menjadi semakin besar dan ganas yang menjadi kanker ovarium.

Tumor ganas ovarium (kanker ovarium) dengan ukuran besar dapat menyebabkan kelainan letak janin. Penyebab penyakit kanker ovarium disebabkan oleh gaya hidup yang keliru, asupan, kurang olahraga, dan lainnya. Berhati-hatilah jika memiliki siklus menstruasi yang tidak teratur karena itu merupakan gejala dari penyakit kanker ovarium.

d. Kanker serviks

Kanker serviks adalah penyakit pada sistem reproduksi wanita yang juga umum terjadi. Penyakit ini disebabkan karena adanya sel-sel abnormal yang tumbuh pada lapisan epitel serviks. Sel abnormal tersebut akan terus tumbuh dengan ganas.

Hal tersebut membuat jaringan yang ada di sekitar leher rahim jadi kurang berfungsi. Pengobatan kanker serviks umumnya dilakukan dengan mengangkat rahim, oviduk, ovarium, sepertiga dari vagina (bagian atas).

e. Kanker payudara

Kanker payudara adalah salah satu penyakit pada sistem reproduksi wanita. Meski pria juga memiliki payudara, namun penyakit yang satu ini lebih rentan menyerang wanita sebab jaringan lemak pada payudara wanita jauh lebih besar jika dibandingkan dengan pria.

f. Prostatitis

Penyakit pada sistem reproduksi pria yang umumnya sering terjadi adalah prostatitis. Prostatitis adalah penyakit pada sistem reproduksi pria di mana kelenjar prostat mengalami infeksi.

Penyebab dari prostatitis adalah bakteri. Bakteri yang menginfeksi kelenjar prostat pria adalah *E. coli*, *Klebsiella*, dan *Proteus*. Pria yang mengalami prostatitis akan memiliki beberapa gejala seperti sulit ejakulasi, gagal ereksi, disuria, dan demam.

g. Epididimitis

Penyakit pada sistem reproduksi pria yang disebabkan karena adanya infeksi pada organ reproduksi pria. Penyakit tersebut adalah epididimitis. Epididimitis adalah kondisi di mana bagian epididimis mengalami peradangan.

Beberapa bakteri yaitu *Chlamydia trachomatis*, *E. coli*, dan *Neisseria gonorrhoeae* adalah jenis bakteri yang sering menyebabkan penyakit epididimitis. Penyakit ini sering menimpa para pria yang suka berganti-ganti pasangan seks

h. Sifilis

Penyakit pada sistem reproduksi lainnya adalah sifilis. Penyakit sifilis juga biasa disebut 'raja singa'. Sifilis bisa terjadi karena aktivitas seksual. Selain itu, bisa juga karena transfusi darah. Bakteri yang menyebabkan sifilis adalah bakteri *Reponema Pallium*.

i. Gonorhea

Gonorhea atau kencing nanah juga merupakan penyakit reproduksi pria yang sering terjadi. Penyebab dari gonorhea adalah bakteri *Neisseria Gonorrhoeae*. Penyakit ini ditularkan melalui aktivitas seksual yang bebas dan menyimpang.

j. Hipogonadisme

Penyakit pada sistem reproduksi lainnya pada pria adalah hipogonadisme. Hipogonadisme adalah kondisi di mana testis pria tidak dapat memproduksi hormon testosteron yang cukup. Masalah ini bisa dialami sejak janin berkembang di perut.

4. Reproduksi Sel dan Hereditas

- **Reproduksi Sel**

Sel merupakan bagian terkecil yang menyusun tubuh kita. Setiap sel dapat memperbanyak diri dengan membentuk sel-sel baru melalui proses yang disebut pembelahan sel atau reproduksi sel. Pada organisme bersel satu (uniseluler) seperti bakteri dan protozoa, proses pembelahan sel merupakan salah satu cara untuk berkembang biak. Protozoa melakukan pembelahan sel dari satu sel

menjadi dua, dari dua sel menjadi empat, dan dari empat sel menjadi delapan, dan seterusnya.

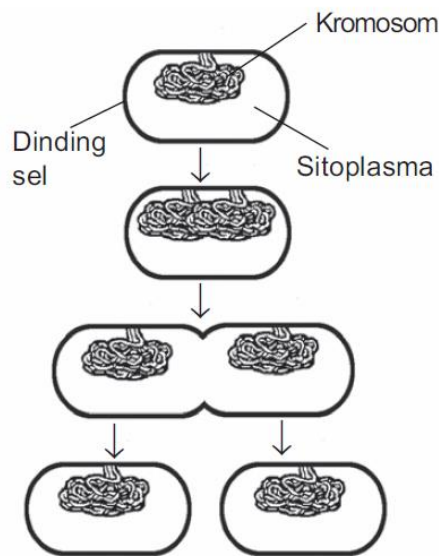
Pada makhluk hidup bersel banyak (multiseluler) pembelahan sel mengakibatkan bertambahnya sel-sel tubuh yang mengakibatkan terjadinya proses pertumbuhan pada makhluk hidup. Pembelahan sel juga berlangsung pada sel kelamin atau sel gamet yang bertanggung jawab dalam proses perkawinan antar individu. Setelah dewasa, sel kelenjar kelamin pada tubuh manusia membelah membentuk sel-sel kelamin. Seorang laki-laki menghasilkan sperma di dalam testis, sedangkan wanita menghasilkan sel telur atau ovum di dalam ovarium.

Pada dasarnya, pembelahan sel dibedakan menjadi dua, yaitu pembelahan secara langsung (amitosis) dan pembelahan secara tidak langsung (mitosis dan meiosis).

a. Pembelahan Sel secara Langsung (Amitosis)

Proses pembelahan secara langsung disebut juga pembelahan amitosis atau pembelahan biner. Pembelahan biner merupakan proses pembelahan dari 1 sel menjadi 2 sel tanpa melalui fase-fase atau tahap-tahap pembelahan sel (Gambar 3.1). Pembelahan biner banyak dilakukan organisme uniseluler (bersel satu) seperti bakteri, protozoa, dan mikroalga (alga bersel satu yang bersifat mikroskopis). Setiap terjadi pembelahan biner, satu sel akan membelah menjadi dua sel yang identik (sama persis satu dengan yang lain). Dua sel ini akan membelah lagi menjadi empat, begitu seterusnya.

Pembelahan biner dimulai dengan pembelahan inti sel menjadi dua, kemudian diikuti pembelahan sitoplasma. Akhirnya, sel terbelah menjadi dua sel anakan. Pembelahan biner dapat terjadi pada organisme prokariotik atau eukariotik tertentu. Perbedaan antara organisme prokariotik dan eukariotik, terutama berdasarkan pada ada tidaknya membran inti selnya. Membran inti sel tersebut membatasi cairan pada inti sel (nukleoplasma) dengan cairan di luar inti sel, tempat terdapatnya organel sel (sitoplasma). Organisme prokariotik tidak mempunyai membran inti sel, sedangkan organisme eukariotik mempunyai membran inti sel. Oleh karena itu, eukariotik dikatakan mempunyai inti sel (nukleus) sejati.

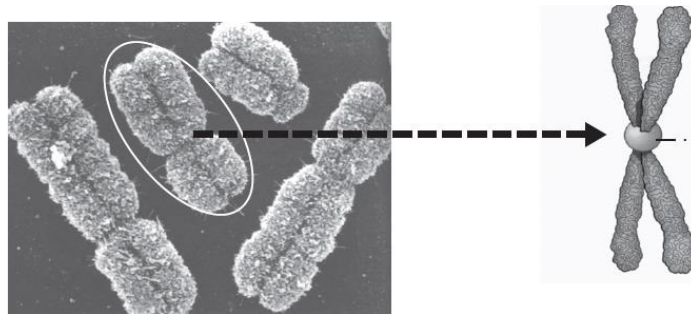


Gambar 45. Pembelahan Amitosis

Pembelahan biner pada organisme prokariotik terjadi pada bakteri. DNA bakteri terdapat pada daerah yang disebut nukleoid. DNA pada bakteri relatif lebih kecil dibandingkan dengan DNA pada sel eukariotik. DNA pada bakteri berbentuk tunggal, panjang dan sirkuler sehingga tidak perlu dikemas menjadi kromosom sebelum pembelahan.

b. Pembelahan Sel secara Tidak Langsung (Mitosis dan Meiosis)

Pembelahan sel secara tidak langsung adalah pembelahan yang melalui tahapan-tahapan tertentu. Setiap tahapan pembelahan ditandai dengan penampakan kromosom yang berbeda-beda. Di dalam inti sel terdapat benang-benang kromatin. Ketika sel akan membelah, benang-benang kromatin ini menebal dan memendek, yang kemudian disebut kromosom. Kromosom dapat berikatan dengan warna tertentu sehingga mudah diamati dengan mikroskop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kromosom merupakan benang pembawa sifat. Di dalam kromosom terdapat gen sebagai faktor pembawa sifat keturunan. Gambar kromosom ketika menebal dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 46. Kromosom

Pada waktu sel sedang membelah terjadi proses pembagian kromosom di dalamnya. Keadaan kromosom selama sel membelah dibedakan menjadi fase-fase atau tahap-tahap pembelahan sel. Pembelahan sel yang terjadi melalui fase-fase itulah yang disebut pembelahan secara tidak langsung.

Pembelahan sel secara tidak langsung dibedakan menjadi dua, yaitu pembelahan mitosis dan meiosis. Proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan atau organ tubuh organisme terjadi melalui proses pembelahan sel secara mitosis. Pembelahan mitosis adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom sama dengan jumlah kromosom induknya. Proses pembelahan mitosis terjadi pada semua sel tubuh makhluk hidup, kecuali pada jaringan yang menghasilkan gamet (sel kelamin).

Pada pembelahan mitosis, satu sel induk membelah diri menjadi dua sel anakan. Sel anakan ini mewarisi sifat sel induknya dan memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya. Jika sel induk memiliki $2n$ kromosom, maka setiap sel anakan juga memiliki $2n$ kromosom. Jumlah $2n$ ini disebut juga kromosom diploid.

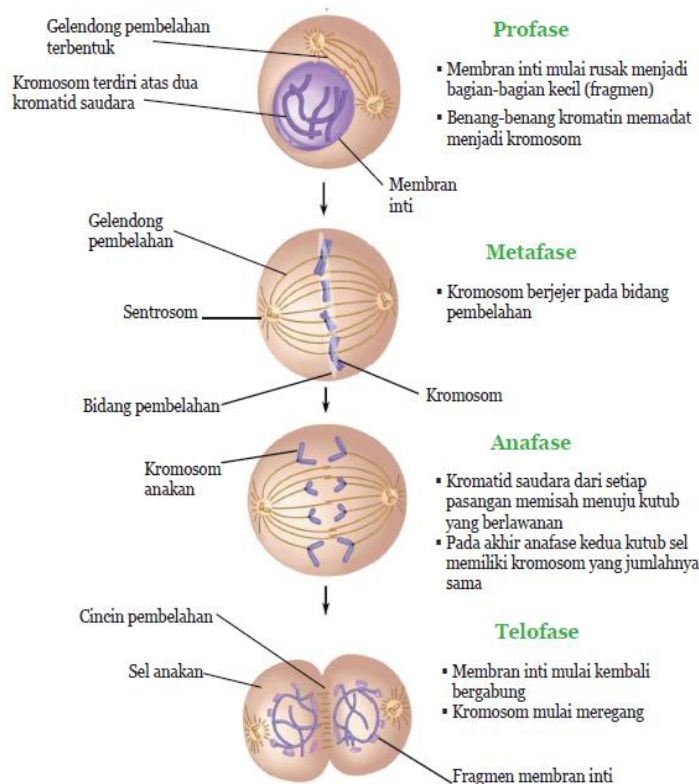
Pembelahan mitosis terjadi selama pertumbuhan dan reproduksi secara asexual. Pada manusia dan hewan, pembelahan mitosis terjadi pada sel meristem somatik (sel tubuh) muda yang mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Sebagai contoh, sel telur yang telah dibuahi sperma akan membelah beberapa kali secara mitosis untuk membentuk embrio. Sel-sel pada embrio ini terus menerus membelah secara mitosis dan akhirnya terbentuk bayi. Pertumbuhan manusia dari bayi hingga dewasa juga melalui mekanisme pembelahan sel secara mitosis.

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

sel anakan. Setiap sel anakan mengandung separuh kromosom sel induk atau disebut haploid (n). Pembelahan meiosis terjadi pada proses pembentukan sel gamet (sel kelamin) pada organ reproduksi (testis atau ovarium). Pada manusia atau hewan, sperma yang haploid dihasilkan di dalam testis dan sel telur yang juga haploid dihasilkan di dalam ovarium. Pada tumbuhan berbunga, sel gamet dihasilkan di dalam putik dan benang sari. Pembentukan gamet jantan dan gamet betina terjadi melalui tahapan gametogenesis. Penyatuan kedua gamet akan menghasilkan zigot dengan variasi genetik. Ini disebabkan karena sel anakan merupakan hasil penyatuan dua sel yang berbeda materi genetiknya. Perpaduan ini menyebabkan adanya variasi genetik.

c. Pembelahan Mitosis

Pembelahan sel secara mitosis meliputi sejumlah tahapan tertentu. Sebenarnya, pembelahan mitosis hanyalah sebagian kecil dari siklus sel. Siklus sel terdiri dari fase pembelahan mitosis (M) dan periode pertumbuhan yang disebut interfase. Interfase merupakan bagian terbesar dari siklus sel. Interfase terdiri dari tiga sub fase, yaitu fase G1 (pertumbuhan primer), fase S (sintesis), dan fase G2 (pertumbuhan sekunder) (Gambar 3.4). Pembelahan mitosis merupakan pembelahan yang menghasilkan sel-sel tubuh (sel somatik). Secara garis besar, pembelahan sel secara mitosis terdiri dari fase istirahat (interfase), fase pembelahan inti sel (kariokinesis), dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Adapun tahapan pembelahan Mitosis dapat dilihat pada gambar 47.

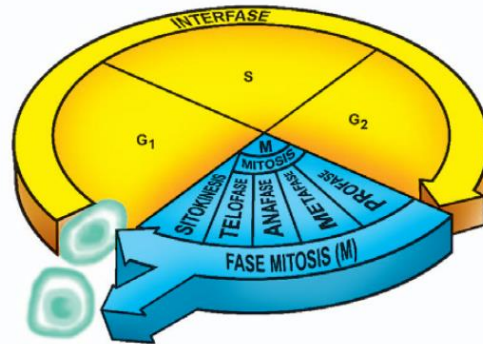


Gambar 47. Tahapan pembelahan Mitosis

Sumber: Campbell Biology, 2012

Interfase (Fase Istirahat)

Pada tahap ini, sel dianggap sedang istirahat dan tidak melakukan pembelahan. Namun, interfase merupakan tahap yang penting untuk mempersiapkan pembelahan atau melakukan metabolisme sel. Pada interfase, tingkah laku kromosom tidak tampak karena berbentuk benang-benang kromatin yang halus. Walaupun begitu, sel anak yang baru terbentuk sudah melakukan metabolisme. Sel perlu tumbuh dan melakukan berbagai sintesis sebelum memasuki proses pembelahan berikutnya. Pada saat interfase, sel mengalami subfase berikut.



Gambar 48. Tahapan Interfase

Sumber: Campbell Biology, 2012

Fase Pertumbuhan Primer (Growth 1 disingkat G1)

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

Fase Sintesis (S)

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

Fase Pertumbuhan Sekunder (Growth 2 disingkat G2)

Setelah DNA mengalami replikasi, subfase berikutnya adalah pertumbuhan sekunder (G₂). Pada subfase ini, sel memperbanyak organel-organel yang dimilikinya. Ini bertujuan agar organel-organel tersebut dapat diwariskan kepada setiap sel turunannya. Pada subfase ini replikasi DNA telah selesai dan sel bersiap-siap mengadakan pembelahan secara mitosis. Selain itu, inti sel (nukleus) telah terbentuk dengan jelas dan terbungkus membran inti.

Pada subfase ini, inti sel mempunyai satu atau lebih nukleolus (membran inti sel). Di luar inti terdapat dua sentrosom yang terbentuk oleh replikasi sentrosom pada tahap sebelumnya. Sentrosom mengalami perpanjangan menyebar secara radial

yang disebut aster (bintang). Pada sentrosom terdapat sepasang sentriol yang berfungsi menentukan orientasi pembelahan sel. Walaupun kromosom telah diduplikasi pada fase S, namun pada fase G₂, kromosom belum dapat dibedakan secara individual karena masih berupa benang-benang kromatin.

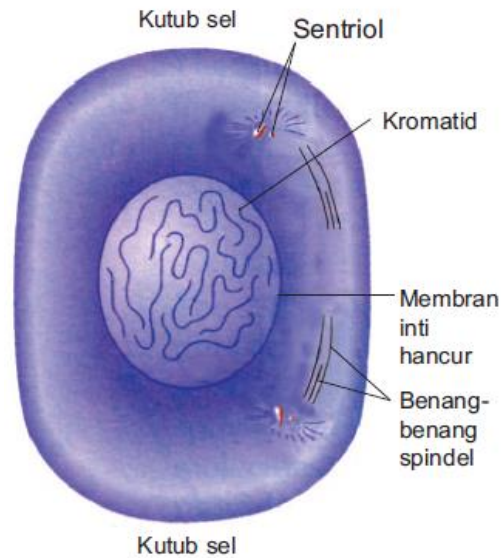
Setelah ketiga tahapan interfase dilalui, sel telah siap menjalani pembelahan secara mitosis. Seperti fase interfase, pembelahan mitosis juga terdiri dari beberapa fase. Untuk mengetahui lebih jauh tentang fase-fase pada pembelahan mitosis, simaklah penjelasan berikut.

Mitosis

Anda telah mengetahui bahwa pembelahan mitosis menghasilkan sel anakan yang identik dengan induknya. Secara garis besar, fase pembelahan mitosis terbagi menjadi dua fase, yaitu fase pembelahan inti (kariokinesis) dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Kariokinesis adalah fase pembelahan inti sel. Secara rinci, fase kariokinesis dibagi menjadi empat subfase, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Sekarang, marilah kita bahas keempat subfase tersebut.

Profase

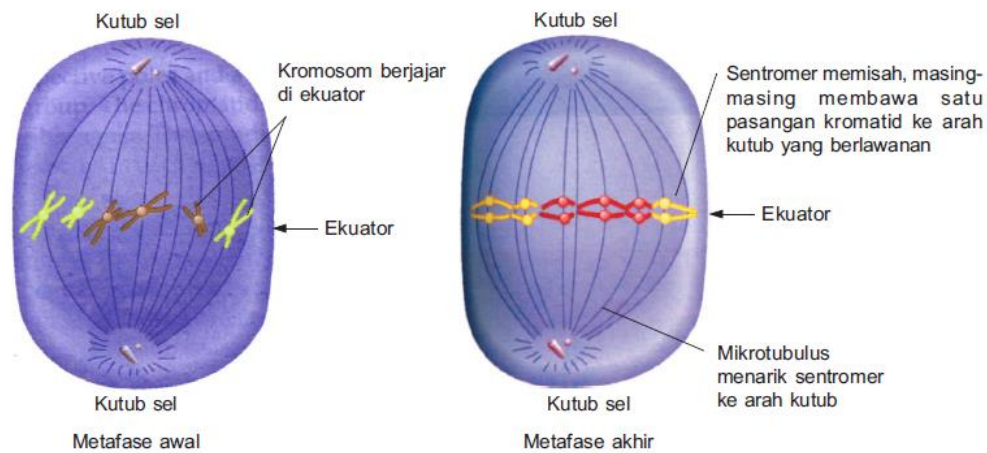
Pada permulaan profase, di dalam nukleus mulai terbentuk kromosom, yaitu benang-benang rapat dan padat yang terbentuk akibat menggulungnya kromatin. Pada fase ini, kromosom dapat dilihat menggunakan mikroskop. Selanjutnya, nukleolus menghilang dan terjadi duplikasi kromosom (kromosom membelah dan memanjang) menghasilkan 2 kromosom anakan yang disebut kromatid. Kedua kromatid tersebut bersifat identik sehingga disebut kromatid kembar (sister chromatid yang bersatu atau dihubungkan oleh sentromer pada lekukan kromosom. Perhatikan Gambar 3.5. Sentromer merupakan bagian kromosom yang menyempit, tampak lebih terang dan membagi kromosom menjadi 2 lengan. Pada akhir profase, di dalam sitoplasma mulai terbentuk gelendong pembelahan (spindel) yang berasal dari mikrotubulus. Mikrotubulus tersebut memanjang, seolah-olah mendorong dua sentrosom di sepanjang permukaan inti sel (nukleus). Akibatnya, sentrosom saling menjauh. Proses ini kemudian berlanjut ke fase berikutnya, yaitu metafase.



Gambar 49. Tahap Profase

Metafase

Tahap awal metafase (prometafase) ditandai dengan semakin memadatnya kromosom (kromosom ini terdiri dari 2 kromatid) dan terpecahnya membran inti (membran nukleus). Hal ini menyebabkan mikrotubulus dapat menembus inti sel dan melekat pada struktur khusus di daerah sentromer setiap kromatid, disebut kinetokor. Oleh karena itu, kinetokor ini berfungsi sebagai tempat bergantung bagi kromosom. Sebagian mikrotubulus yang melekat pada kinetokor disebut mikrotubulus kinetokor, sedangkan mikrotubulus yang tidak memperoleh kinetokor disebut mikrotubulus non kinetokor. Sementara itu, mikrotubulus non kinetokor berinteraksi dengan mikrotubulus lain dari kutub sel yang berlawanan. Pada metafase, kromosom tampak jelas. Perhatikan Gambar 3.6.



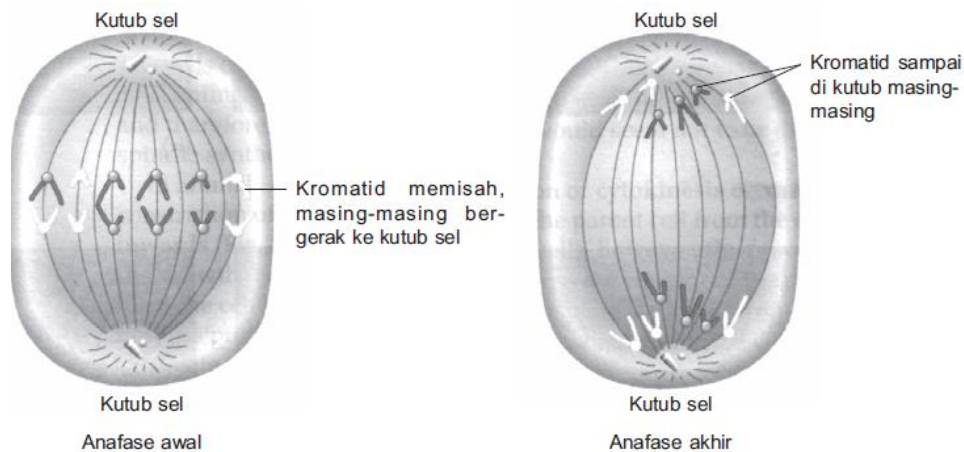
Gambar 50. Tahapan Metafase

Pada tahap metafase sesungguhnya, sentrosom telah berada pada kutub sel. Membran inti sel menghilang. Sementara itu, kromosom menempatkan diri pada bidang pembelahan yang disebut bidang metafase. Bidang ini merupakan bidang khayal yang terletak tepat di tengah sel, seperti garis katulistiwa bumi sehingga disebut juga bidang ekuator. Pada bidang ini, sentromer dari seluruh kromosom terletak pada satu baris yang tegak lurus dengan gelendong pembelahan. Kinetokor pada setiap kromatid menghadap pada kutub yang berlainan. Dengan letak kromosom berada di bidang pembelahan, maka pembagian jumlah informasi DNA yang akan diberikan kepada sel anakan yang baru, benar-benar rata dan sama jumlahnya. Tahapan ini merupakan akhir dari metafase.

Anafase

Setelah berakhirnya tahap metafase, pembelahan sel berlanjut pada tahap anafase. Tahap anafase ditandai dengan berpisahannya kromatid saudara pada bagian sentromer kromosom. Gerak kromatid ini disebabkan tarikan benang mikrotubulus yang berasal dari sentriol pada kutub sel. Anda telah mengetahui bahwa mikrotubulus melekat pada sentromer. Hal ini menyebabkan sentromer tertarik terlebih dahulu. Akibatnya, sentromer berada di depan dan bagian lengan kromatid berada di belakang. Struktur ini seperti huruf V. Perhatikan Gambar 3.7. Gerakan ini menempuh jarak sekitar $1\mu\text{m}$ (10^{-6} meter) tiap menit. Pada saat bersamaan, mikrotubulus non kinetokor semakin memanjang sehingga jarak kedua kutub sel semakin jauh. Selanjutnya, masing-masing kromatid bergerak ke

arah kutub yang berlawanan dan berfungsi sebagai kromosom lengkap, dengan sifat keturunan yang sama (identik). Untuk menjalankan tugasnya ini, mikrotubulus telah mengalami peruraian pada bagian kinetokornya. Lalu bagaimanakah bidang pembelahan sel pada hewan dan tumbuhan?

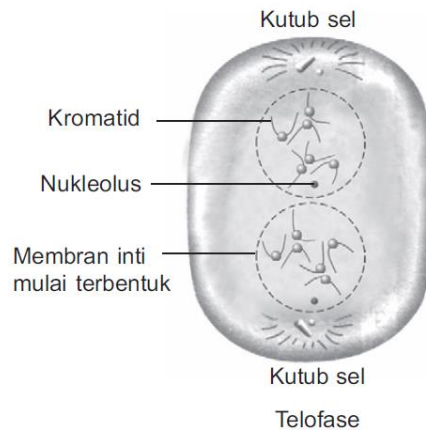


Gambar 51. Tahapan Anafase

Salah satu perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan adalah ada tidaknya sentriol. Pada sel tumbuhan, peran sentriol digantikan oleh kromosom sehingga arah pembelahan tetap menuju ke kutub sel. Pada sel hewan, sentriol pada kutub sel merupakan arah yang dituju oleh gerakan kromatid saat pembelahan.

Telofase

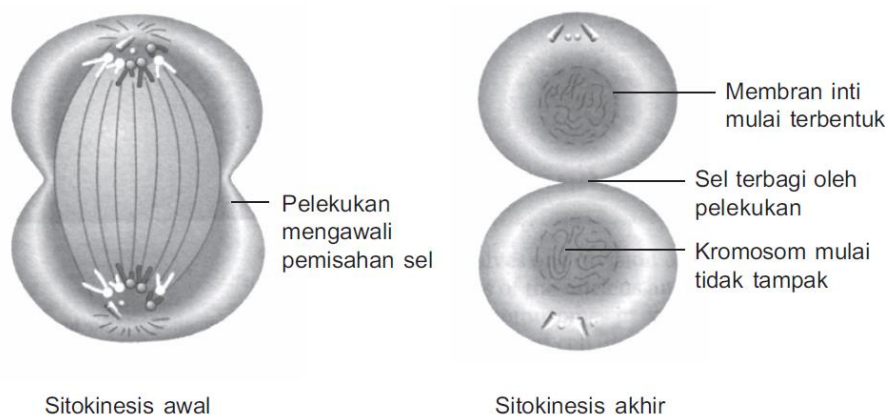
Pada tahap telofase ini, inti sel anakan terbentuk kembali dari fragmen-fragmen nukleus. Bentuk selnya memanjang akibat peran mikrotubulus non kinetokor. Benang-benang kromatin mulai longgar. Perhatikan gambar 3.8. Dengan demikian, fase kariokinesis yang menghasilkan dua inti sel anak yang identik secara genetik telah berakhir, namun dua inti sel masih berada dalam satu sel. Agar kedua inti terpisah menjadi sel baru, perlu adanya pembelahan sitoplasma yang disebut sitokinesis. Sitokinesis terjadi, segera setelah telofase selesai. Pada fase sitokinesis terjadi pembelahan sitoplasma diikuti pembentukan sekat sel baru, sehingga terbentuk dua sel anakan.



Gambar 52. Tahapan Telofase

Pada sel hewan, sitokinesis ditandai dengan pembentukan alur pembelahan melalui pelelukan permukaan sel di sekitar bekas bidang ekuator. Di sepanjang alur melingkar, terdapat mikrofilamen yang terdiri dari protein aktin dan miosin. Protein tersebut berperan dalam kontraksi otot atau pergerakan sel yang lain. Kontraksi ini semakin ke dalam sehingga menjepit sel dan membagi isi sel menjadi 2 bagian yang sama.

Berbeda dengan sel hewan, sel tumbuhan mempunyai dinding sel yang keras. Oleh karena itu, pada sitokinesis tidak terbentuk alur pembelahan. Perhatikan Gambar 3.9. Sitokinesis terjadi dengan pembentukan pelat sel (cell plate) yang terbentuk oleh vesikula di sekitar bidang ekuator. Vesikula-vesikula yang dibentuk oleh badan golgi tersebut saling bergabung. Penggabungan juga terjadi dengan membran plasma diikuti terbentuknya dinding sel yang baru oleh materi dinding sel yang dibawa oleh vesikula.

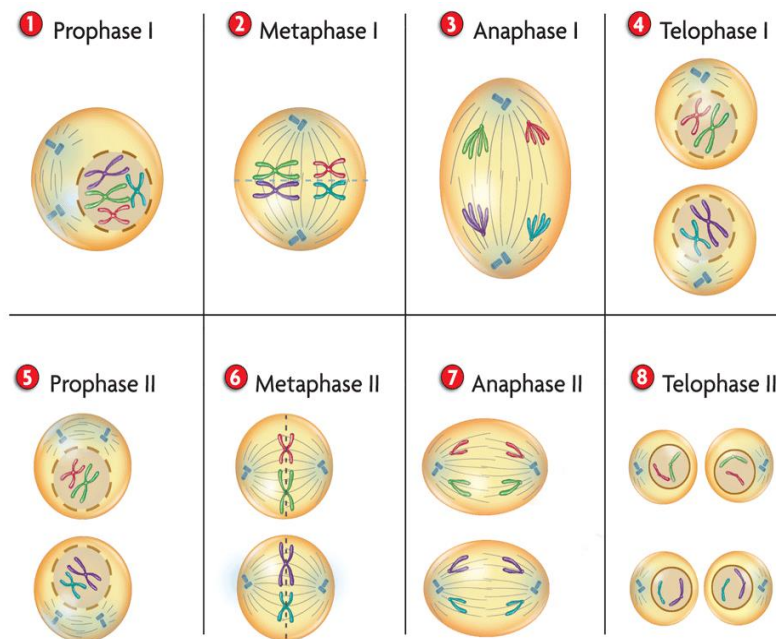


Gambar 53. Tahapan Sitokinesis

d. Pembelahan 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. 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 dan meiosis II. Masing-masing pembelahan meiosis terdiri dari tahap-tahap yang sama, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Perhatikan Gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 54. Tahapan pembelahan Meiosis

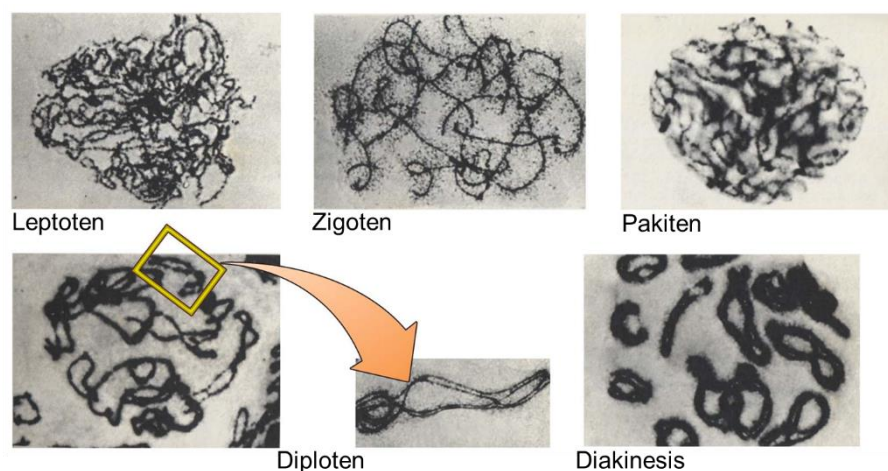
Tahap Meiosis I

Seperti halnya pembelahan mitosis, sebelum mengalami pembelahan meiosis, sel kelamin perlu mempersiapkan diri. Fase persiapan ini disebut tahap interfase. Pada tahap ini, sel melakukan persiapan berupa penggandaan DNA dari satu salinan menjadi dua salinan (seperti interfase pada mitosis). Tingkah laku kromosom masih belum jelas terlihat karena masih berbentuk benang-benang halus (kromatin) sebagaimana interfase pada mitosis. Selain itu, sentrosom juga bereplikasi menjadi dua (masing-masing dengan 2 sentriol), seperti tampak pada gambar di samping. Sentriol berperan dalam menentukan arah pembelahan sel.

Setelah terbentuk salinan DNA, barulah sel mengalami tahap pembelahan meiosis I yang diikuti tahap meiosis II. Tahap meiosis I terdiri atas profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I, serta sitokinesis I. Bagaimanakah ciri-ciri setiap fase pembelahan tersebut? Berikut akan dibahas fase-fase meiosis I pada sel hewan dengan 4 kromosom diploid ($2n = 4$). Untuk lebih jelasnya, simaklah penjelasan di bawah ini.

Profase I

Pada tahap meiosis I, profase I merupakan fase terpanjang atau terlama dibandingkan fase lainnya bahkan lebih lama daripada tahap profase pada pembelahan mitosis. Profase I dapat berlangsung dalam beberapa hari. Biasanya, profase I membutuhkan waktu sekitar 90% dari keseluruhan waktu yang dibutuhkan dalam pembelahan meiosis. Perhatikan gambar 3.11. Tahapan ini terdiri dari lima subfase, yaitu leptoten, zigoten, pakiten, diploten, dan diakinesis.



Gambar 55. Tahapan Profase 1

Leptoten

Subfase leptoten ditandai adanya benang-benang kromatin yang memendek dan menebal. Pada subfase ini mulai terbentuk sebagai kromosom homolog. Anda perlu membedakan kromosom homolog dengan kromatid saudara.

Zigoten

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

Pakiten

Kromatid antara kromosom homolog satu dengan kromosom homolog yang lain disebut sebagai kromatid bukan saudara (non-sister chromatids). Dengan demikian, pada setiap kelompok sinapsis terdapat 4 kromatid (1 pasang kromatid

saudara dan 1 pasang kromatid bukan saudara). Empat kromatid yang membentuk pasangan sinapsis ini disebut tetrad.

Diploten

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

Diakinesis

Pada subfase ini terbentuk benang-benang spindel pembelahan (gelendong mikrotubulus). Sementara itu, membran inti sel atau karioteka dan nukleolus mulai lenyap. Profase I diakhiri dengan terbentuknya tetrad yang membentuk dua pasang kromosom homolog. Perhatikan lagi Setelah profase I berakhir, kromosom mulai bergerak ke bidang metafase. Perhatikan bagaimana perubahan bentuk kromosom selama ini

Metafase I

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

Anafase I

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

meiosis. Pada mitosis, mikrotubulus memisahkan kromatid yang bergerak ke arah berlawanan. Coba pelajari lagi tahap anafase pada mitosis.

Telofase I

Pada telofase, setiap kromosom homolog telah mencapai kutub-kutub yang berlawanan. Ini berarti setiap kutub mempunyai satu set kromosom haploid. Akan tetapi, setiap kromosom tetap mempunyai dua kromatid kembar. Pada fase ini, membran inti muncul kembali. Peristiwa ini kemudian diikuti tahap selanjutnya, yaitu sitokinesis.

Sitokinesis

Anda masih ingat pengertian sitokinesis pada sel hewan maupun tumbuhan bukan? Ya, sitokinesis merupakan proses pembelahan sitoplasma. Tahap sitokinesis terjadi secara simultan dengan telofase. Artinya, terjadi secara bersama-sama. Tahap ini merupakan tahap di antara dua pembelahan meiosis. Alur pembelahan atau pelat sel mulai terbentuk. Pada tahap ini tidak terjadi perbanyakan (replikasi) DNA. Hasil pembelahan meiosis I menghasilkan dua sel haploid yang mengandung setengah jumlah kromosom homolog. Meskipun demikian, kromosom tersebut masih berupa kromatid saudara (kandungannya masih rangkap). Untuk menghasilkan sel anakan yang mempunyai kromosom haploid diperlukan proses pembelahan selanjutnya, yaitu meiosis II. Jarak waktu antara meiosis I dengan meiosis II disebut dengan interkinesis. Jadi, tujuan meiosis II adalah membagi kedua salinan DNA pada sel anakan yang baru hasil dari meiosis I. Meiosis II terjadi pada tahap-tahap yang serupa seperti meiosis I. Nah, untuk mengetahui lebih lanjut tentang tahap meiosis II, perhatikan uraian selanjutnya.

Tahap Meiosis II

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

pada tahap meiosis II. Bagaimanakah proses pengurangan jumlah kromosom ini terjadi? Anda akan mengetahuinya setelah mempelajari uraian di bawah ini.

Profase II

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

Metafase II

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

Anafasell

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

Telofase II

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

Sitokinesis II

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

- **Pewarisan Sifat**

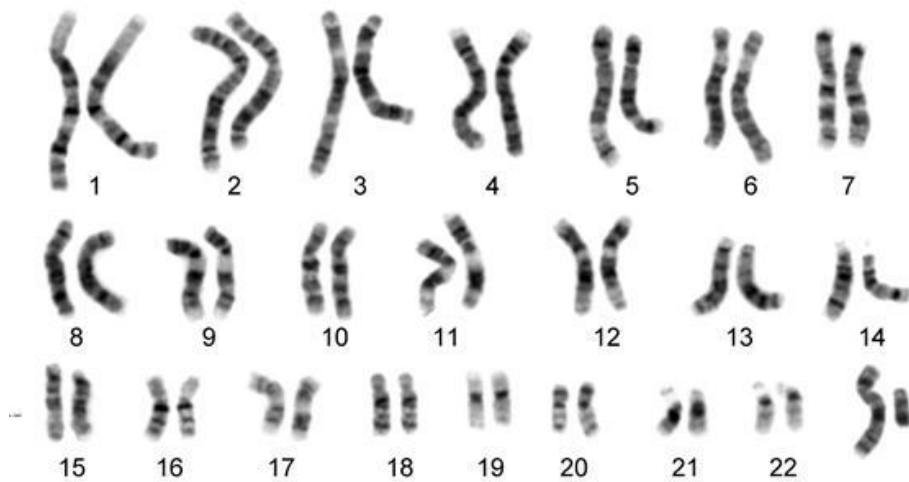
Apabila kita mengamati alam sekitar, ada banyak persamaan maupun perbedaan pada makhluk hidup. Persamaan dan perbedaan ini biasa terjadi antara induk dengan keturunannya atau antara orang tua dan anak-anaknya. Misalnya saja dalam satu keluarga, dapat ditemui adanya persamaan atau perbedaan sifat yang tampak dan sifat yang tak tampak antara anak dengan kedua orang tuanya. Sifat yang tampak antara lain raut muka, bentuk tubuh, bentuk wajah, warna kulit, warna mata, dan jenis rambut. Sedangkan sifat yang tak tampak yaitu kecerdasan, bakat, suara, dan golongan darah.

Pewarisan sifat atau hereditas merupakan penurunan sifat dari induk (orang tua) kepada keturunannya (anak). Ilmu yang mempelajari tentang pewarisan sifat ini disebut genetika. Sifat-sifat suatu makhluk hidup diwariskan melalui sel kelamin jantan dan sel kelamin betina. Bagian sel yang bertanggung jawab terhadap penurunan sifat ini terdapat di bagian inti sel (nukleus). Di dalam inti sel terdapat kromosom. Kromosom merupakan benang-benang halus yang berfungsi sebagai faktor pembawa sifat keturunan. Di dalam kromosom terdapat substansi pembawa sifat keturunan yang terdiri atas senyawa kimia yang disebut gen. Gen berfungsi sebagai penentu sifat-sifat suatu makhluk hidup. Kromosom dan gen inilah yang mengendalikan pewarisan sifat pada makhluk hidup.

Kromosom

Kromosom adalah materi genetik yang berupa benang-benang halus (kromatin) yang berfungsi sebagai pembawa informasi genetik kepada keturunannya. Setiap inti sel suatu makhluk hidup memiliki dua jenis kromosom yaitu kromosom tubuh (autosom) dan kromosom kelamin (gonosom).

Kromosom tubuh berfungsi untuk menentukan sifat-sifat tubuh suatu organisme. Kromosom tubuh dilambangkan dengan A yang berasal dari kata autosom yang terdiri dari 22 pasang atau berjumlah 44 buah. Autosom terletak pada sel tubuh dan berpasangan sehingga disebut kromosom diploid (ditulis dengan $2n$). Struktur kromosom manusia dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 56. Struktur kromosom manusia

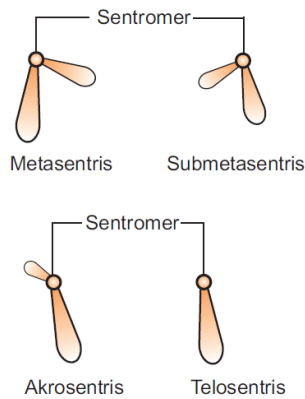
Sumber: <http://www.generasibiologi.com>

Kromosom kelamin (gonosom) berfungsi untuk menentukan jenis kelamin suatu organisme. Gonosom berjumlah 1 pasang atau 2 buah, gonosom pada laki-laki dilambangkan dengan XY dan pada perempuan dilambangkan dengan XX. Gonosom terletak pada sel kelamin dan tidak berpasangan sehingga disebut kromosom haploid (ditulis dengan n). Kromosom adalah suatu unit struktural seperti benang yang membawa gen dan terdapat dalam inti sel. Sepasang kromosom adalah "homolog" sesamanya, artinya mengandung lokus gen-gen yang bersesuaian yang disebut alel. Gen adalah satuan informasi genetik pembawa sifat yang berupa urutan nukleotida pada DNA.

Lokus adalah lokasi yang diperuntukkan bagi gen dalam kromosom. Alel ganda (multiple alleles) adalah adanya lebih dari satu alel pada lokus yang sama. Secara morfologi, kromosom terdiri atas lengan kromosom, sentromer (tempat melekatnya dua lengan kromosom) serta kinetokor (bagian sentromer yang menghubungkan kromatid dengan gelendong mitotik). Perhatikan Gambar 56. Berdasarkan posisi sentromernya, kromosom dibedakan atas beberapa tipe, yaitu :

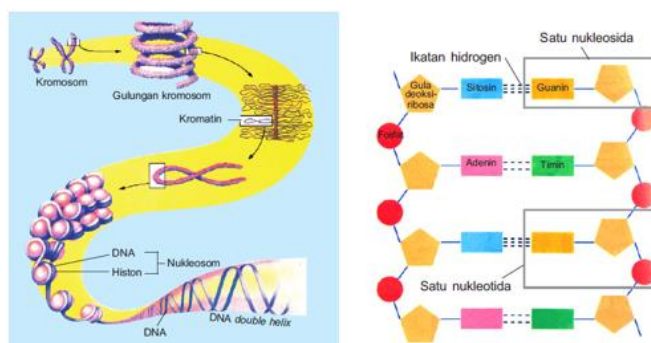
- Metasentrik yaitu kromosom dengan sentromer terletak tepat ditengah-tengah sehingga lengan kromosom sama panjang
- Submetasentrik yaitu kromosom dengan sentromer hampir ke tengah sehingga lengan kromosom terbagi tidak sama panjang

- Telosentrik yaitu kromosom dengan sentromer terletak di ujung lengan kromosom
- Akrosentrik yaitu kromosom dengan sentromer hampir di ujung lengan kromosom sehingga lengan kromosom berbeda panjangnya secara ekstrim



Gambar 57. Posisi Sentromer Kromosom

Di dalam kromosom terdapat jalinan DNA yang kompleks yang dikemas oleh suatu protein histon sehingga termampatkan sedemikian rupa. Tiap unit DNA (deoxyribonucleat acid) tersusun atas pasangan basa (purin dan pirimidin) yang dihubungkan oleh ikatan hidrogen dan rangka utama berupa gula-fosfat. Struktur DNA ini berupa double helix. Perhatikan gambar 3.14. berikut.



Gambar 58. Struktur DNA

Sumber: Campbell Biology, 2012

Gen

Komposisi dan susunan gen-gen di dalam tubuh makhluk hidup disebut genotipe. Genotipe setiap makhluk hidup berbeda-beda yang dapat menentukan sifat-sifat suatu makhluk hidup tersebut. Pada dasarnya, genotipe adalah sifat pada makhluk hidup yang tidak terlihat. Genotipe inilah yang nantinya akan memunculkan sifat fenotipe. Fenotipe adalah sifat pada makhluk hidup yang dapat terlihat. Sifat fenotipe merupakan perpaduan antara sifat genotipe dan lingkungannya.

Pada umumnya, suatu gen dinyatakan dengan simbol huruf. Huruf kapital menyatakan gen yang bersifat dominan, misalnya M (merah), sedangkan huruf kecil menyatakan gen bersifat resesif, misalnya m (putih). Gen selalu berpasangan misalnya MM, Mm atau mm. Gen yang sama jenisnya seperti MM atau mm disebut homozigot, sedangkan gen yang berbeda jenisnya seperti Mm disebut heterozigot. Jika gen dominan bersama-sama dengan gen resesif, sifat yang akan tampak adalah sifat yang dibawa oleh gen dominan dan sifat yang dibawa oleh gen resesif tidak akan muncul. Sebagai contoh, sifat pendek dominan terhadap sifat tinggi. Jika gen untuk pendek muncul bersama-sama dengan gen untuk tinggi, sifat pendeklah yang akan muncul pada keturunannya.

a. Hereditas dan Persilangan

Mekanisme pewarisan sifat dari tetua kepada anak atau keturunannya tidak terlepas dari proses reproduksi seksual. Dalam reproduksi seksual, unit penting yang saling bersatu adalah sperma (sel dengan segala perangkat genetiknya dari individu jantan) dan ovum (dari individu betina). Kedua unit sel reproduktif tersebut akan melebur (fertilisasi) dan membentuk cikal bakal individu baru berupa zigot. Dengan demikian, sifat turunannya merupakan kombinasi dari dua sifat dari tetua (jantan dan betina atau ayah dan ibu). Dari proses reproduksi seksual dapat diketahui bahwa material genetik dalam sel-sel kelamin akan bergabung secara bebas saat fertilisasi dan pada awalnya terpisah secara bebas pula saat gametogenesis (pembentukan selsel gamet: spermatogenesis dan oogenesis).

b. Konsep-Konsep Penting Hukum Mendel

Mendel mempelajari beberapa sifat pada tanaman kapri seperti tinggi tanaman, warna bunga dan lain-lainnya yang bersifat dominan dan resesif. Hasil percobaan monohibrid menunjukkan bahwa pada seluruh tanaman F1 hanya sifat (ciri) dari salah satu tetua yang muncul. Pada generasi F2, semua ciri yang dipunyai oleh tetua (P) yang disilangkan muncul kembali. Mendel menarik kesimpulan penting sebagai berikut :

Setiap sifat organisme ditentukan oleh pasangan dari unit-unit faktor yang berbeda (gen). Setiap individu memiliki dua unit faktor yang bersama-sama mengendalikan ekspresi dari suatu sifat tertentu. Faktor tersebut kemudian diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya.

Dalam setiap tanaman terdapat dua faktor (sepasang) untuk masing-masing sifat, yang kemudian dikenal dengan istilah 2 alel; satu faktor berasal dari tetua jantan dan satu lagi berasal dari tetua betina. Dalam penggabungan tersebut setiap faktor tetap utuh dan selalu mempertahankan identitasnya. Pada saat pembentukan gamet, setiap faktor dapat dipisah kembali secara bebas.

Perbandingan pada F2 untuk ciri dominan : resesif = 3 : 1, terjadi karena adanya proses penggabungan secara acak antara gamet-gamet betina dan jantan dari tanaman F1.

Hukum Mendel I : Pada pembentukan gamet (gametogenesis), unit faktor yang merupakan pasangan akan disegregasikan secara bebas ke dalam dua sel anak. Jika satu individu mengandung sepasang unit faktor (misal : keduanya untuk tinggi), maka semua gamet menerima satu unit faktor tinggi. Jika satu individu mengandung sepasang unit faktor yang tidak sama (misal : 1 untuk tinggi; 1 untuk pendek), maka masing-masing gamet mempunyai probabilitas 50% untuk mendapat unit faktor untuk tinggi dan 50% untuk pendek.

Hukum Mendel II : Jika dua individu berbeda dengan yang lain dalam dua pasang sifat atau lebih, maka diturunkannya sifat yang sepasang itu tidak tergantung dari pasangan sifat yang lain (Prinsip segregasi bebas).

Pewarisan Sifat dan Variasi Genetis

Secara garis besar, ada tiga mekanisme yang menyebabkan terjadinya variasi genetik pada suatu populasi. Ketiga mekanisme ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pindah silang

Telah dijelaskan di depan bahwa sel kelamin membelah secara meiosis. Pada profase I, kromosom homolog muncul pertama kali sebagai pasangan. Kromosom-kromosom homolog ini saling bersilangan pada kiasmata. Pada kiasmata inilah terjadi pindah silang (crossing over) materi genetik dari kromosom satu ke kromosom lainnya. Pindah silang ini terjadi ketika dua kromatid dari kromosom yang berbeda bertukar tempat. Kromatid yang sudah tidak identik lagi dengan kromatid saudaranya karena terjadi pindah silang disebut dyad. Pada manusia, dua atau tiga kasus kejadian pindah silang dapat terjadi untuk setiap pasangan kromosom.

Pemilahan kromosom secara bebas

Anda telah mengetahui bahwa pembelahan sel selalu diikuti pembagian kromosom pada sel anakan yang dihasilkan. Begitu pula dengan pembelahan meiosis. Pada metafase I, pasangan kromosom homolog terletak pada bidang metafase. Orientasi pasangan homolog yang menghadap kutub-kutub sel bersifat acak. Setiap pasangan mempunyai dua kemungkinan dalam penyusunan ini. Kita ambil contoh organisme yang mempunyai empat kromosom diploid ($2n = 4$). Organisme ini mempunyai 2 kromosom dalam sel gametnya. Dua kromosom ini dapat menghasilkan empat kemungkinan sel anakan dengan kombinasi kromosom berbeda satu sama lain. Bagaimanakah dengan manusia? Manusia mempunyai 46 kromosom diploid. Ini berarti pada sperma atau sel telur terdapat 23 kromosom haploid. Dari 23 kromosom ini mempunyai sekitar 8 juta kemungkinan penyusunan homolog pada metafase. Kandungan kromosom pada sel sperma atau sel telur ini akan diwariskan pada anak keturunannya. Jadi, setiap manusia sebenarnya merupakan 1 dari 8 juta kemungkinan pemilahan kromosom yang diwariskan oleh bapak atau ibu kandungnya.

Fertilisasi random

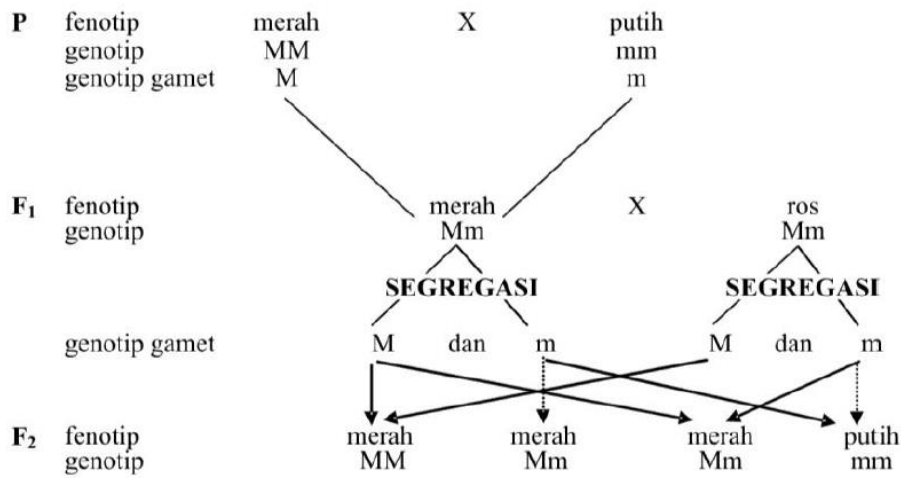
Di dalam sebuah keluarga, seorang anak mempunyai sifat yang berbeda dengan saudara-saudaranya. Seorang anak tidak ada yang memiliki sifat yang sama persis dengan ibu atau bapaknya. Akan tetapi, sifatnya kemungkinan besar merupakan perpaduan sifat kedua orang tuanya. Ini jelas sangat masuk akal, sebab seorang anak dihasilkan dari pembuahan 1 sel telur ibu oleh 1 sel sperma bapak. Sel telur yang dibuahi sperma akan menjadi zigot sebagai cikal bakal manusia. Jadi, genetik seorang anak sangat dipengaruhi kromosom yang terkandung dalam sel telur atau sperma tersebut. Anda mengetahui bahwa setiap sel kelamin (sperma dan sel telur) yang menentukan kromosom anak merupakan 1 dari 8 juta kemungkinan. Hal ini berarti, seorang manusia merupakan salah satu dari 64 trilyun ($8 \text{ juta} \times 8 \text{ juta}$) kombinasi kromosom diploid.

Tipe-tipe Persilangan

Berdasarkan sifat atau karakter individu yang mengalami persilangan, maka terdapat berbagai tipe persilangan, diantaranya adalah sebagai berikut :

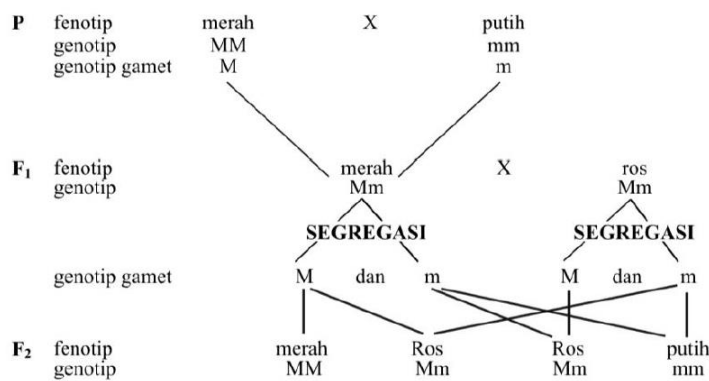
Persilangan monohybrid (persilangan dengan satu sifat beda)

Dapat dianalisa dengan mengawinkan dua strain parental yang masing-masing memperlihatkan satu sifat yang berbeda. Dalam kondisi dominan-resesif penuh, hasil persilangan pada generasi pertama (F1) akan memperlihatkan karakter dominan seluruhnya, dan pada generasi kedua (F2) baru akan muncul karakter dominan dan resesif secara bersamaan. Rasio fenotip pada F1 100% dominan, sedangkan pada F2 adalah 3 :1 (dominan : resesif). Lihat hasil pada persilangan bunga merah dominan terhadap bunga putih resesif. (Gambar 3. 15).



Gambar 59. Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri yang berbunga putih, akan menghasilkan turunan F2 dengan tanaman kacang kapri berbunga merah 3 bagian, dan yang berbunga putih 1 bagian (3:1), dilihat dari fenotip dan genotipnya.

Dalam kondisi kodominan (intermediet), fenotip F1 memperlihatkan karakter yang berbeda dengan tetua, sedangkan pada F2 akan muncul 3 macam fenotip. Rasio fenotip F1 100% fenotip intermediet, sedangkan pada F2, rasio fenotip adalah 1 : 2 : 1 (dominan : intermediet : resesif). (gambar 60)



Gambar 60. Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri berbunga putih, akan menghasilkan turunan F2 dengan tanaman kacang kapri berbunga merah 1 bagian, yang berbunga ros 2 bagian dan yang berbunga putih 1 bagian atau dengan perbandingan =

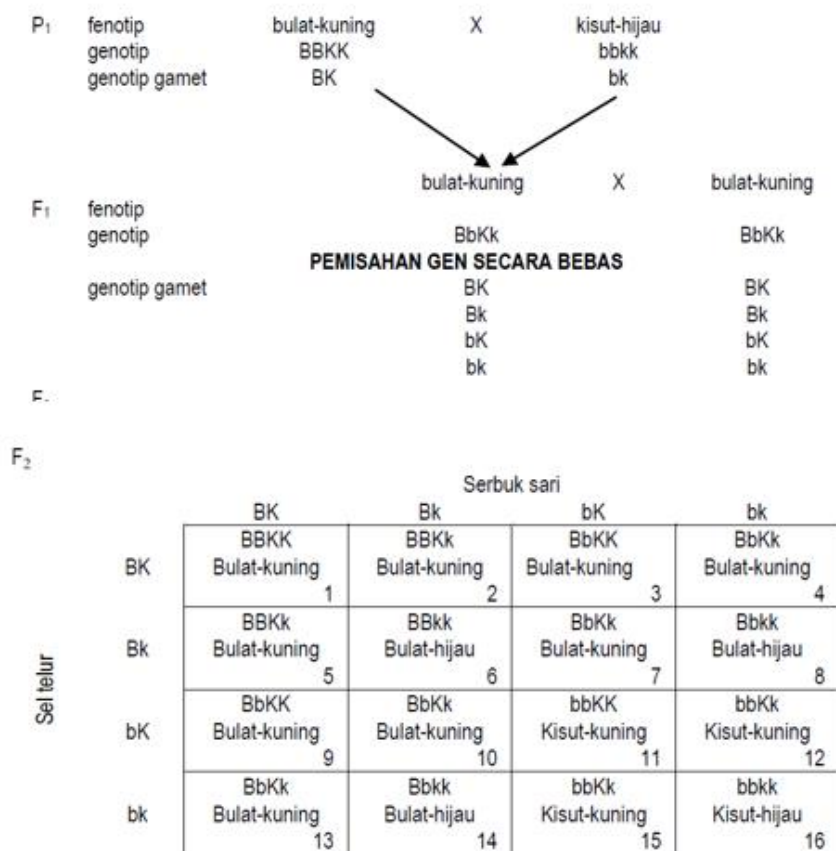
Persilangan dihibrid (persilangan dengan dua sifat beda)

Secara umum, perkawinan atau persilangan alamiah melibatkan seluruh karakter yang dimiliki oleh kedua tetua. Oleh sebab itu, persilangan dua individu dengan lebih dari satu sifat beda lebih mungkin terjadi daripada persilangan dengan satu sifat beda. Dalam kondisi dominan-resesif penuh, rasio fenotip pada F1 adalah 100% mencirikan karakter dominan, sedangkan pada F2, rasionya menjadi 9 : 3 : 3 : 1. membastarkan tanaman kacang kapri biji bulat warna kuning (selanjutnya disingkat bulat-kuning) galur murni, dengan kacang kapri biji kisut warna hijau (disingkat kisut-hijau), juga galur murni. Diperoleh turunan F1 dibastarkan dengan turunan F1 lainnya dan menghasilkan turunan F2 sebagai berikut: 315 bulat-kuning, 108 bulat-hijau, 101 kisut-kuning, 32 kisut hijau.

Hal yang menarik dari hasil pembastaran ini ialah timbul dua jenis biji baru yang sebelumnya tidak dimiliki oleh P (induk) atau oleh turunan F1. Kedua jenis biji ini adalah bulat-hijau dan kisut-kuning. Jenis baru ini, lain dari P maupun dari F1, disebut sebagai kombinasi baru atau rekombinasi. Mengapa disebut sebagai rekombinasi? Pertanyaan ini dapat dijawab dengan melihat susunan gen dari kedua jenis biji tersebut. Susunan gennya lain dengan yang telah diketahui, yaitu pada P maupun pada F1. Jadi, di sini terjadi susunan baru dari gen. Selain itu, diperoleh macam biji seperti macam biji induknya (P), yaitu bulat-kuning dan kisut-hijau, yang selanjutnya disebut sebagai kombinasi parental. Disebut demikian karena fenotipnya sama dengan induk yang dibastarkan.

Pembastaran dihibrid dapat ditulis seperti pada Gambar 3.17 berikut ini. Pada pembentukan gamet turunan F1, Mendel menyatakan bahwa sebuah gamet hanya akan mempunyai salah satu gen dari sepasang gen sehingga sebuah gamet hanya akan mempunyai B (gen bulat) atau b (gen kisut) dan K (gen kuning) atau k (gen hijau). Empat macam gamet akan dihasilkan dalam jumlah yang sama, yaitu BK, Bk, bK dan bk.

Dari turunan F2 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 F2 adalah = 9:3:3:1. Perbandingan ini dapat ditulis dengan cara lain, yaitu $9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16$.



Gambar 61. Pembastaran antara tanaman kacang kapri biji bulat-kuning dengan tanaman kacang kapri biji kisut-hijau akan menghasilkan turunan F₂ dengan perbandingan 9:3:3:1.

Pola-Pola Hereditas

Orang yang mula-mula mendalami hal pola-pola hereditas adalah W.S. Sutton dari Amerika Serikat. Menurut Sutton bila ada gen-gen yang mengendalikan dua sifat beda bertempat pada kromosom yang sama, gen-gen itu tak dapat memisahkan diri secara bebas lebih-lebih bila gen-gen itu berdekatan lokusnya, maka akan berkecenderungan untuk selalu memisah bersama-sama. Peristiwa ini disebut linkage (pautan). Ada kalanya kromosom yang memisah tidak membawa seluruh gen yang dimiliki tetapi hanya sebagian saja yang terbawa sedangkan sisanya dipenuhi oleh kromosom pasangannya. Peristiwa ini disebut crossing-over (pindah silang). Kejadian ini diteliti oleh Morgan.

Determinasi Seks dan Pautan Seks (Sex Linkage)

Determinasi seks adalah penentuan jenis kelamin suatu organisme yang ditentukan oleh kromosom seks (gonosom). Untuk lalat buah dikenal 1 pasang kromosom seks yaitu kromosom X dan kromosom Y. Individu jantan terjadi jika terdapat komposisi kromosom seks XY sedang betina jika komposisinya XX. Hal ini sebaliknya terjadi pada aves yaitu jantan adalah XX sedangkan betinanya XY. Pautan sex adalah suatu sifat yang diturunkan yang tergabung dalam gonosom. Sebagai contoh: lalat buah betina mata merah (dominan) dikawinkan dengan lalat buah jantan mata putih (resesif) menghasilkan F1 semua bermata merah. Tetapi pada F2 semua yang bermata putih adalah jantan. Hal ini menunjukkan bahwa sifat "bermata putih" merupakan sifat yang terpaut pada kromosom Y.

Hereditas pada Manusia

Determinasi seks pada manusia juga ditentukan oleh kromosom X dan Y. Karena jumlah kromosom manusia adalah khas yaitu 46 buah (23 pasang) yang terdiri dari 22 pasang autosom dan sepasang gonosom, maka formula kromosom manusia adalah : Untuk laki-laki adalah 46, XY (44 + XY). Untuk wanita adalah 46, XX (44+XX).

- **Kelainan Genetik pada Manusia**

Genetika merupakan ilmu yang penting untuk diketahui dan dipelajari terutama dalam dunia kedokteran. Hal ini berguna untuk mengetahui sifat – sifat keturunan, mengetahui akan adanya potensi kelainan yang dapat diwariskan dan upaya menanggulangnya, diperlukan sebagai dasar dalam perkara identitas dan referensi dalam penganggulan kriminal. Dalam hal penyusun sifat dasar manusia yang diturunkan dari kedua orang tuanya, ini tersusun dari pasangan kromosom. Kromosom ini menyimpan informasi yang berupa kecenderungan tinggi, warna kulit, dan lain sebagainya, kromosom ini dikodekan dalam bentuk DNA, dimana satu molekul DNA membentuk kromosom tunggal. (baca artikel terkait perbedaan DNA dan RNA).

Kromosom ini berpasangan seperti contoh pada manusia kromosom normal adalah 23 pasang kromosom atau 46 kromosom. Satu pasang kromosom menyimpan sebuah informasi penting seperti identitas jenis kelamin dimana

kromosom seks ini terdiri dari dua jenis X dan Y, pada laki – laki kromosom seksnya adalah XY sedangkan pada wanita kromosom seksnya adalah XX. Terlihat satu pasang kromosom saja telah menentukan perbedaan yang cukup mencolok. Begitu pentingnya kromosom ini dapat dijadikan sebagai penanda informasi, identitas, dan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan manusia.

Dewasa ini, dengan semakin majunya teknologi di bidang kedokteran dan banyaknya riset yang mengkhususkan pada bidang ilmu genetika, mulai banyak terungkap mengenai kelainan – kelainan genetik pada manusia. Penyakit genetik atau kelainan genetik adalah sebuah kondisi yang disebabkan oleh kelainan oleh satu atau lebih gen yang menyebabkan sebuah kondisi fenotip klinis atau dalam bahasa yang lebih sederhana adalah penyimpangan dari sifat umum atau sifat rata – rata manusia, dan merupakan penyakit yang muncul akibat tidak berfungsinya faktor – faktor genetik yang mengatur struktur dan fungsi fisiologis tubuh manusia. Berawal dari kelainan genetik dapat memengaruhi dan mengakibatkan kelainan organ lain, diantaranya adalah kelainan pada hati, kelainan jantung, kelainan pada sistem reproduksi, kelainan pada sistem ekskresi, kelainan kulit dan kelainan pada sistem peredaran darah manusia. Berdasarkan sifat alelnya, kelainan genetik dapat digolongkan menjadi

Pewarisan Alel Resesif Autosomal

Pada kelainan yang bersifat resesif, kelainan ini terjadi sebagai akibat pewarisan secara resesif yang hanya muncul pada individu yang homozigot atau yang memiliki alel homozigot resesif. Hal ini dapat dilambangkan sebagai genotip penderita sebagai aa, dan individu yang tidak menderita kelainan sebagai AA dan Aa.

Genotip Aa ini merupakan genotip pembawa, karena orang yang memiliki genotip ini dapat menurunkan salah satu gen resesifnya kepada keturunan mereka. Orang yang memiliki kelainan resesif berpeluang lahir dari orang tua yang bergenotip pembawa (Aa x Aa) dan atau dihasilkan dari perkawinan (Aa x aa) serta (aa x aa). Beberapa penyakit yang diakibatkan kelainan resesif, yaitu

a. Anemia sel sabit

Penyakit ini terkait dengan fungsi sel darah merah yang tidak bekerja atau mengalami keabnormalan. Hal ini disebabkan adanya substitusi suatu asam amino tunggal dalam protein hemoglobin berisi sel darah merah. Saat kandungan oksigen dalam tubuh rendah, maka hemoglobin sel sabit akan mengubah bentuk sel darah merah menjadi bentuk sabit seperti huruf C. Perhatikan Gambar 3.18.



Gambar 62. Perbandingan sel darah normal dan sel darah sabit

Sel darah merah sabit ini dalam mengedarkan oksigen dapat tersangkut pada pembuluh darah akibat bentuknya yang tidak proporsional seperti sel darah merah normal. Hal ini mengakibatkan penderita mengalami infeksi, pendarahan dan kerusakan organ tubuh seperti pada penyempitan aorta dan terganggunya fungsi katup jantung. (baca juga artikel terkait kelainan pada sistem peredaran darah manusia dan fungsi hemoglobin).

b. Fibrosis Kistik

Penyakit keturunan ini disebabkan oleh tidak adanya protein yang membantu transport ion klorida melalui membran plasma. Sehingga dihasilkan banyak lendir yang memengaruhi pankreas, saluran pernapasan, kelenjar keringat dan lain lain.

c. Galaktosemia

Penyakit ini disebabkan tidak dapat menggunakan galaktosa (berupa laktosa dari ASI) karena tidak dihasilkannya enzim pemecah laktosa. Tingkat galaktosa yang tinggi pada darah mengakibatkan keruwsakan mata, hati, dan otak. Adapun gejala Galaktosemia adalah malnutrisi, diare dan muntah-muntah. Gejala ini dapat

terdeteksi dengan melakukan tes urin. Gejala penyakit inipun dapat dihindari dengan diet bebas laktosa.

d. **Albino**

Kelainan ini berupa kulit yang tidak berpigmen (Gambar 3.19), disebabkan karena tubuh tidak mampu membentuk enzim yang diperlukan untuk merubah asam amino tirosin menjadi beta-3,4-dihidroksipheylalanin untuk selanjutnya diubah menjadi pigmen melanin.



Gambar 63. Anak Penderita Albino

Sumber: African_union.org

e. **Fenilketonuria**

Penyakit keturunan yang disebabkan oleh kerja metabolisme yang tidak optimal, di mana penderita tidak mampu memetabolisme fenilalanin (salah satu jenis asam amino) dengan normal. Pada kondisi normal sebagian fenilalanin diubah menjadi fenil piruvat dan sebagian besar menjadi tirosin dan dibuang keluar tubuh. Gejalanya ditandai dengan bertumpuknya fenilalanin dalam darah yang banyak terbuang melalui urin, sehingga mengakibatkan keterbelakangan mental, rambut putih, mata kebiruan (kekurangan melanin), bentuk tubuh khas (seperti psychotic), dan gerakan tersentak. Pada penderita bayi mengakibatkan kerusakan otak dan mengalami permasalahan kejiwaan setelah berumur 6 tahun sebagai akibat banyaknya kadar fenilalanin dalam darah.

f. Thalassemia

Penyakit ini ditandai dengan berkurangnya atau tidak memiliki sintesa rantai hemoglobin, sehingga kemampuan hemoglobin dalam mengikat oksigen yang kurang. Hal ini akibat adanya mutasi gen B-globin. Penyakit ini umumnya terjadi pada bayi, pada kondisi yang tidak parah mempunyai gejala pembengkakan limpa dan pada kondisi yang parah dapat menyebabkan kematian.

Pewarisan Alel Dominan Autosomal

Pada kelainan yang bersifat dominan, kelainan ini terjadi sebagai akibat pewarisan secara dominan yang muncul pada individu yang heterozigot (Aa) dan atau homozigot dominan (AA) sedangkan individu normal bergenotip sebagai aa. Berikut adalah penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. Akondroplasia

Penyakit ini disebabkan fungsi rangka manusia yang tidak berkembang dengan baik berupa tidak terbentuknya komponen tulang rawan pada kerangka tubuh secara benar. Pengidap penyakit ini akan tumbuh dewasa dengan kaki dan lengan yang tidak normal (pendek) dan tinggi tubuh kurang dari 1 meter atau biasa disebut kelainan berupa kekerdilan tubuh. Namun, pada perkembangan lain seperti intelegensi, ukuran kepala dan ukuran tubuh semuanya normal. Kelainan ini diakibatkan adanya mutasi genetik dan ditemukan lebih banyak pada anak perempuan dibandingkan anak laki laki (Gambar 3.20)



Gambar 64. Perbandingan Anak Normal dengan Anak Akondroplasia

Sumber: <https://upload.orthobullets.com>

b. Brakidaktil

Penyakit kelainan yang dicirikan dengan jari tangan atau kaki memendek, hal ini terjadi karena memendeknya ruas ruas tulang jari. Penderita brakidaktili memiliki gen dalam keadaan heterozigot (Bb). Sedangkan pada homozigot dominan (BB) menyebabkan kematian pada saat masa embrio.

c. Huntington

Penyakit keturunan ini terjadi karena adanya degenerasi sistem saraf yang cepat dan tidak dapat kembali. Hal ini dicirikan dengan adanya gerakan abnormal yang lama kelamaan akan memengaruhi kinerja otak, fungsi kelenjar tiroid yang tidak baik berupa kecemasan yang berlebihan dan dalam kondisi yang parah penderita tidak dapat melakukan aktifitas, kemudian mulai terjadi keterbelakangan mental, kehilangan ingatan dan kemampuan untuk berpikir rasional.

d. Polidaktil

Penyakit kelainan yang juga dikenal sebagai Hyperdaktil. Ciri cirinya berupa terdapatnya jari tambahan pada satu atau kedua tangan atau kaki (Gambar 3.21).

Tempat jari tambahan itu berbeda beda, ada yang terdapat dekat ibu jari dan adapula yang berada pada jari kelingking.



Gambar 65. Kaki penderita polidaktili

Sumber: <https://style.tribunnews.com>

Alel Resesif tertaut Kromosom Sex “X”

Umumnya merupakan alel resesif dan berpeluang banyak terjadi pada wanita dan sebagian kecil pria. Hal ini terlihat dari kromosom penyusun wanita adalah XX sedangkan pria XY. Berikut adalah penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. Hemofilia

Penyakit berupa gangguan koagulasi herediter yang 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 X, yang terjadi karena tidak adanya protein tertentu yang terbentuk yaitu tromboplastin yang diperlukan untuk penggumpalan darah saat terjadi luka dan walaupun ada, kadarnya rendah sekali. Sehingga penderita penyakit ini jika mengalami luka, darah baru akan membeku 50 menit sampai 2 jam, sehingga kecenderungan akan mengakibatkan pendarahan fatal. (Baca juga fungsi sel darah putih)

b. Buta Warna

Penderita memiliki gejala tidak dapat membedakan warna terutama warna hijau dan merah atau semua warana. Pada penderita yang tidak dapat melihat warna hijau disebut tipe deuten sedangkan warna merah disebut tipe protan. Hal ini terjadi karena tidak memiliki reseptor yang dapat mendeteksi cahaya pada panjang gelombang hijau atau merah. Hal ini disebabkan oleh gen resesif c (color blind) yang terdapat pada kromosom X. Pada wanita penderita memiliki genotip homozigot resesif yaitu cc , dan normal pada genotip CC dan Cc . Sedangkan pada pria hanya mempunyai sebuah kromosom X sehingga hanya dapat normal XY atau buta warna XcY .

c. Distrofi Otot

Kelainan ini memiliki tanda dengan makin melemahnya otot otot dan hilangnya koordinasi. Hal ini terjadi karena tidak adanya satu protein otot yang disebut distrofin, yang terletak pada lokus yang spesifik pada kromosom X.

d. Sindrom Fragile X

Kelainan berupa keterbelakangan mental yang umum terjadi. Hal ini karena bagian kromosom X yang mengalami pelekukan di bagian ujung lengan kromosom.

e. Sindrom Lesch-Nyhan

Kelainan ini muncul akibat adanya pembentukan purin yang berlebih. Sehingga memperlihatkan perilaku yang abnormal, seperti kejang otak saat menggerakkan kaki dan atau jari jari tangan, ketebelakangan mental, sering menggigit jari jari tangan dan jaringan bibir. Penderita yang telah dilaporkan adalah pria di bawah umur 10 tahun. Hal ini terjadi sebagai akibat adanya gen resesif pada kromosom X.

Alel Resesif tertaut Kromosom Sex “Y”

Umumnya merupakan alel resesif dan hanya terjadi pada pria. Hal ini terlihat dari kromosom penyusun pria adalah XY sedangkan wanita XX . Berikut adalah penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. **Hipertrikosis**

Kelainan berupa tumbuhnya rambut pada bagian-bagian seperti di tepi daun telinga, Hal ini umumnya terjadi pada pria yang memiliki genotip resesif (h). (Gambar 3.22)



Gambar 66. Wajah penderita Hipertrikosis

Sumber: <https://asset-a.grid.id>

b. **Weebed Toes**

Kelainan yang disebabkan gen resesif wt, ditandai dengan tumbuh kulit di antara tanagan dan kaki, mirip dengan kaki katak dan bebek (Gambar 3.23).



Gambar 67. Kaki penderita webbed toes

Sumber: <https://luken.us>

c. **Histrizgravier**

Kelainan yang disebabkan gen resesif hg, menyebabkan folikel rambut menjadi abnormal di mana ciri cirinya berupa pertumbuhan rambut yang panjang dan kaku di seluruh permukaan tubuh dan tampak seperti hewan landak.

Aberasi Kromosom

Kelainan yang terjadi akibat adanya perubahan dalam hal jumlah dan ukuran dari kromosom tersebut. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan ciri secara turun – temurun (diwariskan) pada keturunan selanjutnya yang mengalami aberasi kromosom. Berikut penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. **Sindrom Jacobs**

Penderita mempunyai 44 Autosom dan 3 kromosom seks (XYY). Kelainan ini mengakibatkan penderita memiliki ciri ciri bertubuh normal, berperawakan tinggi, antisosial, perilaku kasar dan agresif, wajah menakutkan, berwatak criminal, IQ dibawah normal.

b. **Sindrom Down**

Penderita mengalami kelebihan satu autosom pada kromosom nomor 21 dan dapat terjadi pada pria maupun wanita. Kelainan ini memiliki ciri ciri wajah yang khas, di mana wajah lebar, mata sipit miring ke samping, gigi kecil dan jarang, bibir tebal, lidah besar dan cenderung menjulur, liur selalu menetes, kemudian jari pendek dan gemuk terutama kelingking, telapak tangan tebal, IQ rendah dan umumnya steril (gambar 3. 24).



Gambar 68. Penderita Sindrom Down

Sumber: alodokter.com

c. Sindrom Klinefelter

Penderita memiliki 44 autosom dan 3 kromosom seks (XXY). Penderita pada pria dengan ciri ciri bersifat kewanitaan, dada sempit, pinggul lebar, rambut badan tidak tumbuh, tubuhnya cenderung tinggi, alat reproduksi pria yang tidak berkembang, mental terbelakang. Kelainan ini dapat terdeteksi sejak masih bayi atau balita, umumnya gejala awalnya adalah adanya gangguan dalam berbahasa.

d. Sindrom Turner

Penderita memiliki 44 autosom dan hanya satu kromosom kelamin yaitu X. Penderita ini dialami oleh wanita dengan ciri ciri alat reproduksi wanita yang tidak berkembang, kedua puting payudara berjarak jauh, payudara tidak berkembang, badan cenderung pendek, leher pendek, dada lebar, memiliki gelambir pada leher dan mengalami ketebelakangan mental.

e. Sindrom Edward

Penderita mengalami trisomi atau kelebihan satu autosom nomor 18. Penderita memiliki ciri ciri kelainan pada telinga dan rahang bawah yang kedudukannya lebih rendah, mulut kecil, tulang dada pendek, mental terbelakang dan biasanya hanya mencapai umur 6 bulan saja.

f. Sindrom Patau

Penderita memiliki 45 autosom, sehingga bisa disebut trisomi. Trisomi ini terjadi pada kromosom nomor 13, 14 atau 15. Ciri ciri penderita yaitu kepala kecil, mata kecil, sumbing celah langit, tuli, polidaktil, mengalami kelainan otak, ginjal dan jantung, dan memiliki keterbelakangan mental.

g. Sindrom Cri du chat

Penderita mengalami kehilangan kromosom pada nomor 5, hal ini mengakibatkan penderita memiliki kepala kecil, dengan penampakan wajah yang tidak biasa, dan memiliki tangisan yang khas seperti suara kucing. Perhatikan gambar 3.25. Penderita umumnya meninggal saat masih bayi atau balita.



Gambar 69. Penderita sindrom cri du dat

Sumber:sciencedirect.com

- **Aplikasi Hereditas dan Persilangan**

Adanya pengetahuan yang luas dalam bidang genetika khususnya hereditas dan persilangan, membuka peluang yang besar untuk berbagai tujuan yang berguna baik dalam bidang pertanian, kesehatan, forensik (hukum) dan hubungan sosiologis. Beberapa contoh aplikasinya adalah sebagai berikut :

Dalam bidang pertanian : penyilangan berbagai varietas tanaman untuk memperoleh varietas baru yang memiliki karakter unggul dan produktif sesuai yang diharapkan

Dalam bidang kesehatan : pelacakan berbagai penyakit menurun dari orang tua kepada anak, misalnya hemofilia

Dalam bidang forensik (hukum) : penentuan identitas korban dari karakter golongan darah, pola DNA yang dibandingkan dengan orang tua atau keluarga terdekat

Dalam bidang hubungan sosiologis : penentuan tingkat kekerabatan antar individu berdasarkan kesamaan dan perbedaan karakter.

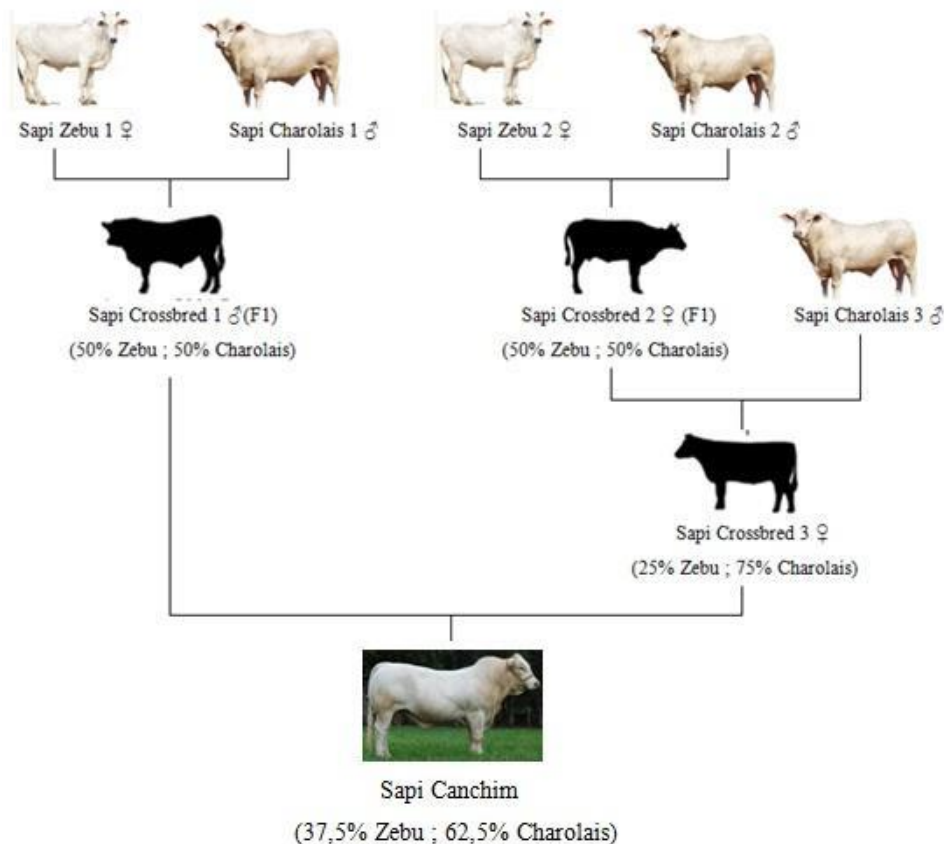
- **Pemuliaan Mahluk Hidup Dengan Seleksi Pedigree**

Seleksi adalah salah satu kegiatan dalam rangkaian pemuliaan mahluk hidup yang berupa pemilihan terhadap suatu genotip dari suatu populasi. Tujuan dari seleksi

adalah mempersempit variabilitas atau keanekaragaman suatu populasi sehingga mendapatkan genotip yang diinginkan. Salah satu metode pemuliaan makhluk hidup menyerbuk sendiri terbagi menjadi seleksi untuk populasi campuran dan juga seleksi untuk hasil hibridisasi.

Seleksi pedigree atau yang sering disebut dengan seleksi silsilah termasuk dalam seleksi untuk hasil hibridisasi. Seleksi ini merupakan seleksi dari makhluk hidup dengan kombinasi karakter yang dikehendaki pada generasi F₂, turunannya selanjutnya diseleksi lagi pada generasi-generasi berikutnya sampai mencapai kemurnian genetik. Single seed descend (SSD) adalah seleksi pedigree pada tanaman yang dilakukan dengan memanen satu biji setiap tanaman mulai dari F₂–F₅, kemudian setiap biji tersebut dicampur untuk ditanam pada generasi selanjutnya. Diallel selective mating system adalah seleksi dengan menggunakan berbagai variasi metode seleksi dalam usaha mengkombinasikan berbagai karakter yang diinginkan.

Metode ini disebut pedigree karena pencatatan dilakukan setiap anggota populasi bersegregasi dari hasil persilangan. Silsilah (pedigree) diperlukan untuk menyatakan bahwa dua galur tersebut serupa dengan cara mengkaitkan terhadap individu tanaman generasi sebelumnya. Metode seleksi pedigree pada ternak, dilakukan dengan melihat dan mencatat penampilan produktivitas keturunan ternak yang telah lalu. Setiap individu yang berpenampilan ekonomi bagus dan berasal dari induk/tetua yang berpenampilan ekonomi bagus juga, lebih unggul di bandingkan individu yang berpenampilan bagus pula, tapi berasal dari induk/tetua berpenampilan ekonomi yang jelek. Tapi harus di perhatikan juga, induk/tetua berkarakter ekonomi bagus, tidak akan selalu, keturunannya pasti karakter ekonominya bagus seperti induknya : keturunannya itu dapat berkarakter lebih bagus atau bisa pula lebih jelek. Perhatikan Gambar 3.26 pada seleksi pedigree pada sapi.



Gambar 70. Seleksi pedigree pada sapi

Sumber: majalahinforet.com

Hal tersebut di atas harus benar-benar di perhatikan oleh peternak pembibit/breeder. Dalam melakukan seleksi berdasar penampilan dari induk/tetua yang dimilikinya. Agar hal itu dapat terlaksana seefisien mungkin, maka Breeder harus punya catatan yang lengkap, teratus dan kontinyu dari induk/tetua yang di hasilkannya. Seleksi pedigree memerlukan waktu yang lama, peralatan yang komplit dan urutan prosedur pemuliabiakan yang terprogram teratur dan terarah. Ini memerlukan investasi modal yang mahal, makanya jangan terlalu banyak protes bila anakan yang di dihasilkan Breeder yang bertanggungjawab dijual dengan harga yang agak mahal.

5. Teori Asal Usul Kehidupan dan Evolusi

- **Asal Usul Kehidupan**

Perhatikan **gambar 4.1** berikut ini. Pernahkah Anda berpikir, bagaimana belalang ini dapat memiliki bermacam-macam bentuk dan warna?



Gambar 71. Keanekaragaman Belalang

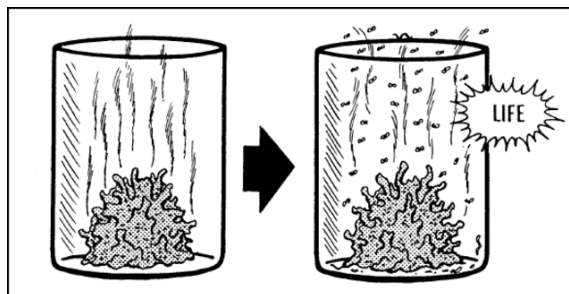
Pernakah anda bertanya bagaimana makhluk hidup pertama kali ada di permukaan bumi? Apakah belalang yang beranekaragam ini ada secara tiba-tiba seperti apa yang kita lihat pada gambar di atas? Kita mengenal adanya teori evolusi yang mempelajari bagaimana kehidupan terjadi dan teori evolusilah yang memberikan pandangan pada kita tentang bagaimana terjadinya keanekaragaman makhluk hidup di muka bumi yang bisa kita lihat pada saat ini. Teori evolusi pula yang dapat menjelaskan bagaimana interaksi dan derajat interaksi yang terjadi antara makhluk hidup dan bagaimana interaksi tersebut dapat mengubah lingkungan sehingga terciptalah keanekaragaman makhluk hidup di muka bumi. Meskipun evolusi merupakan sebuah teori, tetapi para ilmuwan menerima teori ini sebagai sebuah fakta. Beberapa kontroversi terjadi diantara kalangan ilmuwan biologi terhadap mekanisme terjadinya perubahan dalam proses evolusi dan waktu terjadinya evolusi, tetapi terjadi kesepakatan terhadap keberadaan dari proses evolusi.

Teori evolusi dimulai dengan dikemukakannya teori teori tentang asal usul makhluk hidup. Teori ini dimulai dari pendapat bahwa makhluk hidup diciptakan berasal dari makhluk tak hidup atau dikenal sebagai **teori abiogenesis**. Teori ini dikenal pula sebagai teori *generatio spontanea* yang menyatakan bahwa makhluk hidup ada

secara tiba tiba. Seiring dengan perkembangan ilmu, teori Abiogenesis ditumbangkan oleh percobaan para ahli.

a. Teori Abiogenesis

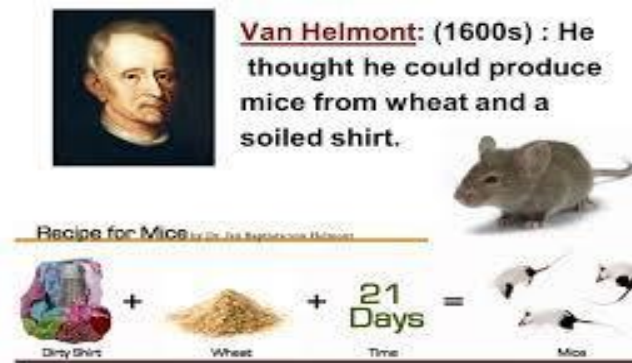
Menurut pandangan teori abiogenesis makhluk hidup berasal dari benda tak hidup dan pandangan lain dari teori ini menyatakan bahwa makhluk hidup ada secara tiba tiba. Oleh karena itu, teori abiogenesis dikenal pula sebagai teori "*generation spontanea*". Generation spontanea memiliki arti bahwa makhluk hidup diciptakan secara spontan dari benda tak hidup. Pelopor teori generation spontanea adalah Aristoteles (384 – 322 SM). Aristoteles melakukan percobaan dengan menyimpan keratin daging pada botol (**Gambar 4.2**). Beberapa hari kemudian Aristoteles menemukan lalat buah hidup pada daging yang disimpan pada botol. Kesimpulan yang diambil adalah larva lalat yang hidup pada daging yang busuk berasal dari daging yang ia simpan dalam botol.



Gambar 72. Percobaan Aristoteles

Sumber: <https://www.timetoast.com/timelines/the-cell-theory-timeline-2ccb78dd-a0b5-4c44-9590-6977a9d40843>

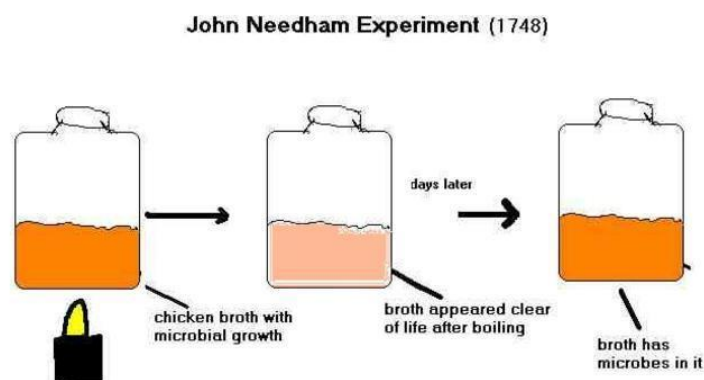
Akhir tahun 1600 banyak yang mempercayai teori generatio spontanea dan banyak percobaan yang dilakukan para ahli untuk membuktikan teori ini. Salah satunya dilakukan oleh seorang doktor bernama Jan Baptist Van Helmont. Helmont mengemukakan teori abiogenesis berdasarkan hasil percobaannya dengan menyimpan biji-bijian dan kain lusuh di sudut ruangan. Beberapa hari kemudian Helmont menemukan ada tikus hidup di dalamnya. Perhatikan **gambar 4.3**. Helmont menyimpulkan bahwa tikus tikus tersebut berasal dari kain lusuh.



Gambar 73. Percobaan Jan Baptist Van Helmont

Sumber: <https://insertwisdom.wordpress.com/2016/04/30/two-bricks-ground-basil-sunlight-time-scorpions/>

Seorang Ilmuwan dari Inggris bernama Needham (1713 -1781) melakukan percobaan dengan menggunakan berbagai macam rebusan padi padian dan daging (air kaldu) yang dipanaskan tetapi tidak sampai mendidih. Beberapa labu dibiarkan terbuka dan beberapa lainnya ditutup. Labu labu kemudian disimpan pada suhu kamar. Dalam beberapa hari Needham mendapatkan air kaldu yang berada di dalam labu menjadi keruh. Menurut Needham meskipun labu ditutup rapat namun timbul mikroorganisma di dalam labunya. Berdasarkan hasil percobaannya, Perhatikan **Gambar 4.4**. Needham menyimpulkan bahwa kehidupan baru terjadi dari benda mati.



Gambar 74. Percobaan Needham

Sumber: <https://www.timetoast.com/timelines/the-cell-theory-timeline-2ccb78dd-a0b5-4c44-9590-6977a9d40843>

Menurut para penganut paham Abiogenesis atau generatio spontanea, semua kehidupan berasal dari benda tak hidup secara spontan, misalnya: ikan dan katak

berasal dari lumpur, cacing berasal dari tanah, belatung terbentuk dari daging yang membusuk dan tikus berasal dari sekam dan kain kotor. Pada tahun 1662-1723 seorang ilmuwan bernama Antonie Van Leeuwenhoek berhasil menemukan mikroskop. Dengan mikroskopnya Leeuwenhoek melaporkan hasil gambarannya terhadap pengamatan jasad renik yang berhasil dia amati di bawah mikroskop. Temuan Leeuwenhoek seolah-olah menguatkan teori Abiogenesis yang menyatakan mikroorganisme yang dilihat di bawah mikroskop berasal dari jerami yang membusuk. Akan tetapi, Leeuwenhoek menolak teori tersebut dengan mengemukakan bahwa mikroorganisme yang dia amati di bawah mikroskop berasal dari udara.

Kelemahan dari teori yang dikemukakan oleh para penganut abiogenesis adalah mereka belum mampu melihat benda yang sangat kecil (bakteri, kista, ataupun telur cacing) yang terbawa dalam materi yang digunakan dalam percobaannya. Pada zaman Aristoteles mikroskop belum ditemukan sehingga para ilmuwan ini tidak dapat melihat bahwa sebelum materi yang digunakan untuk percobaan sudah mengandung jasad renik yang tidak bisa dilihat dengan mata telanjang. Namun walaupun ada kelemahan pada percobaan yang dilakukan oleh para ilmuwan penganut teori abiogenesis, tetapi cara berpikir dalam mencari jawaban mengenai asal usul kehidupan di bumi ini sudah mengacu pada pola metode ilmiah.

b. Teori Biogenesis

Dengan ketidakpuasan terhadap teori abiogenesis, beberapa ilmuwan mulai menyelidiki asal usul makhluk hidup melalui berbagai macam percobaan. Percobaan untuk menumbangkan anggapan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati di antaranya dilakukan oleh ilmuwan berikut: Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani (Italia, 1729 - 1799), dan Louis Pasteur (Perancis, 1822 - 1895). Pandangan teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

Francesco Redi yang lahir di Italia (1626-1697) melakukan penelitian menggunakan tabung-3 tabung yang berisi keratan daging. Tabung pertama dibiarkan terbuka, tabung kedua ditutup rapat dan tabung ke 3 ditutup dengan menggunakan kain kasa. Perhatikan Gambar 4.5. Menurut Anda, apa pemikiran Redi menggunakan kain kasa untuk menutup tabung 3?

Redi ingin membuktikan bahwa pada tabung 3, keratin daging dalam botol masih memiliki kontak dengan udara, namun lalat buah tidak bisa masuk ke dalamnya dan menyimpan telurnya pada keratin daging yang dia simpan dalam botol ketiga. Dari hasil percobaannya, Redi menyimpulkan bahwa ulat bukan berasal dari daging, tetapi berasal dari telur lalat yang terdapat dalam daging dan menetas menjadi larva.



Gambar 75. Percobaan Francisco Redi

Sumber: <https://courses.lumenlearning.com/microbiology/chapter/spontaneous-generation/>

Pada tahun 1765, seorang Ilmuwan bernama Lazzaro Spallanzani melakukan percobaan serupa dengan Francisco Redi, tetapi bahan yang digunakan untuk percobaannya berbeda. Spallanzani menggunakan air kaldu yang disimpan pada labu dengan langkah-langkah sebagai berikut:

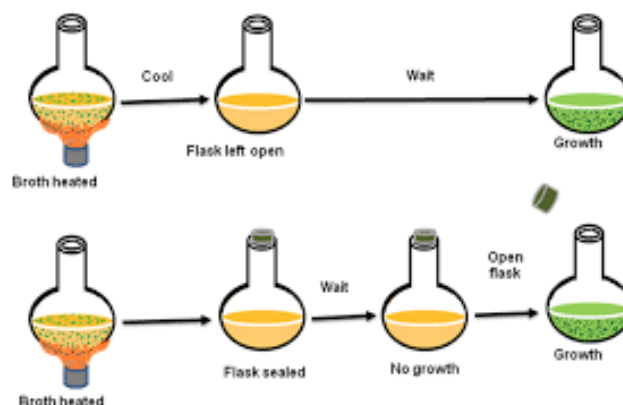
Labu 1 : diisi 70 cc air kaldu, kemudian dipanaskan 15° C dan dibiarkan terbuka.

Labu 2 : diisi 70 cc air kaldu, kemudian dipanaskan 15oC dan ditutup rapat dengan sumbat gabus.

Kedua labu itu ditempatkan di tempat terbuka dan didinginkan. Setelah beberapa hari, hasil percobaan menunjukkan pada labu 1 terjadi perubahan dan pada labu 2 tidak terjadi perubahan. Air kaldu pada labu 1 menjadi keruh dan berbau tidak enak, sedangkan pada labu 2 tidak ada perubahan sama sekali, air tetap jernih. Dengan menggunakan mikroskop, Spallanzani mengamati air pada Labu 1 dan menemukan mikroba hidup pada air kaldu, sedangkan pada Labu 2 tidak

ditemukan adanya mikroba. Spallanzani menyimpulkan bahwa timbulnya kehidupan hanya mungkin jika telah ada kehidupan sebelumnya. Jadi, mikroorganisme tersebut telah ada dan tersebar di udara.

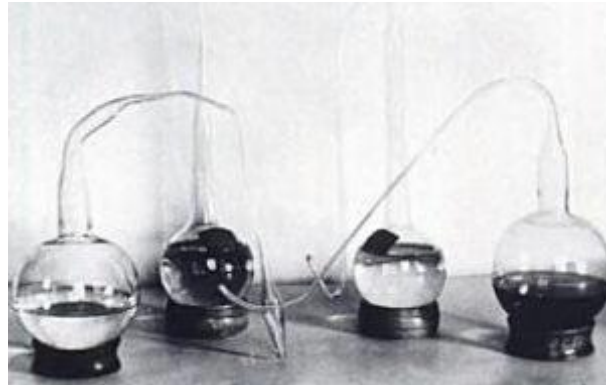
Percobaan Spallanzani (Gambar 4.6) mendapat tanggapan dari penagut abiogenesis yang mengatakan bahwa labu yang ditutup erat tidak memungkinkan hidupnya mikroba karena tidak ada udara di dalamnya untuk mendukung terjadinya *generatio spontanea*. Untuk membuktikan tetap mempertahankan teorinya, Spallanzani kemudian melakukan percobaan lebih lanjut dengan membuka tutup Labu 2 dan dibiarkan terbuka untuk beberapa hari. Dari hasil percobaannya dia menemukan pada labu yang awalnya ditutup dan kemudian dibiarkan terbuka airnya menjadi keruh dan bau karena mikroba kemudian tumbuh di dalamnya.



Gambar 76. Percobaan Spallanzani

Sumber: <https://cienciasynumeros.files.wordpress.com/2014/12/spontaneous-generation1.pdf>

Tokoh utama yang dapat menumbangkan teori abiogenesis adalah Louis Pasteur (1822 - 1895) yang seorang ahli biokimia berkebangsaan Perancis. Amati labu labu yang digunakan untuk percobaan yang dilakukan oleh Louis Pasteur pada gambar 4.7.



Gambar 77. Percobaan Louis Pasteur

Sumber: <http://www.pasteurbrewing.com/spontaneous-generation-and-the-origin-of-life/>

Pasteur melakukan percobaan penyempurnaan dari percobaan yang dilakukan Spallanzani. Percobaan Spallanzani mendapat kritikan, karena pada labu yang ditutup gabus, air kaldu yang berada di dalam labu tidak memperoleh udara sebagai sumber kehidupan sehingga tidak terjadi kehidupan. Dari kelemahan yang ditemukan pada percobaan Spallanzani, Louis Pasteur melakukan percobaan menggunakan labu leher angsa. Pertama-tama kaldu direbus hingga mendidih, kemudian dibiarkan. Setelah beberapa hari, air kaldu tetap jernih dan tidak mengandung mikroorganisme. Adanya leher angsa memungkinkan udara dapat masuk ke dalam tabung, tetapi mikroorganisme udara akan terhambat masuk karena adanya uap air pada pipa leher. Namun, apabila tabung dimiringkan hingga air kaldu sampai ke permukaan pipa, air kaldu tersebut akan terkontaminasi oleh mikroorganisme udara. Akibatnya setelah beberapa waktu, air kaldu akan keruh karena terdapat mikroorganisme. Kesimpulan percobaan Pasteur adalah mikroorganisme yang ada pada air kaldu bukan berasal dari cairan (benda tak hidup), melainkan dari mikroorganisme yang terdapat di udara. Mikroorganisme yang ada di udara masuk ke dalam labu bersama-sama dengan debu.

Berdasarkan hasil percobaan para ilmuwan tersebut maka muncullah teori baru yaitu teori Biogenesis yang menyatakan bahwa:

setiap makhluk hidup berasal dari telur = *omne vivum ex ovo*

setiap telur berasal dari makhluk hidup = *omne ovum ex vivo*

setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya = *omne vivum ex vivo*

- **Teori Evolusi**

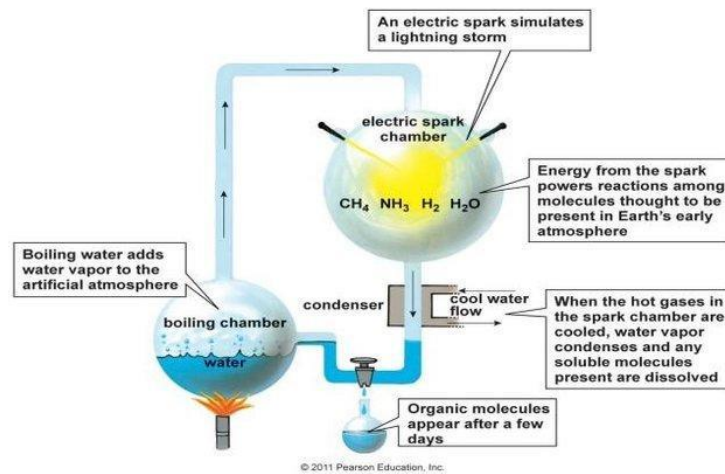
- a. **Teori Evolusi Biokimia**

Teori evolusi biokimia dikemukakan oleh Alexander Oparin seorang ahli evolusi berkebangsaan Rusia. Teori ini mencoba menggali informasi asal usul makhluk hidup dari sisi biokimia. Dalam bukunya berjudul *The Origin of Life* (1936) Oparin menyatakan bahwa asal mula kehidupan terjadi bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi beserta atmosfernya. Lebih lanjut, Oparin menjelaskan bahwa pada mulanya atmosfer bumi purba terdiri atas CH_4 , NH_3 , H_2O , dan H_2 . Oleh karena adanya pemanasan oleh sinar kosmis dan halilintar, gas-gas tersebut mengalami perubahan menjadi molekul sederhana yaitu sejenis substansi asam amino.

Selama berjuta-juta tahun, senyawa itu terakumulasi di cekungan perairan membentuk primordial soup, seperti semacam campuran materi-materi di lautan panas. Tahap selanjutnya, primordial soup ini membentuk monomer. Monomer bergabung membentuk polimer. Polimer membentuk agregasi berupa protobion. Protobion adalah bentuk awal sel hidup yang belum mampu bereproduksi, tetapi mampu memelihara lingkungan kimia dalam tubuhnya. Di samping itu, protobion juga telah memperlihatkan sifat yang berhubungan dengan makhluk hidup, seperti dapat menerima rangsang, dan bereplikasi sendiri. Terbentuknya polimer dari monomer-monomer telah dibuktikan oleh Sydney W. Fox. Dalam percobaannya, Fox memanaskan 18–20 macam asam amino pada titik leburnya dan didapatkan protein. Pendapat Alexander Oparin mendapat dukungan dari ahli kimia Amerika Serikat, bernama Harold Urey.

Pada tahun 1953, seorang mahasiswa Harold Urey, yaitu Stanley Miller (USA) mencoba melakukan eksperimen untuk membuktikan kebenaran teori yang dikemukakan Urey. Perhatikan Gambar 75.

Percobaannya itu juga dikenal dengan eksperimen Miller-Urey.



Gambar 78. Percobaan Miller – Urey

Sumber: https://www.researchgate.net/publication/331565095_Urey-Miller_Experiment_Route_to_the_Origin_of_Life_an_Astrobiologist_Prospective/figures?o=1

Alat percobaan Miller-Urey Terdiri atas bagian yang berupa sebuah tabung tertutup yang dihubungkan dengan 2 ruangan. Ruangan atas berisi beberapa gas yang menggambarkan keadaan atmosfer bumi purba. Selanjutnya pada tempat ini diberi percikan listrik yang menggambarkan halilintar. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan gas, menyebabkan terbentuknya tetesan-tetesan air dan berakhir pada ruangan pemanas kedua yang menggambarkan lautan. Beberapa molekul kompleks yang terbentuk di ruangan atmosfer, dilarutkan dalam tetesan-tetesan air ini dan dibawa ke ruangan lautan tempat sampel yang terbentuk diambil untuk dianalisis.

b. Teori Evolusi Kimia menurut Harold Urey (1893)

Urey menyatakan zat-zat organik terbentuk dari zat-zat anorganik. Menurut Urey, zat-zat anorganik yang ada di atmosfer berupa gas karbondioksida, metana, amonia, hidrogen, dan uap air. Semua zat ini bereaksi membentuk zat organik karena energi petir. Menurut Urey, proses terbentuknya makhluk hidup dapat dijelaskan dengan 4 tahap, yaitu:

Tahap 1 : Molekul metana, amonia, hidrogen, dan uap air tersedia sangat banyak di atmosfer bumi.

Tahap 2 : Energi yang diperoleh dari aliran listrik halilintar dan radiasi sinar kosmis menyebabkan zat-zat bereaksi membentuk molekul-molekul zat yang lebih besar.

Tahap 3 : Terbentuk zat hidup yang paling sederhana yang memiliki susunan kimia, seperti susunan kimia pada virus.

Tahap 4 : Zat hidup yang terbentuk berkembang dalam waktu jutaan tahun menjadi organisme (makhluk hidup) yang lebih kompleks.

c. Teori kimia menurut Stanley Miller

Miller adalah murid Harold Urey yang berhasil membuat model alat yang digunakan untuk membuktikan hipotesis Urey. Miller memasukkan uap air, metana, amonia, gas hidrogen, dan karbondioksida ke dalam tabung percobaan. Tabung tersebut kemudian dipanasi. Untuk mengganti energi listrik halilintar ke dalam perangkat alat tersebut dilewatkan lecutan listrik bertegangan tinggi sekitar 75.000 volt. Hal ini dimaksudkan untuk meniru kondisi permukaan bumi pada waktu terjadi pembentukan zat organik secara spontan. Dengan adanya energi listrik, terjadilah reaksi-reaksi yang membentuk zat baru. Zat-zat yang terbentuk didinginkan dan ditampung. Hasil reaksi kemudian dianalisis. Ternyata, di dalamnya terbentuk zat organik sederhana, seperti asam amino, gula sederhana seperti ribosa dan adenin. Dengan demikian, Miller dapat membuktikan bahwa zat organik dapat terbentuk dari zat anorganik secara spontan.

Miller menggunakan campuran gas yang diasumsikan terdapat di atmosfer bumi purba, yaitu amonia, metana, hidrogen, dan uap air dalam percobaannya. Oleh karena dalam kondisi alamiah gas-gas itu tidak mungkin bereaksi, Miller memberi stimulus energi listrik tegangan tinggi, sebagai pengganti energi alam (halilintar dan sinar kosmis). Miller mendidihkan campuran gas tersebut pada suhu 100 derajat C selama seminggu. Pada akhir percobaan, Miller menganalisis senyawa-senyawa kimia yang terbentuk di dasar gelas percobaan dan menemukan 3 jenis dari 20 jenis asam amino. Keberhasilan percobaan Miller ini memunculkan hipotesis lanjutan tentang asal usul kehidupan. Para evolutionis menyatakan bahwa asam-asam amino kemudian bergabung dalam urutan yang tepat secara kebetulan untuk membentuk protein. Sebagian protein-protein yang terbentuk secara kebetulan ini menempatkan diri mereka pada struktur seperti membran sel yang diikuti pembentukan sel primitif. Sel-sel ini kemudian bergabung membentuk organisme hidup. Mereka menyebutnya sebagai evolusi biologi.

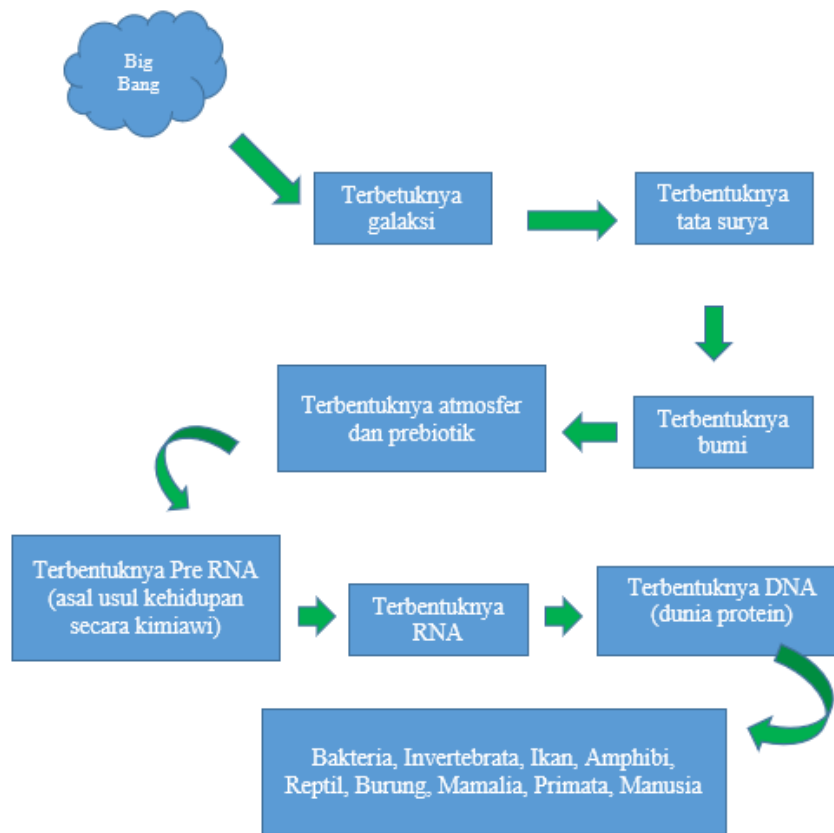
d. Teori Evolusi Biologi

Teori evolusi biologi merupakan teori evolusi kimia, yang berpendapat bahwa bumi ini pada awalnya sangat panas sekali, kemudian suatu ketika bumi mengalami proses pendinginan. Dari proses-proses tersebut maka dapat dihasilkan bahan-bahan kimia. Bahan-bahan yang berat akan menyusun bumi sedangkan bahan yang ringan akan menyusun atmosfer.

1) Teori evolusi biologi Oparin

Alexander Oparin (1894-1980) merupakan seorang ahli biokimia berkebangsaan Rusia. Oparin merupakan salah satu ahli yang mengungkapkan asal usul kehidupan dari sudut pandang fisika dan kimia. Oparin memiliki gagasan yang sama seperti Urey, tetapi Oparin tidak dapat membuktikan bahwa reaksi gas CH_4 , NH_3 , H_2 dan H_2O membentuk asam amino. Ia berpendapat bahwa asam amino terbentuk secara alami. Menurut Oparin, lautan bumi pada awalnya memiliki persediaan cukup bahan-bahan organik. Dalam waktu yang lama maka bahan-bahan organik tersebut berikatan satu dengan lainnya membentuk selaput-selaput, kemudian molekul organik berselaput ini mengikat molekul lainnya dan menyatukan diri sehingga terbentuk gabungan molekul baru yang karakteristik. Ikatan kompleks inilah yang diperkirakan merupakan awal dari kehidupan.

Oparin dan Haldane serta teori Urey menyebutkan bahwa zat organik (asam amino) yang merupakan bahan dasar penyusun makhluk hidup, pada mulanya terakumulasi di lautan. Kenyataan saat ini menunjukkan bahwa dalam sel-sel tubuh makhluk hidup mengandung garam ($NaCl$). Hal ini mendasari kesimpulan bahwa makhluk hidup berasal dari laut. Secara sederhana perkembangan makhluk hidup digambarkan oleh Oparin seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 79. Teori Oparin

Teori evolusi berikutnya berkembang untuk menjelaskan bagaimana makhluk hidup di muka bumi ini dapat bervariasi. Tokoh yang sangat terkenal dengan teori evolusi adalah Lamarck dan Darwin.

2) Lamarck

Lamarck merupakan ilmuwan biologi Perancis yang dikenal karena pendapatnya dalam teori tentang evolusi kehidupan. Dia menyatakan bahwa perbedaan antar individu terjadi karena kebiasaan atau latihan-latihan yang dilakukan individu tersebut. Hal yang diperoleh melalui latihan dapat diturunkan kepada anaknya. Contoh yang dikemukakan adalah leher jerapah. Hewan ini memiliki leher yang panjang karena mulut di kepala selalu digunakan untuk meraih daun-daun pakannya yang semakin tinggi.

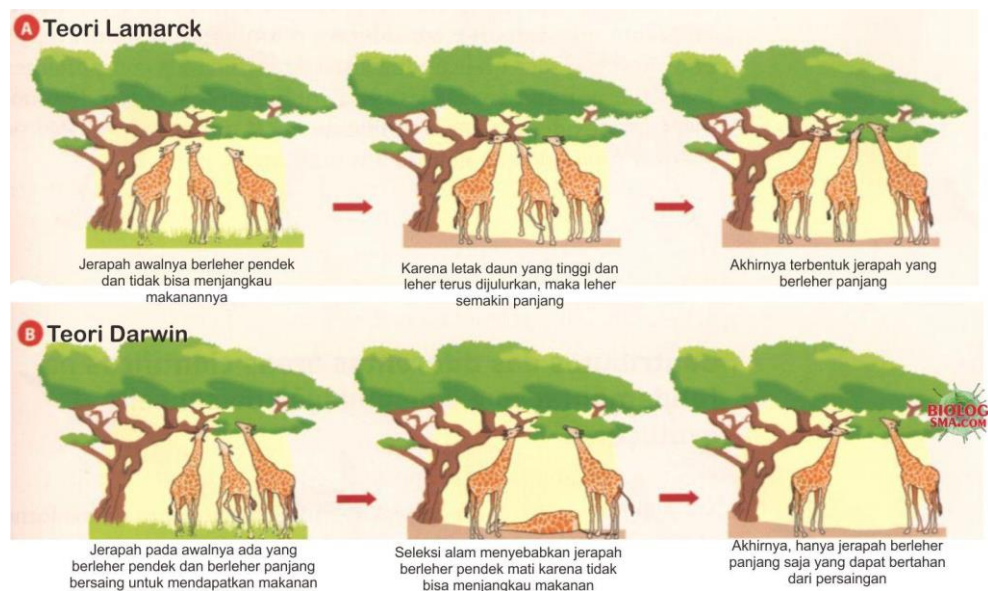
Apabila Aristoteles dikatakan melihat satu anak tangga kehidupan, maka Lamarck melihat banyak, ia yakin spesies dapat menaiki anak tangga itu dan menjadi spesies yang lebih kompleks. Pada anak tangga yang paling bawah terdapat

organisme mikroskopis, yang menurutnya dihasilkan terus-menerus secara spontan dari bahan-bahan yang tidak hidup. Pada puncak tangga evolusi terdapat tumbuhan dan hewan paling kompleks. Evolusi sepertinya telah digerakkan oleh kecenderungan naluriah untuk menjadi semakin kompleks, yang oleh Lamarck dinamakan dengan kesempurnaan. Ketika organisme mencapai kesempurnaan, organisme itu akan dapat beradaptasi semakin baik dengan lingkungannya. Dengan demikian Lamarck yakin bahwa evolusi memberikan respons terhadap sentimen interieurs atau "kebutuhan yang dirasakan" oleh organisme.

Lamarck terutama dikenang karena mekanisme yang dikemukakannya menjelaskan bagaimana adaptasi spesifik berkembang. Mekanisme tersebut mengembangkan dua ide yang populer pada masanya. Yang pertama, use (mengggunakan) dan disuse (tidak menggunakan), yaitu ide bahwa bagian-bagian tubuh yang digunakan secara luas untuk menghadapi lingkungan akan menjadi lebih besar dan lebih kuat; sedangkan di pihak lain, bagian-bagian tubuh yang tidak digunakan akan mengalami penurunan. Di antara contoh-contoh yang dirujuk oleh Lamarck adalah berkembangnya otot lengan atas (bisep) yang lebih besar pada otot pandai besi yang pekerjaannya menempa dan memegang palu dan seekor jerapah yang menjenjangkan lehernya untuk menggapai dedaunan yang terletak pada cabang-cabang pohon yang tinggi. Ide kedua disebut dengan pewarisan sifat-sifat yang diperoleh. Dalam konsep hereditas ini, modifikasi yang didapatkan oleh suatu organisme selama masa hidupnya dapat diteruskan ke keturunannya. Leher jerapah yang panjang berkembang secara perlahan-lahan sebagai produk kumulatif dari generasi-generasi leluhurnya yang meregangkan lehernya, semakin tinggi dan semakin tinggi lagi, demikian Lamarck berargumen. Namun, tidak ada bukti bahwa sifat-sifat yang didapatkan bisa diwariskan secara spontan. Para pandai besi bisa meningkatkan kekuatan dan staminanya sepanjang hidupnya karena mengayun-ayunkan palu yang berat, tetapi sifat yang didapatkan ini tidak mengubah gen yang diwariskan oleh gamet kepada keturunannya.

Lamarck dikenal sebagai penggagas suatu bentuk teori evolusi kehidupan, yang kemudian dikenal sebagai Lamarckisme. Ia percaya akan adanya perubahan linear pada makhluk hidup dari bentuk tersederhana menuju bentuk yang lebih canggih. Walaupun demikian, ia mendasarkan pada pendapat yang telah berlaku

sejak masa kuno yang menyatakan bahwa setiap spesies sudah ada sejak penciptaan kehidupan. Pemikiran ini bertentangan dengan banyak pendapat sarjana Perancis sezamannya, yang lebih condong pada perkembangan spesies. Ketika itu dinyatakan bahwa spesies-spesies terbentuk dalam perkembangan proses kehidupan, tidak "langsung jadi" begitu saja. Perubahan yang terjadi pada spesies adalah sebagai akibat respons makhluk hidup terhadap lingkungan (adaptasi). Anggota tubuh yang terlatih akan menguat, sementara yang tidak terpakai akan melemah dan tereduksi. Hasil adaptasi (sedikit demi sedikit) ini lalu diwariskan secara turun-temurun kepada anaknya dan berlanjut sepanjang masa. Perhatikan Gambar berikut ini.



Gambar 80 Perbandingan Teori Lamarck dan Darwin
(Agampalaguna, 2017)

3) Darwin

Charles Robert Darwin merupakan ilmuwan yang mempelajari variasi yang terdapat pada berbagai burung jenis merpati yang dipelihara (domestikasi) oleh para penggemar burung di Inggris. Darwin menemukan berbagai variasi, seperti: merpati gundul, merpati jambul, merpati pos, merpati ekor merak, pouter, dsb. Saat itu Darwin menganggap bahwa variasi itu adalah spesies (ini tidak benar setelah ditemukan definisi spesies). Semua variasi itu dinyatakan sebagai

peristiwa spesiasi (pembentukan spesies baru) yang berasal dari moyang merpati, yaitu merpati liar (rock pigeon) yang masih banyak hidup di Inggris.

Charles Robert Darwin melakukan observasi tentang asal-usul burung di kepulauan Galapagos dengan sasaran pengamatannya burung finch (emprit branjangan). Darwin menemukan fakta bahwa berbagai spesies finch, berdasarkan pada tempat hidup (habitat khusus) dan jenis makanannya, memiliki variasi pada struktur paruh mereka. Melihat adanya keanekaragaman makhluk hidup, tetapi tidak tahu mengapa hal itu bisa terjadi. Konsep Darwin tentang spesiasi ini dituliskannya sebagai buku yang berjudul : *The Origin of Species by Means Natural Selection and Preservation of The Fits in Struggle for Life*, pada tahun 1844.

Menurut Darwin evolusi terjadi karena adanya seleksi alam (faktor alam yg mampu menyeleksi makhluk hidup. Adaptasi merupakan penyebab terjadinya seleksi alam (mekanisme seleksi alam). Ia juga mengoreksi pendapat Lamarck tentang jerapah. Jerapah yang berleher panjang berasal dari yang berleher panjang pula, sedangkan yang berleher pendek musnah. Dalam hal ini mekanisme yang menyebabkan evolusi adalah seleksi alam.

Dari teori yang ada, Darwin menyusun bukti-bukti dan mengemukakan suatu teori untuk menjelaskan bagaimana evolusi tersebut berlangsung. Ia menjelaskan data, yang dikatakannya sebagai bukti, sebagai berikut :

- Kecepatan reproduksi semua spesies (jenis) melebihi kecepatan penambahan persediaan makanan.
- Semua organisme menunjukkan variasi, tidak ada dua individu dalam satu jenis yg persis sama.
- Semakin banyak individu memiliki peluang untuk hidup, tetapi karena keterbatasan makanan, tiap individu harus berjuang mempertahankan hidup, yang didukung oleh: ukuran tubuh, kekuatan, kemampuan lari, atau ciri apapun untuk bertahan yang menyebabkan individu punya kelebihan terhadap yang lain.
- Ciri yang mendukung kemampuan bertahan hidup akan diwariskan kepada generasi berikutnya.

- Sepanjang masa geologik, variasi-variasi yang mampu bertahan akan menghasilkan perbedaan yang kian nyata, dan terbentuklah jenis baru.

Selanjutnya Darwin menyatakan inti (konsep pokok) teori evolusi dapat dibagi menjadi beberapa pokok berikut ini :

- Variasi pada tumbuhan dan hewan merupakan suatu variasi karakteristik yang muncul dalam penampakan fenotip organisasi tersebut.
- Rasio penambahan terjadi secara geometrik, yaitu jumlah setiap spesies relatif tetap. Hal ini terjadi karena banyak individu yang tersingkir oleh predator, perubahan iklim dan proses persaingan.
- Struggle for existence (usaha yang keras untuk bertahan) merupakan suatu usaha individu organisme untuk bertahan hidup. Individu dengan variasi yang tidak sesuai untuk kondisi-kondisi yang umum di alam, akan tersingkir. Adapun individu-individu dengan variasi yang menguntungkan dapat melanjutkan kehidupannya dan memperbanyak diri dengan berproduksi.
- The survival of fittest, ketahanan didapat dari organisme yang memiliki kualitas paling sesuai dengan lingkungan. Individu-individu yang dapat hidup akan mewariskan variasi-variasi tersebut kepada generasi berikutnya.

Seiring dengan berkembangnya pengetahuan biologi pada abad ke-18, pemikiran evolusi Darwin mulai menelusuri kembali pemikiran beberapa filsuf seperti Pierre Maupertuis (1745) dan Erasmus Darwin (1796). Pemikiran biologiawan Jean-Baptiste Lamarck tentang transmutasi spesies juga memiliki pengaruh yang kuat. Charles Darwin merumuskan pemikiran seleksi alamnya pada tahun 1838 dan masih mengembangkan teorinya pada tahun 1858 ketika Alfred Russel Wallace mengirimkannya teori yang mirip, melalui suratnya "Surat dari Ternate". Keduanya diajukan ke *Linnean Society of London* sebagai dua karya yang terpisah. Pada akhir tahun 1859, publikasi Darwin, *On the Origin of Species*, menjelaskan seleksi alam secara detail dan memberikan bukti yang mendorong penerimaan luas evolusi dalam komunitas ilmiah.

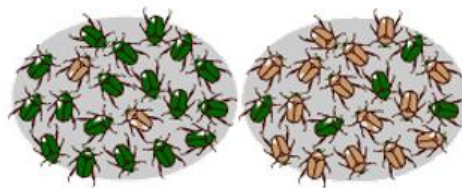
Untuk lebih memahami apa yang dikemukakan oleh Darwin, mari kita amati bagaimana mekanisme variasi pada makhluk hidup itu terjadi.

Perbedaan genetik yang diwariskan

Perhatikan Gambar A dan Gambar B. Menurut Anda Gambar manakah diantara A dan B yang merupakan contoh dari peristiwa Evolusi?



A. Kumbang dengan keterbatasan makanan



B. Kumbang dengan variasi warna

Gambar 81. Evolusi dan bukan evolusi

Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Perbedaan ukuran kumbang pada gambar A disebabkan karena faktor lingkungan yaitu kurangnya suplai makanan. Gambar A bukan menunjukkan perubahan frekuensi genetik. Jadi Gambar A bukan merupakan contoh dari evolusi karena ukuran yang kumbang yang mengecil bukan ditentukan oleh faktor genetik. Kumbang-kumbang yang ukurannya kecil itu akan menghasikan keturunan yang ukurannya besar bila makanannya tercukupi oleh lingkungan.

Perubahan warna pada contoh B merupakan contoh evolusi. Perbedaan warna pada gambar B disebabkan oleh perubahan pada gen induk yang diturunkan pada keturunannya sehingga dua generasi dari populasi yang sama memiliki perbedaan genetik. Bagaimana mekanisme evolusi ini terjadi? Mari kita simak gambar-gambar di bawah ini

a. Mutasi

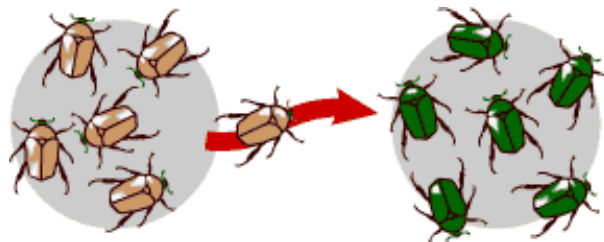


Gambar 82. Mekanisme perubahan genetik karena mutasi

Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Mutasi dapat menyebabkan induk kumbang yang warnanya hijau terang memiliki keturunan dengan warna coklat dan diturunkan kembali pada keturunan berikutnya. Hal ini akan menyebabkan populasi kumbang warna coklat ditemukan lebih banyak dibanding kumbang warna hijau terang.

b. Migrasi



Gambar 83. Mekanisme perubahan genetik karena migrasi

Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Pada gambar 4.13. di atas, beberapa individu dari populasi kumbang coklat bermigrasi ke populasi kumbang hijau dan berhasil mendominasi populasi kumbang hijau karena bisa menghasilkan keturunan lebih banyak dibandingkan kumbang hijau. Hal ini menyebabkan populasi kumbang warna coklat lebih banyak ditemukan.

c. Pergeseran genetik (genetic drift)



Gambar 84. Mekanisme perubahan genetik karena pergeseran genetik

Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Gambar 4.14. di atas menjelaskan dalam satu lingkungan ditemukan kumbang coklat dan kumbang hijau. Kumbang coklat memiliki keturunan lebih banyak dibanding kumbang hijau. Kemudian terjadi kejadian beberapa kumbang hijau terinjak yang menyebabkan kumbang hijau tidak bisa lagi menghasilkan keturunan dan akhirnya musnah. Keturunan berikutnya akan dihasilkan kumbang coklat yang lebih banyak, dan kejadian ini terus menerus terjadi pada generasi berikutnya. Hal ini dinamakan dengan pergeseran genetik.

d. Seleksi Alam



Gambar 85. Mekanisme perubahan genetik karena seleksi alam

Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Dalam sebuah lingkungan terdapat dua macam kumbang yaitu kumbang coklat dan hijau. Kumbang hijau menjadi makanan kesukaan burung pemakan serangga karena warnanya mencolok dan mudah dilihat oleh burung-burung tersebut.

Keturunan berikutnya akan disominasi oleh kumbang coklat karena kumbang hijau jumlahnya semakin sedikit.

Mekanisme-mekanisme di atas, dapat mengakibatkan perubahan frekuensi gen dalam sebuah populasi, dan dinamakan sebagai mekanisme perubahan dalam evolusi. Namun demikian seleksi alam tidak berlaku kecuali terdapat variasi genetic, artinya ada variasi genetic dari antara individu. Jika populasi kumbang di atas 100% berwarna hijau, maka seleksi dan pergeseran tidak akan memberikan pengaruh pada warna keturunan kumbang tersebut dan perubahan genetik tidak akan terjadi.

e. Bukti-Bukti Evolusi

Evolusi dapat dilihat dari dua segi yaitu sebagai proses sejarah dan bagaimana proses itu terjadi. Sebagai proses historis evolusi itu telah dipastikan secara menyeluruh dan lengkap sebagaimana yang telah dipastikan oleh ilmu tentang suatu kenyataan mengenai masa lalu yang tidak dapat disaksikan oleh mata. Hal ini berarti bahwa evolusi itu ada dan merupakan suatu kenyataan yang telah terjadi. Berikut ini merupakan bukti-bukti evolusi yang ada.

Adanya variasi antar individu dalam satu keturunan

Di dunia ini tidak pernah dijumpai dua individu yang identik sama, bahkan anak kembar sekalipun pasti punya suatu perbedaan. Demikian pula individu yang termasuk dalam satu spesies. Misalnya perbedaan warna, ukuran, berat, kebiasaan, dan lain-lain. Jadi antar individu dalam satu spesies pun terdapat variasi. Variasi adalah segala macam perbedaan yang terdapat antar individu dalam satu spesies. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh berbagai faktor seperti suhu, tanah, makanan, dan habitat.

Perhatikan bahwa dalam satu keturunan pun akan selalu memunculkan variasi. Ini disebabkan karena pada perkawinan selalu terjadi rekombinasi gen.

Seleksi yang dilakukan bertahun-tahun terhadap suatu spesies akan menyebabkan munculnya spesies baru yang berbeda dengan moyangnya. Oleh karena itu adanya variasi merupakan bahan dasar terjadinya evolusi yang menuju ke arah terbentuknya spesies baru.

a. Pengaruh penyebaran geografis

Makhluk hidup yang berasal dari satu spesies yang hidup pada satu tempat setelah mengalami penyebaran ke tempat lain sifatnya dapat berubah. Perubahan itu terjadi karena di tempat yang baru makhluk hidup tersebut harus beradaptasi demi kelestariannya.

Selanjutnya, adaptasi bertahun-tahun yang dilakukan akan menyebabkan semakin banyaknya penyimpangan sifat bila dibandingkan dengan makhluk hidup semula. Dua tempat yang dipisahkan oleh pegunungan yang tinggi atau samudera yang luas mempunyai flora dan fauna yang berbeda sama sekali. Perbedaan susunan flora dan fauna di kedua tempat itu antara lain disebabkan adanya isolasi geografis.

Perkembangan variasi paruh burung Finch. Terjadi karena terseleksi secara alami oleh jenis makanan yang berbeda. Contohnya adalah mengenai bentuk paruh burung Finch yang ditemukan Darwin di kepulauan Galapagos. Dari pengamatannya tampak burung-burung Finch tersebut memiliki bentuk paruh dan ukuran yang berbeda, dan menunjukkan mempunyai hubungan dengan burung Finch yang ada di Amerika Selatan. Mungkin karena sesuatu hal burung itu bermigrasi ke Galapagos.

Mereka menemukan lingkungan yang baru yang berbeda dengan lingkungan hidup moyangnya. Burung itu kemudian berkembangbiak dan keturunannya yang mempunyai sifat sesuai dengan lingkungan akan bertahan hidup, sedang yang tidak akan mati. Karena lingkungan yang berbeda, burung-burung itu menyesuaikan diri dengan jenis makanan yang ada di Galapagos. Akhirnya terbentuklah 14 spesies burung Finch yang berbeda dalam bentuk dan ukuran paruhnya.

b. Ditemukannya fosil di berbagai lapisan batuan bumi

Fosil adalah sisa tumbuhan atau hewan yang telah membatu atau jejak-jejak yang tercetak pada batuan. Darwin menyatakan bahwa fosil yang ditemukan pada lapisan batuan muda berbeda dengan fosil yang terdapat pada lapisan batuan yang lebih tua, dan menunjukkan suatu bentuk perkembangan.

Dari sekian banyak fosil yang ditemukan, yang paling lengkap dan dapat digunakan sebagai petunjuk adanya evolusi adalah fosil kuda yang ditemukan oleh

Marsh dan Osborn. Dari studi yang dilakukan dapat dicatat beberapa perubahan dari nenek moyang kuda (Eohippus) yang hidup 58 juta tahun yang lalu menuju ke bentuk kuda modern sekarang (Equus), yaitu: tubuh bertambah besar, dari sebesar kucing hingga sebesar kuda sekarang leher makin panjang, kepala makin besar, jarak antara ujung mulut hingga bagian mata menjadi makin jauh perubahan dari geraham depan dan belakang dari bentuk yang sesuai untuk makan daun menjadi bentuk yang sesuai untuk makan rumput bertambah panjangnya anggota tubuh hingga dapat dipakai untuk berlari cepat, tetapi bersamaan dengan itu kemampuan rotasi tubuh menurun.

Adanya reduksi jari kaki dari lima menjadi satu, yaitu jari ketiga yang selanjutnya memanjang, kemudian disokong teracak. Untuk menetapkan umur fosil dapat dilakukan dengan dua cara: secara langsung dan tak langsung. Secara langsung dengan menetapkan umur batuan tempat fosil ditemukan. Cara yang ini kurang valid. Secara tak langsung dengan carbon dating menggunakan isotop C14. Cara yang kedua ini lebih valid.

c. Adanya homologi organ pada berbagai jenis makhluk hidup

Organ-organ berbagai makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal sama dan kemudian berubah struktur sehingga fungsinya berbeda disebut organ yang homolog. Homologi organ menunjukkan tingkat kekerabatan makhluk yang bersangkutan. Makin banyak organ yang homolog kemungkinan kekerabatannya makin dekat, yang artinya nenek moyangnya mungkin sama.

Homologi organ: perhatikan bahwa anggota gerak pada setiap makhluk memiliki bentuk berbeda, tetapi pada dasarnya memiliki bagian yang sama. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan fungsi. Contohnya: tangan manusia berfungsi untuk memegang adalah homolog dengan sirip depan paus yang digunakan untuk berenang, atau sayap kelelawar yang berguna untuk terbang homolog dengan tungkai depan kucing yang berguna untuk berjalan.

Lawan dari homolog adalah organ yang analog, yaitu organ-organ dari berbagai makhluk hidup yang fungsinya sama tanpa memperhatikan bentuk asalnya. Bisa juga diartikan organ-organ tubuh dari berbagai makhluk hidup yang fungsinya sama tetapi bentuk asalnya berbeda.

d. Studi perbandingan embriologi

Perkembangan embrio berbagai spesies yang termasuk kelas vertebrata menunjukkan adanya persamaan pada fase tertentu yakni pada fase morulla, blastula, dan gastrula/awal embrio. Hal ini menunjukkan adanya hubungan kekerabatan di antara hewan-hewan sesama vertebrata, yang mungkin pula mereka memiliki satu nenek moyang.

Ernst Haeckel menyatakan dalam hukum Rekapitulasi yang dikemukakannya bahwa ontogeni suatu organisme merupakan rekapitulasi (ulangan singkat) dari filogeni. Ontogeni adalah sejarah perkembangan individu mulai zigot sampai dewasa. Filogeni adalah sejarah perkembangan makhluk hidup dari bentuk sederhana sampai dengan bentuk yang paling sempurna (evolusi).

e. Studi perbandingan biokimia

Bila membandingkan makhluk hidup pada tingkat biokimia, ternyata hasilnya mendukung teori evolusi. Sebagai contoh, Hb manusia lebih mirip dengan simpanse atau gorilla daripada dengan anjing atau cacing tanah. Tingkat kemiripan ini menunjukkan manusia lebih dekat kekerabatannya dengan simpanse atau gorilla daripada dengan anjing atau cacing tanah. Tingkat kemiripan pada jaman sekarang tidak lagi dilakukan secara morfologi, tetapi dilakukan melalui kesamaan genetik. Analisis terhadap DNA dapat membuktikan kekerabatan antar makhluk hidup yang ada muka bumi.

D. Rangkuman

Rangkuman Struktur dan Fungsi Sel

- Setiap sel memiliki membran plasma, nukleus, dan sitoplasma. Membran plasma, yang mengelilingi sel menjaga sel tetap utuh, mengatur apa yang masuk dan keluar dari sel.
- Nukleus adalah struktur besar, berlokasi sentral di tengah sel. Inti nucleus mengandung kromosom dan merupakan pusat kendali sel. Inti mengontrol fungsi metabolisme dan karakteristik struktural sel. Nukleolus adalah wilayah di dalam nukleus.
- Sitoplasma adalah bagian dari sel antara nukleus dan membran plasma. Matriks sitoplasma adalah media semifluid yang mengandung air dan berbagai jenis molekul yang tersuspensi atau terlarut dalam medium.

- Sel juga memiliki sitoskeleton, jaringan filamen yang saling berhubungan dan mikrotubulus di sitoplasma. Nama sitoskeleton adalah cocok dengan sel karena memungkinkan kita untuk membandingkan sitoskeleton ke tulang dan otot kita.
- Hipotesis endosimbiosis berseri (serial endosymbiosis) yang menyatakan bahwa mitokondria dan kloroplas pada awalnya adalah prokariota kecil yang hidup di dalam sel prokariota yang lebih besar.
- Membran sel memegang peranan yang sangat penting dalam proses keluar masuknya zat. Transportasi zat-zat dibagi menjadi dua, yaitu transportasi pasif dan transportasi aktif.

Rangkuman Sistem Organ

Tubuh manusia terdiri dari 11 sistem organ yang bekerja satu sama lain (saling tergantung). Sistem ini meliputi :

- Sistem integument (kulit, rambut, kuku) : membentuk tubuh eksternal yang menutupi dan melindungi jaringan yang lebih dalam dari cedera. Rumah reseptor kulit, kelenjar keringat, kelenjar minyak, dan mensintesis vitamin D.
- Sistem kerangka(tulang, sendi) : mendukung dan melindungi organ tubuh, memberikan kerangka penggunaan otot (gerakan), tulang juga menyimpan mineral dan membuat sel darah.
- Sistem otot(otot rangka), : mempertahankan postur dan menghasilkan gerakan (penggerak), menghasilkan panas.
- Sistem limfatik(sumsum tulang merah, timus, pembuluh limfatik, saluran toraks, limpa, kelenjar getah bening) : rumah sel darah putih (limfosit) yang terlibat dalam imunitas, mengembalikan cairan yang bocor dari pembuluh darah ke darah dan membuang puing-puing dalam aliran limfatik.
- Sistem pernapasan(rongga hidung, faring, laring, trakea, bronkus, paru-paru) : menghilangkan karbon dioksida dan terus memasok darah dengan oksigen. Pertukaran gas terjadi di sistem pernapasan (paru-paru).
- Sistem pencernaan– (rongga mulut, kerongkongan, hati, lambung, usus kecil, usus besar, dubur, anus) : memecah makanan yang akan diserap dan menghilangkan limbah yang tidak bisa dicerna.

- Sistem saraf (otak, sumsum tulang belakang, saraf) : sistem kontrol tubuh, merespons perubahan internal dan eksternal, mengaktifkan otot dan kelenjar.
- Sistem endokrin(kelenjar pineal, kelenjar pituitari, kelenjar tiroid, timus, kelenjar adrenal, pankreas, ovarium, testis) : kelenjar dari sistem endokrin mengeluarkan hormon yang mengatur banyak proses seperti pertumbuhan, metabolisme, dan reproduksi.
- Sistem kardiovaskular(jantung, pembuluh darah) : jantung memompa darah dan pembuluh darah mengangkutnya sedangkan darah membawa oksigen, karbon dioksida, nutrisi, limbah, dan banyak lagi ke seluruh tubuh.
- Sistem kemih (ginjal, ureter, kandung kemih, uretra) : menghilangkan limbah nitrogen dari tubuh, mengatur keseimbangan asam-basa, elektrolit dan air.
- Sistem reproduksi :fungsi utama dari sistem reproduksi adalah menghasilkan keturunan. Hormon seks dan sperma diproduksi oleh testis pria. Saluran dan kelenjar pria membantu melepaskan sperma. Ovarium menghasilkan hormon seks wanita dan telur. Struktur reproduksi wanita lainnya berfungsi sebagai tempat pemupukan dan pengembangan. Misalnya, kelenjar susu menghasilkan susu untuk bayi baru lahir.

Rangkuman Reproduksi Sel dan Hereditas

- Pembelahan sel dibedakan menjadi dua, yaitu pembelahan secara langsung (amitosis) dan pembelahan secara tidak langsung (mitosis dan meiosis).
- Pembelahan mitosis adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom sama dengan jumlah kromosom induknya. Proses pembelahan mitosis terjadi pada semua sel tubuh makhluk hidup, kecuali pada jaringan yang menghasilkan gamet (sel kelamin).
- Pada pembelahan mitosis, satu sel induk membelah diri menjadi dua sel anakan. Sel anakan ini mewarisi sifat sel induknya dan memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya. Jika sel induk memiliki $2n$ kromosom, maka setiap sel anakan juga memiliki $2n$ kromosom. Jumlah $2n$ ini disebut juga kromosom diploid.
- Teknologi reproduksi adalah upaya manusia untuk mengembangbiakan hewan ataupun tumbuhan dengan beberapa cara yang diharapkan bisa mengatasi masalah dalam perkembangbiakan.

- Beberapa teknologi reproduksi pada tumbuhan dan hewan diantaranya kultur jaringan, inseminasi buatan, kloning, bayi tabung dan hibridisasi.
- Pewarisan sifat atau hereditas merupakan penurunan sifat dari induk (orang tua) kepada keturunannya (anak). Ilmu yang mempelajari tentang pewarisan sifat ini disebut genetika.
- Mekanisme pewarisan sifat dari tetua kepada anak atau keturunannya tidak terlepas dari proses reproduksi seksual. Dalam reproduksi seksual, unit penting yang saling bersatu adalah sperma (sel dengan segala perangkat genetiknya dari individu jantan) dan ovum (dari individu betina). Kedua unit sel reproduktif tersebut akan melebur (fertilisasi) dan membentuk cikal bakal individu baru berupa zigot.
- Seleksi pedigree atau yang sering disebut dengan seleksi silsilah termasuk dalam seleksi untuk hasil hibridisasi. Seleksi ini merupakan seleksi dari tanaman dengan kombinasi karakter yang dikehendaki pada generasi F₂, turunannya selanjutnya diseleksi lagi pada generasi-generasi berikutnya sampai mencapai kemurnian genetik.

Rangkuman Teori Asal Usul Kehidupan dan Evolusi

- Teori tentang asal usul kehidupan berkembang dari pemikiran bahwa makhluk hidup ada secara tiba tiba (*generatio spontanea*) dan makhluk hidup berasal dari makhluk tak hidup. Teori ini dikenal dengan nama teori abiogenesis. Teori abiogenesis ditumbangkan oleh teori biogenesis melalui percobaan Redi, Spalanzani dan terutama Louis Pasteur yang terkenal dengan percobaannya menggunakan labu leher angsa.
- Teori evolusi biologi menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari senyawa sederhana berupa protein yang berkembang menjadi senyawa protenoid dan makhluk hidup bersel satu yang hidup di laut dan kemudian berkembang menjadi makhluk hidup yang tinggal di darat
- Keanekaragaman makhluk hidup, adanya fosil dan homologi pada organ makhluk hidup merupakan bukti adanya evolusi.

Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru

Modul 3. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi

Penulis. Lilit Rusyati, S.Pd., M.Pd.

A. Kompetensi

Penjabaran model kompetensi yang selanjutnya dikembangkan pada kompetensi guru bidang studi yang lebih spesifik pada Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi, kompetensi yang akan dicapai pada pembelajaran ini adalah guru P3K mampu menganalisis interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Dalam rangka mencapai kompetensi guru bidang studi, maka dikembangkanlah indikator - indikator yang sesuai dengan tuntutan kompetensi guru bidang studi. Indikator pencapaian kompetensi yang akan dicapai dalam Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi adalah sebagai berikut.

- 1.1. Mengkorelasikan adaptasi struktural, kimiawi dan reproduksi dengan fakta asal mula tumbuhan
- 1.2. Mengkategorikan jenis tumbuhan dengan menggunakan kunci dikotomi dan kunci determinasi
- 1.3. Membandingkan karakteristik pada tumbuhan nonvaskuler, tumbuhan vaskuler tak berbiji dan tumbuhan berbiji
- 1.4. Menafsirkan tipe reproduksi pada tumbuhan nonvaskuler, tumbuhan vaskuler tak berbiji dan tumbuhan berbiji
- 1.5. Menelaah objek permasalahan biologi berdasarkan kasus penelitian di tumbuhan pada salah satu tingkat organisasi kehidupan.

- 2.1. Mendeskripsikan gambaran umum tentang filogeni dan keanekaragaman hewan
- 2.2. Mengkategorikan jenis hewan dengan menggunakan kunci dikotomi dan kunci determinasi
- 2.3. Membandingkan karakteristik pada hewan invertebrata dan vertebrata
- 2.4. Menafsirkan tipe reproduksi pada hewan invertebrata dan vertebrata
- 2.5. Menelaah objek permasalahan biologi berdasarkan kasus penelitian terhadap hewan pada salah satu tingkat organisasi kehidupan.
- 3.1. Mengkategorikan jenis-jenis simbiosis sebagai bentuk interaksi antar makhluk hidup
- 3.2. Mengkorelasikan hubungan antara populasi makhluk hidup dengan kebutuhan hidupnya.
- 4.1. Menganalisis penyebab terjadinya pencemaran lingkungan berdasarkan dampak yang ditimbulkannya.
- 4.2. Menganalisis peran mikroorganisme dalam menjaga kesuburan tanah berdasarkan sifat fisika atau kimianya.
- 4.3. Menemukan berbagai alternatif strategi atau solusi yang paling tepat untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan

C. Uraian Materi

1. Klasifikasi dan Keanekaragaman Tumbuhan

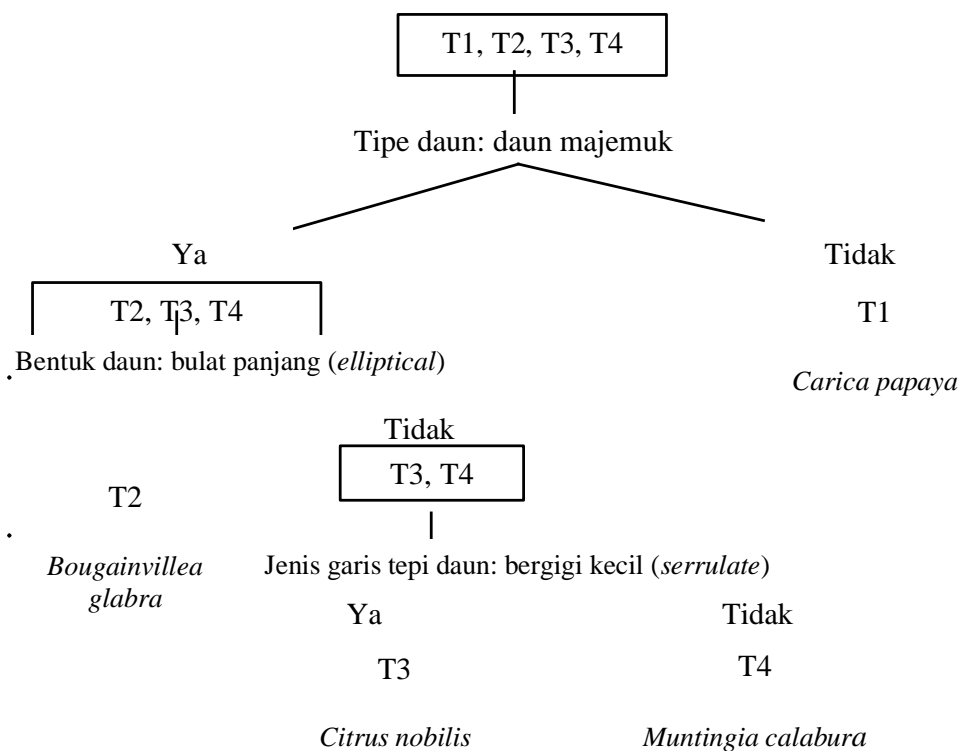
- **Kunci Dikotomi dan Kunci Determinasi untuk Tumbuhan**

Kunci dikotomi atau kunci identifikasi biasanya terdiri atas dua keterangan yang berlawanan dari ciri-ciri yang dimiliki oleh suatu kelompok makhluk hidup. Ketika membuat kunci dikotomi, hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu:

 - a. Kunci harus dikotom (berlawanan), sehingga satu bagian dapat diterima sedangkan yang lain ditolak.
 - b. Ciri yang dimasukkan mudah diamati.
 - c. Deskripsi karakter dengan istilah umum sehingga dapat dipahami oleh orang lain.
 - d. Menggunakan kalimat sesingkat mungkin.

Selain kunci dikotomi ada juga Kunci Determinasi. Kunci determinasi dibuat secara bertahap sampai bangsa saja, suku, marga atau jenis dan seterusnya. Ciri-ciri makhluk hidup disusun sedemikian rupa sehingga selangkah demi selangkah Anda akan memilih satu diantara dua atau beberapa sifat yang bertentangan. Demikian seterusnya sehingga Anda akan memperoleh suatu jawaban berupa identitas makhluk hidup yang diinginkan.

Berikut disajikan salah satu contoh bentuk Kunci Dikotomi untuk empat tumbuhan. Jika Anda memiliki kunci dikotomi yang berbeda, tidak apa-apa, semuanya benar asalkan dasar klasifikasinya menggunakan konsep yang tepat.



Gambar 86. Contoh Kunci Dikotomi pada Tumbuhan

(Dokumen pribadi, 2019)

Berikut salah satu contoh Kunci Determinasi untuk klasifikasi tumbuhan.

Kunci Determinasi Tumbuhan

a. Tumbuhan dengan ciri batangnya termasuk dalam batang tidak sejati atau tidak memiliki alat tubuh yang menyerupai batang **Lumut hati**
Tumbuhan dengan batang sejati atau memiliki alat tubuh yang menyerupai batang ... (2)

a. Pada batang tidak diketemukan pembuluh **Lumut daun**
Pada batang terdapat jaringan pembuluh (3)

a. Tumbuhan tidak berbunga(4)
Tumbuhan berbunga atau memiliki organ yang berfungsi seperti bunga ... (4)

a. Pada daun terdapat bintik kuning atau coklat, jika ditekan akan keluar serbuk kecil **Tumbuhan paku**
Pada daun tidak diketemukan adanya bintik kuning atau coklat (5)

a. Tumbuhan tidak dengan bunga sejati, pada ujung ranting atau ketiak daun terdapat badan berbentuk kerucut yang menghasilkan bakal biji **Gymnospermae**
Tumbuhan dengan bunga sejati dan tidak mempunyai organ berbentuk kerucut pada ujung atau ketiak daunnya (6)

a. Berakar serabut (7)
Berakar tunggang(8)

a. Batang berongga **Padi**
Batang tidak berongga **Jagung**

a. Bunga berbentuk kupu-kupu **Kacang**
Bunga berbentuk terompet **Terong**

Gambar 87. Contoh Kunci Determinasi pada Tumbuhan

(<https://www.gurupendidikan.co.id/>, 2019)

Beberapa tahapan cara menggunakan Kunci Determinasi yaitu:

- a. Bacalah dengan teliti Kunci Determinasi mulai dari permulaan yaitu nomor 1a.
- b. Cocokkan ciri-ciri tersebut pada Kunci Determinasi dengan ciri yang terdapat pada makhluk hidup yang diamati.
- c. Jika ciri-ciri pada kunci tidak sesuai dengan ciri makhluk hidup yang diamati, harus beralih pada pernyataan yang ada dibawahnya dengan nomor yang sesuai. Misalnya pernyataan 1a tidak sesuai, beralihlah ke pernyataan 1b.
- d. Jika ciri-ciri yang terdapat pada Kunci determinasi sesuai dengan ciri yang dimiliki organisme yang diamati, catatlah nomornya. Lanjutkan pembacaan kunci pada nomor yang sesuai dengan nomor yang tertulis di belakang setiap pernyataan pada kunci.
- e. Jika salah satu pernyataan ada yang cocok atau sesuai dengan makhluk hidup yang diamati, alternatif lainnya akan gugur.

f. Begitu seterusnya hingga diperoleh nama famili, ordo, kelas, dan divisio atau filum dari makhluk hidup yang diamati.

Saat ini ada aplikasi bernama PlantNet yang dapat membantu Anda dan peserta didik untuk menemukan nama ilmiah suatu tumbuhan. Selain itu, Anda juga dapat berkontribusi untuk menambahkan atau merevisi informasi atau nama ilmiah pada aplikasi tersebut.

- **Asal Mula Tumbuhan : Adaptasi Struktural, Kimiawi, dan Reproduksi**

Para ahli sistematika telah melakukan kajian dan penelitian untuk mencari hubungan kekerabatan kingdom Plantae (tumbuhan) dengan kingdom lainnya. Berikut adalah hasil penelitian tersebut yang terdiri atas adaptasi secara struktural, kimiawi dan reproduksi tumbuhan.

- a. **Tumbuhan kemungkinan berevolusi dari alga hijau yang disebut karofita**

Selama beberapa dekade, para ahli telah mengakui bahwa alga hijau (karofita) adalah protista fotosintetik yang paling dekat kekerabatannya dengan tumbuhan. Dengan membandingkan ultrastruktur sel, biokimia, dan informasi hereditas (DNA dan RNA serta produk proteinnya), para peneliti telah menemukan homologi antara tumbuhan dan karofita, di antaranya:

- 1) **Kloroplas yang homolog.**

Alga hijau memiliki klorofil *b* dan beta karoten seperti halnya dengan tumbuhan. Kloroplas alga hijau juga mirip dengan kloroplas tumbuhan dalam hal terdapatnya membran tilakoid yang menumpuk sebagai grana. Ketika para ahli sistematika molekuler membandingkan DNA kloroplas dari berbagai macam alga hijau dengan DNA kloroplas pada tumbuhan, kesamaan yang paling dekat terdapat antara karofita dan tumbuhan.

- 2) **Kemiripan Biokimiawi.**

Selulosa adalah komponen struktural dinding sel pada sebagian besar alga hijau, suatu karakteristik yang juga dimiliki oleh tumbuhan. Diantara alga hijau, karofita adalah yang paling mirip dengan tumbuhan dalam komposisi dinding sel, yaitu selulosanya menyusun 20-26 % dari total bahan pembentuk dinding sel, baik pada karofita maupun pada tumbuhan. Karofita juga merupakan satu-satunya alga yang

memiliki peroksisom yang komposisi enzimnya sama dengan peroksisom pada tumbuhan

3) Kemiripan dalam mekanisme mitosis dan sitokinesis.

Selama pembelahan sel pada tumbuhan dan karofita, seluruh selubung nukleus menyebar selama akhir profase, dan gelondong mitosis tetap bertahan sampai sitokinesis dimulai. Pada beberapa karofita, seperti tumbuhan, sitokinesis melibatkan kerjasama dengan mikrotubul, mikrofilamen aktin, dan vesikula dalam pembelahan suatu lempengan sel.

4) Kemiripan dalam ultrastruktur sperma.

Dalam rincian ultrastruktur sperma, karofita lebih mirip dengan tumbuhan tertentu daripada dengan alga hijau lainnya.

5) Hubungan genetik.

Para ahli sistematika molekuler telah meneliti gen nukleus tertentu dan RNA ribosom pada karofita dan tumbuhan. Hasil penelitian tersebut sesuai dengan bukti-bukti lainnya yang menempatkan karofita sebagai kerabat terdekat tumbuhan.

b. Pergiliran generasi pada tumbuhan diawali dari pembelahan meiosis yang tertunda

Pergiliran generasi tidak terjadi pada karofita modern, akan tetapi kita dapat menemukan petunjuk pada beberapa alga tersebut, diantaranya pada anggota genus *Coleochaete*. Thallus (badan) *Coleochaete* adalah haploid. Cara reproduksi seksualnya sangat tidak umum dibandingkan dengan cara reproduksi seksual pada alga lainnya. Sebagian besar alga melepaskan gametnya ke dalam air di sekelilingnya, dimana fertilisasi berlangsung. Perbedaannya, induk thallus *Coleochaete* mempertahankan sel telurnya, dan setelah fertilisasi terjadi, zigot masih tetap menempel pada induknya. Sel-sel non reproduktif pada thallus tersebut tumbuh di sekitar masing-masing zigot. Kemungkinan karena diberi makan oleh sel-sel di sekitarnya. Zigot yang tumbuh tersebut kemudian membelah secara meiosis, melepaskan spora haploid yang berkembang menjadi individu baru.

Perhatikan bahwa tahapan diploid satu-satunya dalam siklus hidup *Coleochaete* adalah zigot; pergiliran generasi diploid multiselular dan generasi haploid multiselular tidak terjadi. Tetapi bayangkanlah nenek moyang tumbuhan yang

pembelahan meiosisnya tertunda sampai setelah zigot pertama membelah secara mitosis untuk meningkatkan jumlah sel-sel diploid yang menempel pada induk haploidnya. Siklus hidup seperti ini sesuai dengan definisi pergiliran generasi. Pada kasus ini, sporofita yang belum sempurna (kumpulan sel-sel diploid) akan bergantung pada gametofit (induk haploid). Jika sel-sel khusus gametofit membentuk lapisan pelindung di sekitar sporofit yang sangat kecil tersebut, maka nenek moyang hipotetis seperti itu dapat dikualifikasi sebagai embriofita primitif.

Apakah keuntungan menunda pembelahan meiosis dan membentuk kumpulan sel-sel diploid? Jika zigot mengalami pembelahan meiosis secara langsung, maka setiap fertilisasi hanya menghasilkan beberapa spora haploid. Akan tetapi pembelahan mitosis pada zigot untuk membentuk suatu sporofita akan memperbanyak produk seksual, dengan pembelahan meiosis yang menyebabkan banyak sel diploid menghasilkan banyak spora haploid. Ini merupakan adaptasi yang penting untuk memaksimalkan hasil reproduksi seksual pada lingkungan dimana kondisi kekurangan air menurunkan peluang dari sperma yang berenang untuk membuahi telur.

c. Adaptasi pada air yang dangkal merupakan pra-adaptasi tumbuhan untuk kehidupan di daratan

Banyak spesies karofita modern ditemukan di perairan yang dangkal di sekitar ujung kolam dan danau. Sejumlah karofita kuno yang hidup di sekitar daratan, kemungkinan telah menempati habitat di air dangkal yang dapat mengalami kekeringan. Seleksi alam akan lebih memilih individu alga yang dapat bertahan hidup melewati periode ketika alga tidak berada di bawah permukaan air. Perlindungan pada gamet-gamet dan embrio yang sedang berkembang di dalam organ yang terlindungi (gametangia) pada induknya merupakan salah satu contoh adaptasi dengan kehidupan di air dangkal yang akan terbukti ternyata berguna juga di daratan. Contoh lainnya adalah resistensi yang ditambahkan oleh sporollenin pada spora.

- **Tumbuhan Non Vaskuler : Tumbuhan Lumut (Bryophyta)**

Tumbuhan lumut termasuk kategori Thallophyta (tumbuhan bertalus) karena belum dapat dibedakan mana akar, batang, dan daun. Tumbuhan nonvaskuler (lumut daun, lumut hati, dan lumut tanduk) dikelompokkan bersama dalam satu divisi tunggal, bryophyta (Bahasa Yunani *bryon*, "lumut"). Bryophyta menunjukkan adaptasi penting yang pertama kali membuat perpindahan ke daratan menjadi mungkin yaitu kondisi embriofita tersebut. Gamet pada briofita berkembang di dalam gametangia. Gametangium jantan, dikenal sebagai anteridium, menghasilkan sperma berflagela. Setiap gametangium betina, atau arkegonium, menghasilkan satu telur (ovum). Sel telur tersebut dibuahi dalam arkegonium dan zigot berkembang menjadi suatu embrio di dalam selubung pelindung organ betina. Penyimpanan zigot dan sporofita yang berkembang dari zigot merupakan versi yang diperbaharui.



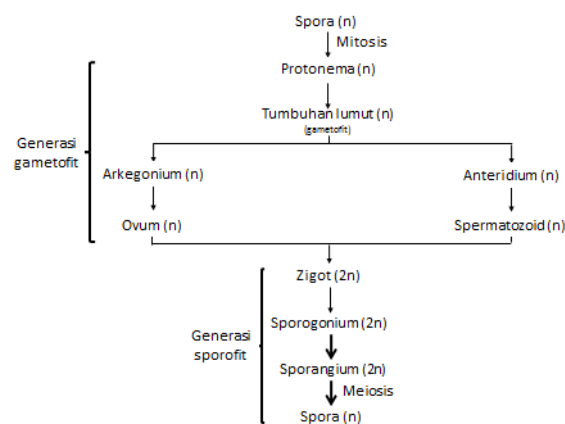
Gambar 88. Tumbuhan Lumut

(<https://www.thetimes.co.uk/>, 2019)

Bahkan dengan embrio yang terlindungi, briofita tidak sepenuhnya terbebas dari habitat perairan nenek moyangnya. Pertama, tumbuhan bryophyta memerlukan air untuk bereproduksi; spermanya, seperti sperma alga hijau, memiliki flagella dan harus berenang dari anteridium ke arkegonium untuk membuahi sel telur. Pada banyak spesies briofita, lapisan tipis air hujan atau embun sudah cukup untuk memungkinkan terjadinya pembuahan dan dengan demikian beberapa spesies briofita dapat hidup bahkan di padang gurun. Selain itu, sebagian besar bryophyta tidak memiliki jaringan pembuluh untuk membawa air dari tanah ke bagian tumbuhan yang berada di atas permukaan tanah (pengecualiannya, seperti yang disebutkan sebelumnya, adalah bryophyta tertentu dengan sel pengangkut air yang memanjang). Ketika air mengalir pada permukaan sebagian besar bryophyta, mereka harus mengimbibisinya seperti karet busa dan menyebarkannya ke

seluruh tubuh tumbuhan melalui proses difusi yang relatif lambat, kerja kapiler, dan aliran sitoplasmik. Cara hidrasi tersebut membantu menjelaskan mengapa tempat lembap dan teduh merupakan habitat briofita yang paling umum.

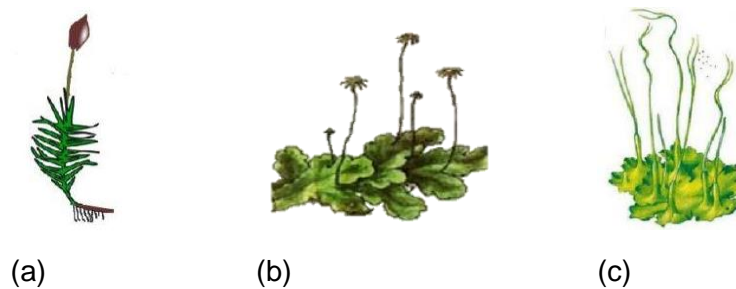
Dalam siklus hidup briofita, seperti lumut daun, kita melihat suatu contoh spesifik suatu pergiliran generasi haploid dan diploid. Ingat, gametofit haploid merupakan generasi dominan pada lumut dan briofita lainnya. Sporofita umumnya lebih kecil dan hidupnya lebih pendek dan bergantung pada gametofit untuk memiliki kebutuhan air dan zat hara. Sporofit diploid menghasilkan spora haploid melalui pembelahan meiosis dalam suatu struktur yang disebut sporangium. Spora yang sangat kecil, yang terlindungi oleh sporopollenin, menyebar dan berkembang menjadi gametofit baru. Siklus hidup briofita berbeda dengan siklus hidup yang didominasi gametofit pada tumbuhan vaskuler, di mana sporofit diploid merupakan generasi yang dominan. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 89. Metagenesis (pergiliran keturunan) pada tumbuhan lumut

(<https://www.britannica.com/>, 2018)

Agar memperjelas tentang siklus hidup (pergiliran keturunan atau metagenesis) Briofita atau tumbuhan lumut, Anda dapat melihat tautan <https://www.youtube.com/watch?v=JrQL5JzeG-o>. Tumbuhan lumut terdiri atas tiga divisi yaitu lumut daun atau *moss* (Divisi Bryophyta), lumut hati atau *liverwort* (Divisi Hepatofita) dan lumut tanduk atau *hornwort* (Divisi Anthoserofita). Berikut disajikan gambar perbandingan ketiga divisi lumut tersebut.



Gambar 90. Klasifikasi Tumbuhan Lumut (Bryophyta)

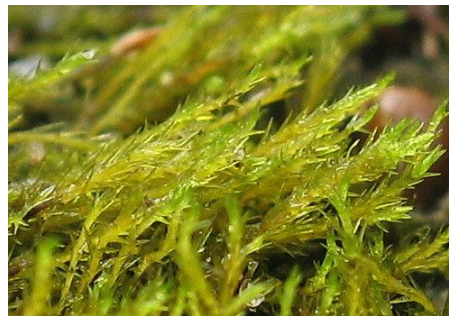
(a) lumut daun (Divisi Briofita) (b) lumut hati (Divisi Hepatofita) (c) lumut tanduk (Divisi Anthoserofita)
(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

a. Lumut Daun atau Moss (Divisi Bryophyta)

Bryophyta yang paling terkenal adalah lumut daun (*moss*). Hamparan lumut daun dan sesungguhnya terdiri dari banyak tumbuhan yang tumbuh dalam kelompok yang padat, yang saling menyokong satu sama lain. Hamparan tersebut memiliki sifat seperti karet busa, yang memungkinkan untuk menyerap dan menahan air. Masing-masing tumbuhan yang ada dalam hamparan tersebut melekat pada substrat dengan sel yang memanjang atau filamen seluler yang disebut rizhoid. Berikut adalah contoh-contoh dari lumut daun.



Polytrichum

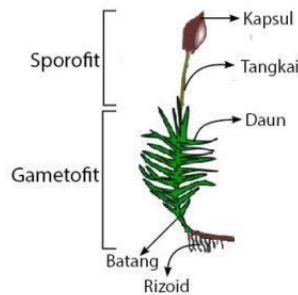


Archidium

Gambar 91. Contoh lumut daun

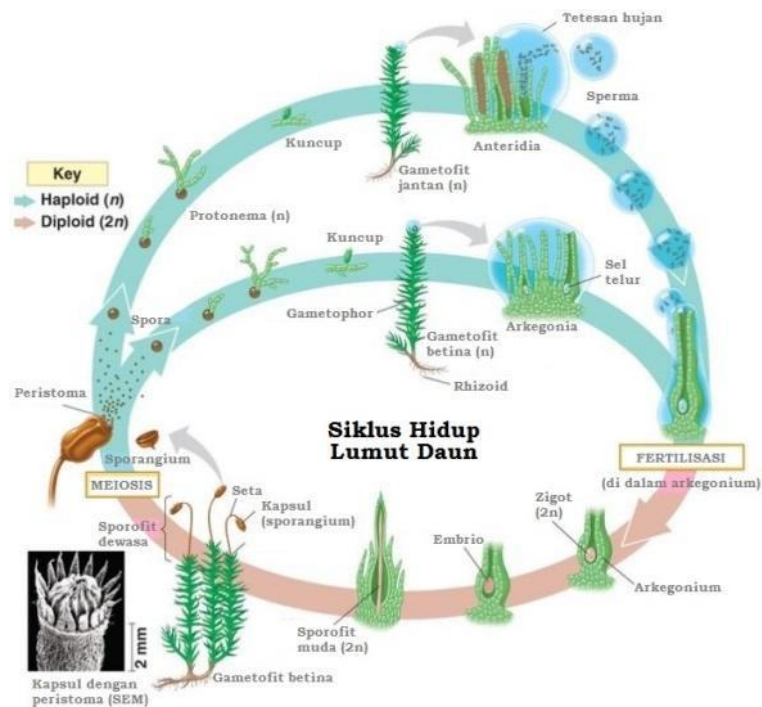
(<https://www.britannica.com/>, 2018)

Sebagian besar fotosintesis terjadi pada bagian atas tumbuhan, yang memiliki banyak tambahan seperti batang dan seperti daun. Akan tetapi, “batang”, “daun” dan “akar” (rizhoid) lumut daun tidak homolog dengan struktur yang sama pada tumbuhan vaskuler. Berikut disajikan gambar struktur morfologi lumut daun.



Gambar 92. Struktur morfologi hidup lumut daun atau moss (divisi Briofita)

Meskipun lumut daun memiliki ukuran tubuh pendek, dampak kolektifnya pada Bumi sangat besar. Sebagai contoh, lumut gambut, atau *Sphagnum*, menutupi paling tidak 3% permukaan daratan Bumi seperti karpet, dengan kerapatan tertinggi pada garis lintang utara. Tumbuhan “gambut”, hamparan tebal tumbuhan hidup dan mati di tanah yang basah, mengikat banyak sekali karbon organik karena berlimpahnya bahan-bahan resisten pada gambut tersebut yang tidak mudah diurai oleh mikroba. Sebagai tempat menyimpan karbon, rawa gambut tersebut berperan penting dalam menstabilkan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer Bumi, dan demikian pula iklim Bumi, melalui efek rumah kaca yang berkaitan dengan CO₂. Berikut disajikan gambar siklus hidup lumut daun atau moss (divisi Briofita).



Gambar 93. Siklus hidup lumut daun atau moss (divisi Briofita)

b. Lumut Hati atau Liverwort (Divisi Hepatofita)

Lumut hati (*liverwort*) merupakan tumbuhan yang kurang menyolok mata dibandingkan dengan lumut daun. Tubuh lumut hati dibagi menjadi beberapa lobus, yang bentuknya pasti mengingatkan seseorang akan lobus hati pada hewan (*wort* artinya “heba”). Hutan tropis merupakan rumah bagi spesies lumut hati dengan keanekaragaman yang paling besar. Berikut adalah contoh-contoh dari lumut hati.



*Marchantia
polymorpha*

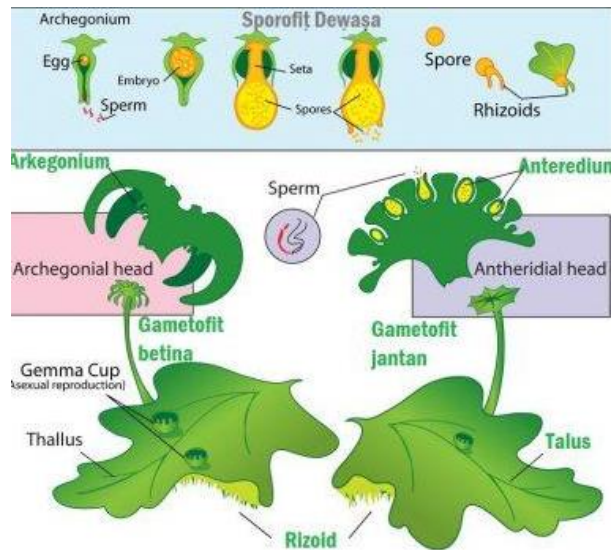
Lunularia

Metzgeria

Gambar 94. Contoh lumut hati

(<https://www.britannica.com/>, 2018)

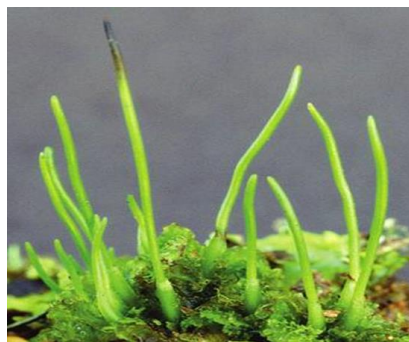
Siklus hidup lumut hati sangat mirip dengan siklus hidup lumut daun. Di dalam sporangia beberapa lumut hati sel-selnya berbentuk kumparan yang muncul dari kapsul ketika kapsul tersebut membuka, yang membantu menyebarkan spora. Lumut hati juga dapat bereproduksi secara aseksual dari berkas sel-sel kecil yang disebut *gemmae* yang terpelanting keluar dari mangkuk yang ada pada permukaan gametofit oleh tetesan hujan. Berikut disajikan gambar siklus hidup lumut hati (*liverwort*).



Gambar 95. Siklus hidup lumut hati (liverwort)

c. Lumut Tanduk atau Hornwort (Divisi Anthoserofita)

Lumut tanduk (*hornwort*) mirip dengan lumut hati, tetapi dibedakan melalui sporofitnya, yang membentuk kapsul memanjang yang tumbuh seperti tanduk dari hamparan gametofit yang menyerupai keset. Bukti terbaru yang didasarkan pada urutan asam nukleat menunjukkan bahwa lumut tanduk, di antara semua briofita, adalah yang paling dekat hubungan kekerabatannya dengan tumbuhan vaskuler. Berikut adalah contoh dari lumut tanduk.



Gambar 96. Contoh lumut tanduk (*Anthoceros* sp)

Ketiga divisi Briofita (lumut daun, lumut hati, dan lumut tanduk) terus berhasil hidup di darat, bertahan hidup dan beradaptasi selama lebih dari 450 juta tahun. Bahkan sampai saat ini, *Sphagnum*, lumut gambut, mungkin merupakan tumbuhan paling berlimpah di Bumi. Dan paling tidak selama 50 juta tahun pertama sejak komunitas

darat ada, kemungkinan briofita-lah satu-satunya tumbuhan yang ada. Kemudian bentang alam mulai berubah sekali lagi, dengan vegetasi yang profilnya lebih tinggi seiring berevolusinya tumbuhan vaskuler (berpembuluh). Contoh lumut hati diantaranya *Marchantia*, *Lunularia*, *Riccia nutans*, *Monoclea*, *Metzgeria*; lumut daun yaitu *Sphagnum*, *Polytrichum*, *Archidium*, *Andreaea*; sedangkan contoh lumut tanduk yaitu *Anthoceros sp.*, *Notothylas*.

- **Tumbuhan Vaskuler Tak Berbiji : Tumbuhan Paku**

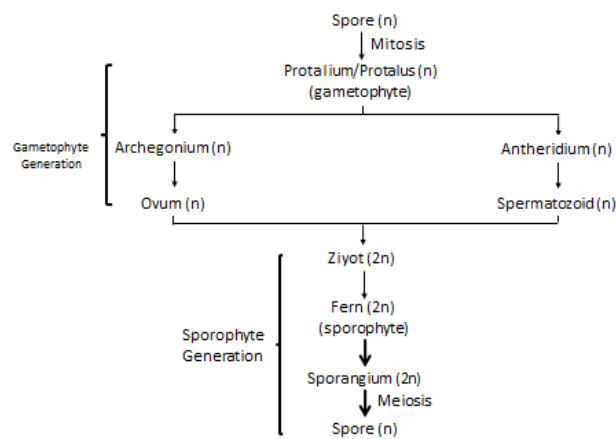
Apakah Anda pernah mengonsumsi tumis pakis? Atau Anda memiliki supliir, paku tanduk rusa atau paku sarang burung di taman? Bagaimanakah ciri yang mudah dilihat dari tumbuhan tersebut? Ya benar, tumbuhan tersebut menghasilkan spora sebagai alat reproduksinya. Tumbuhan tersebut adalah tumbuhan paku yang termasuk Chormophyta (tumbuhan berkormus) artinya sudah dapat dibedakan mana akar, batang dan daun. Perhatikan gambar berikut. Ciri khas apa yang dapat Anda temukan dari tumbuhan paku? Ya benar, daun muda yang menggulung. Istimlahnya adalah *Circinnatus*.



Gambar 97. Tumbuhan Paku

Tumbuhan vaskuler (berpembuluh) tak berbiji mendominasi pemandangan hutan selama masa Karboniferus, yang dimulai sekitar 360 juta tahun silam. Di antara turunan organisme tersebut terdapat tiga divisi tumbuhan vaskuler tak berbiji yang masih hidup saat ini: likofita, ekor kuda (*horsetail*), dan pakis (*fern*). Dari *Cooksonia* dan tumbuhan vaskuler awal lainnya sampai ke semua tumbuhan vaskuler yang hidup sampai saat ini, generasi sporofit (diploid) adalah tumbuhan yang lebih besar dan lebih kompleks dalam pergiliran generasi tersebut. Sebagai contoh, tumbuhan

pakis berdaun yang sangat kita kenal adalah sporofit. Anda harus membungkuk dan berjongkok, dan mencari-cari dengan tangan yang cermat serta mata yang tajam untuk menemukan gametofit pakis, yaitu tumbuhan kecil yang tumbuh persis di bawah permukaan tanah. Sampai Anda mempunyai kesempatan untuk melaksanakan hal tersebut, Anda dapat mempelajari siklus hidup tumbuhan vaskuler tak berbiji yang didominasi oleh sporofit, yang menggunakan pakis sebagai contoh. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 98. Metagenesis pada tumbuhan paku

Agar memperjelas tentang siklus hidup tumbuhan paku, Anda dapat melihat tautan <https://www.youtube.com/watch?v=8vgjWqAlpuU>. Kita juga dapat menggunakan pakis untuk menggambarkan suatu variasi penting di antara siklus hidup tumbuhan vaskuler: perbedaan di antara tumbuhan homospora dan heterospora. Sporofit tumbuhan homospora menghasilkan satu jenis spora saja. Pakis adalah suatu contoh. Perhatikan bahwa masing-masing spora berkembang menjadi gametofit biseksual yang memiliki dua organ kelamin jantan dan betina, gametangia yang secara berturut-turut disebut sebagai arkegonium dan anteridium. Kebalikannya, sporofit tumbuhan heterospora menghasilkan dua jenis spora: megaspora yang berkembang menjadi gametofit betina dengan arkegonium dan mikrospora yang berkembang menjadi gametofit jantan dengan anteridium. Di antara pakis, pakis yang kembali ke habitat air selama evolusinya (pakis air) adalah satu-satunya spesies heterospora. Anda dapat melihat tautan <https://www.youtube.com/watch?v=E1SMOHRJE0Q> untuk menambah informasi

tentang ciri-ciri tumbuhan paku. Berikut disajikan gambar tentang struktur morfologi tumbuhan paku.



Gambar 99. Struktur Morfologi Tumbuhan Paku

a. Paku Purba (*Psilotinae*)

Paku purba merupakan salah satu jenis tumbuhan paku yang hampir punah. Tumbuhan ini hidup di zaman purba dan sekarang ditemukan dalam bentuk fosil. Daunnya kecil, terkadang tidak berdaun. Spesies yang masih ada adalah *Psilotum*.



Gambar 100. *Psilotum*

(<https://www.gurupendidikan.co.id/>, 2019)

b. Paku Kawat (*Lycopodiinae*)

Nama umum untuk tumbuhan ini adalah *club moss* (lumut gada) atau *ground pine* (pinus tanah), meskipun tumbuhan itu sebenarnya bukan lumut dan bukan juga pinus. Banyak spesies likofita adalah tumbuhan tropis yang tumbuh pada pohon sebagai epifit-tumbuhan yang menggunakan organisme lain sebagai substrat, akan tetapi bukan parasit. Spesies likofita lainnya tumbuh dekat dengan tanah di dasar hutan di daerah beriklim sedang, yang meliputi daerah timur laut Amerika Serikat. Likofita adalah sporofit, generasi diploid. Sporangia terletak pada sporofil, daun yang dikhususkan untuk reproduksi. Setelah dilepaskan, spora tersebut berkembang menjadi gametofit yang tidak mudah terlihat, yang dapat hidup di bawah tanah selama puluhan tahun atau bahkan lebih lama lagi. Tumbuhan

haploid kecil itu tidak berfotosintesis dan diberi makan oleh fungi simbiotik. Pada spesies homospora, setiap gametofit membentuk arkegonia dengan sel telur dan anteridia yang membuat sperma berflagela. Setelah serma yang berenang tersebut membuahi sel telur, zigot diploid tersebut menjadi suatu sporofit baru. Likofita yang heterospora ada juga yang membentuk gametofit jantan dan betina yang terpisah. Perhatikan gambar berikut.



Lycopodium

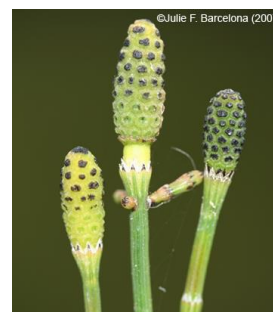


Selaginella

Gambar 101. Contoh paku kawat

c. Paku Ekor Kuda (Equisetinae)

Sfenofita/Equisetinae, yang anggotanya umum disebut ekor kuda (*horsetail*), adalah garis keturunan tumbuhan tak berbiji kuno lainnya yang sampai ke radiasi tumbuhan vaskuler awal pada masa Devon. Kelompok tersebut mencapai masa kejayaannya selama masa Karboniferus, ketika banyak spesiesnya tumbuh hingga setinggi 15 m. Yang bertahan hidup dari divisi tumbuhan ini hanyalah sekitar 15 spesies dari genus tunggal yang tersebar sangat luas, *Equisetum*, yang paling umum ditemukan di Bumi Belahan Utara, umumnya di lokasi yang lembap seperti tepian aliran air sungai. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 102. Contoh paku ekor kuda (*Equisetum debile*)

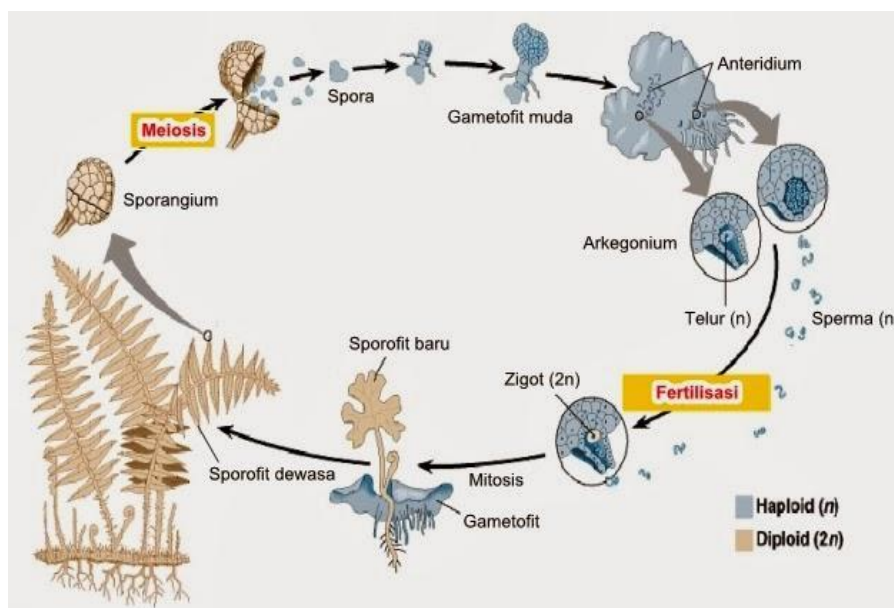
(<https://www.britannica.com/>, 2018)

Tumbuhan ekor kuda yang mudah terlihat adalah generasi sporofit. Pembelahan meiosis terjadi dalam sporangia, dan spora haploid dilepaskan. Ekor kuda adalah homospora. Gametofit biseksual yang berkembang dari spora hanya memiliki panjang beberapa milimeter, tetapi tumbuhan ekor kuda berfotosintesis dan hidup bebas (tidak bergantung pada sporofit untuk makanan).

d. Paku Sejati (Filicinae)

Sebagian besar pakis memiliki daun, yang umum disebut *frond*, yang majemuk, yang berarti masing masing daun terbagi menjadi beberapa lembaran daun pakis tumbuh seiring membukanya gulungan ujungnya yang melingkar seperti kepala biola. Daun kemungkinan akan berkecambah langsung dari batang yang dekat dengan tanah, seperti terjadi pada pakis *bracken* dan pakis pedang. Pakis pohon tropis yang besar, kebalikannya, memiliki batang tegak beberapa meter tingginya.

Beberapa daun adalah sporofil yang mengalami spesialisasi dengan sporangia pada permukaan bawahnya. Sporangia pada banyak pakis tersusun dalam kelompok yang disebut sori dan dilengkapi dengan peranti yang menyerupai pegas yang melemparkan spora beberapa meter jauhnya. Setelah berada di udara, spora tersebut dapat ditiup angin ke tempat yang jauh. Spora, yang terlindungi oleh sporopollenin, adalah cara penyebaran tumbuhan tak berbiji. Berikut disajikan gambar siklus hidup tumbuhan paku.



Gambar 103. Siklus hidup tumbuhan paku

Berdasarkan tempat hidupnya, paku sejati dikelompokkan menjadi:

1. Tumbuhan paku yang hidup di tanah seperti pada lereng pegunungan. Contoh: paku tiang (*Alsophilla glauca*), suplir (*Adiantum cuneatum*) dan pakis (*Nephrolepis sp.*)
2. Tumbuhan paku yang tumbuh di perairan. Contoh: semanggi (*Marsilea crenata*) dan paku air (*Azolla pinnata*).
3. Tumbuhan paku yang menempel pada tumbuhan lain/epifit. Contoh: paku tanduk rusa (*Platycterium bifurcatum*) dan paku sarang burung (*Asplenium nidus*).



Platycterium bifurcatum

Asplenium nidus

Adiantum cuneatum

Gambar 104. Contoh tumbuhan paku sejati

(<https://www.britannica.com/>, 2018)

- **Tumbuhan Berbiji**

- a. **Gymnospermae (Gimnosperma)**

Gimnosperma (istilah tersebut berarti "biji telanjang/terbuka") tidak memiliki ruangan pembungkus (ovarium) tempat biji Angiosperma berkembang. Di antara dua kelompok tumbuhan berbiji, Gimnosperma terlihat dalam catatan fosil jauh lebih awal dibandingkan dengan Angiosperma. Gimnosperma yang paling terkenal adalah konifer, tumbuhan pinus yang memiliki konus. Perhatikan gambar berikut.



Gnetum gnemon (melinjo)



Cycas rumphii (pakis haji)

Pinus merkusii (pinus)



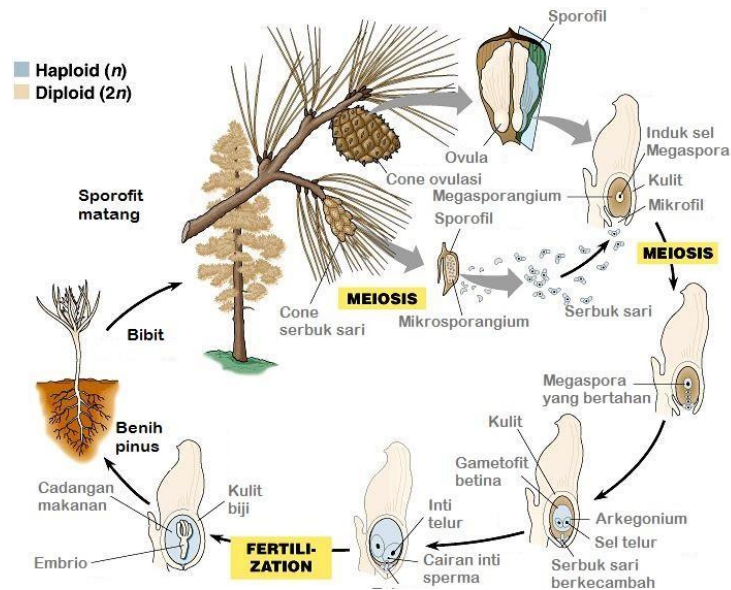
Ginkgo biloba

Gambar 105. Contoh Tumbuhan Gimnosperma

(<https://www.eduspensa.id/>, 2019)

Dari sebelas divisi dalam kingdom tumbuhan, empat dikelompokkan sebagai Gimnosperma. Tiga di antaranya adalah divisi yang relatif kecil: Cycadophyta, Ginkgophyta, dan Gnetophyta. Sikad (divisi Cycadophyta) menyerupai palem, namun bukan palem sejati, yang merupakan tumbuhan berbunga. Karena merupakan Gimnosperma, sikad memiliki biji terbuka yang terdapat dalam sporofil, yaitu daun yang terspesialisasi untuk reproduksi. Ginkgo adalah satu-satunya spesies yang masih hidup dari divisi Ginkgophyta. Tumbuhan ini memiliki daun seperti kipas yang warnanya berubah keemasan dan rontok pada musim gugur, suatu sifat yang tidak umum bagi gimnosperma. Divisi Gnetophyta terdiri atas tiga genus yang kemungkinan tidak berkerabat dekat satu sama lain. Satu di antaranya, *Welwitschia*. Tumbuhan-tumbuhan dari genus kedua, *Gnetum*, tumbuh di daerah tropis sebagai tumbuhan merambat. *Ephedra* (teh Mormon), genus ketiga Gnetophyta, adalah semak di gurun Amerika.

Sejauh ini yang paling besar di antara empat divisi Gimnosperma adalah Coniferophyta, yaitu konifer. Istilah konifer (Bahasa Latin, *conus*, "kerucut", dan *ferre*, "membawa") berasal dari struktur reproduktif tumbuhan ini, konus, yang merupakan kumpulan sporofit yang menyerupai sisik. Daun berbentuk jarum pada pinus dan ara diadaptasi dengan kondisi kering. Suatu kutikula tebal menutupi daun, dan stomata terletak dibagian bawah, mengurangi kehilangan air. Kita mendapatkan sebagian besar papan dan bubur kertas dari kayu konifer. Apa yang kita sebut kayu sesungguhnya adalah akumulasi jaringan xilem berlignin, yang memberi sokongan struktural bagi pohon.



Gambar 106. Siklus hidup pinus

Pohon pinus adalah suatu sporofit. Sporangia terletak pada sporofil yang mirip sisik yang terkumpul secara padat dalam struktur yang disebut konus. Generasi gametofit berkembang dari spora haploid yang tetap disimpan dalam sporangia. Konifer, seperti semua tumbuhan ber biji, adalah heterospora; gametofit jantan dan betina berkembang dari jenis spora yang berbeda, yang dihasilkan oleh konus yang berbeda. Konus serbuk sari kecil menghasilkan mikrospora yang berkembang menjadi gametofit jantan, atau butiran serbuk sari. Konus yang berovulasi, yang lebih besar, umumnya berkembang pada cabang pohon yang berbeda dan membuat megaspora yang berkembang menjadi gametofit betina. Sejak konus muda muncul pada pohon, pohon tersebut memerlukan hampir tiga tahun untuk menghasilkan gamet jantan dan betina, dan menyatukan mereka melalui polinasi, dan membentuk biji dewasa dari bakal biji yang telah dibuahi. Sisik konus yang berovulasi ini kemudian terpisah, dan biji bersayap itu kemudian akan mengembara mengikuti angin. Biji yang jatuh ditempat yang dapat didiami akan berkecambah, dan embrionya akan muncul sebagai bibit pinus. Berikut disajikan gambar siklus hidup pinus.

b. Angiospermae (Angiosperma)

Angiosperma merupakan tumbuhan ber biji tertutup. Angiosperma atau tumbuhan berbunga merupakan tumbuhan yang paling beraneka ragam dan secara

geografis paling tersebar luas. Ada sekitar 250.000 spesies angiosperma, dibandingkan dengan Gimnosperma yang dikenali sebanyak 720 spesies.

Semua Angiosperma ditempatkan dalam sebuah divisi tunggal, Anthophyta (Bahasa Yunani *antho*, “bunga”). Divisi itu dibagi menjadi dua kelas: Monokotiledon (monokotil) dan Dikotiledon (dikotil), yang berbeda dalam beberapa hal. Contoh-contoh monokotil adalah lili, anggrek, *yucca*, palem, dan rumput-rumputan, yang meliputi rumput lapangan, tebu, tumbuhan ber biji (jagung, gandum, padi, dan lain-lain). Di antara banyak famili dikotil adalah mawar, kacang-kacangan, bunga mentega, bunga matahati, jati, dan maple.

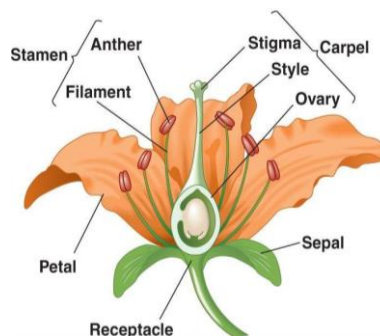
Xilem menjadi lebih terspesialisasi untuk pengangkutan air selama evolusi Angiosperma. Sel-sel yang menghantarkan air pada konifer adalah trakeid, yang diyakini merupakan jenis sel xilem awal. Trakeid adalah sel yang memanjang dan meruncing yang berfungsi membantu proses mekanis dan pergerakan air ke bagian atas tumbuhan tersebut. Pada sebagian besar angiosperma, sel-sel yang lebih pendek dan lebih luas disebut unsur pembuluh (*vessel element*), yang berkembang dari trakeid. Unsur pembuluh tersusun dari ujung yang satu ke ujung lain, membentuk saluran yang bersambung yang lebih terspesialisasi dibandingkan dengan trakeid untuk mengangkut air, akan tetapi kurang terspesialisasi untuk membantu proses mekanis. Xilem Angiosperma diperkuat oleh jenis sel yang kedua, serat (*fiber*), yang juga berkembang dari trakeid. Dengan dindingnya yang tebal dan berlignin, serat xilem dispesialisasikan untuk membantu proses mekanis. Sel-sel serat berkembang pada konifer, akan tetapi unsur pembuluh tidak berkembang.

Perbaikan dalam jaringan vaskuler dan perkembangan dalam struktur lainnya sudah pasti memberikan sumbangan pada keberhasilan Angiosperma, akan tetapi faktor terbesar dalam kebangkitan Angiosperma bisa jadi adalah evolusi bunga, suatu alat yang luar biasa, yang meningkatkan efisiensi reproduksi dengan cara menarik dan memberi keuntungan bagi hewan pembawa serbuk sari.

Bunga (*flower*) adalah struktur reproduksi Angiosperma. Pada sebagian besar Angiosperma, serangga dan hewan lain mengangkut serbuk sari dari satu bunga ke organ kelamin betina pada bunga lain, yang membuat penyerbukan kurang acak dibandingkan dengan penyerbukan yang bergantung pada angin pada

Gimnosperma. Beberapa tumbuhan berbunga mengadakan penyerbukan dengan bantuan angin, akan tetapi kita tidak mengetahui apakah kondisi ini primitif ataukah dievolusikan secara sekunder dari nenek moyang yang telah mengadakan penyerbukan dengan bantuan hewan.

Bunga adalah suatu tunas yang mampat dengan empat lingkaran daun yang termodifikasi; kelopak (*sepal*), mahkota (*peta*l), benang sari (*stamen*), dan putik (*karpel*). Dimulai dari bagian bawah bunga, terdapat kelopak (*sepal*) yang umumnya berwarna hijau. Kelopak membungkus bunga sebelum bunga mekah (bayangkan sebuah kuncup bunga mawar). Di atas kelopak daun adalah mahkota (*peta*l), berwarna cerah pada sebagian besar bunga. Mahkota membantu menarik serangga dan penyerbuk lainnya. Bunga yang diserbukkan oleh angin, seperti rumput-rumputan, umumnya berwarna tidak menarik. Kelopak dan mahkota merupakan bagian bunga yang steril, yang berarti bahwa bagian-bagian itu tidak secara langsung terlibat dalam reproduksi. Di dalam cincin mahkota terdapat organ reproduksi benang sari (*stamen*) dan putik (*carpel*), yang secara berturut-turut adalah bagian dari bunga “jantan” dan “betina”. Suatu benang sari terdiri dari sebuah batang yang disebut tangkai sari (*filament*) dan suatu kantong yang terletak di ujung, kepala sari (*anther*), tempat serbuk sari dihasilkan. Pada ujung putik adalah kepala putik (*stigma*) yang lengket untuk menerima serbuk sari. Tangkai putik (*style*) mengarah ke ovarium (*ovary*) pada bagian dasar putik. Bakal biji, yang berkembang menjadi biji setelah fertilisasi, terlindung dalam ovarium. Berikut disajikan struktur bunga pada Angiosperma.



Gambar 107. Struktur bunga

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

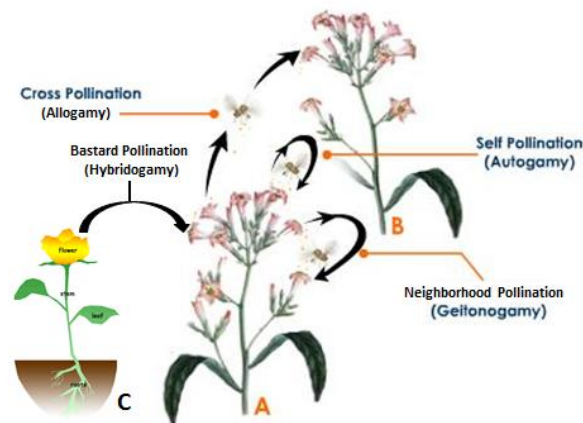
*Keterangan gambar: receptacle (dasar bunga), petal (mahkota), stamen (benang sari), filament (tangkai sari), anther (kepala sari), carpel (putik), stigma (kepala putik), style (tangkai putik), ovary (ovarium/bakal buah), sepal (kelopak).

Buah (*fruit*) adalah ovarium yang sudah matang. Setelah biji berkembang selepas pembuahan, dinding ovarium menebal. Kacang polong adalah contoh buah, dengan biji (bakal biji yang sudah matang, polong itu sendiri) terbungkus dalam ovarium yang telah matang (kulit polong). Buah melindungi biji yang dorman dan membantu penyebarannya. Berbagai modifikasi pada buah membantu menyebarkan biji. Beberapa tumbuhan berbunga, seperti dandelion dan maple, memiliki biji pada buah yang terbentuk seperti baling-baling, yang meningkatkan penyebaran biji oleh angin. Namun demikian sebagian besar Angiosperma menggunakan hewan untuk membawa biji. Beberapa tumbuhan Angiosperma memiliki buah yang dimodifikasi sebagai duri yang menempel pada bulu hewan (atau pada pakaian manusia). Angiosperma lain menghasilkan buah yang dapat dimakan. Ketika memakan buah tersebut, hewan mencerna bagian berdaging, akan tetapi biji yang keras umumnya lolos, tidak rusak, melalui saluran pencernaan hewan. Mamalia dan burung bisa mengeluarkan biji bersama-sama dengan kotorannya, bermil-mil jauhnya dari tempat di mana buah tersebut dimakan. Interaksi dengan hewan yang mengangkut serbuk sari dan biji telah membantu Angiosperma menjadi tumbuhan yang paling sukses di bumi. Akan tetapi, seperti yang akan kita lihat sekarang, siklus hidup Angiosperma bukanlah suatu "penemuan" evolusioner yang baru, akan tetapi telah dibangun pada tema adaptif yang telah kita jejak selama kajian kita mengenai keanekaragaman tumbuhan.

Angiosperma bersifat heterospora, suatu karakteristik yang dimiliki Angiosperma bersama dengan semua tumbuhan berbiji. Bunga sporofit menghasilkan mikrospora yang membentuk gametofit jantan dan megaspora yang membentuk gametofit betina. Gametofit jantan yang belum dewasa adalah butir serbuk sari (*pollen grain*) yang berkembang di kepala sari pada benang sari. Masing-masing butir serbuk sari memiliki dua sel haploid. Bakal biji (*ovule*) yang berkembang dalam ovarium, mengandung gametofit betina yang disebut kantung embrio (*embryo sac*). kantung embrio hanya terdiri atas beberapa sel. Pada sebagian besar Angiosperma, megaspora, membelah tiga kali untuk membentuk delapan nukleus haploid dalam tujuh sel (sel tengah yang besar mengandung dua nukleus haploid). Salah satunya diantara sel ini adalah sel telur itu sendiri.

Setelah pelepasannya dari kepala sari, serbuk sari dibawa ke kepala putik yang lengket pada ujung suatu putik. Meskipun beberapa bunga melakukan

penyerbukan sendiri, sebagian besar bunga memiliki mekanisme yang menjamin terjadinya penyerbukan silang (*cross pollination*) yaitu perpindahan serbuk sari bunga suatu tumbuhan ke bunga tumbuhan lain dalam spesies yang sama. Pada beberapa kasus, benang sari dan putik sebuah bunga tunggal bisa matang pada waktu yang berbeda, atau organ tersebut diatur dengan sedemikian rupa dalam bunga tersebut, sehingga penyerbukan sendiri tidak mungkin terjadi. Perhatikan gambar berikut.

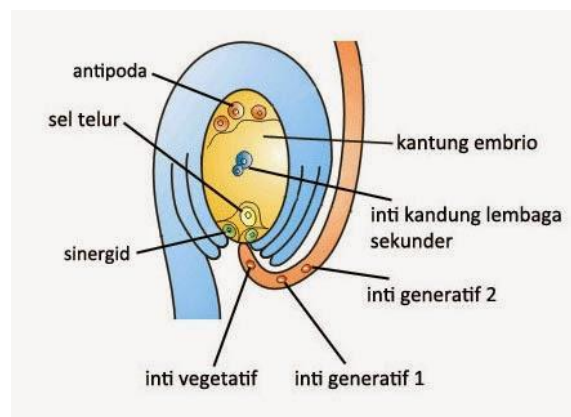


Gambar 108. Jenis penyerbukan pada tumbuhan Angiospermae
(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Butir serbuk sari berkecambah setelah butir serbuk sari menempel ke kepala putik pada suatu putik. Butir serbuk sari, sekarang adalah suatu gametofit jantan yang telah matang, menjulurkan suatu tabung yang tumbuh ke bawah tangkai kepala putik. Setelah mencapai ovarium, tabung serbuk sari itu akan menembus masuk melalui mikropil, yaitu lubang pada integumen bakal biji, dan melepaskan dua sel sperma ke dalam kantong embrio. Satu nukleus sel sperma menyatu dengan sel telur, membentuk zigot diploid. Nukleus sel sperma lain menyatu dengan dua nukleus pada sel tengah kantong embrio itu. Sel tengah ini sekarang memiliki nukleus triploid ($3n$). Ingat, serbuk sari pada konifer juga melepaskan dua nukleus sel sperma, akan tetapi salah satunya mengalami disintegrasi. Kebalikannya, kedua nukleus sperma serbuk sari Angiosperma membuahi sel-sel yang terdapat dalam kantung embrio. Fenomena ini, dikenal sebagai pembuahan ganda (*double fertilization*) merupakan karakteristik Angiosperma. Pembuahan ganda juga terjadi pada Ephedra, suatu anggota divisi Gnetophyta, divisi Gimnosperma yang dikenal dekat kekerabatannya dengan Angiosperma. Anda dapat melihat tautan

<https://www.youtube.com/watch?v=Ly9U6b2IzdU> untuk menambah informasi tentang pembuahan ganda (*double fertilization*).

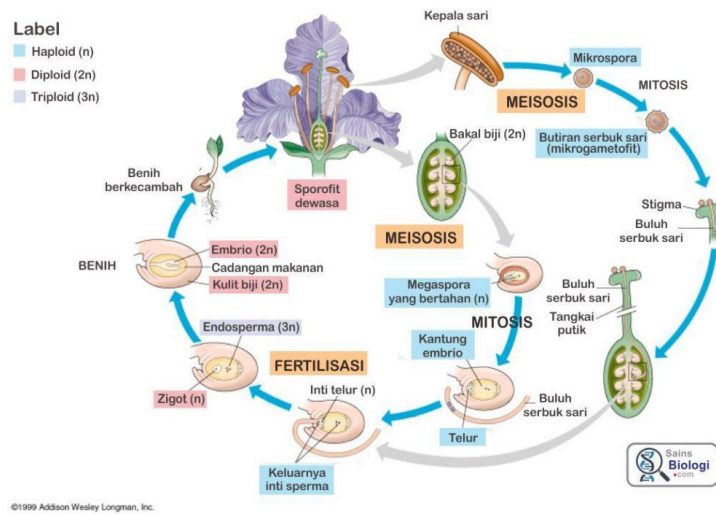
Setelah pembuahan ganda, bakal biji matang menjadi biji. Zigot berkembang menjadi embrio sporofit dengan akar yang belum sempurna dan satu atau dua keping biji. Kotiledon (monokotil yang hanya memiliki satu keping biji dan dikotil memiliki dua; itulah asal nama monokotil dan dikotil). Nukleus triploid pada bagian tengah kantong embrio itu membelah secara berulang-ulang menghasilkan jaringan triploid yang disebut endosperma, yang kaya akan pati dan cadangan makanan lainnya. Biji monokotil seperti jagung menyimpan sebagian besar zat makanannya dalam endosperma. Kacang dan banyak dikotil lainnya memindahkan sebagian besar nutriennya dari endosperma ke kotiledon yang sedang berkembang. Menurut suatu hipotesis, pembuahan ganda menyelaraskan perkembangan cadangan makanan dalam biji dengan perkembangan embrio tersebut. Berikut disajikan gambar tentang pembuahan ganda.



Gambar 109. Pembuahan Ganda pada Angiosperma

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Biji adalah bakal biji yang telah matang, yang terdiri dari embrio, endosperma, dan selaput biji yang berasal dari integumen (lapisan luar bakal biji). Ovarium akan berkembang menjadi buah ketika bakal bijinya berkembang menjadi biji. Dalam lingkungan yang cocok, biji akan berkecambah. Salatnya pecah dan embrio keluar sebagai kecambah, yang menggunakan cadangan makanan dalam endosperma dan kotiledon. Berikut disajikan siklus hidup pada Angiosperma.



Gambar 110. Siklus hidup Angiosperma
(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Angiospermae dibedakan menjadi 2 kelas, yaitu :

1) Kelas Monokotiledonae (Biji berkeping satu)

Umumnya berupa tumbuhan herba semusim atau setahun, memiliki kotiledon tunggal/berkeping satu, batang tidak bercabang/bercabang sedikit dan tidak memiliki kambium, berkas pengangkut tersusun tidak teratur (tersebar), tipe kolateral tertutup, tulang daun melengkung/sejajar, memiliki akar serabut, bunga memiliki bagian-bagian dengan kelipatan 3, bentuk bunga tidak beraturan, dan warna tidak mencolok.

Terdiri dari beberapa famili :

- Liliaceae, Misal: *Lilium sp* (lilia), *Alium cepa* (bawang besar), *Alium sativum* (bawang putih), *Alium ascolonicum* (bawang merah).
- Palmae (keluarga palem), Misal: *Cocos nucifera* (kelapa), *Phoenix sp* (kurma)
- Graminae (keluarga rumput-rumputan), Misal: *Oryza sativa* (padi), *Zea mays* (jagung), rumput, bambu, dan sebagainya.
- Orchidaceae (keluarga anggrek), Misal: *Cattleya sp*, *Dendrobium sp*, *Arundina sp*, *Epidendrum sp*, *Vanilia planifolia* (vanili).



Aloe vera

*Dendrobium
phalaenopsis*

Zea mays

*Musa
paradisiaca*

*Areca
catechu*

Gambar 111. Contoh tumbuhan monokotil

(<https://www.britannica.com/>, 2019)

2) **Kelas Dikotiledonae (Biji berkeping dua)**

Umumnya berupa tumbuhan menahun (berkayu), memiliki kotiledon ganda/berkeping dua, umumnya batang bercabang, memiliki kambium, berkas pengangkut tersusun secara teratur (bersebelahan), tipe kolateral terbuka, tulang daun menjari/menyirip, memiliki akar tunggang, Bunga memiliki bagian-bagian dengan kelipatan 4 atau 5, bentuk bunga beraturan, dan umumnya memiliki warna mencolok.

Terdiri dari beberapa familia, yaitu :

- a) Caryophyllaceae, Misal: *Dianthus chinensis*.
- b) Magnoliaceae, Misal: *Magnolia grandiflora* (cempaka putih).
- c) Rosaceae, Misal: *Rosa hybrida* (bunga mawar)
- d) Leguminoceae, Misal: *Leucena glauca* (lamtoro), *Parkia specinosa* (petai), *Tamarindus indica* (asam).
- e) Malvaceae, Misal: *Hibiscus rosa-sinensis* (bunga sepatu), *Glossipium obtusifolium* (kapas).
- f) Umbelliferae, Misal: *Centella asiatica* (talas)
- g) Solanaceae, Misal: *Solanum tuberosum* (kentang), *Orthosiphon grandiflorus* (kumisal kucing).
- h) Compositae, Misal: *Ageratum sp* (babandotan), *Helianthus annus* (bunga matahari), *Nicotiana tabaccum* (tembakau), *Capsicum sp* (cabe), *Lycopersicum esculentum* (tomat), dan sebagainya.



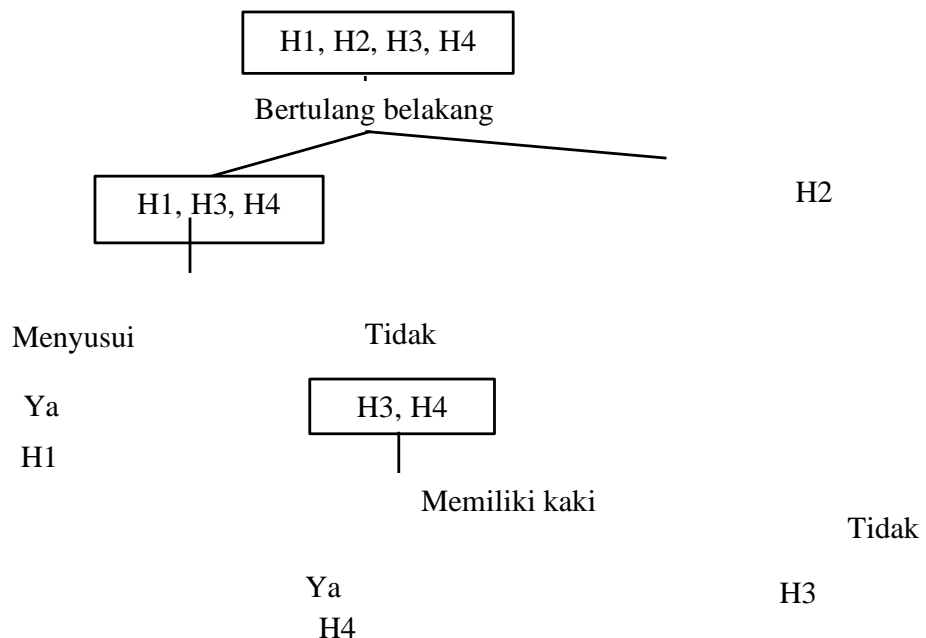
Gambar 112. Contoh tumbuhan dikotil

(<https://www.britannica.com/>, 2019)

2. Klasifikasi dan Keanekaragaman Hewan

- **Kunci Dikotomi dan Kunci Determinasi untuk Hewan**

Saat ini ada aplikasi bernama iNaturalist yang dapat membantu Anda dan peserta didik Anda untuk menemukan nama ilmiah suatu hewan. Selain itu, Anda juga dapat berkontribusi untuk menambahkan atau merevisi informasi atau nama ilmiah pada aplikasi tersebut. Berbeda dengan PlantNet yang hanya berfokus pada tumbuhan, iNaturalist dapat mengidentifikasi baik hewan maupun tumbuhan.

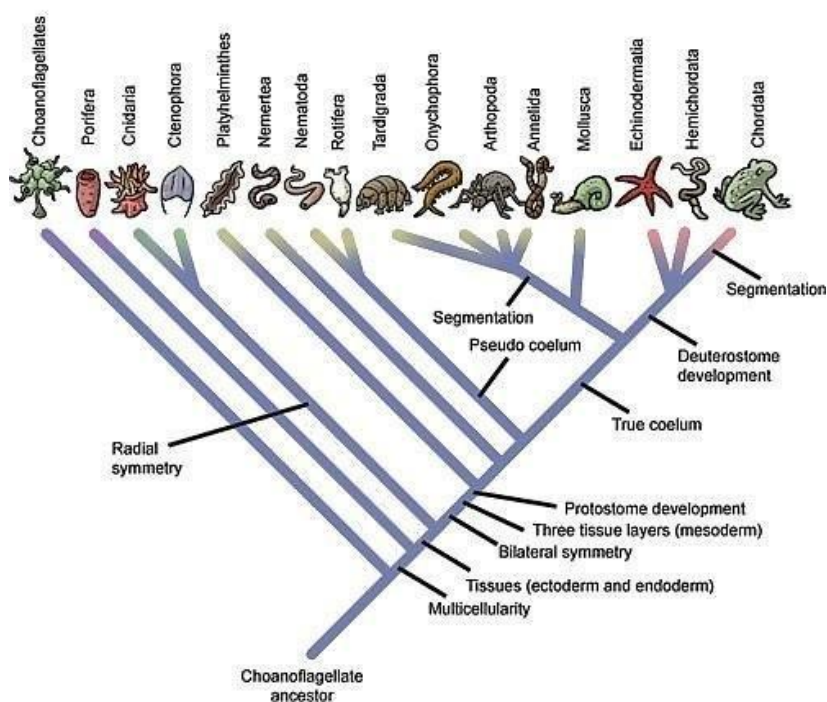


Gambar 113. Contoh Kunci Dikotomi pada Hewan

(Dokumen pribadi, 2019)

- **Asal Mula Keanekaragaman Hewan : Gambaran Umum Tentang Filogeni dan Keanekaragaman Hewan**

Anda telah mempelajari tumbuhan pada Kegiatan Belajar 1. Berdasarkan pengamatan Anda, apa ciri khas yang membedakan hewan dari tumbuhan? Dimanakah habitat hewan? Bagaimana prediksi nenek moyang dari hewan? Agar memperjelas gambaran nenek moyang dari hewan, identifikasi gambar berikut.



Gambar 114. Pohon filogeni hewan

(<https://www.researchgate.net/>, 2016)

Berdasarkan Gambar 2.3, Choanoflagellates termasuk nenek moyang dari hewan. Hewan adalah eukariota multiseluler, heterotrofik. Berbeda dari nutrisi autotrofik yang ditemukan pada tumbuhan dan alga, hewan harus memasukkan ke dalam tubuhnya molekul organik yang telah terbentuk terlebih dahulu; hewan tidak dapat membentuk molekul itu dari bahan kimia anorganik. Sebagian besar hewan melakukan hal tersebut dengan cara menelan (*ingestion*), memakan organisme lain atau memakan bahan organik yang terurai.

Sel-sel hewan tidak memiliki dinding sel yang menyokong tubuh dengan kuat seperti yang dimiliki tumbuhan dan fungi. Tubuh multiseluler hewan dipertahankan tetap utuh oleh protein struktural, yang paling berlimpah adalah kolagen. Selain kolagen, yang banyak ditemukan pada matriks ekstraseluler, jaringan hewan memiliki jenis persambungan (*junction*) interseluler yang unik (persambungan ketat, demosome, dan persambungan celah) yang terdiri atas protein struktural lainnya. Yang juga merupakan keunikan hewan adalah adanya dua jenis jaringan yang bertanggung jawab atas penghantaran impuls dan pergerakan: jaringan saraf dan jaringan otot.

Beberapa ciri kunci dari sejarah kehidupan juga membuat hewan berbeda. Sebagian besar hewan bereproduksi secara seksual, dengan tahapan diploid yang umumnya mendominasi siklus hidupnya. Pada sebagian besar spesies, sperma kecil berflagela membuahi sel telur yang lebih besar dan tidak bergerak untuk membentuk suatu zigot diploid. Zigot itu kemudian mengalami pembelahan (*cleavage*), suatu urutan pembelahan sel secara mitosis. Selama perkembangan pada sebagian besar hewan, pembelahan itu akan menyebabkan pembentukan tahapan multiseluler yang disebut blastula, yang pada banyak hewan berbentuk bola berlubang. Setelah tahapan blastula adalah proses gastrulasi, yaitu masa saat lapisan jaringan embrionik yang akan berkembang menjadi bagian tubuh dewasa dihasilkan. Hasil dari tahapan perkembangan disebut gastrula. Beberapa hewan berkembang secara langsung melalui tahapan pendewasaan sementara untuk menjadi dewasa, akan tetapi siklus hidup pada banyak hewan meliputi tahapan larva. Larva adalah bentuk yang belum dewasa secara seksual. Larva secara morfologis berbeda dari tahapan dewasa, umumnya memakan makanan yang berbeda, dan bahkan bisa memiliki habitat yang berbeda dibandingkan dengan hewan dewasa, seperti pada kasus kecebong. Larva hewan akhirnya mengalami metamorfosis, suatu perkembangan yang mengubah bentuk hewan menjadi suatu bentuk dewasa.

Meskipun perdebatan yang menarik terus berkembang, sebagian besar ahli sistematika sekarang setuju bahwa kingdom hewan adalah monofiletik, yaitu jika kita melacak semua garis keturunan hewan kembali ke asal mulanya, hewan akan menyatu pada suatu nenek moyang bersama. Nenek moyang itu kemungkinan adalah suatu protista berflagela pembentuk koloni yang hidup lebih dari 700 juta

tahun silam dalam masa Prakambrium. Protista itu kemungkinan berkerabat dengan koanoflagelata, suatu kelompok yang muncul sekitar semiliar tahun silam. Hipotesis menunjukkan bahwa nenek moyang telah berkembang menjadi hewan sederhana dengan sel-sel khusus yang tersusun dalam dua atau lebih lapisan.

Dengan cabang-cabangnya yang beradiasi dari suatu nenek moyang multiseluler, pohon evolusi menggambarkan suatu rangkaian hipotesis mengenai filogeni hewan. Empat titik pokok percabangan evolusi pada pohon silsilah yaitu (a) parazoa tidak memiliki jaringan sejati, (b) radiata dan bilateria adalah cabang utama eumetazoa, (c) evolusi rongga tubuh menghasilkan hewan yang lebih kompleks, dan (d) selomata bercabang menjadi protostoma dan deuterostoma. Berikut disajikan tabel tentang organisasi filum hewan menurut ciri-ciri utama bangun tubuh.

Tabel 3. Organisasi filum hewan menurut ciri-ciri utama bangun tubuh

Kategori	Ciri Utama Bangun Tubuh	Filum	
1	Parazoa	Multiseluler, tanpa jaringan sejati	Porifera (spons)
2	Eumetazoa	Jaringan sejati	Cnidaria (hidra, ubur-ubur, aneom laut, karang)
	Radiata	Simetri radial; diploblastik (dua lapisan nuftah: ektoderm, endoderm)	
	Bilateria	Simetri nilateral; triploblastik (tiga lapisan nuftah: ektoderm, mesoderm, endoderm)	Ctenophora (ubur-ubur sisir)
3	Aselomata	Tubuh padat, tanpa rongga tubuh	Platyhelminthes (cacing pipih)
	Pseudoselomata	Pseudoselom (rongga tubuh antara saluran pencernaan dan dinding tubuh tidak sepenuhnya dilapisi oleh mesoderm)	Rotifera (rotifer)
	Selomata	Rongga tubuh (selom) sepenuhnya dilapisi oleh mesoderm	Nematoda (cacing gilig)
4	Protostoma	Pembelahan spiral dan determinat; mulut berkembang dari blastopori; rongga tubuh skizoselus (terbentuk dengan cara pembagian massa jaringan mesoderm)	Nemertea (cacing proboscis) (<i>posisi filogenetik masih belum pasti</i>)
			Lophophorata: Bryozoa, Brachiopoda, Phoronida (<i>posisi filogenetik masih belum pasti</i>)
			Mollusca (remis, beekicot, ikan gurita)
			Annelida (cacing bersegmen)

			Arthropoda (krustase, serangga, laba-laba)
	Deuterostoma	Pembelahan radial dan indeterminat; anus berkembang dari blastopori; rongga tubuh enteroselus (yang terbentuk melalui pelipatan dinding arkenteron mesoderm)	Echinodermata (bintang laut, bulu babi)
			Chordata (lancelet, tunikata, vertebrata)

- **Invertebrata**

- a. **Parazoa**

Karang memiliki pori banyak, struktur tubuhnya keras, berwarna putih atau bahkan ada yang berwarna merah, coklat dan sebagainya. Bentuknya ada yang seperti batang berongga dan ada juga bentuk lain yang seperti mangkuk atau kipas. Organisme tersebut bernama Porifera atau hewan berpori. Meskipun tampak seperti bebatuan yang tidak hidup, tetapi organisme ini termasuk Kingdom Animalia. Ukurannya biasanya kecil tetapi juga dapat ditemukan ukuran yang besar yang biasanya hidup di laut dalam. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 115. Porifera

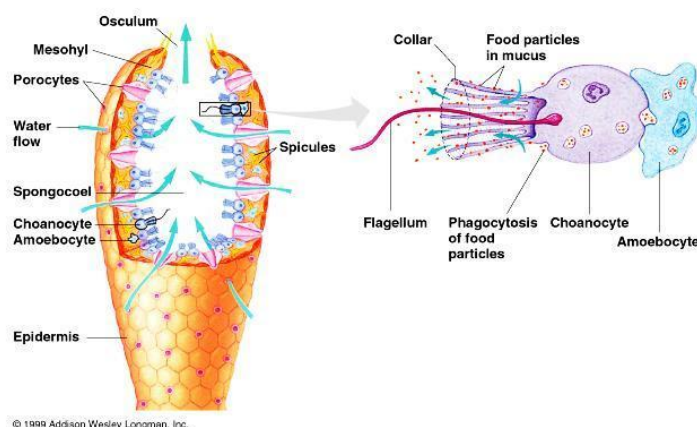
(<https://easyscienceforkids.com/>, 2019)

Dari semua hewan yang akan kita bahas, spons (di cabang parazoa pada pohon filogenetik) mewakili garis keturunan terdekat dengan garis organisme multiseluler (protista) yang menjadi kingdom hewan. Lapisan-lapisan sel spons merupakan gabungan sel-sel yang terusun longgar, bukan merupakan jaringan sejati karena sel-sel itu secara relatif belum terspesialisasi. Spons adalah hewan yang sesil (menempel) yang tampak sangat diam bagi mata manusia sehingga orang Yunani kuno meyakini mereka sebagai tumbuhan. Spons tidak memiliki saraf atau otot,

tetapi masing-masing sel dapat mengindera dan bereaksi terhadap perubahan lingkungan.

Tinggi spons berkisar dari 1 cm sampai 2 cm. Dari kurang lebih 9000 spesies spons, hanya sekitar 100 yang hidup dalam air tawar; sisanya adalah organisme laut. Tubuh spons sederhana, mirip dengan suatu kantung yang berpori atau berlubang-lubang (*Porifera* berarti “mengandung pori”). Air akan melewati pori-pori menuju rongga tengah atau spongocoel (*spongocoel*), yang kemudian akan mengalir keluar spons itu melalui suatu lubang yang lebih besar yang disebut oskulum. Spons yang lebih kompleks memiliki dinding tubuh yang melipat, dan banyak diantaranya mengandung saluran air bercabang dan beberapa oskula. Pada kondisi tertentu, sel-sel yang berada di sekitar pori dan oskulum berkontraksi, dan menutup pembukaan atau lubang itu. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih memahami struktur tubuh Porifera.

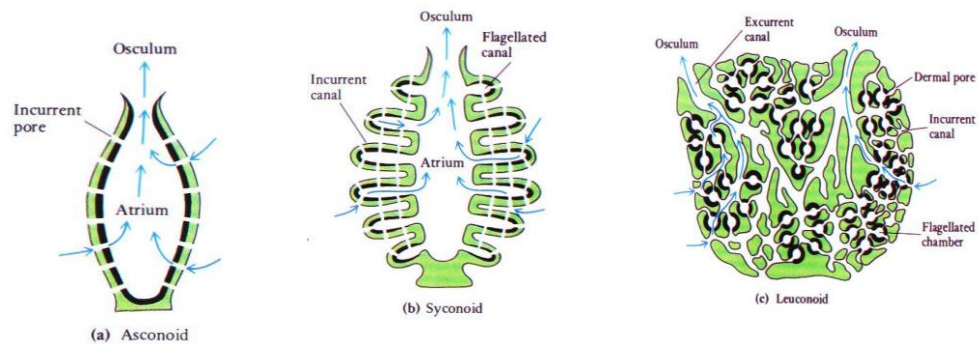
Hampir semua spons adalah pemakan suspensi (yang juga dikenal sebagai makan dengan cara memfilter), yaitu hewan yang mengumpulkan partikel makanan dari air yang lewat melalui beberapa jenis perkakas penjerat makanan. Spons menjerat makanan dari air yang bersirkulasi melalui tubuh yang berpori tersebut. Melapisi bagian dalam spongocoel atau ruangan air internal adalah koanosit (*coanocyte*) berflagela, atau sel-sel *colar* (untuk menamai kerah bermembran di sekeliling dasar flagela itu). Flagela tersebut akan membangkitkan suatu arus aliran air, *colar* akan menjerat partikel makanan, dan koanosit akan memfagositosisnya.



Gambar 116. Struktur tubuh Porifera

(Longman, 1999)

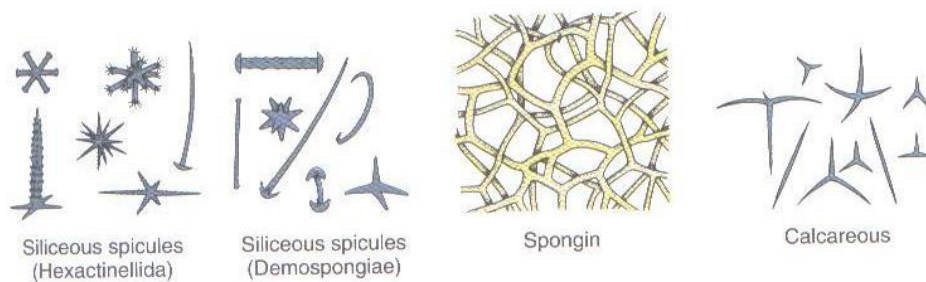
Kemiripan diantara koanosit dengan sel-sel koanoflagelata (protista berkoloni) mendukung hipotesis bahwa spons memiliki suatu nenek moyang bersama dengan koanoflagelata. Berdasarkan sistem saluran, berapa banyak tipe yang dimiliki oleh Porifera? Perhatikan gambar berikut agar Anda memahami perbedaan strukturnya.



Gambar 117. Tipe Porifera berdasarkan sistem salurannya

(Longman, 1999)

Tubuh suatu spons terdiri atas dua lapisan sel-sel yang dipisahkan oleh suatu daerah bergelatin yang disebut mesohil. Didalam mesohil tersebut terdapat sel-sel yang disebut amoebosit(*amoebocyte*), yang dinamai berdasarkan penggunaan pseudopodianya (kaki semu-nya). Amoebosit memiliki banyak fungsi. Mereka mengambil makanan dari air dan dari koanosit, mencernanya, dan membawa nutrien ke sel lain. Amoebosit juga membentuk serat rangka yang keras di dalam mesohil tersebut. Pada beberapa kelompok spons, serat-serat itu merupakan spikula atau duri tajam yang terbuat dari kalsium karbonat atau silika; spons lain menghasilkan serat yang lebih fleksibel yang terdiri atas kolagen yang disebut spongin. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 118. Serat rangka pada Porifera

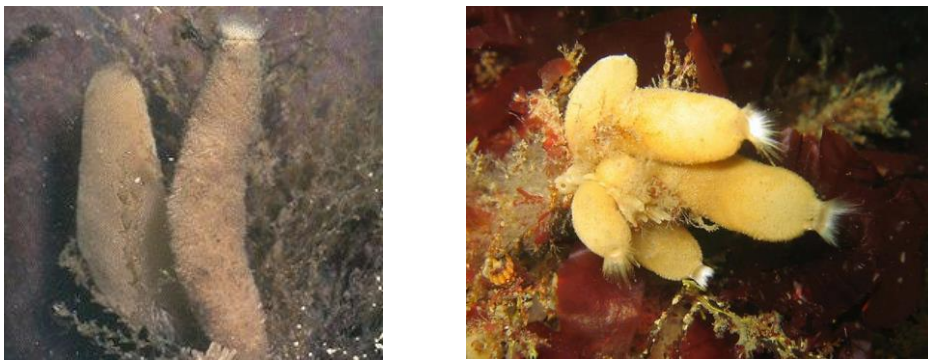
(Longman, 1999)

Berdasarkan sifat spikulanya, Filum Porifera dibagi menjadi 3 kelas, yaitu:

1) Kelas Calcarea

Anggota kelas ini mempunyai rangka yang tersusun dari zat kapur (kalsium karbonat) dengan tipe monoakson, triakson, atau tetrakson. Koanositnya besar dan biasa hidup di lautan dangkal. Tipe saluran airnya bermacam-macam. Hidup soliter atau berkoloni. Mereka memiliki ciri khusus berupa spikula yang terbuat dari kalsium karbonat dalam bentuk kalsit atau aragonit. Beberapa spesies memiliki tiga ujung spikula, sedangkan pada beberapa spesies lainnya memiliki 2 atau empat spikula.

Contoh anggota kelas ini adalah *Leucosolenia* sp., *Scypha* sp., *Cerantia* sp., dan *Sycon gelatinosum*.

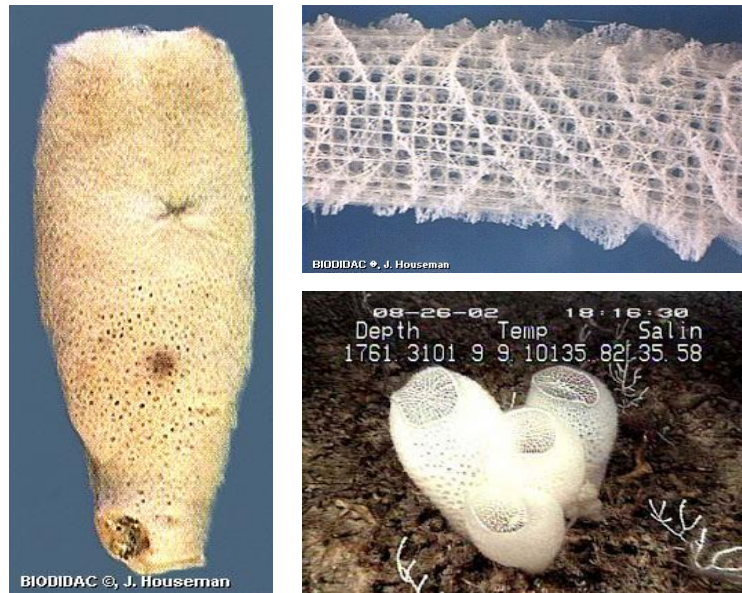


Gambar 119. Contoh Porifera kelas Calcarea

(*Sycon gelatinosum*)(Longman, 1999)

2) Kelas Hexatinellida

Pada anggota Kelas Hexatinellida, spikula tubuh yang tersusun dari zat kersik dengan 6 cabang. Kelas ini sering disebut sponge gelas atau porifera kaca (*Hyalospongiae*), karena bentuknya yang seperti tabung atau gelas piala. Tubuh berbentuk silinder atau corong, tidak memiliki permukaan epitel. Contohnya adalah *Hyalonema* sp., *Pheronema* sp., dan *Euplectella suberea*.



Gambar 120. Contoh Porifera kelas Hexactinellida (*Euplectella aspergillum*)
(Longman, 1999)

3) Kelas Demospongia

Kelas ini memiliki tubuh yang terdiri atas serabut atau benang spongin tanpa skeleton. Kadang-kadang dengan spikula dari bahan zat kersik. Tipe aliran airnya adalah leukon. Demospongia merupakan kelas dari Porifera yang memiliki jumlah anggota terbesar. Sebagian besar anggota Demospongia berwarna cerah, karena mengandung banyak pigmen granula dibagian sel amoebositnya.

Contoh kelas ini antara lain *Suberit sp.*, *Cliona sp.*, *Microciona sp.*, *Spongilla lacustris*, *Chondrilla sp.*, dan *Callyspongia sp.* Perh.atikan gambar berikut



Niphates digitalis



Microciona sp.

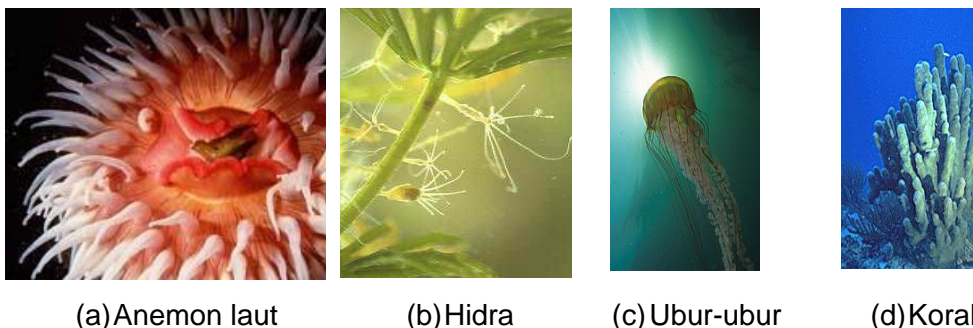
Gambar 121. Contoh Porifera kelas Demospongia

(Longman, 1999)

Sebagian besar spons adalah hermafrodit (*hermaphrodite*) (Bahasa Yunani *Hermes*, seorang dewa, dan *Aprodite*, seorang dewi), yang berarti bahwa masing-masing individu berfungsi sebagai jantan dan betina dalam reproduksi seksual dengan cara menghasilkan sel-sel sperma dan telur. Gamet muncul dari koanosit atau amoebosit. Telur tinggal dalam mesohil, tetapi sel sperma dibawa oleh spons melalui arus air. Pembuahan silang terjadi akibat beberapa sperma yang tertarik masuk ke dalam individu yang berdekatan. Pembuahan terjadi dalam mesohil, dimana zigot akan berkembang menjadi larva berflagela dan mampu berenang, yang akan menyebar dari induknya. Setelah menempel pada suatu substrat yang cocok, larva akan berkembang menjadi spons dewasa yang menempel diam dan memiliki koanosit internal. Spons mampu melakukan regenerasi ekstensif, yaitu pergantian bagian-bagian tubuh yang hilang. Mereka menggunakan regenerasi bukan hanya untuk perbaikan tetapi juga untuk bereproduksi secara aseksual dari fragmen yang terpotong dari spons induk.

b. Radiata

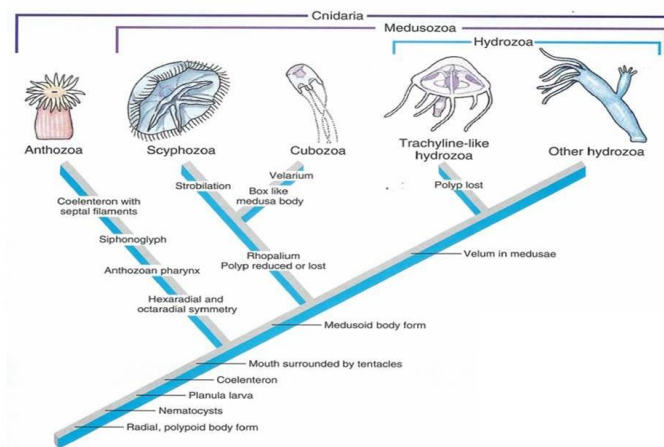
Pernahkah Anda melihat hidra, ubur-ubur atau anemon laut? Bagaimana karakteristik dari hewan-hewan tersebut? Bagaimana tipe reproduksinya? Pertanyaan-pertanyaan tersebut akan kita pelajari bersama pada bagian ini. Pernahkah Anda melihat langsung atau melihat di video tentang sekelompok ubur-ubur yang berenang dan mengeluarkan cahaya dari tubuhnya? Itu adalah salah satu bentuk keajaiban yang Tuhan ciptakan. Pigmen cahaya itu, di era modern saat ini dipakai oleh ahli bioteknologi untuk membuat rekayasa genetika agar tumbuhan atau hewan lain dapat bercahaya pada keadaan gelap. Hewan-hewan tersebut adalah termasuk hewan Cnidaria atau istilah lainnya yaitu Coelenterata.



Gambar 122. Contoh hewan tipe Cnidaria

(<https://ucmp.berkeley.edu>, 2019)

Mewakili garis keturunan lain yang bercabang sangat awal dalam sejarah hewan (eumetazoa), hewan radiata adalah hewan diploblastik (hanya memiliki ektoderm dan endoderm) dan memiliki simetri radial. Kedua filum cabang radiata adalah Cnidaria dan Ctenophora. Hewan Cnidaria (hidra, ubur-ubur, anemon laut, dan karang), tidak memiliki mesoderm dan memiliki konstruksi tubuh yang relatif sederhana. Namun demikian, mereka adalah suatu kelompok yang beraneka ragam dengan lebih dari 10.000 spesies yang masih hidup dan sebagian besar di antaranya adalah spesies organisme laut. Berikut adalah filogeni dari Cnidaria.



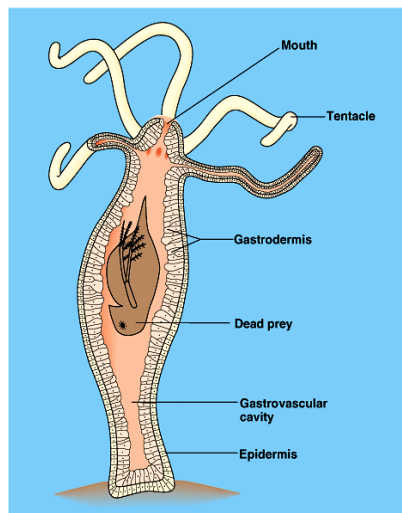
Gambar 123. Filogeni Cnidaria

(<https://ucmp.berkeley.edu>, 2019)

Bangun dasar tubuh Cnidaria adalah suatu kantung dengan kompartemen tengah untuk pencernaan, yaitu rongga gastrovaskuler (*gastrovascular cavity*). Sebuah bukaan pada rongga ini berfungsi sekaligus sebagai mulut dan anus. Bangun dasar tubuh ini memiliki dua variasi: polip yang sesil dan medusa yang mengambang. Polip adalah bentuk-bentuk silindris yang menempel ke substrat melalui sisi aboral (berlawanan arah dengan mulut) tubuhnya dan menjulurkan tentakelnya, menunggu mangsa. Contoh-contoh bentuk polip adalah hidra dan anemon laut. Suatu medusa adalah suatu versi polip dengan mulut di bawah dan bentuk yang lebih rata. Medusa bergerak secara bebas dalam air dengan kombinasi pergeseran pasif saat terbawa arus air dan konstruksi tubuhnya yang berbentuk lonceng. Hewan yang umumnya kita sebut ubur-ubur adalah tahap medusa. Tentakel suatu ubur-ubur akan menjuntai dari permukaan mulut, dan menunjuk ke arah bawah. Beberapa hewan Cnidaria hanya ada sebagai polip,

yang lain hanya ada sebagai medusa, dan masih ada juga yang melewati tahapan medusa dan tahapan polip dalam siklus hidupnya secara berurutan.

Cnidaria adalah karnivora yang menggunakan tentakel yang tersusun dalam suatu cincin disekitar mulut untuk menangkap mangsa dan mendorong makanan kedalam gastrovaskuler, tempat pencernaan dimulai. Sisa-sisa makanan yang tidak tercerna dikeluarkan melalui anus atau mulut. Tentakel dipersenjatai dengan deretan cnidosit, sel-sel khas yang berfungsi dalam pertahanan dan penangkapan mangsa. Cnidosit mengandung cnidae, organel (kapsul) yang mampu membalik, yang menyebabkan filum tersebut dinamai Filum Cnidaria (Bahasa Yunani *cnide*, “sengat”). Cnidae yang disebut nematosisa (*nematocyst*) adalah kapsul yang menyengat. Perhatikan gambar berikut.



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




Gambar 124. Struktur tubuh Cnidaria

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Otot dan saraf terdapat dalam bentuk paling sederhana pada hewan Cnidaria. Sel-sel epidermis (lapisan paling luar) dan gastrodermis (lapisan dalam) memiliki berkas filamen yang tersusun menjadi serat-serat kontraktile. Jaringan otot sejati berkembang dari mesoderm dan tidak terlihat pada hewan diploblastik. Rongga gastrovaskuler bertindak sebagai kerangka hidrostatis yang bekerja sama dengan sel-sel kontraktile. Ketika hewan itu menutup mulutnya, volume rongga itu akan tetap, dan kontraksi sel-sel tertentu akan menyebabkan hewan itu mengubah bentuknya. Pergerakan dikoordinasikan oleh suatu jaringan saraf. Hewan Cnidaria

tidak memiliki otak, dan jaring saraf yang tidak terpusat itu dikaitkat dengan reseptor sensorik sederhana yang tersebar secara radial disekitar tubuh. Dengan demikian, hewan itu dapat mendeteksi dan memberikan respon terhadap rangsangan dengan merata dari segala arah. Filum Cnidaria dibagi kedalam tiga kelas utama: Hydrozoa, Scyphozoa, dan Anthozoa. Berikut disajikan tabel tentang kelas-kelas pada filum Cnidaria.

Tabel 3. Kelas-kelas filum Cnidaria

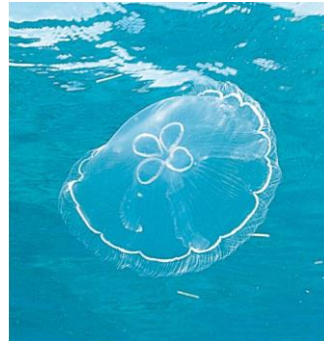
Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Hydrozoa (<i>Portuguese man-of-war</i> , hidra, <i>Obelia</i> , beberapa karang)	Sebagian besar hidup di laut, hanya sedikit hidup di air tawar; baik tahapan polip dan medusa di temukan pada sebagian besar spesies; tahapan polip sering kali membentuk koloni.	 Hidra
Scyphozoa (ubur-ubur, ubur-ubur kotak beracun, <i>sea nettle</i>)	Semuanya hidup di laut; tahapan polip tereduksi; bebas berenang; diameter medusa mencapai 2 m	 Ubur-ubur
Anthozoa (anemon laut, sebagian besar karang, karang berkoloni seperti kipas)	Semuanya hidup di laut; tahapan medusa sama sekali tidak ada; hidup sesil, dan banyak jenis membentuk koloni	 Anemon laut

1) Kelas Scyphozoa

Medusa umumnya bertahan lebih lama dalam siklus hidup Kelas Scyphozoa. Medusa dari sebagian besar spesies hidup diantara plankton sebagai ubur-ubur. Sebagian besar dari hewan Schyphozoa yang hidup di pantai akan melalui tahapan polip kecil selama sisa hidupnya, tetapi ubur-ubur yang hidup di laut terbuka umumnya tidak melalui tahapan polip yang sesil. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih jelas tentang deskripsi hewan kelas Scyphozoa.



Lion's Mane Jelly (*Cyanea capillata*)



Aurelia aurita (Moon jelly)

Gambar 125. Hewan kelas Scyphozoa
(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

2) Kelas Anthozoa

Anemon laut dan karang termasuk ke dalam Kelas Anthozoa (“hewan berbunga”). Mereka hanya ditemukan sebagai polip. Hewan karang hidup soliter atau dalam koloni dan mensekresikan kerangka eksternal yang keras dari kalsium karbonat. Setiap generasi polip memanfaatkan sisa-sisa kerangka generasi sebelumnya untuk membangun “batu” dengan bentuk yang khas sesuai spesiesnya. Kerangka inilah yang disebut karang. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih jelas tentang deskripsi hewan kelas Anthozoa (anemon laut).



Gambar 126. Hewan kelas Scyphozoa
(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

3) Kelas Hydrozoa

Sebagian besar hidrozoo melakukan pergiliran bentuk antara polip dan medusa, seperti pada siklus hidup *Obelia*. Tahapan polip, suatu koloni polip yang saling berhubungan pada kasus *Obelia*, lebih mudah ditemukan dibandingkan dengan

tahap medusa. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih jelas tentang deskripsi hewan kelas Hydrozoa.



Hidra

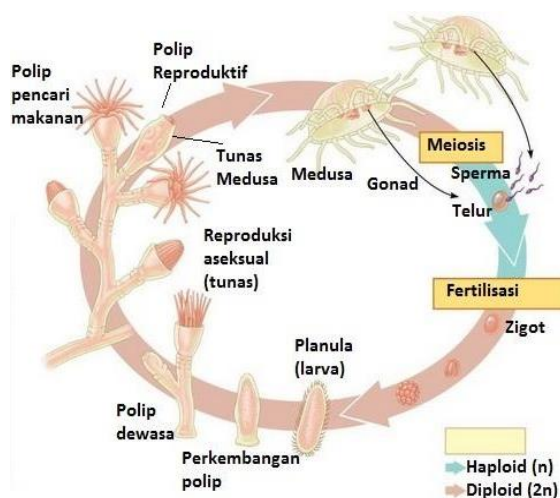


Physalia physalis (kapal perang Portugis)

Gambar 127. Hewan kelas Hydrozoa

(<http://coldwater.science/>, 2003)

Hidra, salah satu dari beberapa hewan Cnidaria yang ditemukan hidup di air tawar, adalah anggota Kelas Hydrozoa yang unik karena mereka hanya ditemukan dalam bentuk polip. Ketika kondisi lingkungan memungkinkan, hidra akan bereproduksi secara aseksual dengan cara pertunasan (*budding*), yaitu pembentukan suatu penonjolan yang kemudian melepaskan diri dari induk untuk hidup bebas. Ketika kondisi lingkungan buruk, hidra bereproduksi secara seksual, dan membentuk zigot resisten yang tetap dorman sampai kondisi membaik. Berikut disajikan siklus hidup Hidrozoa.



Gambar 128. Siklus hidup Hidrozoa

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Ubur-ubur sisir atau hewan Ctenophora, sangat menyerupai medusa hewan Cnidaria. Akan tetapi, hubungan antara hewan Ctenophora dan hewan Cnidaria masih belum jelas. Hanya ada sekitar 100 spesies ubur-ubur sisir, dan semuanya adalah hewan laut. Hewan Ctenophora memiliki diameter yang berkisar dari 1 sampai 10 cm. Sebagian besar diantaranya berbentuk bulat atau oval, tetapi ada juga yang berbentuk memanjang dan seperti pita yang mencapai panjang 1 m. *Ctenophora* berarti “mengandung sisir”, dan hewan ini dinamai menurut kedelapan baris lempengan yang mirip sisir, yang terdiri atas silia yang menyatu. Mereka adalah hewan terbesar yang menggunakan silia untuk pergerakan. Suatu organ sensoris aboral (terletak berlawanan arah dari mulut) berfungsi dalam menentukan orientasi, dan syaraf yang merambat dari organ sensoris sampai ke sisir silia berfungsi untuk mengkoordinasikan pergerakan. Sebagian besar ubur-ubur sisir memiliki sepasang tentakel panjang dan dapat ditarik kembali. Tentakel tersebut mengandung struktur lengket yang disebut dengan koloblas (*colloblast*), yang juga disebut sel lasso. Ketika mangsa (sebagian besar adalah plankton kecil) menyentuh tentakel, koloblas akan membuka secara mendadak. Suatu benang lengket yang dibebaskan oleh masing-masing koloblas akan menangkap makanan, yang kemudian akan disapu oleh tentakel ke dalam mulut. Anda dapat melihat tautan https://www.youtube.com/watch?v=GkfSn_4HHYE untuk melihat siklus hidup ubur-ubur secara nyata.

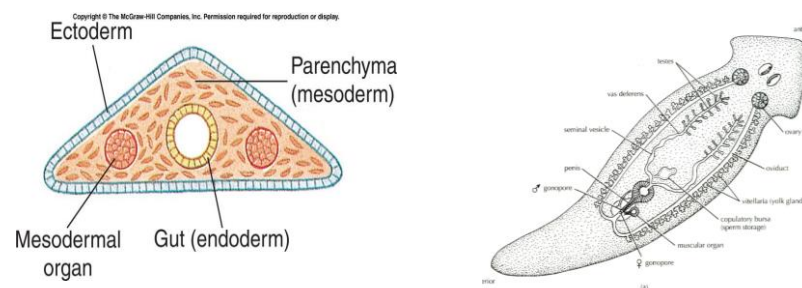
c. Aselomata

Aselomata mewakili satu percabangan awal hewan bersimetri bilateral, aselomata tidak memiliki rongga tubuh, yaitu ruang antara dinding tubuh dan saluran pencernaan. Aselomata mewakili beberapa perkembangan evolusi dibandingkan dengan hewan radiata. Sama dengan semua hewan bilateral, aselomata adalah tripoblastik (memiliki ektoderm, mesoderm, dan endoderm). Sebagai hewan bilateral, aselomata menunjukkan pergerakan maju ke depan dan sefalisasi dalam sejumlah tingkatan.

Terdapat sekitar 20,000 species cacing pipih yang hidup di habitat air laut, air tawar, dan daratan yang lembap. Selain memiliki banyak bentuk yang hidup bebas, cacing pipih meliputi banyak pula spesies parasit, seperti cacing pipih dan cacing

pita. Cacing pipih disebut demikian karena tubuhnya tipis di antara permukaan dorsal dan ventral (yang pipih secara dorsoventral; *platyhelminth* artinya “cacing pipih”). Ukurannya berkisar antara spesies hidup bebas yang mikroskopis hingga cacing pita yang panjangnya lebih dari 20 meter.

Lapisan embrionik ketiga, mesoderm, memberikan sumbangan kepada perkembangan organ yang lebih kompleks dan sistem organ, dan jaringan otot sejati. Dengan demikian, cacing pipih secara struktural lebih kompleks dibandingkan dengan hewan Cnidarian atau Ctenophora. Namun demikian, sama dengan hewan radiata, cacing pipih memiliki suatu rongga gastrovaskuler dengan hanya satu bukaan. Cacing pita sama sekali tidak memiliki keseluruhan saluran pencernaan dan menyerap nutrient melalui permukaan tubuhnya.



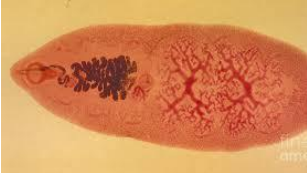



Gambar 129. Struktur tubuh cacing pipih (Platyhelminthes)

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Cacing pipih dibagi ke dalam 4 kelas: Turbellaria (yang sebagian besar adalah cacing pipih yang hidup bebas), Monogenea, Trematoda (atau *fluke*), dan Cestoidea (Cacing pita). Cacing pipih parasit (terutama Monogenea, Trematoda, dan Cacing pita) terkenal karena penyakit yang disebabkan oleh beberapa species yang tergolong cacing pipih, dan banyak cacing pipih memainkan peranan penting dalam struktur dan fungsi ekosistem. Berikut disajikan tabel tentang kelas-kelas pada Filum Platyheminthes.

Tabel 4. Kelas-kelas Filum Platyhelminthes

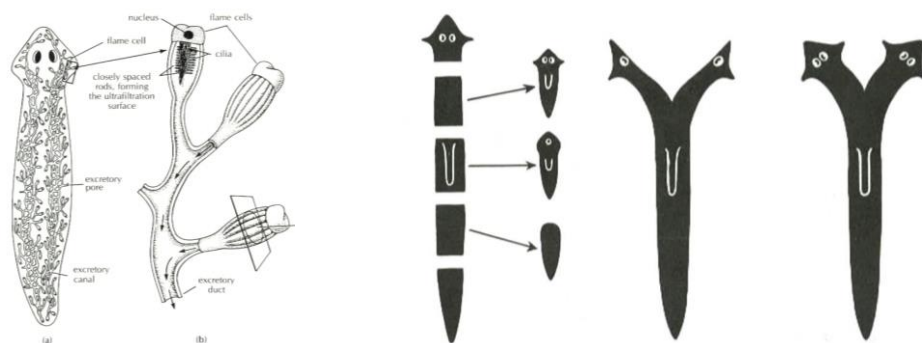
Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Turbellaria (sebagian besar adalah cacing pipih yang hidup bebas; misalnya <i>Dugesia</i>)	Sebagian besar adalah hewan laut, beberapa hidup di air tawar, hanya sedikit yang hidup di darat: predator dan pemakan bangkai; permukaan tubuh bersilia	 <i>Dugesia tigrina</i>
Monogenea	Parasit laut dan air tawar: sebagian besar menginfeksi permukaan eksternal ikan; sejarah hidup sederhana; larva bersilia, memulai infeksi pada inang	 Monogenea
Trematoda (disebut juga cacing fluke)	Parasit, hampir selalu pada vertebrata; dua penghisap menempel pada inang; sebagian besar sejarah hidup melibatkan inang perantara	 Cacing fluke
Cestoidea (cacing pita)	Parasit vertebrata; skoleks yang bertaut dengan inang; proglotid menghasilkan telur dan pecah setelah fertilisasi; tidak ada kepala atau sistem pencernaan; sejarah hidup dengan satu atau lebih inang perantara.	 Cacing pita

1) Kelas Turbellaria

Hampir semua Turbellaria hidup bebas (bukan parasit) dan sebagian besar adalah hewan laut. Anggota genus *Dugesia*, yang umumnya dikenal sebagai planaria, berlimpah dalam kolam dan aliran sungai yang tidak terpolusi. Planaria adalah karnivora yang memangsa hewan lebih kecil atau memakan hewan-hewan yang sudah mati. Planaria dan cacing pipih lainnya tidak memiliki organ yang khusus untuk pertukaran gas dan sirkulasi. Bentuk tubuhnya yang pipih itu menempatkan semua sel-sel berdekatan dengan air sekitarnya, dan percabangan halus rongga gastrovaskuler mengedarkan makanan ke seluruh tubuh hewan tersebut. Buangan bernitrogen dalam bentuk ammonia akan berdifusi secara langsung dari sel-sel ke dalam air di sekitarnya. Cacing pipih juga memiliki perkakas ekskretoris yang relatif sederhana yang terutama berfungsi untuk mempertahankan keseimbangan

osmotik antara hewan tersebut dan lingkungan sekitarnya. Sistem ini terdiri atas sel-sel bersilia yang disebut dengan sel api atau *flame cell* yang mengalirkan cairan melalui saluran bercabang yang membuka ke bagian luar. Evolusi struktur osmoregulatoris merupakan faktor utama yang memungkinkan beberapa cacing Turbellaria memasuki ekosistem air tawar dan bahkan lingkungan darat yang lembap. Struktur morfologi Planaria dapat Anda lihat pada tautan <https://www.youtube.com/watch?v=2NvFC-qyatU>.

Planaria bergerak menggunakan silia pada epidermis ventral, bergeser di sepanjang lapisan lendir tipis yang mereka sekresikan sendiri. Beberapa cacing Turbellaria juga menggunakan ototnya untuk berenang melalui air dengan gerakan yang mengombak naik turun. Seekor planaria memiliki kepala (atau tersefalikasi) dengan sepanjang bintik mata yang mendeteksi cahaya dan penjuruan lateral yang berfungsi terutama untuk penciuman. Sistem saraf planaria lebih kompleks dan lebih terpusat dibandingkan dengan sistem jaringan saraf hewan Cnidaria. Planaria dapat belajar memodifikasi responsnya terhadap stimuli. Planaria dapat berproduksi secara aseksual melalui regenerasi. Induknya akan menyempit di bagian tengah, dan masing-masing paruhan beregenerasi untuk mengganti ujung yang hilang. Reproduksi seksual juga terjadi. Meskipun planaria juga adalah hermaphrodit, pasangan kawin yang berkopulasi mengadakan pembuahan silang.

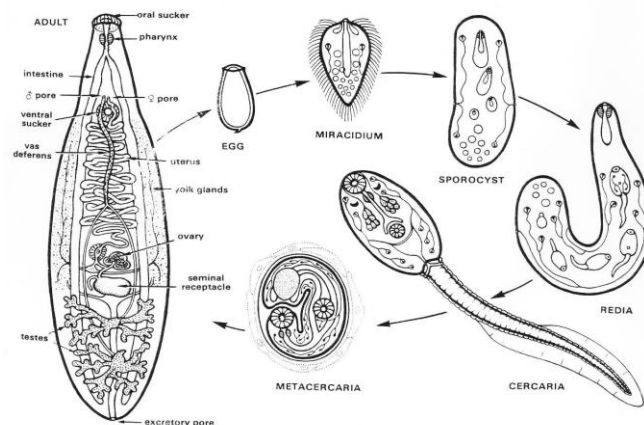


Gambar 130. Struktur dan regenerasi pada Planaria

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

2) Kelas Monogenea dan Trematoda

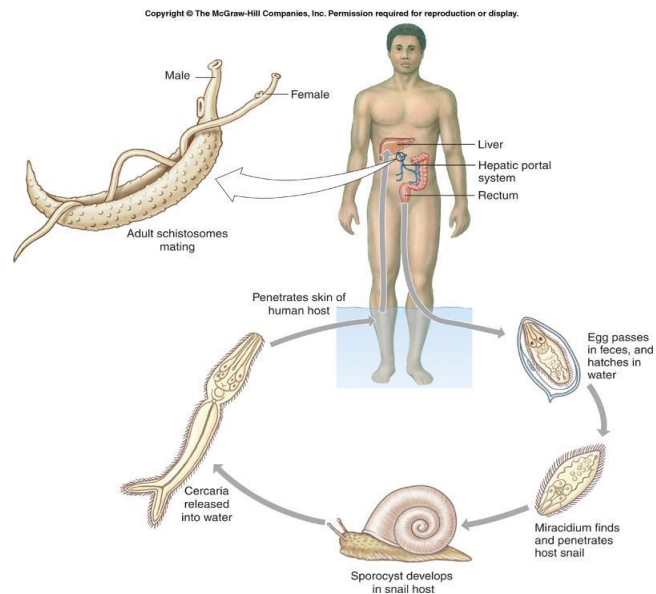
Monogenea dan Trematoda (sering disebut *fluke*) hidup sebaga parasit di dalam atau pada hewan lain. Banyak di antaranya memiliki penghisap untuk menempelkan diri ke organ internal atau permukaan luar inangnya, dan semacam kulit keras yang membantu melindungi parasit itu. Organ reproduksi mengisi hampir keseluruhan bagian interior cacing ini. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 131. Siklus hidup Trematoda

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Sebagai suatu kelompok, cacing Trematoda memparasiti banyak sekali jenis inang, dan sebagian besar spesies memiliki siklus hidup yang kompleks dengan adanya pergiliran tahap seksual dan aseksual. Banyak trematoda memerlukan suatu inang perantara atau intermedia tempat larva akan berkembang sebelum menginfeksi inang terakhirnya (umumnya vertebrata), tempat cacing dewasa hidup. Sebagai contoh, Trematoda yang memparasiti manusia menghabiskan sebagian dari sejarah hidupnya di dalam bekicot. Sekitar 200 juta penduduk di seluruh dunia yang terinfeksi *fluke* darah (*Schistosoma*) menderita nyeri badan, anemia, dan disentri.



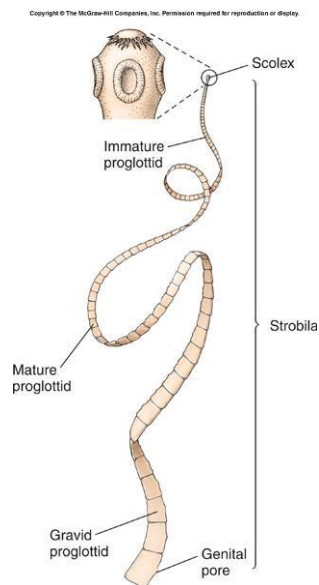
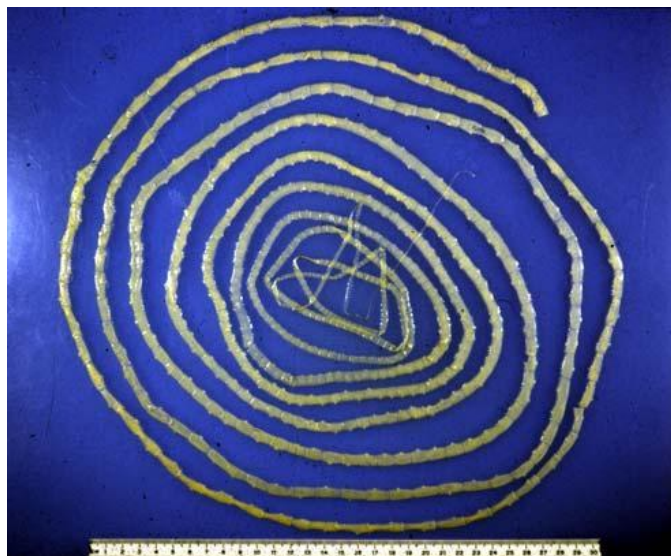
Gambar 132. Fluke darah (*Schistosoma*)

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Sebagian besar dari Monogenea adalah parasit eksternal pada ikan. Siklus hidupnya relatif sederhana, dengan larva bersilia dan berenang bebas yang memulai suatu infeksi pada inang. Meskipun Monogenea secara tradisional telah disejajarkan dengan Trematoda, beberapa bukti-bukti struktural dan kimiawi menyarankan bahwa mereka lebih dekat hubungannya dengan cacing pita.

3) Kelas Cestoidea

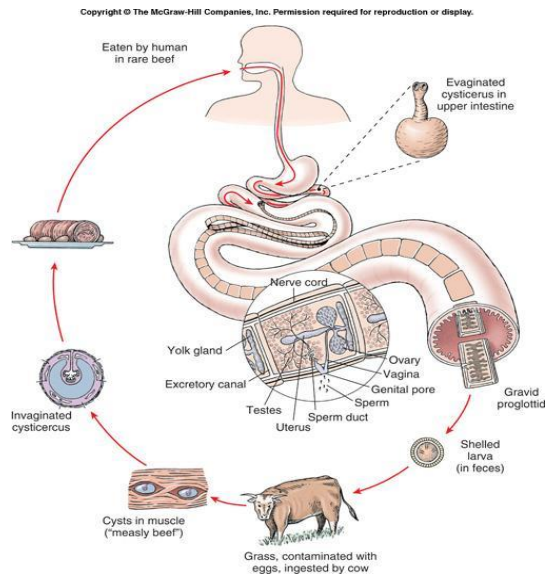
Cacing pita (Kelas Cestoidea) juga merupakan parasit. Hewan dewasa sebagian besar hidup pada vertebrata, termasuk manusia. Kepala cacing pita, atau skoleks, dipersenjatai dengan penghisap dan seringkali dengan kait sangat tajam yang mengunci cacing itu ke lapisan intestinal inang. Ke arah posterior dari skoleks adalah pita panjang serangkaian unit-unit yang disebut proglotid, yang sedikit lebih besar dari kantung organ kelamin. Cacing pita tidak memiliki saluran pencernaan. Cacing pita menyerap makanan yang telah dicerna terlebih dahulu oleh inang.



Gambar 133. Taenia

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Proglottid dewasa, yang dipenuhi dengan ribuan telur, dibebaskan dari ujung posterior cacing pita dewasa dan meninggalkan tubuh inang bersama feses. Dalam salah satu jenis siklus hidup, feses manusia mengkontaminasi makanan atau air inang perantara, seperti babi atau sapi, dan telur cacing pita itu berkembang menjadi larva yang terbungkus dalam sista dalam otot hewan itu. Manusia dapat terinfeksi larva dengan cara memakan daging yang kurang matang dan terkontaminasi dengan sista, dan cacing itu berkembang menjadi dewasa di dalam tubuh manusia. Cacing pita besar, yang panjangnya dapat mencapai 20 m atau lebih, bisa menyebabkan penyumbatan usus dan dapat mengambil cukup banyak nutrisi dari inang manusianya untuk dapat menyebabkan defisiensi nutrisi.



Gambar 134. Siklus hidup kelas cacing pita

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

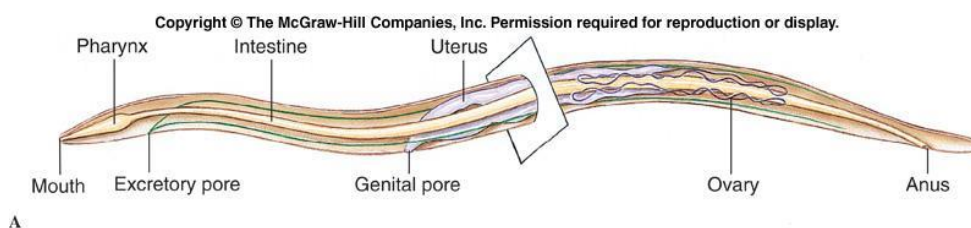
d. Pseudoselomata

Bangun tubuh pseudoselomata telah dievolusikan pada beberapa filum hewan kecil. Hubungan evolusionernya dengan kelompok lain dan di antara mereka sendiri masih belum jelas. Kemungkinan, kondisi pseudoselomata muncul secara independen beberapa kali. Kita akan membahas di sini hanya dua dari semua filum itu: Rotifera dan Nematoda.

Rotifer (sekitar 1800 spesies) adalah hewan yang sangat kecil yang terdapat paling banyak di air tawar, beberapa di antaranya hidup di laut atau di dalam tanah lembap. Ukurannya berkisar dari sekitar 0,5 sampai 2,0 mm, lebih kecil dari banyak Protista, namun demikian Rotifer adalah hewan multiseluler dan memiliki sistem organ khusus, termasuk saluran pencernaan sempurna (suatu saluran pencernaan dengan mulut dan anus yang terpisah). Organ internal terletak di dalam pseudoselom. Cairan dalam pseudoselom berfungsi sebagai kerangka hidrostatik dan sebagai medium untuk transport internal nutrisi dan buangan pada hewan yang sangat kecil tersebut. Pergerakan tubuh rotifer menyebarkan cairan di dalam pseudoselom, sehingga rongga tubuh dan cairannya sebagai sistem sirkulasi.

Kata Rotifer, yang berasal dari Bahasa Latin, berarti “pembawa roda”, yang mengacu ke mahkota silia yang menarik putaran air ke dalam mulut. Ke arah posterior dari mulut, suatu daerah saluran pencernaan yang disebut faring mengandung rahang (*trophi*) yang akan menggerus makanan, yang sebagian besar berupa mikroorganisme yang tersuspensi dalam air.

Reproduksi Rotifer adalah unik. Beberapa spesies hanya terdiri atas betina yang menghasilkan lebih banyak betina lagi dari telur yang tidak dibuahi, suatu jenis reproduksi yang disebut partenogenesis. Spesies menghasilkan dua jenis telur yang berkembang dengan cara partenogenesis, satu jenis membentuk betina dan jenis lain berkembang menjadi jantan yang berdegenerasi yang bahkan tidak dapat mencari makanannya sendiri. Jantan bertahan hidup cukup lama untuk menghasilkan sperma yang membuahi telur, dan membentuk zigot resisten yang dapat bertahan hidup ketika kolam mengering. Ketika kondisi menjadi baik lagi, zigot tersebut mengakhiri masa dormansinya dan berkembang menjadi suatu generasi betina baru yang kemudian bereproduksi melalui partenogenesis sampai kondisi menjadi tidak menguntungkan lagi. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 135. Struktur tubuh cacing gilig (Nematoda)

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

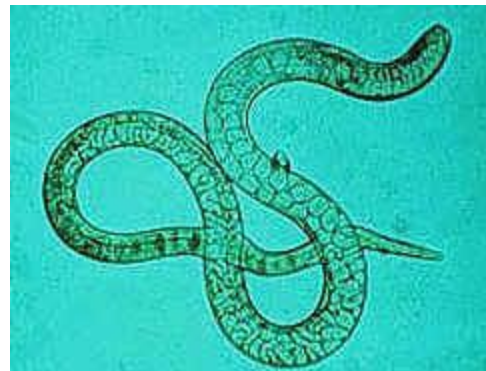
Di antara semua hewan yang paling tersebar luas, cacing gilig (Nematoda) ditemukan pada sebagian besar habitat akuatik, di dalam tanah lembap, di dalam jaringan lembap tumbuhan, dan di dalam cairan tubuh dan jaringan hewan. Sekitar 90.000 spesies kelas ini telah diketahui, dan yang sebenarnya ada mungkin mencapai 10 kali jumlah tersebut. Panjang cacing gilig berkisar antara kurang dari 1 mm hingga lebih dari 1 m. Tertutupi oleh kutikula keras dan transparan, tubuhnya yang silindris dan tak bersegmen itu meruncing membentuk ujung yang sangat halus ke arah posterior dan menjadi suatu ujung buntu pada ujung kepala. Nematoda memiliki saluran pencernaan yang sempurna. Mereka tidak memiliki

sistem sirkulasi, tetapi nutrisi diangkut ke seluruh tubuh melalui cairan dalam pseudoselom. Otot nematoda semuanya longitudinal, dan kontraksinya menghasilkan gerakan mendera.

Reproduksi Nematoda umumnya adalah secara seksual. Jenis kelamin umumnya terpisah pada sebagian besar spesies, dan betina umumnya berukuran lebih besar dibandingkan dengan jantan. Fertilisasi terjadi secara internal, dan seekor betina dapat meletakkan 100.000 atau lebih telur yang terbuahi per hari. Zigot sebagian besar spesies adalah sel resisten yang mampu bertahan hidup pada lingkungan yang tidak bersahabat. Perhatikan gambar berikut.



Ascaris



Trichinella

Gambar 136. Contoh cacing Nematoda

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Filum Nematoda juga meliputi banyak hama pertanian yang menyerang akar tumbuhan. Spesies lain cacing gilig memparasiti hewan. Manusia menjadi inang bagi paling tidak 50 spesies Nematoda, termasuk berbagai cacing jarum (*pinworm*) dan cacing kait (*hookworm*). Salah satu Nematoda yang sangat berbahaya adalah *Trichinella spiralis*, cacing yang menyebabkan trikinosis. Manusia tertular Nematoda tersebut dengan cara memakan daging babi atau daging lain yang terinfeksi dan kurang matang, yang mengandung cacing juvenile terbungkus sista dalam jaringan otot. Didalam usus manusia, juvenil tersebut akan berkembang menjadi cacing dewasa secara seksual. Betina akan menggali lubang di dalam otot usus halus dan menghasilkan lebih banyak lagi juvenil, yang nantinya membor tubuh manusia atau mengembara dalam pembuluh limfa untuk membungkus dirinya dengan sista dalam organ lain, termasuk otot rangka.

e. Selomata: Protostoma

Garis keturunan Protostoma hewan selomata terbagi menjadi beberapa filum, yang meliputi Mollusca, Annelida, dan Arthropoda.

1) Filum Nemertea

Anggota filum Nemertea disebut dengan cacing *proboscis* atau cacing berbelalai. Posisi filum tersebut di pohon filogenetik saat ini masih diperdebatkan, meskipun sistematika molekuler mendukung bukti-bukti anatomis bahwa mereka berhubungan dengan garis keturunan protostoma. Tubuh cacing *proboscis* secara struktural adalah aselomata, seperti struktur tubuh cacing pipih, tetapi pada tubuh cacing *proboscis* terdapat kantung kecil yang penuh cairan yang dianggap oleh beberapa ahli biologi sebagai struktur yang homolog dengan rongga tubuh (selom) protostoma. Kantung dan cairan secara hidrolis mengoperasikan suatu *proboscis* yang dapat dipanjangkan sebagai alat bagi cacing tersebut untuk menangkap mangsanya.

2) Filum-filum Lophophorata

Secara kolektif filum Bryozoa, Phoronida, dan Brachiopoda disebut hewan lofoforata karena memiliki struktur yang khas, yaitu lofofor. Lofofor adalah lipatan berbentuk tapal kuda atau sirkuler pada dinding tubuh dan mengandung tentakel bersilia yang mengelilingi mulut. Anus terletak di luar lilitan tentakel.

Bryozoa adalah hewan berkoloni yang sangat menyerupai lumut (*moss*). Bryozoa artinya “hewan lumut”. Pada sebagian besar spesies, koloni terbungkus dalam eksoskeleton keras berpori. Lofofor akan menjulur melalui pori-pori tersebut. Dari antara 5.000 spesies Bryozoa, sebagian besar hidup dalam laut, dimana mereka merupakan hewan sesil yang paling banyak dan luas penyebarannya. Beberapa spesies merupakan pembangun terumbu karang yang penting.

Phoronida adalah cacing laut yang tinggal dalam tabung yang panjangnya berkisar dari 1 mm sampai 50 cm. Beberapa diantaranya hidup terkubur dalam pasir di dalam tabung yang terbuat dari kitin, dan menjulurkan lofofornya dari pembukaan tabung dan menariknya ke dalam tabung ketika berada dalam keadaan terancam.

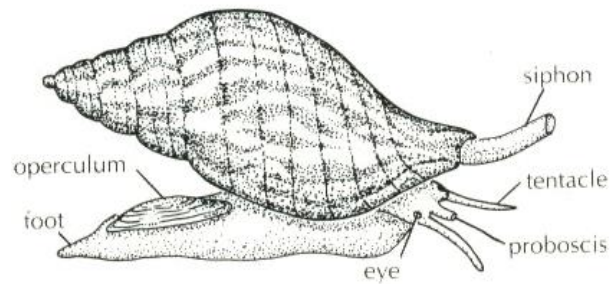
Hanya terdapat sekitar 15 spesies cacing Phoronida yang terbagi dalam dua genus.

Brachiopoda atau *lamp shell* (cangkang lampu) sangat menyerupai remis dan moluska bercangkang dua, tetapi kedua paruh cangkang Brachiopoda adalah bagian dorsal dan ventral hewan tersebut dan bukan lateral, seperti pada remis. Hewan Brachiopoda hidup menempel pada substratnya melalui suatu tangkai, dan membuka cangkangnya sedikit untuk memungkinkan air mengalir diantara cangkang dan lofofor. Brachiopoda adalah hewan laut. Brachiopoda yang masih hidup adalah sisa-sisa dari masa lalu yang jauh lebih jaya; hanya sekitar 330 spesies tersebut yang diketahui, tetapi terdapat 30.000 spesies fosil zaman Paleozoikum dan Mesozoikum.

3) Filum Mollusca

Keong atau bekicot dan *slug* (sejenis siput tak bercangkang), tiram, remis, gurita, dan cumi-cumi adalah hewan Mollusca. Secara keseluruhan, anggota filum Mollusca memiliki lebih dari 150.000 spesies yang telah diketahui. Sebagian besar Mollusca adalah hewan laut, meskipun beberapa diantaranya hidup di air tawar, serta ada juga keong dan *slug* yang hidup di darat. Mollusca adalah hewan berbadan lunak (Latin *molluscus* berarti "lunak"), tetapi sebagian besar terlindungi oleh suatu cangkang keras yang mengandung kalsium karbonat. *Slug*, sumi-cumi, dan gurita memiliki cangkang yang tereduksi, dimana sebagian besar diantaranya adalah cangkang internal, atau mereka telah kehilangan keseluruhan cangkang selama proses evolusinya.

Meskipun terdapat perbedaan yang jelas, semua Mollusca memiliki kemiripan dalam bangun tubuh. Tubuh Mollusca memiliki tiga bagian utama: kaki berotot, umumnya digunakan untuk pergerakan; massa viseral yang mengandung sebagian besar organ-organ internal; dan mantel, suatu lipatan jaringan yang menutupi massa viseral dan mensekresi cangkang (jika ada). Pada banyak Mollusca, mantel meluas melebihi massa viseral, dan menghasilkan suatu ruang yang penuh air, atau rongga mantel (*mantle cavity*), yang menampung insang, anus, dan pori ekskretoris. Banyak Mollusca mengambil makanan menggunakan organ kasar mirip tali karet yang disebut radula untuk mengorek makanan.







Gambar 137. Struktur tubuh bekicot

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Bangun dasar tubuh Mollusca telah berkembang dengan berbagai cara pada kelas yang berlainan dalam suatu filum. Di antara delapan kelas, kita akan mengkaji empat yaitu Polyplacophora (*chiton*), Gastropoda (bekicot dan *slug*), Bivalvia (remis, tiram, dan bivalvia lainnya), dan Cephalopoda (cumi-cumi, gurita, dan *Nautilus*). Berikut disajikan tabel karakteristik kelas-kelas utama Filum Mollusca.

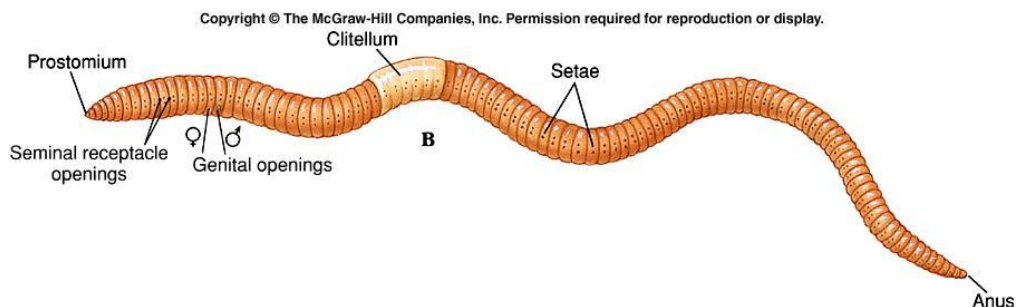
Tabel 5. Kelas-kelas utama Filum Mollusca

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Polyplacophora (<i>chiton</i>)	Hidup dilaut; cangkang dengan delapan lempeng; kaki digunakan untuk lokomosi; kepala tereduksi	 <i>Katherina</i>
Gastropoda (keong atau bekicot, <i>slug</i>)	Hidup dilaut, air tawar, atau di darat; tubuh tidak simetris, umumnya memiliki cangkang yang melintir; cangkang tereduksi atau tidak ada sama sekali pada beberapa spesies; kaki untuk lokomosi; ada radula	 <i>Helix</i>
Bivalvia (remis, kerang hijau, <i>scallop</i> , tiram)	Hidup dilaut dan air tawar; cangkang pipih atau rata dengan 2 katup; kepala tereduksi; insang berpasangan; sebagian besar makan dengan menyaring; mantel berbentuk sifon	 <i>Anadonta</i>

<p>Cephalopoda (cumi-cumi, gurita, <i>Nautilus</i> berongga)</p>	<p>Hidup di laut; kepala dikelilingi oleh tentakel yang menjerat, umumnya dengan penyedot; cangkang eksternal, internal, atau absen; mulut dengan atau tanpa radula; lokomosi dengan dorongan jet menggunakan sifon yang terbuat dari mantel</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Octopus</i></p>
--	--	---

4) Filum Annelida

Annelida berarti “cincin kecil”, dan tubuh bersegmen yang mirip dengan serangkaian cincin yang menyatu merupakan ciri khas filum Annelida. Terdapat sekitar 15.000 spesies filum Annelida, yang panjangnya berkisar antara kurang dari 1 mm sampai 3 m pada cacing tanah raksasa Australia. Perhatikan gambar berikut.






Gambar 138. Struktur tubuh cacing tanah

(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

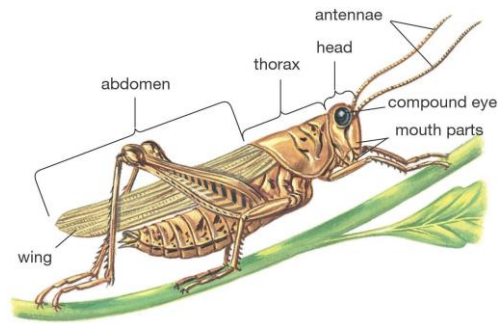
Anggota filum Annelida hidup di laut, sebagian besar habitat air tawar dan tanah lembap. Beberapa hewan Annelida akuatik berenang untuk mencari makan, tetapi sebagian besar tinggal di dasar dan bersarang di dalam pasir dan endapan lumpur; cacing tanah merupakan pembentuk sarang dalam lubang. Filum Annelida dibagi ke dalam tiga kelas: Oligochaeta (cacing tanah dan kerabatnya), Polychaeta, dan Hirudinea (lintah). Berikut disajikan tabel tentang karakteristik kelas-kelas Filum Annelida.

Tabel 6. Kelas-kelas Filum Annelida

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Oligochaeta (cacing bersegmen yang hidup di darat dan air tawar; misalnya cacing tanah)	Kepala yang tereduksi; tidak ada parapodia, tetapi ada <i>setae</i>	 <p><i>Lumbricus terrestris</i></p>
Polychaeta (sebagian besar adalah cacing bersegmen yang hidup dilaut)	Kepala yang berkembang baik; masing-masing segmen umumnya memiliki parapodia dengan <i>setae</i> ; tinggal dalam tabung dan ada juga yang hidup bebas	 <p><i>Amphitrite</i></p>
Hirudinea (lintah)	Tubuh umumnya pipih dan rata dengan selom dan segmentasi yang tereduksi; <i>setae</i> tidak ada; penyedot terdapat pada ujung anterior dan posterior; parasit, predator, dan pemakan bangkai	 <p><i>Hirudo medicinalis</i></p>

5) Filum Arthropoda

Diperkirakan bahwa populasi Arthropoda dunia, yang meliputi krustasea, laba-laba, dan serangga, berjumlah sekitar 10^{18} individu. Hampir 1 juta spesies Arthropoda telah dideskripsikan, dan sebagian besar adalah serangga. Pada kenyataannya, dua dari setiap tiga organisme yang dikenal adalah hewan Arthropoda, dan anggota filum tersebut ada hampir pada semua habitat yang ada di biosfer. Berdasarkan kriteria keanekaragaman, penyebaran dan jumlah spesies, filum Arthropoda harus dianggap sebagai yang paling berhasil di antara semua filum hewan. Perhatikan gambar berikut.








Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Gambar 139. Struktur tubuh belalang
(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Arthropoda berarti “kaki bersendi”. Kelompok segmen dan anggota badannya telah terspesialisasi untuk berbagai ragam fungsi. Tubuh Arthropoda sepenuhnya ditutupi oleh kutikula (*cuticle*), suatu eksoskeleton (kerangka eksternal) yang dibangun dari lapisan-lapisan protein dan kitin. Kutikula itu dapat merupakan pelindung yang tebal dan keras di atas beberapa bagian tubuh, dan setipis kertas dan fleksibel pada lokasi lain, seperti persendian. Arthropoda memiliki sistem sirkulasi terbuka (*open circulatory system*) dimana cairan yang disebut hemolimfa didorong oleh suatu jantung melalui arteri pendek dan kemudian masuk ke dalam ruang yang disebut sinus yang mengelilingi jaringan dan organ. Berikut disajikan tabel tentang karakteristik kelas utama Filum Arthropoda.

Tabel 7. Kelas utama Filum Arthropoda

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Arachnida (laba-laba, kutu, tungau kalajengking,)	Tubuh memiliki satu atau dua bagian utama; enam pasang anggota badan (<i>chelicerae</i> , pedipalpus, dan empat pasang kaki untuk berjalan); sebagian besar adalah hewan darat.	 Kalajengking
Diplopoda (kaki seribu)	Tubuh dengan kepala yang jelas memiliki antena dan bagian-bagian mulut yang mengunyah, badan bersegmen dengan dua	

	pasang kaki berjalan per segmen; terestrial; herbivora	Kaki seribu
Chilopoda (lipan)	Tubuh dengan kepala yang jelas yang memiliki antena besar dan tiga pasang bagian mulut; anggota badan segmen tubuh pertama dimodifikasi sebagai cakar beracun; segmen badan mengandung satu pasang kaki berjalan setiap segmen; terestrial; karnivora	 <p>Lipan</p>
Insecta (serangga)	Tubuh terbagi menjadi kepala, toraks, dan abdomen; memiliki antena; bagian mulut dimodifikasi untuk mengunyah, menyedot atau menelan; umumnya memiliki dua pasang sayap dan tiga pasang kaki; sebagian besar adalah hewan terestrial.	 <p>Nyamuk</p>
Crustacea (kepiting, udang galah, <i>crayfish</i> atau udang kerang, udang)	Tubuh dengan dua atau tiga bagian; memiliki antena; bagian mulut untuk mengunyah; tiga atau lebih pasang kaki, sebagian besar adalah hewan laut.	 <p>Udang</p>

Dalam hal keanekaragaman spesies, serangga (Kelas Insecta) melebihi jumlah semua bentuk kehidupan lain digabungkan bersama-sama. Mereka hampir pada setiap habitat terestrial dan dalam air tawar, dan serangga terbang mengisi udara. Serangga jarang ditemukan di laut, dimana Crustacea merupakan Arthropoda yang dominan meskipun bukan berarti tidak ada sama sekali. Anatomi internal suatu serangga meliputi beberapa sistem organ kompleks. Sistem pencernaan yang sempurna dan terspesialisasi secara regional, dengan organ yang jelas yang berfungsi dalam perombakan makanan dan penyerapan zat-zat makanan. Sisa metabolisme dibuang dari hemolimfa melalui organ ekskretoris yang unik yang disebut tubulus Malphigi, yang merupakan kantung luar saluran pencernaan.

Pertukaran gas pada serangga dilakukan melalui sistem trakea tabung bercabang yang dilapisi kitin yang menginfiltrasi tubuh dan membawa oksigen secara langsung ke sel. Sistem saraf serangga terdiri atas pasangan tali saraf ventral dengan beberapa ganglia segmenal.

Banyak serangga mengalami metamorfosis dalam perkembangannya. Dalam metamorfosis tak sempurna (*incomplete metamorphosis*) belalang dan beberapa ordo lain, hewan muda mirip dengan hewan dewasa tetapi berukuran lebih kecil dan memiliki perbandingan tubuh yang berbeda. Hewan itu akan mengalami serangkaian pergantian kulit atau *molting*, setiap kali setelahnya hewan itu kelihatan lebih mirip hewan dewasa, sampai ia mencapai ukuran penuhnya. Serangga dengan metamorfosis sempurna (*complete metamorphosis*) memiliki tahapan larva yang dikhususkan untuk makan dan tumbuh yang dikenal dengan nama seperti belatung (*maggot*), tempayak (*grub*), atau ulat (*caterpillar*). Tahapan larva tampak berbeda sama sekali dari tahapan dewasa, yang dikhususkan untuk penyebaran dan reproduksi. Metamorfosis dari tahapan larva sampai dewasa terjadi selama tahapan pupa. Perhatikan gambar berikut.



(a) belalang



(b) kupu-kupu

Gambar 140. Contoh hewan yang mengalami metamorfosis (a) metamorfosis tak sempurna (b) metamorfosis sempurna





(<https://entomologytoday.org/>, 2018)







Agar memperjelas informasi tentang metamorfosis pada kupu-kupu, Anda dapat melihat tautan <https://www.youtube.com/watch?v=xXBtGObyYzw>.






Fosil serangga tertua berasal dari masa Devon, yang dimulai sekitar 400 juta tahun silam. Entomologi, kajian mengenai serangga, adalah suatu bidang yang luas dengan banyak subspecialisasi, yang meliputi fisiologi, ekologi, dan taksonomi.

Kelas Insecta dibagi menjadi sekitar 26 ordo. Berikut disajikan tabel karakteristik beberapa ordo utama kelas Insecta

Tabel 8. Beberapa ordo utama serangga

Ordo	Perkiraan Jumlah Spesies	Karakteristik Utama	Contoh	
Anoplura	2.400	Ektoparasit tanpa sayap; mulut penghisap; berukuran kecil dengan tubuh yang pipih, mata yang tereduksi; kaki dengan tarsi yang mirip cakar untuk menempel atau melekat ke kulit; metamorfosis tak sempurna; inang sangat spesifik.	Caplak penghisap	 Caplak penghisap
Coleoptera	500.000	Dua pasang sayap (satu pasang tebal dan terasa seperti berkulit, satu pasang bermembran), eksoskeleton berpelindung; mulut untuk menggigit dan mengunyah; metamorfosis sempurna	Kumbang	 Kumbang
Dermoptera	1.000	Dua pasang sayap (satu pasang terasa seperti berkulit, dan satu pasang bermembran) atau tak bersayap; bagian mulut untuk menggigit; capit posterior yang besar; metamorfosis tak sempurna	Earwig	 Earwig
Diptera	120.000	Satu pasang sayap dan halter (organ untuk keseimbangan); mulut untuk penghisap, menusuk, atau menelan; metamorfosis sempurna	Lalat, nyamuk	 Lalat

				 <p>Nyamuk</p>
Hemiptera	55.000	Dua pasang sayap (satu pasang sebagian seperti berkulit, dan satu pasang bermembran); mulut untuk menusuk dan menyedot; metamorfosis tak sempurna	Kutu busuk; <i>assassin bug</i> , <i>bedbug</i> , <i>chinch bug</i>	 <p>Kutu busuk</p>  <p><i>Assassin bug</i></p>
Hymenoptera	100.000	Dua pasang sayap bermembran; kepala dapat bergerak; bagian mulut untuk mengunyah atau penghisap; organ untuk menyengat pada bagian posterior pada betina; metamorfosis sempurna; banyak spesies bersifat sosial	Semut, lebah, tawon	 <p>Semut</p>  <p>Lebah</p>  <p>Tawon</p>

Isoptera	2.000	Dua pasang sayap bermembran (beberapa tahapan tidak bersayap); mulut untuk mengunyah; sangat sosial; metamorfosis tak sempurna	Rayap	 <p>Rayap</p>
Lepidoptera	140.000	Dua pasang sayap yang ditutupi dengan sisik kecil; lidah panjang melilit untuk penghisap; metamorfosis sempurna	Kupu-kupu, ngengat	 <p>Kupu-kupu</p>
Odonata	5.000	Dua pasang sayap bermembran; bagian mulut untuk menggigit; metamorfosis tak sempurna	Damselfly, capung	 <p>Capung</p>
Orthoptera	30.000	Dua pasang sayap (satu pasang seperti berkulit, satu pasang bermembran); mulut untuk menggigit dan untuk mengunyah; metamorfosis tak sempurna	Jangkrik, kecoa, belalang, belalang sembah	 <p>Jangkrik</p>  <p>Kecoa</p>

Siphonaptera	2.000	Tak bersayap, termampatkan secara lateral; hewan dewasa merupakan penyedot darah dari burung dan mamalia; bagian mulut untuk menusuk dan menyedot; kaki untuk meloncat; metamorfosis sempurna.	<i>Flea</i> /kutu penghisap darah	 Kutu penghisap darah
Trichoptera	7.000	Dua pasang sayap berambut; bagian mulut untuk mengunyah dan menelan; metamorfosis sempurna; larva akuatik membangun jaring sutera atau pembungkus (dari pasir, kerikil, dan kayu) terikat bersama oleh sutera	Caddisfly	 Caddisfly

f. Selomata: Deuterostoma

Apakah Anda pernah melihat bintang laut, bintang ular laut atau lili laut? Apa karakteristik dari hewan-hewan tersebut? Ya benar, salah satu ciri yang dapat terlihat langsung yaitu adanya duri. Hewan-hewan tersebut adalah anggota dari Filum Echinodermata.

Deuterostoma hewan selomata memiliki ciri khas yaitu pembelahan secara radial, perkembangan selom dari arkenteron, dan pembentukan mulut pada ujung embrio yang berlawanan arah dengan blastopori. Anggota hewan ini yaitu Filum Echinodermata dan Filum Chordata. Anggota Filum Echinodermata memiliki sistem pembuluh air dan simetri radial sekunder. Anggota Filum Chordata meliputi dua subfilum yaitu Invertebrata dan Vertebrata (ikan, amfibia, reptilia, burung, dan mamalia).

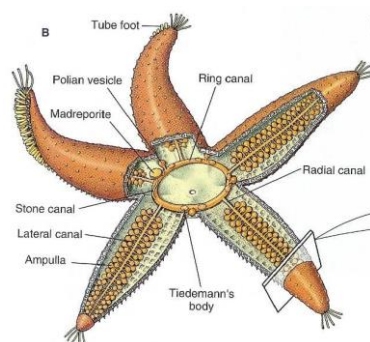
Anggota filum Echinodermata memiliki sistem pembuluh air dan simetri radial sekunder. Bintang laut dan sebagian besar Echinodermata (dari bahasa Yunani *ehcin* "berduri" dan *derma* "kulit") adalah hewan sesil atau hewan yang bergerak lambat dengan simetri radial sebagai hewan dewasa. Bagian internal dan

eksternal hewan ini menjalar dari tengah atau pusat, seringkali berbentuk lima jari-jari. Kulit tipis menutupi eksoskeleton yang terbuat dari lempengan keras. Sebagian besar hewan Echinodermata bertubuh kasar karena adanya tonjolan kerangka dan duri yang memiliki berbagai fungsi. Yang khas dari Echinodermata adalah sistem pembuluh air (*water vascular system*), suatu jaringan saluran hidrolik yang bercabang menjadi penjururan yang disebut kaki tabung (*tube feet*) yang berfungsi dalam lokomosi, makan, dan pertukaran gas.

Di antara 7.000 atau lebih anggota filum Echinodermata, semuanya adalah hewan laut, dibagi menjadi enam kelas: Asterozoa (bintang laut), Ophiurozoa (bintang mengular), Echinozoa (bulu babi dan *sand dollar*), Crinozoa (lili laut dan bintang bulu), Holothurozoa (timu laut), dan Concentrychyclozoa (aster laut). Aster laut yang baru ditemukan baru-baru ini, hidup pada kayu yang terendam air di laut dalam.

1) Kelas Asterozoa

Bintang laut memiliki lima lengan (kadang-kadang lebih) yang memanjang dari suatu cakram pusat. Permukaan bagian bawah lengan itu memiliki kaki tabung, yang masing-masing dapat bertindak seperti suatu cakram penyedot. Bintang laut mengkoordinasikan kaki tabungnya untuk lekat menempel pada batuan dan atau untuk merangkak secara perlahan-lahan sementara kaki tabung tersebut memanjang, mencengkeram, berkontraksi, melemas, memanjang, dan mencengkeram seklai lagi. Bintang laut juga menggunakan kaki tabungnya untuk menjerat mangsa, seperti remis atau tiram. Perhatikan gambar berikut.

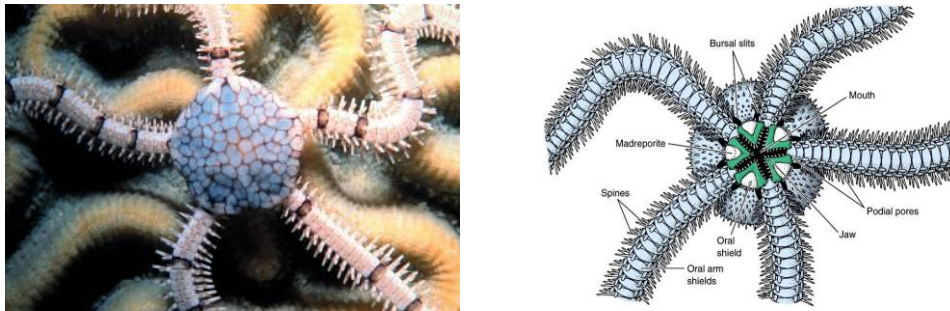


Gambar 141. Bintang laut

(<https://australianmuseum.net.au/>, 2018)

2) Kelas Ophiuroidea

Bintang mengular memiliki cakram tengah yang jelas terlihat, tangannya panjang dan sangat mudah bergerak. Kaki tabungnya tidak memiliki pemyedot, mereka bergerak dengan mencambukkan lengannya. Beberapa spesies adalah pemakan suspensi; yang lain adalah predator atau pemangsa bangkai.

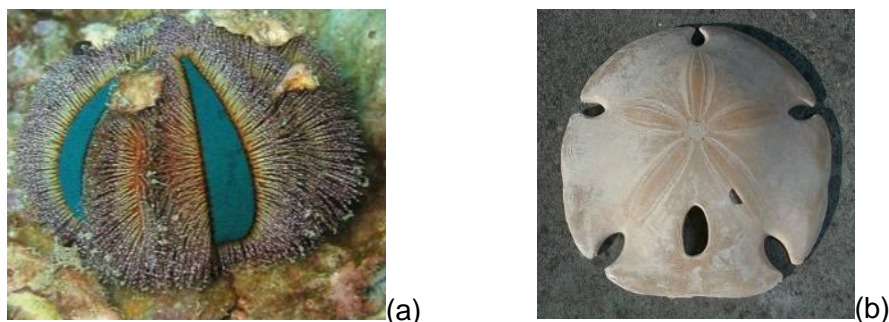


Gambar 142. Bintang mengular

(<https://australianmuseum.net.au/>, 2018)

3) Kelas Echinoidea

Bulu babi (*sea urchin*) dan dollar pasir (*sand dollar*) tidak memiliki lengan, akan tetapi mereka memiliki lima baris kaki tabung yang berfungsi dalam pergerakan lambat. Bulu babi juga memiliki otot untuk memutar durinya yang panjang, yang membantu dalam pergerakan. Mulut bulu babi dilingkari oleh struktur kompleks mirip rahang yang telah beradaptasi untuk memakan ganggang laut dan makanan lain. Bulu babi secara kasar bentuknya agak bulat, sementara tubuh dollar pasir pipih dan berbentuk cakram.

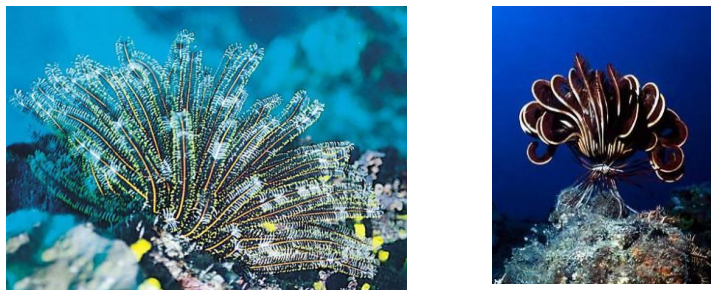


Gambar 143. Bulu babi (a) dollar pasir (b)

(<https://australianmuseum.net.au/>, 2018)

4) Kelas Crinoidea

Lili laut menempel ke substratum melalui batang; bintang bulu merangkak dengan menggunakan lengannya yang panjang dan fleksibel. Sebagai suatu kelompok, anggota kelas ini menggunakan lengannya dalam proses memakan suspensi. Lengan itu mengelilingi mulut, yang diarahkan ke atas, menjauhi substratum. Crinoidea adalah suatu kelas purba yang tidak banyak berubah selama proses evolusinya; lili laut yang memfosil dengan umur sekitar 500 juta tahun hampir tidak dapat dibedakan dari anggota modern kelas tersebut.



Gambar 144. Lili laut

(<https://australianmuseum.net.au/>, 2018)

5) Kelas Holothuroide

Pada pengamatan sepintas, ketimun laut (*sea cucumber*) tidak terlihat mirip dengan hewan Echinodermata lainnya. Mereka tidak memiliki duri dan endoskeletonnya yang keras sangat tereduksi. Tubuh ketimun laut memanjang sepanjang sumbu oral-aboral, sehingga memberikan bentuk ketimun seperti namanya dan yang selanjutnya membedakan hubungan mereka dengan bintang laut atau bulu babi. Namun demikian, pengamatan lebih dekat memperlihatkan adanya lima baris kaki tabung, bagian dari sistem pembuluh air yang hanya ditemukan pada hewan Echinodermata. Beberapa kaki tabung yang ada di sekitar mulut dikembangkan menjadi tentakel untuk makan.

Anggota filum Chordata meliputi dua subfilum invertebrata dan semua vertebrata. Filum ini terdiri atas dua subfilum Invertebrata ditambah subfilum Vertebrata, hewan yang memiliki tulang belakang. Pengelompokkan Chordata dengan Echinodermata sebagai deuterostoma berdasarkan kemiripan perkembangan

embrionik awal tidak berarti bahwa satu filum berkembang dari filum yang lain. Chordata dan Echinodermata telah ada sebagai filum yang berbeda paling tidak selama setengah miliar tahun; jika kemiripan dalam perkembangan bersumber dari nenek moyang yang sama, maka jalur evolusi kedua filum itu pasti telah memisah sangat dini.



Gambar 145. Ketimun laut

(<https://australianmuseum.net.au/>, 2018)

- **Vertebrata**

Tengkorak dan tulang punggung, yang mengelilingi dan melindungi tali saraf, merupakan bagian dari kerangka aksial vertebrata, yaitu struktur penyokong utama sumbu, atau batang tengah, tubuh. Kerangka aksial sebagian besar vertebrata juga meliputi tulang, rusuk, yang menautkan otot dan melindungi organ internal. Vertebrata juga memiliki kerangka tambahan, yang menyokong kedua pasang anggota badannya (sirip, kaki atau lengan).

Ketika vertebrata bergerak mencari makan atau menghindari pemangsa, mereka meregenerasikan persediaan ATP-nya terutama melalui respirasi seluler, yang membutuhkan konsumsi oksigen. Adaptasi sistem peredaran darah dan sistem pernapasan vertebrata mendukung mitokondria yang sibuk pada sel otot dan jaringan aktif lainnya. Vertebrata memiliki sistem peredaran darah yang tertutup, dengan jantung yang terdiri dari beberapa ruang dan terletak di bagian ventral tubuh, yang memompa darah melalui arteri ke pembuluh mikroskopik yang disebut kapiler bercabang ke seluruh jaringan di dalam tubuh. Darah mengambil oksigen saat melewati kapiler di paru-paru atau insang.

Skema taksonomik mengakui adanya dua superkelas subfilum Vertebrata yang masih hidup sampai saat ini. Anggota Superkelas Agnatha, *hagfish dan lamprey*, tidak memiliki rahang. Superkelas lain, Gnathostomata, meliputi enam kelas vertebrata berahang; Kelas Chondrichthyes (ikan bertulang rawan, hiu dan ikan pari); Kelas Osteichthyes (ikan bertulang keras); Amphibia (katak dan salamander), Reptilia (reptile), Aves (burung dan unggas), dan Mammalia (binatang menyusui), Amphibia, Reptilia, Aves, dan Mammalia secara kolektif disebut Tetrapoda (Bahasa Yunani *tetra* “empat” dan *pod* “kaki”) karena sebagian besar hewan dalam kelas ini memiliki dua pasang tungkai yang menyokong tubuh mereka di darat. Reptilia, burung dan mamalia memiliki adaptasi darat tambahan yang membedakan mereka dari amfibia. Salah satu di antaranya adalah telur amniotik (*amniotic egg*), suatu telur bercangkang yang menahan air. Telur amniotik berfungsi sebagai “kolam yang mencukupi diri sendiri” yang memungkinkan vertebrata menyelesaikan siklus hidupnya di darat. Meskipun sebagian besar mamalia tidak bertelur, mereka mempertahankan ciri pokok lainnya dari kondisi amniotik tersebut. Oleh karena terobosan evolusioner yang penting ini, reptilia, burung dan mamalia secara kolektif disebut sebagai amniota.

a. Superkelas Agnatha: Vertebrata Tak Berahang

Jejak vertebrata awal ini ditemukan pada strata Kambrium, tetapi sebagian besar ternyata berasal dari masa Ordovisium dan Silur, sekitar 400 sampai 500 juta tahun silam. Superkelas Agnatha meliputi hewan-hewan mirip ikan yang telah punah, disebut ostrakoderma (“berkulit cangkang”), yang dibungkus oleh beberapa lempengan bertulang sebagai pelindung. Agnatha ini dan agnatha awal yang lain umumnya berukuran kecil, dengan panjang kurang dari 50 cm. Sebagian besar tidak memiliki sirip yang berpasangan dan sebenarnya merupakan hewan yang tinggal di dasar perairan yang bergeliat di sepanjang hamparan arus atau dasar laut, tetapi ada juga beberapa spesies yang lebih aktif dan memiliki sirip berpasangan. Mulut mereka berbentuk bundar atau berupa bukaan mirip celah dan tidak memiliki rahang. Sebagian besar hewan Agnatha kemungkinan adalah penyedot lumpur atau pemakan suspensi yang mengambil sedimen dan serpihan bahan organik yang tersuspensi melalui mulutnya dan kemudian meneruskannya melalui celah insang, tempat terperangkapnya makanan. Dengan demikian, perkakas faringnya mempertahankan fungsi pengambilan makan yang primitif tersebut, meskipun

insang pada hewan Agnatha kemungkinan juga merupakan tempat utama untuk pertukaran gas.

Sekitar 60 spesies vertebrata tak berahang masih hidup sampai saat ini dalam Kelas Myxini (*hagfish*) dan Kelas Cephalaspidomorphi (*lamprey*). *Lamprey* laut yang berbentuk belut mengambil makanan dengan cara mengaitkan mulut bundarnya itu ke sisi ikan yang hidup, kemudian menggunakan lidah yang menusuk untuk menembus kulit mangsanya, menghisap dan menelan darah mangsanya. *Lamprey* laut hidup sebagai larva selama bertahun-tahun dalam aliran air tawar dan kemudian berpindah ke laut atau danau ketika tumbuh menjadi dewasa. Larva tersebut merupakan pemakan suspensi yang menyerupai *lancelet* (cephalochordate). Beberapa spesies *lamprey* hanya makan sebagai larva. Setelah beberapa tahun berada dalam aliran air, mereka mencapai kematangan seksual, bereproduksi, dan mati dalam tempo beberapa hari. Perhatikan gambar berikut.



(a)



(b)

Gambar 146. (a) Hagfish dan (b) lamprey

(<https://australianmuseum.net.au/>, 2018)

Hagfish sangat menyerupai *lamprey*, tetapi umumnya mereka merupakan pemakan bangkai dan bukan penyedot darah atau pemakan suspensi, dan bagian mulutnya tidak diadaptasikan untuk menusuk. Beberapa spesies memakan ikan yang sakit atau yang mati, sementara ikan *hagfish* yang lain memakan cacing laut. *Hagfish* tidak memiliki tahapan larva dan keseluruhan hidupnya berlangsung di dalam perairan asin.

b. Superkelas Gnathostomata I: Ikan

Selama akhir masa Silur dan awal masa Devon, vertebrata dengan rahang, anggota Superkelas Gnathostoma (“mulut berahang”) menggantikan sebagian besar hewan Agnatha. Kelas ikan yang masih hidup (Chondrichthyes dan Osteichthyes) pertama kali muncul pada masa ini, bersama-sama dengan suatu kelompok yang diberi nama plakoderma (*placoderm*) (“berkulit lempeng”) yang tidak memiliki keturunan yang hidup. Vertebrata berahang juga memiliki dua pasang anggota badan berpasangan, sementara hewan Agnatha tidak memiliki anggota badan yang berpasangan atau hanya memiliki sepasang.

Rahang vertebrata berevolusi dari kerangka penyokong celah faring. Asal mula rahang merupakan peristiwa adaptif utama pada awal filogeni vertebrata. Rahang vertebrata bersendi dan dapat bergerak ke atas dan ke bawah (secara dorsoventral). Rahang yang bersendi juga berkembang pada Arthropoda, tetapi rahang ini memiliki asal mula yang berbeda dari rahang vertebrata. Rahang Arthropoda adalah anggota badan yang termodifikasi yang bekerja dari sisi ke sisi.

Rahang vertebrata berkembang melalui modifikasi batang rangka yang sebelumnya menyokong celah faring (insang) anterior. Celah insang yang tersisa, yang tidak lagi diperlukan untuk memakan suspensi, tetap merupakan tempat utama pertukaran gas dengan lingkungan eksternal. Asal mula rahang vertebrata dari bagian kerangka ini menggambarkan ciri umum perubahan evolusioner: adaptasi baru umumnya berkembang melalui modifikasi struktur yang telah ada.

Endoskeleton bertulang rawan yang diperkuat oleh butiran berkalsium merupakan ciri diagnostik untuk Kelas Chondrichthyes. Vertebrata Kelas Chondrichthyes, hiu dan kerabatnya, disebut ikan bertulang rawan karena mereka memiliki endoskeleton yang relatif lentur yang terbuat dari tulang rawan dan bukan tulang keras. Namun, pada sebagian besar spesies, beberapa bagian kerangka diperkuat oleh butiran berkalsium. Terdapat sekitar 750 spesies yang masih hidup dalam kelas ini. Rahang dan sirip berpasangan berkembang dengan baik pada ikan bertulang rawan. Subkelas yang paling besar dan paling beranekaragam terdiri dari hiu dan ikan pari. Subkelas kedua terdiri atas beberapa lusin spesies ikan yang tidak umum yang disebut *chimaera* atau *ratfish*.

Ikan hiu dan pari terbesar adalah para pemakan suspensi yang memangsa plankton. Namun, sebagian besar hiu adalah karnivora yang menelan mangsanya secara utuh atau menggunakan rahang dan geliginya yang sangat tajam untuk meyobek daging dari hewan yang terlalu besar untuk ditelan sekaligus. Indera yang tajam merupakan adaptasi yang seirama dengan gaya hidup hiu yang aktif sebagai karnivora. Hiu memiliki penglihatan yang tajam tetapi tidak dapat membedakan warna.

Telur hiu dibuahi secara internal. Hiu jantan memiliki sepasang penjepit pada sirip pelvisnya yang memindahkan sperma ke dalam saluran reproduksi betina. Beberapa spesies hiu adalah hewan ovipar (*oviparous*); mereka mengeluarkan telur yang menetas di luar tubuh induknya. Spesies lain adalah hewan ovovivipar (*ovoviviparous*); mereka mempertahankan telur yang telah dibuahi agar tetap berada dalam oviduk (saluran telur). Beberapa spesies adalah hewan vivipar (*viviparous*); anak berkembang di dalam uterus, diberi makan sebelum lahir oleh nutrien yang diterima dari darah induk melalui plasenta. Saluran reproduksi hiu bermuara bersama-sama dengan sistem ekskretoris dan saluran pencernaan ke dalam kloaka, yaitu ruang yang mengeluarkan isinya melalui satu lubang tunggal.

Sebagian ikan pari adalah penghuni dasar laut yang berbentuk pipih dan mengambil makanan dengan menggunakan rahangnya untuk melumat Molluska dan Crustacea. Sirip pektoral ikan pari sangat besar dan digunakan untuk mendorong hewan berenang. Banyak ikan pari memiliki ekor menyerupai pecut dan pada beberapa spesies, mengandung duri berbisa yang berfungsi sebagai alat pertahanan.

Endoskeleton bertulang, operkulum dan kantung renang merupakan ciri khas kelas Osteichthyes. Ikan bertulang keras (Kelas osteichthyes) adalah yang paling banyak jumlahnya, baik dalam jumlah individu maupun jumlah spesies (sekitar 30.000). Berukuran antara 1 cm dan lebih dari 6 m, ikan bertulang keras sangat melimpah di laut dan di hampir setiap habitat air tawar. Hampir semua ikan bertulang keras memiliki endoskeleton sengan matriks kalsium fosfat yang keras. Kulitnya seringkali tertutupi dengan silik pipih bertulang yang berbeda strukturnya dari sisik berbentuk gigi pada hiu. Ikan bertulang memiliki sistem gurat sisi yang tampak jelas sekali sebagai barisan saluran kecil pada kulit setiap sisi tubuh.

Ikan bertulang keras bernapas dengan melewati air melalui empat atau lima pasang insang yang terletak di dalam ruangan-ruangan yang tertutup oleh suatu penutup pelindung yang disebut operkulum. Air disedot ke dalam mulut, melalui faring, dan keluar di antara celah insang karena pergerakan operkulum dan kontraksi otot yang mengelilingi ruang insang tersebut. Proses ini memungkinkan seekor ikan bertulang untuk bernapas pada saat diam atau tidur.

Adaptasi lain dari sebagian besar ikan bertulang keras yang tidak ditemukan pada hiu adalah gelembung renang (*swim bladder*), suatu kantung udara yang membantu mengontrol pengambang ikan tersebut. Perpindahan gas-gas antara kantung renang dan darah mengubah volume kantung itu dan menyesuaikan kerapatan ikan. Akibatnya, banyak ikan bertulang keras, berlawanan dengan sebagian besar hiu, dapat menghemat energi dengan cara tidak bergerak.


Hampir semua famili ikan yang kita kenal adalah ikan bersirip duri (*rayfinned fish*) (Subkelas Actinopterygii; bahasa Yunani *aktin* “berkas” dan *pteryg* “sayap” atau “sirip”). Berbagai spesies *bass*, *perch*, *trout*, *herring*, dan tuna adalah beberapa contohnya. Sirip, yang terutama didukung oleh duri panjang yang lentur, termodifikasi untuk mengendalikan arah, pertahanan, dan fungsi-fungsi lain. Ikan bersirip duri menyebar dari air tawar sampai ke laut.

Sebagian besar anggota subkelas ikan bertulang lain yang masih hidup adalah ikan bersirip lobus (*lobe-fined fish*) dan *lungfish*, yang tinggal di dalam air tawar. Dua kelompok utama ikan bersirip lobus yang disebut *coelacanth* dan *rhypidistian*, ditandai dengan sirip pectoral dan pelvis yang berotot yang didukung oleh pembesaran kerangka bertulang. *Lungfish* umumnya menempati kolam dan rawa yang tenang, dan naik ke permukaan untuk menghirup udara ke dalam paru-paru yang berhubungan dengan faring dari saluran pencernaan. Berikut disajikan tabel tentang kelompok Vertebrata yang masih hidup saat ini.

Tabel 8. Kelompok Vertebrata yang masih hidup saat ini

	Karakteristik Utama	Contoh-Contoh
Superkelas Agnatha	Vertebrata tak berahang; kerangka bertulang rawan; lidah seperti parut; notokord tetap ada sepanjang hidup; hidup di laut dan air tawar; spesies	<i>Lamprey</i> , <i>hagfish</i>

	yang hidup tidak memiliki anggota badan yang berpasangan		
Kelas Myxini	Pemakan bangkai yang hidup di laut; mulut dikelilingi oleh tentakel pendek; tidak ada tahapan larva	<i>Hagfish</i>	 <i>Hagfish</i>
Kelas Cephalaspidomorphi	Hidup di laut dan air tawar; mulut dikelilingi oleh penyedot yang dapat melekat; larva (<i>ammocoetes</i>) adalah pemakan suspensi; saat dewasa menjadi parasit atau tidak makan sama sekali	<i>Lamprey</i>	 <i>Lamprey</i>
Superkelas Gnathostomata	Vertebrata dengan rahang berengsel; notokord sebagian besar atau sepenuhnya digantikan oleh veterbra pada hewan dewasa sebagian besar spesies; anggota badan berpasangan	Semua vertebrata yang masih hidup kecuali <i>lamprey</i> dan <i>hagfish</i>	
Kelas Chondrichthyes	Ikan bertulang rawan; kerangka bertulang rawan; memiliki rahang; respirasi melalui insang; pembuahan internal; bisa bertelur atau melahirkan anak; indera yang tajam, termasuk gurat sisi	Hiu, ikan pari	 Hiu
Kelas Osteichthyes	Ikan bertulang keras; kerangka dan rahang bertulang; sebagian besar spesies melakukan pembuahan eksternal dan mengeluarkan telur dalam jumlah banyak; pernapasan terutama melalui insang; banyak di antaranya memiliki kantung renang; hidup di laut atau air tawar	Bandeng, ikan air tawar, ikan kakap, ikan tuna	 Bandeng
Kelas Amphibia	Anggota badan yang diadaptasikan untuk pergerakan di darat (kondisi tetrapoda); tahapan larva akuatik bermetamorfosis menjadi hewan dewasa darat (banyak spesies); bisa bertelur atau melahirkan anak; pernapasan melalui paru-paru dan/atau kulit	Salaman-der, kadal air, katak, <i>caecilia</i>	 Katak
Kelas Reptilia	Tetrapoda darat dengan kulit bersisik; pernapasan melalui paru-paru; menelurkan telur amniotik bercangkang atau melahirkan anak	Ular, kadal, kura-kura, buaya	 Kura-kura
Kelas Aves	Tetrapoda berbulu; kaki depan yang termodifikasi menjadi sayap; pernapasan melalui paru-paru; endotermik; pembuahan internal; telur amniotik bercangkang; penglihatan yang tajam	Burung hantu, burung gereja, penguin, elang	 Penguin

Kelas Mammalia	Tetrapoda dengan anak yang diberi makan dari kelenjar susu betina; berambut; diafragma yang memventilasi paru-paru; endotermik; kantung amniotik; sebagian besar melahirkan anak	Monotremata (misalnya platipus); marsupial (misalnya kanguru); eutheria (misalnya rodensia)	 Kanguru
----------------	--	---	--

c. Superkelas Gnathostomata II: Tetrapoda

Keanekaragaman mamalia diwakili oleh tiga kelompok utama: monotrema (mamalia yang bertelur), marsupial (mamalia berkantung) dan mamalia eutheria (berplasenta). Monotrema –platipus dan *echidna* adalah mamalia bertelur yang masih hidup saat ini. Hewan monotrema memiliki rambut dan menghasilkan susu. *Opossum*, kanguru, *bandicoot* dan koala adalah contoh dari Mamalia marsupial, pada sebagian besar spesies, anak yang masih menyusu tinggal di dalam sebuah kantung induk yang disebut marsupium. Untuk mamalia eutheria memiliki masa kehamilan yang lebih lama. Anak hewan eutheria menyelesaikan perkembangan embrioniknya di dalam uterus, yang dihubungkan ke induknya melalui plasenta.

Terdapat paling tidak empat garis evolusi utama mamalia eutheria. Satu cabang terdiri atas ordo Insectivora *shrew*, semacam tikus, dan ordo Chiroptera (kelelawar). Cabang kedua dimulai dengan garis keturunan herbivora adalah Lagomorpha (kelinci dan kerabatnya); Perissodactyla (ungulata berkaki ganjil, yang meliputi kuda dan badak; ungulata yang berjalan di atas ujung jari kaki); Artiodactyla (ungulata berkaki genap, yang meliputi rusa dan babi); Sirenia (sapi laut); Proboscidea (gajah); dan Cetacea (lumba-lumba dan paus). Cabang ketiga menghasilkan ordo Carnivora, yang meliputi kucing, anjing, rakun, sigung, dan *pinniped* (anjing laut, singa laut dan beruang laut). Cabang keempat dan yang merupakan radiasi adaptif mamalia eutheria yang paling luas menghasilkan kompleks primata rodensia. Ordo Redentia meliputi tikus, mencit, bajing atau tupai dan berang-berang. Berikut disajikan tabel tentang ordo utama hewan Mamalia.

Tabel 9. Ordo utama hewan mamalia

	Ordo	Karakteristik utama	Contoh-contoh
MONOTREMA	Monotremata	Bertelur; tidak memiliki puting susu; menyedot susu dari bulu induknya	Platipus, <i>echidna</i>
MAMALIA MARSUPIAL	Marsupialia	Perkembangan embrionik diselesaikan dalam kantung marsupial	Kanguru, opossum, koala
MAMALIA EUTHERIA	Artiodactyla	Memiliki kuku dengan jumlah jari kaki yang genap pada masing-masing kaki; herbivora	Domba, babi, sapi, rusa, jerapah
	Carnivora	Pemakan daging; memiliki gigi tajam, runcing dan geraham untuk merobek	Anjing, serigala, beruang, kucing, rubah, berang-berang, anjing laut, beruang laut
	Cetacea	Hidup di laut dengan badan berbentuk ikan; kaki depan mirip dayung dan tidak ada tungkai belakang; lapisan tebal lemak sebagai insulasi	Paus, lumba-lumba
	Chiroptera	Diadaptasikan untuk terbang; memiliki lipatan kulit yang lebar yang meluas dari jari yang memanjang sampai badan dan kaki	Kelelawar
	Edentata	Memiliki geligi yang tereduksi atau tidak ada sama sekali	Armadillo, kungkang, pemakan semut
	Insectivora	Mamalia pemakan serangga	Tikus mondok, shrew, landak
	Lagomorpha	Memiliki gigi seri yang mirip pahat, kaki belakang lebih panjang dibandingkan dengan kaki depan dan diadaptasikan untuk berlari dan melompat	Kelinci, pikas, terwelu
	Perissodactyla	Memiliki kuku dengan jumlah jari kaki ganjil pada masing-masing kaki; herbivora	Kuda, zebra, tapir, badak
	Primata	Ibu jari yang berhadapan; mata yang menghadap ke depan; korteks serebral yang berkembang baik; omnivora	Lemur, monyet, kera, manusia
	Proboscidea	Memiliki badan panjang dan berotot; kulit longgar dan tebal; gigi seri atas memanjang sebagai gading	Gajah

	Rodentia	Memiliki gigi seri seperti pahat yang tumbuh terus-menerus	Tupai, berang-berang, tikus, landak, mencit
	Sirenia	Herbivora akuatik; memiliki tungkal mirip sirip dan tidak ada kaki belakang	Sapi laut (manatee)

3. Ekologi Biologi Populasi

- **Jenis-Jenis Simbiosis sebagai Bentuk Interaksi antar Makhluk Hidup**

Pernahkah Anda melihat tanaman anggrek hidup menempel pada tumbuhan lain? Atau pernahkan Anda menemukan kutu rambut di kepala seseorang. Apa bentuk interaksi tersebut? Ya benar, bentuk interaksi tersebut adalah simbiosis. Terdapat beberapa jenis simbiosis. Simbiosis merupakan semua jenis interaksi biologis jangka panjang dan dekat antara dua organisme biologis yang berbeda atau sebuah hubungan timbal balik diantara dua makhluk hidup yang berbeda, baik itu mutualisme, amensalisme, komensalisme, atau parasitisme. Organisme yang terlibat tersebut, masing-masing disebut simbion, dapat berasal dari spesies yang sama atau berbeda.

Fungsi simbiosis yaitu bertahan hidup dengan mengandalkan atau berhubungan makhluk hidup lain yang berbeda jenis. Simbiosis dibedakan menjadi dua kategori diantaranya yaitu:

- Ektosimbiosis adalah bentuk hubungan antara dua organisme yang berbeda jenis dimana organisme yang satu hidup di bagian luar organisme lainnya.
- Endosimbiosis adalah bentuk hubungan antara dua organisme yang berbeda jenis dimana organisme yang satu hidup di bagian dalam organisme yang lain.

a. Simbiosis Mutualisme

Simbiosis mutualisme yaitu hubungan sesama makhluk hidup yang saling menguntungkan antar kedua pihak.

Mutualisme mengacu pada interaksi simbiotik di mana kedua spesies yang terlibat saling diuntungkan. Banyak ditemukan adaptasi mutualistik yang mengalami

koevolusi, termasuk bakteri pemfiksasi nitrogen yang hidup dengan legume dan interaksi hewan penyerbuk dengan tumbuhan berbunga.

Contoh simbiosis mutualisme yaitu sebagai berikut:

- 1) Bunga dengan kupu-kupu, dalam proses penyerbukan bunga di bantu oleh kupu-kupu sedangkan kupu-kupu mendapat nektar.
- 2) Jenis bakteri *Rhizobium* sp. yang hidup dalam akar tumbuhan kacang-kacangan akan memperoleh makanan sedangkan tumbuhan kacang-kacangan mendapat nitrogen yang diikat oleh *Rhizobium* sp.
- 3) *Rafflesia* dan lalat, dimana *rafflesia* dibantu proses penyerbukannya dan lalat mendapat sari bunganya.
- 4) Ikan hiu dengan remora, dimana ikan hiu menjadi bersih dan remora akan mendapat sisa makanan hiu.
- 5) Lebah dengan bunga sepatu, dimana lebah membantu bunga sepatu dalam proses penyerbukannya dan lebah mendapat nektar.
- 6) Burung jalak dengan kerbau, dimana burung jalak memakan kutu yang ada pada tubuh kerbau sedangkan kerbau memiliki tubuh yang bersih dari kutu.
- 7) Ikan badut dengan anemon laut, dimana ikan badut mendapat perlindungan dari anemon laut sedangkan anemon laut mendapat sisa-sisa makanan dari ikan badut.



Gambar 147. Bunga dengan kupu-kupu

(<https://gardenerspath.com/>, 2019)

b. Simbiosis Parasitisme

Simbiosis parasitisme yaitu hubungan sesama makhluk hidup dimana pihak yang satu mendapat keuntungan namun merugikan pihak lainnya. Contoh simbiosis parasitisme yakni sebagai berikut:

- 1) Cacing perut dan cacing tambang yang hidup di dalam usus manusia, dimana cacing-cacing tersebut akan mengambil sari makanan di usus manusia.
- 2) Bunga rafflesia dengan inangnya, dimana bunga rafflesia menyerap sari-sari makanan dari inangnya sedangkan inangnya diambil sari makanannya.
- 3) Tanaman benalu dengan inangnya, dimana tanaman benalu akan mendapat sari makanan dan inangnya akan diambil sari makanannya.
- 4) Tali putri dengan inangnya, dimana tali putri menyerap sari makanan yang berupa zat organik sedangkan inangnya akan kekurangan sari makanan karena diserap oleh tali putri.
- 5) *Plasmodium* dengan manusia, *Plasmodium* mendapat makanan dari manusia sedangkan manusia menjadi terjangkit penyakit malaria.
- 6) *Taenia saginata* dengan sapi, dimana *Taenia saginata* mendapat makanan dari usus sapi sedangkan sapi menjadi kekurangan nutrisi.



Gambar 148. Tali putri dengan inangnya

(<https://gardenerspath.com/>, 2019)

c. Simbiosis Komensalisme

Simbiosis komensalisme merupakan hubungan sesama makhluk hidup dimana pihak yang satu mendapat keuntungan namun pihak lainnya tidak dirugikan dan pula tidak diuntungkan. Contoh simbiosis komensalisme yakni sebagai berikut:

- 1) Bunga anggrek dengan pohon mangga
- 2) Sirih pada tumbuhan inangnya
- 3) Penyu dengan ikan remora
- 4) Ikan remora dengan paus

- 5) Paus dengan balanidae
- 6) Jamur tumbuh pada akar yang lapuk
- 7) Paku tanduk rusa dengan tumbuhan inangnya

d. Simbiosis Amensalisme

Simbiosis Amensalisme merupakan hubungan sesama makhluk hidup yang mana satu pihak dirugikan dan pihak lainnya tidak diuntungkan dan tidak dirugikan. Contoh simbiosis amensalisme yaitu sebagai berikut:

- 1) Jamur *Penicilium* yang mensekresikan penisilin dengan bakteri. Penisilin dapat membunuh bakteri namun tidak mendapat keuntungan dan juga dirugikan.
- 2) Pohon walnut dengan tumbuhan lainnya (tidak bisa hidup karena pohon walnut menghasilkan senyawa alelopati).

Simbiosis adalah interaksi antara makhluk hidup berbeda jenis dalam satu tempat dan waktu tertentu yang hubungannya sangat erat. Kata simbiosis berasal dari bahasa Yunani, “sym” yang berarti “dengan” dan “biosis” yang artinya “kehidupan”.

- **Interaksi Makhluk Hidup dengan Lingkungannya**

- a. Interaksi Antara Populasi Spesies yang Berlainan**

Interaksi antarspesies dapat menjadi faktor seleksi yang kuat dalam evolusi. Koevolusi, (interaksi timbal balik resiprokal) antara dua spesies yang menghasilkan suatu rentetan adaptasi dan kontraadaptasi, telah dipelajari paling luas dalam hubungan pemangsa-mangsa, mutualisme, dan hubungan inang-parasit. Interaksi antarspesies akan dapat berpengaruh positif, negatif atau netral terhadap kepadatan suatu populasi. Interaksi ini dapat digambarkan dengan pasangan simbol (+, -, dan 0) yang menandakan pengaruh hubungan ideal hubungan tersebut pada masing-masing kedua spesies yang saling berinteraksi.

1) Pemangsaan dan parasitisme adalah interaksi +/-

Pemangsaan mengacu pada interaksi di mana hewan memakan organisme lain. Parasitisme adalah suatu jenis pemangsaan di mana suatu parasit hidup pada permukaan atau di dalam suatu inang, mendapatkan makanannya dari inang, tetapi umumnya tidak membunuh inang itu secara langsung. Herbivori terjadi ketika hewan memakan tumbuhan, dan kita memasukkan herbivora di sini sebagai bentuk pemangsaan. Akan tetapi, jenis herbivora yang disebut merumput umumnya tidak membunuh tumbuhan dan lebih mirip dengan parasitisme dibandingkan pemangsaan.

Pertahanan hewan melawan pemangsa bisa dengan melakukan kamuflase yang disebut pewarnaan tersamar (*cryptic coloration*), adalah pertahanan pasif yang membuat calon mangsa sulit ditemukan karena warna latar belakangnya yang hampir sama. Ada juga hewan yang memiliki pertahanan kimiawi untuk melawan mangsa contohnya, kupu-kupu raja yang mengumpulkan racun dari tumbuhan yang mereka makan agar pemangsa memuntahkan kembali dan menghindari untuk memakan spesies tersebut. Namun, hewan-hewan tersebut seringkali berwarna cerah yang ditandai sebagai peringatan oleh pemangsa, dikenal sebagai pewarnaan aposematic (*aposematic coloration*). Ada pula mimikri, suatu pemangsa atau spesies mangsa bisa mendapatkan keuntungan yang berarti melalui mimikri, suatu peristiwa di mana peniru menghasilkan kemiripan superfisial dengan spesies lain, spesies yang menjadi model peniruannya.

2) Kompetisi antarspesies adalah interaksi -/-

Ketika populasi spesies-spesies yang berbeda dalam suatu komunitas menggunakan sumberdaya terbatas yang sama, mereka bisa berkelahi untuk mendapatkan sumberdaya terbatas yang sama, (kompetisi interferensi) atau masing-masing hanya sekedar mengurangi sumberdaya yang tersedia bagi yang lain (kompetisi eksploitatif). Relung ekologis adalah jumlah total penggunaan organisme itu atas sumberdaya biotik dan abiotik dalam lingkungannya. Prinsip eksklusi kompetitif menyatakan bahwa dua spesies tidak dapat berdampingan dalam komunitas yang sama jika relungnya identik. Kompetisi antarspesies akan menimbulkan kepunahan pesaing yang lemah atau adaptasi satu spesies

terhadap suatu relung yang baru; dengan demikian, ia tidak dapat beroperasi dalam jangka waktu yang lama. Pembagian sumberdaya dan pergantian karakter memberikan bukti tidak langsung akan pentingnya masa lalu.

3) Komensalisme dan mutualisme secara berturut-turut adalah interaksi +/0 dan +/-

Simbiosis, di mana suatu inang dan suatu simbion mempertahankan asosiasi yang dekat, meliputi parasitisme, komensalisme dan mutualisme. Komensalisme mengacu pada interaksi simbiotik di mana satu spesies diuntungkan sementara spesies lain tidak dipengaruhi. Mutualisme mengacu pada interaksi simbiotik di mana kedua spesies yang terlibat saling diuntungkan. Banyak ditemukan adaptasi mutualistik yang mengalami koevolusi, termasuk bakteri pemfiksasi nitrogen yang hidup dengan legume dan interaksi hewan penyerbuk dengan tumbuhan berbunga.

b. Interaksi Antarspesies dan Struktur Komunitas

Struktur trofik suatu komunitas mengacu ke semua hubungan saling memakan dalam komunitas. Analisis jaring-jaring makanan menekankan hubungan trofik yang kompleks dalam suatu komunitas. Pengaruh interaksi antarspesies atas struktur komunitas dan keberagamannya:

- 1) Pemangsa dapat mengubah struktur komunitas dengan cara membatasi kompetisi di antara spesies-spesies mangsa.
- 2) Mutualisme dan parasitisme dapat mempunyai dampak yang luas terhadap komunitas.
- 3) Kompetisi antarspesies mempengaruhi populasi banyak spesies dan dapat mempengaruhi struktur komunitas.
- 4) Hubungan yang kompleks di antara interaksi-interaksi antarspesies dan adanya keragaman lingkungan merupakan ciri struktur komunitas.

c. Gangguan dan Keseimbangan

Ketidakseimbangan yang dihasilkan oleh gangguan adalah suatu ciri yang menonjol pada sebagian besar komunitas. Gangguan menyingkirkan organisme dalam komunitasnya, mengubah ketersediaan sumber daya, dan menciptakan relung kosong yang dapat ditempati oleh spesies lain. Manusia adalah penyebab

gangguan yang paling besar. Di antara semua hewan, manusia adalah yang menciptakan gangguan terbesar dalam komunitas, yang umumnya mengurangi keanekaragaman spesies. Suksesi adalah suatu proses perubahan yang disebabkan oleh gangguan dalam komunitas. Suksesi melibatkan perubahan komposisi spesies suatu komunitas sepanjang waktu ekologis. Suksesi primer terjadi di mana belum ada tanah yang terbentuk sebelumnya; suksesi sekunder mulai dari suatu daerah dimana tanah masih tetap ada setelah suatu gangguan. Anda dapat melihat tautan video <https://www.youtube.com/watch?v=094pfFLua0Y> untuk melihat animasi tentang suksesi sekunder.

Suksesi dapat melibatkan kompetisi di antara spesies-spesies dengan kemampuan yang berbeda untuk memanfaatkan sumberdaya yang tersedia, toleransi yang berbeda terhadap kondisi abiotik dan laju pertumbuhan serta waktu generasi yang berbeda. Model ketidakseimbangan memandang komunitas sebagai mosaik *patch-patch* pada tahapan suksesi yang berbeda. Perubahan utama dalam struktur komunitas disebabkan gangguan yang besar atau sering yang menghasilkan kolonisasi daerah yang terganggu dengan cara perekrutan dari daerah yang jauh. Model ketidakseimbangan mengusulkan bahwa keanekaragaman sebagian besar disebabkan oleh ketidakseragaman lingkungan yang disebabkan oleh gangguan abiotik. Salah satu contoh nyata terjadinya suksesi di Indonesia yaitu suksesi di Gunung Krakatau, Anda dapat melihat di tautan <https://www.youtube.com/watch?v=Ktc0uXPgQ2w>.

- **Hubungan Antara Populasi Makhluk Hidup dengan Kebutuhan Hidupnya**

- a. **Populasi Makhluk Hidup**

- 1) **Karakteristik Populasi**

Sebuah populasi merupakan sebuah entitas yang lebih abstrak dibandingkan dengan suatu organisme atau suatu sel, namun populasi memiliki suatu kumpulan karakteristik yang hanya berlaku bagi tingkat organisasi biologis tersebut. Kita dapat membayangkan sebuah populasi sebagai individu-individu yang terdiri dari

spesies tunggal secara bersama-sama menempati luas wilayah yang sama; individu-individu tersebut mengandalkan sumber daya yang sama, dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang sama, dan memiliki kemungkinan yang tinggi untuk berinteraksi satu sama lain. Karakteristik suatu populasi dibentuk oleh interaksi-interaksi antara individu dengan lingkungannya baik dalam skala waktu ekologis maupun evolusioner, dan seleksi alam dapat mengubah semua karakteristik ini.

2) Dua Karakteristik Penting Populasi

Pada saat tertentu, setiap populasi memiliki batas geografis dan ukuran populasi. Batas suatu populasi bisa merupakan batas-batas alamiah, seperti sebuah pulau spesifik di Lake Superior, di mana laut-laut burung bersarang, atau batas tersebut bisa disebut manasuka (*arbitrary*) oleh peneliti, seperti pohon ek di wilayah spesifik di Minnesota. Terlepas dari perbedaan-perbedaan seperti itu, dua karakteristik penting setiap populasi adalah kepadatannya dan penyebarannya. Kepadatan (*density*) populasi adalah jumlah individu per satuan luas atau volume (misalnya jumlah pohon pinus per km² di wilayah Lembang, Bandung). Penyebaran (*dispersion*) adalah pola jarak antara individu di dalam batas geografis populasi.

3) Pengukuran Kepadatan

Pada kasus luar biasa kita mungkin bisa menentukan ukuran dan kepadatan populasi dengan menghitung langsung seluruh individu yang ada di dalam suatu batas suatu populasi. Misalnya, kita dapat menghitung jumlah bintang laut dalam suatu kolam yang pasang. Kelompok mamalia besar seperti kerbau atau gajah, kadang-kadang dapat dihitung secara tepat dari pesawat udara. Akan tetapi, pada sebagian besar kasus, tidak praktis atau bahkan tidak mungkin untuk menghitung semua individu yang berada dalam suatu populasi. Malahan, para ahli ekologi, seringkali menggunakan berbagai macam teknik pengambilan contoh atau sampel untuk menaksir kepadatan dan ukuran total populasi. Sebagai contoh, para ahli bisa menaksir jumlah alligator di Florida Everglade, dengan cara menghitung suatu individu yang terdapat dalam beberapa bidang tanah (plot) yang mewakili, dengan ukuran yang sesuai. Taksiran seperti itu lebih tepat jika menggunakan

sampel bidang tanah yang lebih banyak dan lebih besar, dan saat habitat homogen.

Tapi beberapa kasus, ukuran populasi ditaksir bukan dengan menghitung organismenya akan tetapi dengan menggunakan indikator tidak langsung, seperti jumlah sarang atau lubang, atau tanda-tanda seperti kotoran atau jejak titik. Teknik pengambilan sampel lainnya yang umum digunakan untuk menaksir populasi binatang liar adalah metode penandaan dan penangkapan kembali (*mark-recapture method*).

4) Pola Penyebaran

Di dalam suatu wilayah geografis populasi, kepadatan lokal bisa bervariasi secara mendasar karena lingkungan membentuk *patch-patch* (tidak semua daerah menjadi habitat yang sama baiknya) dan karena individu-individu memperlihatkan pola jarak dalam hubungannya dengan anggota-anggota lain populasi tersebut. *Patch* adalah sebidang tanah kecil yang berbeda dari yang lain terutama karena ditumbuhi jenis tumbuhan yang berbeda.

Pola penyebaran yang paling umum adalah pembentukan rumpun (*clump*), dengan individu-individu berkelompok di dalam *patch-patch*. Tumbuhan bisa menjadi terumpun pada tempat-tempat tertentu di mana kondisi tanah dan faktor-faktor lingkungan lain mendukung untuk perkecambahan dan pertumbuhan. Sebagai contoh, cedar merah timur seringkali ditemukan terumpun di atas permukaan batu kapur, di mana keadaan tanah kurang asam dibandingkan dengan daerah di dekatnya. Hewan-hewan seringkali menghabiskan sebagian besar waktunya dalam suatu lingkungan mikro tertentu yang memenuhi kebutuhan mereka. Sebagai contoh, banyak serangga dan salamander hutan terumpun di bawah kayu, dimana kelembapan tetap tinggi. Hewan herbivor spesies tertentu cenderung menjadi sangat berlimpah di tempat dimana banyak tumbuhan yang merupakan makanannya. Merumpunnya hewan bisa juga dihubungkan dengan perkawinan atau perilaku sosial lainnya. Sebagai contoh, *mayfly* seringkali bergerombol dalam jumlah yang sangat besar, suatu perilaku yang meningkatkan peluang kawin bagi serangga tersebut, yang hanya mempunyai waktu sehari atau dua hari sebagai hewan dewasa yang reproduktif. Mungkin juga ada "keselamatan

dalam kelompok besar”; ikan yang berenang dalam kelompok besar, misalnya, seringkali lebih kecil peluangnya untuk dimakan oleh pemangsa dibandingkan dengan ikan yang berenang sendirian atau dalam kelompok kecil.

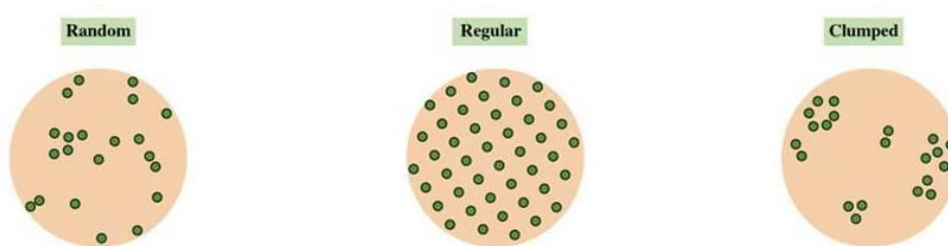
Konsep ekologi tentang alur (*grain*) berhubungan dengan variasi spasial, atau terbentuknya *patch-patch* pada lingkungan di sekitar individu organisme. Suatu lingkungan beralur kasar (*coarse-grained environment*) adalah lingkungan di mana *patch-patch* yang ada sedemikian besarnya (relatif terhadap ukuran dan aktivitas organisme), sehingga suatu individu organisme dapat membedakan dan memilih *patch* yang diinginkannya di antara *patch-patch* yang ada tersebut. Suatu hamparan bunga liar dianggap beralur kasar bagi serangga herbivora kecil, karena hanya tumbuhan tertentu yang cocok sebagai sumber makanannya; serangga tersebut bisa menghabiskan keseluruhan masa kehidupan larvanya pada satu tumbuhan, setelah memilih tumbuhan tersebut dari tumbuhan lain.

Suatu lingkungan beralur halus (*fine-grained environment*) adalah lingkungan di mana *patch-patch* yang ada relatif kecil terhadap ukuran dan aktivitas suatu organisme, dan organisme tersebut bahkan tidak bisa berperilaku seolah-olah *patch-patch* itu ada. Bagi mamalia herbivora besar, seperti kuda, semua tumbuhan dalam suatu lapangan adalah kurang lebih sama. Jika kuda tersebut memakan kurang lebih dengan tidak memilih-milih, lapangan itu akan menjadi suatu lingkungan yang beralur halus. Tentunya, suatu lapangan besar dimana semanggi hijau tumbuh subur pada satu sisi dan tumbuhan berduri pada sisi yang lain menggambarkan suatu lingkungan yang beralur kasar bagi kuda, karena hewan tersebut bisa memilih sisi lapangan yang disukainya.

Variasi temporal (menurut waktu) dalam suatu lingkungan dapat juga beralur kasar atau beralur halus, tergantung pada periode (lama waktu) variasi itu, dalam hubungannya dengan rentang hidup organisme. Suatu sentakan dingin secara mendadak bisa mempunyai dampak sangat dramatis pada keberhasilan hidup *mayfly*, yang seluruh rentang hidup dewasanya hanya sekitar beberapa jam, tetapi memiliki sedikit pengaruh pada aktivitas mamalia yang berumur panjang. Variasi harian dalam faktor lingkungan biasanya beralur halus bagi sebagian besar organisme, sementara pergeseran musim dan pergeseran iklim secara musiman

dan dalam waktu yang panjang beralur kasar bagi organisme, bahkan bagi organisme yang paling besar sekalipun.

Berlawanan dengan persebaran individu secara terumpun di dalam suatu populasi, suatu pola penyebaran yang seragam (*uniform/regular*) atau yang berjarak sama mungkin dihasilkan dari interaksi langsung antarindividu dalam populasi tersebut. Sebagai contoh, suatu kecenderungan pada pengaturan jarak yang beraturan pada tumbuhan bisa disebabkan oleh peneduhan dan kompetisi untuk mendapatkan air dan mineral; beberapa tumbuhan juga mengeluarkan zat-zat kimia yang menghambat perkecambah dan pertumbuhan individu di dekatnya yang dapat bersaing untuk mendapatkan sumberdaya. Hewan seringkali memperlihatkan penyebaran yang seragam sebagai akibat dari interaksi sosial. Berikut disajikan gambar tentang pola penyebaran populasi.



Gambar 149. Pola penyebaran populasi

(Molles, 2016)

Pengaturan jarak secara acak atau *random* (penyebaran yang tidak dapat diprediksi dan tidak berpola) terjadi karena tidak adanya tarik-menarik atau tolak-menolak yang kuat diantara individu-individu dalam populasi; posisi masing-masing individu tidak bergantung pada individu lain. Sebagai contoh, pohon-pohon di hutan kadang-kadang tersebar secara acak. Akan tetapi, secara keseluruhan pola acak tidak umum ditemukan di alam; sebagian besar populasi menunjukkan paling tidak suatu kecenderungan ke arah penyebaran terumpun atau penyebaran seragam.

5) Demografi

a. Demografi adalah kajian mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan penurunan populasi. Suatu kelompok umur memiliki angka kelahiran dan angka kematian yang khas. Angka kelahiran (birthrate) atau fekunditas (fecundity), jumlah keturunan yang dihasilkan selama jangka waktu tertentu, seringkali keturunan yang dihasilkan selama jangka waktu tertentu, seringkali lebih besar pada individu-individu dengan umur pertengahan (intermediet). Pada manusia, misalnya angka kelahiran paling tinggi pada wanita berusia 20 tahun. Angka kematian (death rate) paling tinggi pada kehidupan tahun pertama, dan tentunya pada usia tua. Pada banyak spesies, individu anak-anak dan individu yang sudah tua biasanya lebih mungkin meninggal dibandingkan individu dengan umur pertengahan, yang memiliki kombinasi optimum kekuatan hidup dan kemampuan untuk mencari makanan, serta menghindari pemangsa dengan datangnya kedewasaan.

Suatu ciri demografik penting, yang berhubungan dengan struktur umur, adalah waktu generasi (*generation time*), yaitu rata-rata rentang waktu antara kelahiran suatu individu dengan kelahiran keturunannya. Secara umum, waktu generasi sangat kuat berhubungan dengan ukuran tubuh dalam suatu kisaran jenis organisme yang luas. Rasio jenis kelamin (*sex ratio*), proporsi individu dari masing-masing jenis kelamin, adalah statistik demografik penting lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan populasi. Jumlah betina umumnya secara langsung berhubungan dengan jumlah kelahiran yang dapat diharapkan, tetapi jumlah jantan mungkin kurang signifikan karena pada banyak spesies seekor jantan dapat kawin dengan beberapa betina.

b. Faktor-Faktor Pembatas Populasi

Model Eksponensial dan Logistik memperkirakan pola pertumbuhan populasi yang sangat berbeda. Model eksponensial tidak memberikan batas pada peningkatan suatu populasi, sementara model logistik memprediksi pengaturan pertumbuhan populasi ketika kepadatan meningkat.

1) Faktor-faktor yang bergantung pada kepadatan mengatur pertumbuhan populasi dengan cara yang bervariasi sesuai dengan kepadatan

Pengertian biologis utama model logistik adalah peningkatan kepadatan populasi mengurangi ketersediaan sumberdaya bagi individu suatu organisme, dan keterbatasan sumberdaya akhirnya akan membatasi pertumbuhan populasi. Sesungguhnya, model logistik itu merupakan suatu model kompetisi intraspesies (*intraspecific competition*): ketahanan individu-individu dari spesies yang sama pada sumberdaya terbatas yang sama. Ketika ukuran populasi meningkat, kompetisi menjadi lebih sering, dan laju pertumbuhan (r) menurun sebanding dengan intensitas kompetisi; laju pertumbuhan populasi bergantung pada kepadatan. Dalam pertumbuhan populasi terbatas, suatu faktor yang bergantung pada kepadatan (*density-dependent factor*) adalah faktor yang memperkuat peningkatan ukuran populasi. Dalam model logistik, faktor yang bergantung pada kepadatan mengurangi laju pertumbuhan populasi dengan cara menurunkan reproduksi atau dengan cara meningkatkan kematian dalam suatu populasi yang sudah begitu padat. Secara umum, faktor yang bergantung pada kepadatan yang membatasi pertumbuhan suatu populasi dapat dikatakan menentukan daya tampung, atau K , lingkungan.

2) Kejadian dan kehebatan faktor-faktor yang tidak bergantung pada kepadatan, tidak berhubungan dengan kepadatan populasi

Faktor yang tidak bergantung pada kepadatan (*density-independent factor*) tidak berhubungan dengan ukuran populasi; faktor-faktor tersebut mempengaruhi persentase individu yang sama tanpa memperhitungkan kepadatan populasi. Faktor-faktor yang tidak bergantung pada kepadatan yang paling umum dan penting adalah yang berhubungan dengan cuaca dan iklim. Sebagai contoh, keadaan beku pada musim gugur bisa membunuh sejumlah persentase tertentu serangga dalam suatu populasi.

3) Gabungan faktor-faktor yang bergantung pada kepadatan dan yang tidak bergantung pada kepadatan, kemungkinan membatasi pertumbuhan sebagian besar populasi

Populasi spesies memperlihatkan dinamika yang bervariasi, beberapa diantaranya cukup stabil jumlahnya pada sebagian besar rentang waktu yang panjang dan kemungkinan mendekati daya tampung yang ditentukan oleh faktor-faktor yang bergantung pada kepadatan. Namun, stabilitas yang umum tersebut tumpang-tindih dengan perubahan jangka pendek akibat faktor-faktor yang tidak bergantung pada kepadatan. Contohnya, studi kasus pada burung besar berkaki panjang selama 30 tahun di dua lokasi berbeda di Inggris menunjukkan populasi cukup stabil selama tiga dekade akan tetapi penurunan besar terjadi setelah musim dingin yang lebih dingin dari biasanya.

4) Beberapa populasi memiliki siklus ledakan dan siklus penurunan yang beraturan

Sejumlah populasi memiliki fluktuasi kepadatan yang bersiklus. Kepadatan yang tinggi bisa mengatur populasi seperti itu, atau siklus populasi mungkin disebabkan karena adanya kesenjangan (jeda) waktu dalam merespons faktor-faktor yang bergantung pada kepadatan, yang menghasilkan fluktuasi besar di atas dan di bawah daya tampungnya. Variasi populasi pada beberapa hewan herbivora bisa menyebabkan fluktuasi secara bersamaan pada populasi pemangsanya. Penyebab siklus herbivora adalah kompleks; meliputi pengaruh pemangsaan dan fluktuasi sumber makanan. Berikut disajikan tabel tentang karakteristik populasi ideal terseleksi oleh r (oportunistik) dan terseleksi oleh K (kesetimbangan).

Tabel 10. Karakteristik populasi ideal terseleksi oleh r (oportunistik) dan

Karakteristik	Populasi Terseleksi oleh K	Populasi Terseleksi oleh r
Waktu pendewasaan	Pendek	Panjang
Rentang hidup	Pendek	Panjang
Angka kematian	Seringkali tinggi	Umumnya rendah
Jumlah keturunan yang dihasilkan setiap peristiwa reproduksi	Banyak	Sedikit
Jumlah reproduksi per masa hidup	Umurnya satu	Seringkali beberapa

Saat terjadinya reproduksi pertama	Sangat dini dalam kehidupannya	Lambat dalam kehidupannya
Ukuran anak atau telur	Kecil	Besar
Pemeliharaan anak oleh orang tua	Tidak ada	Seringkali sangat ekstensif

c. Pertumbuhan Populasi Manusia

Populasi manusia tumbuh mendekati pertumbuhan eksponensial selama beberapa abad, tetapi tidak bisa demikian terus untuk jangka waktu yang tidak terbatas. Sejak revolusi industri, pertumbuhan populasi manusia telah didukung oleh faktor-faktor seperti perbaikan nutrisi, pemeliharaan kesehatan dan sanitasi, yang telah menurunkan angka kematian. Kita tidak mengetahui daya tampung bumi bagi manusia atau faktor apa yang akhirnya membatasi pertumbuhan manusia. Struktur umur populasi merupakan suatu faktor dalam laju pertumbuhan yang berbeda pada negara-negara yang berbeda. Spesies manusia bersifat unik karena memiliki kemampuan untuk secara sadar mengontrol pertumbuhan populasinya sendiri.

4. Ekologi Biologi Konservasi

• Polusi (Pencemaran Lingkungan)

Sebelum kita menyimak penjelasan tentang polusi, coba perhatikan kedua gambar di bawah ini.



Gambar 150. Lingkungan

(<https://www.americanrivers.org>, 2019)

Bandingkan gambar di atas! Apabila Anda ingin mengambil air untuk keperluan Anda sehari-hari, sumber air manakah yang akan Anda pilih (gambar kanan atau gambar kiri)? Mengapa? Jelaskan jawaban Anda.

Sekarang mari kita bahas lebih jauh apa yang dimaksud dengan polusi. Polusi diartikan sebagai penambahan materi ke udara, air, dan tanah yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia atau mengancam keberadaan makhluk hidup lainnya. Menurut Undang-undang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982 Polusi merupakan perubahan pada tatanan lingkungan yang disebabkan oleh masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu dan menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Sedangkan zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran disebut polutan.

Kebanyakan polutan bersifat padat, cair dan gas sebagai hasil dari sebuah proses. Polutan dapat pula berupa emisi energi yang tidak diinginkan seperti misalnya panas, bising atau radiasi. Polutan dapat masuk ke dalam lingkungan secara alamiah (misalnya dari letusan gunung berapi) atau oleh aktivitas manusia (misalnya penggunaan bahan bakar dan aktivitas lainnya). Polusi yang disebabkan oleh aktivitas manusia kebanyakan terjadi di daerah yang banyak didirikan industri dimana polutan terkonsentrasi di wilayah tersebut. Industri pertanian juga merupakan sumber terbesar penyebab dihasilkannya polutan. Polutan yang dihasilkan di satu wilayah, sebagian dapat mengkontaminasi wilayah tersebut, dan sebagian lain terbawa oleh angin atau aliran air dan menyebabkan polusi di tempat lain. Efek yang tidak diinginkan dari polusi adalah menurunnya kemampuan alam untuk mendukung kehidupan manusia atau makhluk hidup lainnya, membahayakan tatanan kehidupan alami, membahayakan kesehatan manusia, merusak benda-benda berharga dan gangguan lainnya terhadap indra kita seperti bising, bau, mengubah rasa serta penglihatan. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 151. Pencemaran pada Suatu Lingkungan

(<https://www.hipwee.com>, 2018)

Dari gambar di atas, menurut Anda bahan apakah yang menjadi penyebab pencemaran pada lingkungan tersebut? Darimana asal bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan dan menimbulkan pencemaran pada lingkungan tersebut? Mengapa sampah-sampah pada gambar di atas dikatakan sebagai bahan pencemar atau polutan dan lingkungan mana yang akan mengalami gangguan akibat adanya sampah di lingkungan itu? Efek apa yang dapat diakibatkan oleh menumpuknya sampah-sampah tersebut terhadap lingkungan yang dicemarinya?

Menurut Miller (2019) terdapat tiga faktor yang menentukan derajat bahaya dari polutan. *Pertama* adalah komposisi kimianya, seberapa aktif dan bahaya bahan kimia yang terkandung dalam polutan tersebut bagi makhluk hidup. *Kedua* adalah konsentrasinya. Konsentrasi polutan ditentukan oleh jumlah per unit volume (misalnya berat udara, tanah, air, berat badan). Konsentrasi polutan dinyatakan dalam ppm (*part per million*), misalnya: satu ppm artinya menunjukkan keberadaan satu bagian polutan per satu juta bagian udara, air atau campuran padat dimana polutan itu ditemukan. Konsentrasi lebih rendah dinyatakan dalam ppb (*part per billion*) dan ppt (*part per trillion*). Konsentrasi yang dinyatakan oleh ppm, ppb dan ppt nampaknya tidak ada artinya bagi kita, namun bagi beberapa polutan dalam konsentrasi yang sangat kecilpun sudah dapat sangat berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup. *Ketiga* adalah persistensinya atau keberadaannya di alam, artinya berapa lama polutan tersebut dapat bertahan keberadaannya di alam (perairan, udara, tanah dan tubuh makhluk hidup). Menurut tempat terjadinya, pencemaran

dibedakan menjadi tiga yaitu: pencemaran udara, pencemaran air dan pencemaran tanah.

Di atas disebutkan bahwa salah satu penyebab dari terjadinya polusi adalah aktivitas manusia. Bagaimanakah aktivitas manusia dapat menyebabkan timbulnya polusi? Mari kita simak uraian di bawah ini.

- **Gangguan Siklus Kimia**

Aktivitas manusia dapat mengakibatkan terganggunya siklus materi yang terjadi di alam dengan cara memindahkan materi dari satu lingkungan ke lingkungan lain. Hal ini dapat mengakibatkan kelebihan materi pada satu lingkungan dan berkurangnya materi di lingkungan berbeda, sehingga mengganggu keseimbangan siklus kimia pada kedua lingkungan tersebut. Aktivitas pertanian, perindustrian dan rumah tangga dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan siklus kimia dalam ekosistem yang menimbulkan pencemaran air dan tanah. Keberadaan polutan pada tanah dan air disebabkan oleh aktivitas pertanian yang mengakibatkan penumpukan nitrogen dan Fosfor akibat penggunaan pupuk, pestisida dan insektisida. Pemupukan tanah menyebabkan peningkatan nitrogen dalam tanah dan meningkatnya kandungan nitrat pada air tanah yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Penggunaan insektisida dan pestisida oleh petani tidak hanya menyebabkan tanah menjadi tercemar, tetapi mengakibatkan pula polusi air. Pelepasan fosfor terlepas ke perairan (sungai dan danau) oleh penggunaan botol dan plastik wadah pestisida dan insektisida yang dibuang sembarangan oleh petani di sekitar irigasi atau lahan pertanian dapat mengakibatkan lingkungan perairan menjadi tercemar.

Pencemaran air yang disebabkan karena penumpukan polutan di perairan dinamakan eutrofikasi. Dari hasil penelitian, dilaporkan bahwa hampir 90% eutrofikasi disebabkan oleh aktivitas pertanian. Dari aktivitas rumah tangga penggunaan detergen menjadi penyumbang nutrisi yang pada akhirnya menyebabkan penumpukan nutrisi di wilayah perairan. Akibat dari penumpukan nutrisi adalah pertumbuhan fitoplankton atau alga yang meningkat atau yang disebut dengan istilah blooming alga. Blooming alga akan mengancam keberadaan organisme lain pada suatu perairan. Peningkatan jumlah oksigen di siang hari dan penurunan yang drastis pada malam hari karena penggunaan

oksigen yang secara bersamaan akan mengancam keberadaan ikan dan organisma yang hidup dalam perairan tersebut. Akibat dari blooming alga adalah tertutupnya perairan sehingga menghalangi cahaya yang masuk ke dalam perairan tersebut. Dalam hal ini organisma fotosintetik yang berada di bawah perairan tidak dapat melangsungkan proses fotosintesis. Bahaya lain yang dapat ditimbulkan oleh eutrofikasi adalah ketika alga-alga tersebut mati akan terjadi penumpukan nutrisi yang sangat tinggi dan mengakibatkan kematian ikan di perairan tersebut secara tiba-tiba.



Gambar 152. Eutrofikasi yang Terjadi di Indonesia

(<http://nakamaaquatics.id>, 2018)

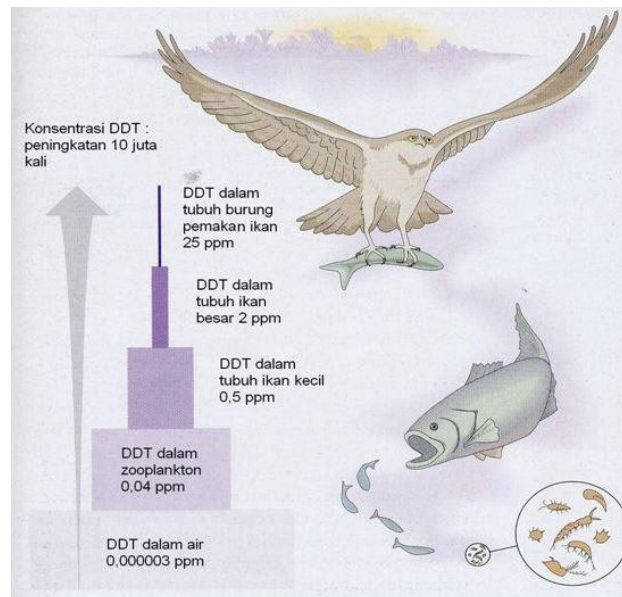
Terjadinya pencemaran akibat polutan pada suatu ekosistem dapat menyebabkan terganggunya jaring-jaring makanan. Polutan tersebut terkonsentrasi pada tingkat-tingkat trofik dalam jaring-jaring makanan. Polutan yang dibuang ke lingkungan terutama polutan yang tidak dapat diuraikan secara alamiah oleh mikroba akan bertahan dalam lingkungan dalam jangka waktu yang sangat lama. Organisme memperoleh polutan dari lingkungannya ketika mengambil nutrisi dan air dari lingkungan. Beberapa polutan mungkin dapat diuraikan melalui proses metabolisme dan diekskresikan, tetapi sebagian lain diakumulasi terutama dalam jaringan lemak.



Gambar 153. Kematian Ikan Secara Mendadak di Teluk Jakarta

(<http://nakamaaquatics.id>, 2018)

Senyawa-senyawa yang dihasilkan dari kegiatan industri seperti hidrokarbon berklorin, termasuk pestisida, seperti DDT, dan zat kimia industri yang disebut PCB (*polychlorinated biphenol*) merupakan polutan yang banyak ditemukan dalam tubuh makhluk hidup. Berdasarkan hasil penelitian keberadaan senyawa senyawa tersebut dapat mengganggu sistem endokrin pada banyak spesies hewan, termasuk manusia. Bagaimana polutan tersebut dapat terkandung dalam tubuh hewan dan manusia? Jawabannya adalah karena senyawa senyawa tersebut terkonsentrasi dalam tingkat-tingkat trofik yang berurutan pada suatu jaring-jaring makanan. Proses ini dinamakan magnifikasi biologis (*biological magnification*). Dalam peristiwa *biomagnifikasi* penumpukan senyawa terjadi paling tinggi pada tingkat trofik paling tinggi. Hal ini disebabkan karena biomassa pada setiap tingkat trofik tertentu dihasilkan dari suatu biomassa yang jauh lebih besar yang ditelan dari tingkat trofik di bawahnya. Dengan demikian, karnivora tingkat atas cenderung menjadi organisme yang paling banyak mengandung senyawa beracun yang telah dibebaskan ke lingkungan. Gambar 4.5 menunjukkan bagaimana biomagnifikasi senyawa DDT terjadi di alam.



Gambar 154. Magnifikasi biologis DDT dalam Suatu Rantai Makanan

(Campbell, Reece & Mitchell, 2004)

● Perubahan Komposisi Udara di Atmosfer

Keberadaan gas gas di atmosfer menyebabkan suhu bumi menjadi nyaman ditinggali oleh makhluk hidup termasuk manusia. Dalam jumlah sedikit di atmosfer uap air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), Ozon (O_3), Methan (CH_4), Oksida nitrat (N_2O) dan klorofluorokarbon (CFCs) berfungsi untuk menjaga agar panas yang diterima dari matahari tidak semua terlepas ke udara. Peristiwa ini disebut *greenhouse effect* (Efek rumah kaca) dan gas gas tersebut dinamakan sebagai gas-gas rumah kaca. Dengan adanya efek rumah kaca suhu bumi menjadi lebih hangat dan nyaman untuk dihuni oleh makhluk hidup.

Pemanasan global yang disebabkan oleh gas gas rumah kaca pada saat ini dampaknya telah mempengaruhi banyak kehidupan manusia. Beberapa orang berpendapat bahwa pengurangan pemakaian bahan bakar fosil akan menurunkan tingkat pendapatan manusia, tetapi mereka tidak pernah memikirkan akibat lebih jauh, dari efek pemanasan global terhadap kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya.

Meningkatnya aktivitas manusia sejak revolusi industri yaitu sekitar tahun 1958 menyebabkan peningkatan penggunaan bahan bakar fosil, penggunaan pestisida

dan insektisida di bidang pertanian, deforestasi dan penggunaan CFC yang berkontribusi pada pemanasan global. Dari hasil laporan, dikatakan bahwa peningkatan suhu bumi dengan hanya 1,3° C akan membuat dunia lebih hangat dibandingkan dengan keadaan sebelumnya.

Pemanasan global dapat mengakibatkan beberapa kerusakan, salah satunya adalah rusaknya terumbu karang yang disebabkan oleh panasnya suhu perairan laut. Perhatikan gambar di bawah ini. Apa yang menjadi terumbu karang menjadi rusak?



Gambar 155. Kerusakan Terumbu Karang Akibat Pemanasan Global

(<https://skepticalscience.com/Global-Warming-Effects.html>, 2018)

Sebagian besar CO₂ yang menyebabkan pemanasan pada udara diserap oleh lautan, sehingga menyebabkan suhu lautan menjadi meningkat pula. Hal ini dapat mengakibatkan hal hal berikut:

a. Peningkatan temperatur laut

Ketika temperatur meningkat molekul air menjadi membesar dan memberi pengaruh pada kejadian kejadian berikut: naiknya permukaan air laut, perubahan pada sirkulasi air di samudra dan perubahan suhu pada dasar lautan. Naiknya permukaan air laut biasanya disertai dengan kejadian lain yaitu semakin kencangnya angin. Hal ini mengakibatkan musnahnya populasi alami pantai yang berfungsi sebagai pelindung. Punahnya populasi pelindung pantai ini akan mengancam pada kerusakan terumbu karang. Perubahan sirkulasi air di samudra mengakibatkan sering terjadinya badai di lautan dan pengurangan pada pembentukan es di kutub, dan erosi wilayah pantai. Perubahan suhu pada dasar

laut memicu lebih cepat dan lebih banyaknya gunung es di kutub es mencair dan meningkatkan naiknya permukaan air laut. Dengan kenaikan suhu air laut 2°C dalam waktu 6 – 10 minggu saja dapat mengakibatkan hilangnya terumbu karang yang pada akhirnya menimbulkan kerugian berkurangnya ikan di perairan.

b. Hilangnya gunung es

Sungai yang aliran airnya berasal dari es yang mencair di wilayah pegunungan tinggi dan manusia bergantung pada perairan sungai tersebut untuk digunakan sebagai sumber mata air, irigasi, transportasi atau penghasil energi seringkali letaknya berdekatan dengan daerah padat penduduk. Pemanasan suhu global atau *global warming* menyebabkan pegunungan tersebut tidak dapat menyimpan es lebih banyak dan es mencair lebih cepat. Hal ini berakibat pada berkurangnya cadangan air pada wilayah tersebut yang pada akhirnya kemampuan dari lingkungan untuk mendukung keperluan penduduk di wilayah tersebut menjadi berkurang.

Hilangnya lapisan es di kutub dapat menjadi penyebab pemanasan suhu lebih lanjut, yaitu adanya kontribusi gas CH₄ dan CO₂ dari *permafrost*. Apa itu *permafrost*? *Permafrost* merupakan tanah beku yang berada di bawah lapisan es. Ketika es mencair maka *permafrost* akan mengering dan melepaskan CH₄ dan CO₂ ke atmosfer yang berkontribusi pada pemanasan global lebih lanjut. Emisi dari *permafrost* merupakan fenomena alamiah yang sekarang ini sudah terjadi dan proses ini tidak dapat diintervensi oleh manusia.



(a) (b)

Gambar 156. Permafrost

- (a) Lapisan es yang menutupi *permafrost*
(b) Mencairnya es menjadikan *permafrost* melepaskan CH₄ dan CO₂ ke atmosfer
(<https://climatekids.nasa.gov/permafrost/>, 2017)

Kenaikan permukaan laut, selain disebabkan oleh pemuaian molekul air yang disebabkan oleh naiknya temperatur air, juga disebabkan karena melelehnya gunung es di kutub. Lelehan gunung es ini ada yang memunculkan sungai yang membelah lapisan es yang kemudian terbawa ke samudra dan menyebabkan naiknya permukaan laut.



Gambar 148.
(<https://skepticalscience.com/Global-Warming-Effects.html>, 2018)

- **Perubahan Musim**

Temperatur troposfer pada saat ini secara perlahan mengalami kenaikan sebesar 1°C dari semenjak jaman pra industri dan secara terus menerus mengalami peningkatan akibat emisi gas rumah kaca. Peningkatan suhu bumi ini ditandai dengan berbagai macam fenomena yang dapat kita rasakan sekarang, yaitu tidak dapat dipikirkannya perubahan cuaca perubahan musim dan gejala gejala lain seperti perubahan suhu yang ekstrim, kekeringan, peningkatan evaporasi, munculnya tornado dan angin siklon yang lebih sering dan lebih besar, curah hujan yang tidak menentu. Perubahan perubahan ini dapat berakibat pada berubahnya aktivitas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Misalnya perubahan musim tanam dengan adanya perubahan musim dan kekurangan air akibat musim kemarau yang sangat panjang atau sebaliknya terjadi banjir karena lamanya dan besarnya curah hujan.

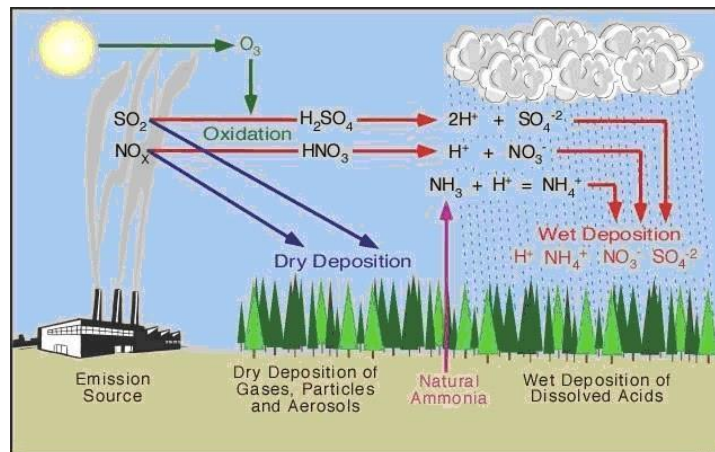
Mahluk hidup di bumi dilindungi dari pengaruh radiasi ultraviolet (UV) yang membahayakan melalui suatu lapisan pelindung molekul ozon (O_3). Lapisan Ozon berada pada lapisan stratosfer yang letaknya berada pada antara 17 dan 25 km di atas permukaan Bumi. Ozon menyerap radiasi UV dan mencegah banyak radiasi

UV tersebut mencapai kontak dengan organisme yang berada di biosfer. Kajian satelit pada atmosfer menyatakan bahwa lapisan ozon secara perlahan-lahan telah menipis sejak tahun 1975, dan penipisan tersebut terus berlangsung dengan laju yang semakin meningkat.

Perusakan ozon atmosfer kemungkinan terutama disebabkan oleh gas klorofluorokarbon (CFCs), zat kimia yang digunakan untuk lemari es, sebagai bahan bakar dalam kaleng aerosol, dan dalam proses pabrik tertentu. Klorin yang terkandung dalam klorofluorokarbon mencapai stratosfer dan bereaksi dengan ozon (O_3). Ozon di stratosfer tereduksi menjadi O_2 yang menyebabkan lapisan Ozon stratosfer menjadi tipis dan terjadi lubang Ozon. Lubang ozon pertama kali dilaporkan pada tahun 1985 di atas Antartika. Seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia penipisan lapisan ozon dan ukuran lubang ozon meluas sampai bagian paling selatan Australia, Selandia Baru, dan Amerika Selatan. Lapisan Ozon di wilayah katulistiwa (lintang tengah) dengan penduduk sangat padat menipis sekitar 2% sampai 10% selama dalam kurun 20 tahun.

Akibat yang ditimbulkan oleh menipisnya lapisan Ozon di stratosfer adalah meningkatnya penyakit seperti kanker kulit dan katarak. Pengaruh lain adalah peningkatan fitoplankton yang mengakibatkan pengaruh bagi kehidupan organisme lain. Bahaya yang ditimbulkan oleh penipisan ozon sangat besar, sehingga banyak negara sepakat untuk mengakhiri produksi klorofluorokarbon dalam waktu satu dekade. Sayangnya, meskipun semua klorofluorokarbon dilarang pndgunaannya saat ini, molekul klorin yang telah ada di atmosfer akibat penggunaan CFCs di masa lalu akan terus mempengaruhi konsentrasi ozon atmosfer paling tidak selama satu abad.

Keberadaan polutan di udara juga menimbulkan dampak lain bagi kehidupan manusia. Dari pembakaran batu bara dilepaskan gas Sulfur dioksida (SO_2) dan NO_x yang dapat beredar di udara sebagai disposisi kering atau bersenyawa dengan oksigen dan sinar matahari menghasilkan asam sulfur. Asam Sulfur ini membentuk kabut yang dapat jatuh sebagai hujan asam. Hujan asam dapat menyebabkan gangguan pernapasan pada manusia dan hewan, serta perubahan morfologi pada daun, batang, benih. Gambar 4.4 menunjukan bagaimana proses hujan asam terjadi.



Gambar 149. Disposisi Kering dan Disposisi Basah (Hujan Asam)
(<https://webcam.srs.fs.fed.us/pollutants/acidification/index.shtml>, 2017)

- **Perubahan Habitat dan Keanekaragaman Biologis**

Aktivitas manusia akibat bertambahnya populasi manusia berakibat pada terganggunya ekosistem dengan berbagai cara. Dalam bahasan ini, akan diuraikan bagaimana manusia dengan secara langsung mempengaruhi penyebaran organisme sehingga mempengaruhi keanekaragaman organisme di suatu tempat. Penebangan hutan untuk digantikan dengan lahan pertanian, industri dan pemukiman menjadi faktor penyebab terganggunya habitat berbagai macam makhluk hidup yang ada di dalamnya. Dengan aktivitas tersebut, maka keanekaragaman pada suatu wilayah akan banyak berubah atau berkurang.

Hampir setiap tahun, dilaporkan kebakaran hutan terjadi di wilayah Indonesia. Berapa banyak ekosistem kita menderita kerugian akibat kejadian tersebut. Berapa banyak macam spesies yang punah dari kejadian kebakaran tersebut dan berapa banyak kerugian yang ditimbulkan akibat kebakaran tersebut. Selain punahnya spesies pada ekosistem yang mengalami kebakaran, muncul pula penyakit yang disebabkan oleh asap yang dihasilkan oleh kebakaran. Dilaporkan pada tahun 2019, lebih dari 2000 penderita dilaporkan akibat kebakaran hutan di berbagai wilayah Indonesia.

Perbuatan manusia yang dilakukan untuk mengenalkan spesies baru pada suatu tempat, dapat pula mengubah komposisi ekosistem di suatu tempat. Misalnya, pengenalan ecek gondok di wilayah perairan Indonesia yang pada akhirnya mendominasi sungai dan danau. Dominasi dari tumbuhan eceng gondok dapat

merusak ekosistem perairan, diantaranya adalah: meningkatnya evapotranspirasi (penguapan dan hilangnya air melalui daun-daun tanaman), karena daun-daunnya yang lebar dan serta pertumbuhannya yang cepat,menurunnya jumlah cahaya yang masuk kedalam perairan sehingga menyebabkan menurunnya tingkat kelarutan oksigen dalam air (DO: *Dissolved Oxygens*), tumbuhan eceng gondok yang sudah mati akan turun ke dasar perairan sehingga mempercepat terjadinya proses pendangkalan, mengganggu lalu lintas (transportasi) air khususnya bagi masyarakat yang kehidupannya masih tergantung dari sungai seperti di pedalaman Kalimantan dan beberapa daerah lainnya, meningkatnya habitat bagi vektor penyakit pada manusia dan menurunkan nilai estetika lingkungan perairan.

Introduksi ikan mas di perairan Australia, telah menyebabkan pendangkalan pada sungai sungai. Dikarenakan orang Australia tidak banyak mengkonsumsi ikan mas, maka ikan mas dianggap sebagai hama bagi suatu perairan karena menekan populasi ikan lain untuk berkembangbiak di wilayah yang didominasi oleh ikan mas.

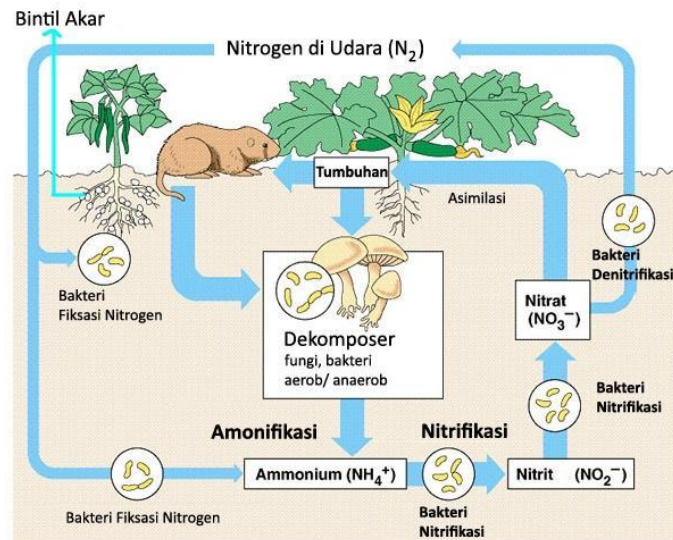
- **Kesuburan Tanah**

- a. **Siklus Nitrogen**

Nitrogen merupakan salah satu unsur kimia utama dalam ekosistem. 78% gas di atmosfer disusun oleh Nitrogen. Meskipun jumlahnya sangat berlimpah, tetapi keberadaan unsur nitrogen untuk langsung digunakan oleh makhluk hidup terutama tumbuhan sangat terbatas. Hal ini disebabkan karena nitrogen merupakan unsur yang tidak mudah beraksi dengan unsur lain sehingga penggunaan nitrogen untuk dimanfaatkan makhluk hidup memerlukan tahapan proses yaitu: fiksasi nitrogen, mineralisasi, nitrifikasi dan denitrifikasi yang melibatkan mikroorganisma yang hidup dalam tanah atau bersimbiosis dengan tanaman.

Nitrogen dalam ekosistem ada dalam berbagai bentuk senyawa kimia seperti nitrogen organik, amonium (NH_4^+), nitrit (NO_2^-) dan gas Nitrogen (N_2). Nitrogen organik ditemukan dalam organisme (makhluk hidup) dalam bentuk asam amino dan protein sebagai penyusun utama DNA dan RNA. Selain itu nitrogen organik dapat ditemukan pula pada humus dan proses pembusukan senyawa organik

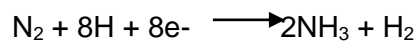
menjadi humus. Gambar 4.10 menjelaskan bagaimana siklus nitrogen terjadi di alam dengan melibatkan mikroorganisma.



Gambar 150. Siklus nitrogen
(Campbell, Reece & Mitchell, 2004)

1) Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen merupakan proses yang terjadi di alam dimana nitrogen di udara menjadi ammonia (NH₃). Proses yang fiksasi nitrogen dapat berlangsung secara biologis dan non biologis. Fiksasi nitrogen secara biologis dibantu oleh mikroorganisme *diazotrof*. Mikroorganisme yang tergolong kedalam diazotrof ini memiliki *enzim nitrogenaze* yang dapat menggabungkan hidrogen dan nitrogen. Reaksi untuk fiksasi nitrogen ini dapat ditulis sebagai berikut :



Mikro organisme yang membantu melakukan fiksasi nitrogen ada yang hidup bebas dalam tanah misalnya: *Azotobacteraceae* ganggang hijau biru dan beberapa spesies bersimbiosis dengan tanaman yang lebih tinggi terutama kacang kacang (legum) seperti misalnya *Rhizobium* dan beberapa mikroorganisme bersimbiosis dengan hewan (rayap).

Proses fiksasi nitrogen non-biologis terjadi karena aktivitas manusia yang melepaskan nitrogen ke atmosfer dan juga dapat terjadi secara alami. Aktivitas manusia yang melibatkan penggunaan gas alam dan minyak bumi dilakukan

melalui proses yang memerlukan tekanan besar dan suhu yang tinggi (600°C). Ditambah dengan penggunaan katalis besi, nitrogen atmosfer dan hidrogen dapat dikombinasikan untuk membentuk amonia (NH₃). Dalam pembuatan pupuk dan bahan peledak, N₂ diubah bersamaan dengan gas hidrogen (H₂) menjadi amonia (NH₃). Pembakaran bahan bakar fosil dari mesin mobil dan pembangkit listrik termal juga melepaskan berbagai nitrogen oksida (NO_x). Fiksasi nitrogen non biologis yang terjadi secara alami terjadi ketika NO terbentuk dari N₂ dan O₂ karena pengaruh foton dari petir.

2) Asimilasi

Tanaman mendapatkan nitrogen dari tanah melalui absorpsi akar baik dalam bentuk ion nitrat atau ion amonium. Sedangkan hewan memperoleh nitrogen dari tanaman yang mereka makan. Tanaman dapat menyerap ion nitrat atau amonium dari tanah melalui rambut akarnya. Jika nitrat diserap, pertama-tama nitrat direduksi menjadi ion nitrit dan kemudian ion amonium untuk dimasukkan ke dalam asam amino, asam nukleat, dan klorofil. Pada tanaman yang memiliki hubungan mutualistik dengan *rhizobia*, nitrogen dapat berasimilasi dalam bentuk ion amonium langsung dari nodul. Hewan, jamur, dan organisme heterotrof lain mendapatkan nitrogen sebagai asam amino, nukleotida dan molekul organik kecil.

3) Amonifikasi

Amonifikasi terjadi ketika tumbuhan atau hewan mati dan nitrogen organik diubah menjadi amonium (NH₄⁺) oleh bakteri dan jamur.

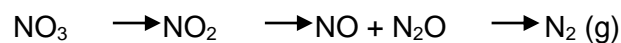
4) Nitrifikasi

Konversi amonia menjadi nitrat dilakukan terutama oleh bakteri yang hidup di dalam tanah dan bakteri nitrifikasi lainnya. Tahap utama nitrifikasi, bakteri nitrifikasi seperti spesies *Nitrosomonas* mengoksidasi amonium (NH₄⁺) dan mengubah amonia menjadi nitrit (NO₂⁻). Spesies bakteri lain, seperti *Nitrobacter*, bertanggung jawab untuk oksidasi nitrit menjadi dari nitrat (NO₃⁻). Proses konversi nitrit menjadi nitrat sangat penting karena nitrit merupakan racun bagi kehidupan tanaman. Proses nitrifikasi dapat ditulis dengan reaksi berikut ini:

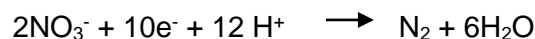
- $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + 1.5 \text{O}_2 + \text{Notrosomonas} \longrightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$
- $\text{NO}_2^- + \text{CO}_2 + 0.5 \text{O}_2 + \text{Nitrobacter} \longrightarrow \text{NO}_3^-$
- $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

5) Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat untuk kembali menjadi gas nitrogen (N_2), untuk menyelesaikan siklus nitrogen. Proses ini dilakukan oleh spesies bakteri seperti *Pseudomonas* dan *Clostridium* dalam kondisi anaerobik. Mereka menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron di tempat oksigen selama respirasi. Fakultatif anaerob bakteri ini juga dapat hidup dalam kondisi aerobik. Denitrifikasi umumnya berlangsung melalui beberapa kombinasi dari bentuk peralihan sebagai berikut:

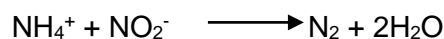


Proses denitrifikasi lengkap dapat dinyatakan sebagai reaksi redoks:



6) Oksidasi Amonia Anaerobik

Dalam proses biologis, nitrit dan amonium dikonversi langsung ke elemen (N_2) gas nitrogen, melalui proses sebagai berikut:



Untuk menambah pengetahuan anda tentang siklus nitrogen, anda dapat melihat tautan berikut <https://www.youtube.com/watch?v=SeY-0Jg-N4s>

b. Siklus Fosfor

Siklus fosfor merupakan proses di mana fosfor menyebar ke dalam litosfer, hidrosfer dan biosfer. Fosfor merupakan senyawa esensial yang diperlukan oleh makhluk hidup meskipun dalam jumlah yang sangat kecil. Fosfor diperlukan oleh makhluk hidup untuk pertumbuhan, termasuk diperlukan oleh mikroba yang hidup pada tanah untuk menjaga keberadaan mikroba tersebut. Fosfor diperlukan untuk pembentukan nukleotida sebagai penyusun molekul DNA dan RNA. Rangkaian *double helix* DNA dihubungkan oleh ikatan fosfor ester. Kalsium fosfat juga

merupakan komponen utama dari tulang dan gigi mamalia, skeleton insekta, membran fosfolipid sel dan fungsi biologis lain.

Siklus fosfor di alam berjalan sangat lambat, dengan melibatkan tahapan proses seperti yang terlihat pada Gambar 4.11

1) Pencucian

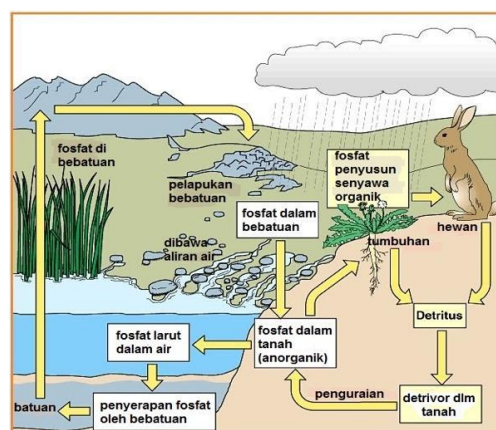
Sumber utama fosfor ditemukan dalam bebatuan. Langkah awal dari siklus fosfor adalah ekstraksi fosfor melalui proses pencucian yang oleh hujan dan erosi yang mengakibatkan fosfor tercuci dan masuk ke dalam tanah.

2) Absorpsi oleh tumbuhan dan hewan

Setelah fosfor berada dalam tanah maka tanaman, jamur dan mikroorganisma dapat menyerap fosfor. Sebagai tambahan fosfor dapat tercuci dan masuk ke dalam perairan, dan langsung diserap oleh tanaman untuk pertumbuhan. Hewan mendapat fosfor dengan meminum air yang mengandung fosfor atau dari tanaman yang dimakannya.

3) Dekomposisi

Ketika tanaman dan hewan mati, terjadi proses dekomposisi yaitu pengembalian fosfor ke alam melalui air dan tanah. Tanaman dan hewan yang berada pada lingkungan dimana dekomposisi itu terjadi dapat secara langsung menggunakan fosfor yang dikembalikan tersebut, dan tahap ke 2 dari siklus fosfor kembali terulang.



Gambar 151. Siklus Fosfor
(Campbell, Reece & Mitchell, 2004)

Manusia memiliki pengaruh yang signifikan terhadap siklus fosfor dengan berbagai aktivitas yang dilakukannya, seperti misalnya pemupukan, distribusi makanan, dan eutrofikasi. Pemupukan yang mengandung senyawa fosfat akan meningkatkan kandungan fosfor tanah yang kemudian sedikit demi sedikit tercuci dan masuk ke dalam ekosistem perairan. Peristiwa dimana fosfor masuk ke dalam ekosistem perairan melalui proses alami, maka akan terjadi proses eutrofikasi alami. Tetapi ketika fosfor masuk ke alam karena aktivitas manusia seperti misalnya pendistribusian bahan makanan ke wilayah lain yang menyebabkan peningkatan fosfor di suatu wilayah atau ekosistem, maka peristiwa tersebut dinamakan sebagai *antropologik* eutrofikasi yang memicu peningkatan populasi alga atau yang dinamakan dengan istilah *algae blooming* seperti yang dijelaskan sebelumnya.

- **Strategi/Solusi Penanganan Pencemaran Lingkungan**

- a. **Penanganan Pencemaran Lingkungan**

Penanganan terhadap pencemaran lingkungan perlu dilakukan secara terpadu. Hal ini dikarenakan pencemaran yang terjadi pada pada suatu lingkungan dapat berdampak pada pencemaran lingkungan yang lain. Misalnya, pencemaran udara dapat mengakibatkan pencemaran tanah dan air ketika polutan gas di udara menjadi senyawa asam dan turun sebagai hujan asam yang pada akhirnya mencemari air dan tanah.

Penanganan terhadap pencemaran lingkungan dapat dilakukan untuk menjaga lingkungan tersebut sebelum terpapar polutan, yaitu dengan mengeluarkan kebijakan kebijakan yang menentukan batas penggunaan senyawa senyawa yang berpotensi untuk mencemari lingkungan dan melakukan AMDAL ketika sebuah industri akan dibangun di suatu wilayah. Kebijakan kebijakan tersebut tentunya bertindak sebagai preventif sehingga lingkungan alami terjaga dari paparan polutan.

Penanganan terhadap polusi yang terjadi akibat kecerobohan manusia seperti misalnya tumpahan minyak yang mencemari lingkungan dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran terhadap organisme yang berada pada lingkungan tersebut. Penanggulangan untuk kasus tersebut dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah *in-situ burning*, penyisihan secara mekanis,

teknik *bioremediasi*, penggunaan *sorben*, dan penggunaan bahan kimia *dispersan*. Pada saat sekarang ini, teknik yang banyak digunakan oleh negara-negara yang mengalami polusi karena tumpahan minyak adalah teknik *bioremediasi*. Teknik bioremediasi dapat dilakukan dengan 2 macam metode, yaitu: (1) *bioaugmentasi* dimana mikroorganisme pengurai ditambahkan ke dalam tumpahan minyak untuk melengkapi populasi mikroba yang secara alami telah ada di lingkungan yang terpapar tumpahan minyak. (2) *biostimulasi*, yaitu merangsang pertumbuhan bakteri pengurai hidrokarbon dengan menambahkan nutrisi atau mengubah habitatnya.

Bertahun-tahun penduduk yang berada di wilayah Sumatera dan Kalimantan mengalami dampak pencemaran udara karena kebakaran hutan. Untuk mengurangi dampak asap, pemerintah setempat membagikan masker gratis pada masyarakat setempat. Selain itu adanya peringatan ketika level asap melebihi ambang batas dan dapat membahayakan sistem pernapasan, masyarakat dihimbau untuk tidak keluar rumah dan sekolah diliburkan. Penanganan terhadap kebakaran hutan dilakukan dengan cara membuat hujan buatan untuk memadamkan api.

b. Konservasi pada Tingkat Spesies dan Populasi

Krisis keanekaragaman hayati terutama yang terjadi di Indonesia semakin meluas, mulai dari tingkatan genetik, populasi hingga ke komunitas, ekosistem dan wilayah yang lebih luas yang dinamakan dengan bentang alam. Konservasi modern tidak hanya melakukan konservasi terhadap keanekaragaman spesies, tetapi dimulai dari mempertahankan keanekaragaman genetik sampai pada keanekaragaman ekosistem. Konservasi untuk mempertahankan keberadaan dan keanekaragaman makhluk hidup dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah:

1) Mempertahankan keanekaragaman genetik

Fokus biologi konservasi pada spesies dan populasi melibatkan pemahaman tentang dinamika populasi, yang meliputi penurunan jumlah populasi, faktor dari penyebab penurunan populasi serta bagaimana strategi untuk mempertahankan suatu populasi. Secara ideal, yang seharusnya dilakukan adalah mempertahankan populasi sebelum penurunan terjadi, sehingga pada saat itu

masih banyak waktu yang tersedia untuk menyelamatkan sebuah habitat yang cukup besar untuk mendukung populasi alamiah.

2) Perlindungan terhadap habitat untuk menjaga keberadaan populasi

Aktivitas manusia memungkinkan terjadinya fragmentasi atau pemisahan habitat yang dihuni oleh populasi hewan atau tumbuhan tertentu. Peristiwa ini dinamakan dengan *metapopulasi*. Dengan semakin meningkatnya aktivitas manusia, pemahaman tentang metapopulasi sangat penting untuk memahami bagaimana suatu populasi bisa dijaga dari kepunahan. Hal ini disebabkan karena laju reproduksi dari suatu populasi seringkali sangat berbeda ketika terjadi metapopulasi. Dengan demikian perlu dilakukan konservasi dengan melakukan perlindungan terhadap habitat dimana keberhasilan reproduksi suatu populasi lebih besar dibandingkan dengan laju kematiannya.

3) Melakukan analisis keangsuran hidup (viabilitas) populasi

Analisis kelangsungan hidup suatu populasi merupakan suatu metode untuk memprediksi apakah suatu spesies akan bertahan atau tidak dalam suatu lingkungan tertentu. Analisis viabilitas populasi dilakukan dengan menggabungkan informasi keberagaman genetik dan ciri-ciri sejarah kehidupan suatu populasi, seperti rasio jenis kelamin, umur saat terjadi reproduksi pertama, fekunditas, dan rata-rata angka kelahiran dan angka kematian. Analisis itu juga memasukkan data mengenai respons populasi terhadap faktor-faktor lingkungan seperti pemangsaan, parasitisme, kompetisi antar spesies, dan gangguan yang menjadi ciri khas habitat populasi tersebut. Analisis viabilitas populasi umumnya dihasilkan melalui simulasi komputer yang menggabungkan data sejarah kehidupan dengan taksiran matematis respons populasi terhadap faktor-faktor lingkungan.

c. Konservasi pada Tingkat Komunitas, Ekosistem, dan Bentang Alam

Konservasi terhadap tingkat komunitas, ekosistem dan bentang alam dilakukan dengan memelihara lingkungan untuk tetap menjadi habitat bagi populasi yang menjadi ciri khas ekosistem tersebut. Wilayah yang digunakan sebagai konservasi dinamakan cagar alam. Cagar alam seharusnya merupakan bagian fungsional dari bentang alam, namun pada kenyataannya untuk mempertahankan keanekaragaman dalam cagar alam dalam periode yang lama memerlukan upaya yang cukup sulit. Keberadaan aktivitas manusia di sekeliling cagar alam yang

merupakan bagian dari bentang alam suatu wilayah juga merupakan jaminan akan keberlanjutan fungsi dari cagar alam. Karena upaya konservasi seringkali melibatkan aktivitas manusia dalam wilayah bentang alam yang sebagian besar didominasi oleh manusia

Pemulihan daerah-daerah yang rusak merupakan suatu upaya konservasi yang penting. Pemerintah di berbagai negara mencanangkan pembangunan yang berkelanjutan sebagai upaya untuk penyesuaian kembali terhadap aspek ekologis. Hal ini tentu saja mempengaruhi berbagai perubahan pada nilai-nilai kemanusiaan. Pembangunan berkelanjutan, kemakmuran jangka panjang masyarakat manusia dan ekosistem yang mendukungnya, bergantung pada pengetahuan ekologis merupakan komitmen untuk menggalang proses ekosistem dalam menunjang keanekaragaman biologis.

Untuk memperkaya wawasan Anda mari kita lihat tautan <https://www.youtube.com/watch?v=-g8dtmPFYo0> yang berisi tentang video kawasan ekosistem esensial koridor Orang utan bentang alam Wehea-Kelay.

D. Rangkuman

Rangkuman Klasifikasi dan Keanekaragaman Tumbuhan

- Karofita dan tumbuhan memiliki beberapa homologi, diantaranya kloroplas yang homolog, kemiripan biokimiawi, kemiripan dalam mekanisme mitosis dan sitokinesis, kemiripan dalam ultrastruktur sperma, hubungan genetik.
- Satu-satunya tanaman yang dapat beradaptasi pada air dangkal adalah tanaman alga, dikarenakan alga mempunyai gamet dan embrio yang berkembang dan terlindungi oleh induknya.
- Tumbuhan lumut (Briofita) adalah tumbuhan non-vaskuler dimana belum memiliki batang, daun, dan akar sejati (rhizoid). Tiga divisi Briofita adalah lumut daun (*moss*), Lumut hati (*liverwort*), dan lumut tanduk (*hornwort*). Gametofit haploid merupakan generasi dominan pada lumut dan briofita lainnya.
- Siklus hidup yang didominasi oleh sporofit dievolusikan pada tumbuhan vaskuler tak berbiji. Satu variasi dalam siklus hidup ini adalah kontras antara tumbuhan homospora dan heterospora. Kondisi sperma berflagela pada nenek moyang dipertahankan oleh semua tumbuhan vaskuler.
- Tiga divisi tumbuhan vaskuler tak berbiji adalah likofita, ekor kuda, dan pakis. Likofita meliputi lumut gada (*club moss*), dengan kumpulan sporofil pada beberapa ujung tunas. Paku ekor kuda (Stenofita), seperti likofita, berasal dari masa Devon, dan kedua kelompok tersebut jauh lebih beraneka ragam pada masa Karboniferus dibandingkan dengan saat ini. Pakis (Pterofita) sejauh ini merupakan tumbuhan vaskuler tak berbiji yang paling beraneka ragam pada dunia tumbuhan modern.
- Gimnosperma merupakan tumbuhan berbiji tertutup yang mempunyai empat divisi diantaranya, sikad, ginkgo, gnetofit dan konifer. Konifer merupakan divisi terbesar diantara keempat divisi Gimnosperma.
- Angiosperma atau tumbuhan berbunga merupakan tumbuhan yang paling beraneka ragam dan secara geografis paling tersebar luas. Angiosperma terdiri dari satu divisi tunggal yang dibagi menjadi dua kelas, Monokotiledon dan Dikotiledon.

Rangkuman Klasifikasi dan Keanekaragaman Hewan

- Hewan adalah eukariota multiseluler, heterotrofik. Berbeda dari nutrisi autotrofik yang ditemukan pada tumbuhan dan alga, hewan harus memasukkan ke dalam tubuhnya molekul organik yang telah terbentuk terlebih dahulu; hewan tidak dapat membentuk molekul itu dari bahan kimia anorganik.
- Sel-sel hewan tidak memiliki dinding sel yang menyokong tubuh dengan kuat seperti yang dimiliki tumbuhan dan fungi. Tubuh multiseluler hewan dipertahankan tetap utuh oleh protein struktural, yang paling berlimpah adalah kolagen. Selain kolagen, yang banyak ditemukan pada matriks ekstraseluler, jaringan hewan memiliki jenis persambungan (junction) interseluler yang unik.
- Spons adalah hewan yang sesil (menempel) yang tampak sangat diam bagi mata manusia sehingga orang Yunani kuno meyakini mereka sebagai tumbuhan. Spons adalah sesil dan memiliki tubuh berpori serta koanosit. Spons tidak memiliki jaringan dan organ. Mereka menyaring makanan dengan menarik air melalui pori; koanosit (sel collar berflagela) menelan bakteri dan partikel makanan yang tersuspensi dalam air.
- Hewan Cnidaria (hidra, ubur-ubur, anemon laut, dan karang) tidak memiliki mesoderm dan memiliki konstruksi tubuh yang relatif sederhana. Anggota filum Cnidaria memiliki simetri radial, rongga gastrovaskuler, dan cnidosit. Sebagian besar anggota Cnidaria adalah hewan karnivora laut yang memiliki tentakel yang dipersenjatai dengan cnidosit (sel yang mengandung kapsul yang dapat dikeluarkan isinya) yang membantu dalam pertahanan dan menangkap mangsa. Dua bentuk tubuh adalah polip yang sesil dan medusa yang mengapung.
- Aselomata mewakili satu percabangan awal hewan bersimetri bilateral, aselomata tidak memiliki rongga tubuh, yaitu ruang antara dinding tubuh dan saluran pencernaan. Filum Platyhelminthes (cacing pipih) adalah hewan aselomata yang pipih secara dorsoventral. Sebagian besar cacing pipih adalah hewan yang mirip pita dan memiliki rongga gastrovaskuler. Filum Platyhelminthes (cacing pipih) terbagi menjadi Kelas Turbellaria, Kelas Trematoda, Kelas Monogenea, dan Kelas Cestoide.

- Pseudoselomata adalah hewan yang rongga tubuhnya tidak sepenuhnya dilapisi dengan mesoderm. Filum Rotifera dan Filum Nematoda adalah contoh hewan pseudoselomata. Anggota filum Rotifera memiliki rahang dan mahkota silia. Ditemukan terutama pada air tawar. Filum Nematoda (cacing gilig) tidak bersegmen dan bertubuh silindris dengan ujung yang meruncing. Nematoda menempati sebagian besar habitat akuatik.
- Garis keturunan Protostoma hewan selomata terbagi menjadi beberapa filum, yang meliputi Mollusca, Annelida, dan Arthropoda. Anggota Filum Mollusca memiliki kaki berotot, massa viseral, dan suatu mantel. Anggota Filum Annelida adalah cacing bersegmen. Lokomosinya yang bergerak maju mirip gelombang tersebut dihasilkan oleh kontraksi bergantian otot sirkuler dan longitudinal terhadap rongga selom penuh cairan.
- Deuterostoma hewan selomata memiliki ciri khas yaitu pembelahan secara radial, perkembangan selom dari arkenteron, dan pembentukan mulut pada ujung embrio yang berlawanan arah dengan blastopori. Anggota hewan ini yaitu Filum Echinodermata dan Filum Chordata. Anggota Filum Echinodermata memiliki sistem pembuluh air dan simetri radial sekunder. Anggota Filum Chordata meliputi dua subfilum yaitu Invertebrata dan Vertebrata (ikan, amfibia, reptilia, burung, dan mamalia).
- Skema taksonomik mengakui adanya dua superkelas subfilum Vertebrata yang masih hidup yaitu Anggota Superkelas Agnatha yang tidak memiliki rahang. Superkelas lain, Gnathostomata, meliputi enam kelas vertebrata berahang. Sekitar 60 spesies vertebrata tak berahang masih hidup sampai saat ini adalah hagfish dalam Kelas Myxini dan lamprey dalam Kelas Cephalaspidomorphi.
- Kelas ikan dalam superkelas Gnathostoma (“mulut berahang”) yang masih hidup adalah kelas Chondrichthyes dan Osteichthyes. Vertebrata Kelas Chondrichthyes, hiu, pari besar dan kerabatnya, disebut ikan bertulang rawan karena mereka memiliki endoskeleton yang relatif lentur yang terbuat dari tulang rawan dan bukan tulang keras. Ciri khas kelas Osteichthyes adalah endoskeleton bertulang keras, ada operkulum dan kantung renang.
- Amfibia modern terdiri dari tiga ordo Kelas Amphibia yang masih hidup saat ini: Urodela (“berekor” –salamander); Anura (“tidak berekor” –katak, termasuk bangkong); dan Apoda (“tak berkaki” –caecilian). Bulu pada Aves terbuat dari

keratin, protein yang juga menyusun rambut pada Mamalia dan sisik pada reptilia.

Rangkuman Ekologi Biologi Populasi

- Dua karakteristik penting pada populasi adalah kepadatan dan penyebaran. Kepadatan adalah jumlah individu per satuan luas daerah atau volume dan penyebaran adalah jarak individu.
- Populasi akan meningkat ukurannya dengan terjadinya kelahiran dengan imigrasi individu populasi lain, sedangkan populasi menurun ukurannya dengan terjadinya kematian dan dengan emigrasi individu dari populasi tersebut.
- Variasi genetik terjadi disebabkan oleh adanya mutasi (perubahan dalam urutan nukleotida DNA) dan rekombinasi seksual. Seleksi alam dapat mempengaruhi frekuensi suatu sifat yang dapat diturunkan dalam suatu populasi dalam tiga cara yaitu menstabilkan, mengarahkan atau menganekaragamkan.
- Interaksi antarspesies dapat berpengaruh positif, negatif atau netral terhadap kepadatan suatu populasi dengan digambarkan simbol (+, - dan 0). Interaksi antarspesies dapat menjadi faktor seleksi yang kuat dalam evolusi. Koevolusi, (interaksi timbal balik resiprokal) antara dua spesies yang menghasilkan suatu rentetan adaptasi dan kontraadaptasi, hubungan pemangsa dengan mangsa, mutualisme, dan hubungan inang dengan parasit.

Rangkuman Ekologi Biologi Konservasi

- Aktivitas manusia terutama pertanian dan rumah tangga menyebabkan terjadinya eutrofikasi yang mengakibatkan banyaknya populasi hewan dan tumbuhan tidak bisa bertahan hidup pada wilayah perairan karena persaingan untuk mendapatkan cahaya dan O₂. Aktivitas manusia dari penggunaan bahan bakar fosil yang semakin meningkat menyebabkan suhu bumi semakin panas yang berakibat pada perubahan pola iklim, naiknya permukaan air laut dan semakin seringnya bencana yang disebabkan oleh angin topan. Diperlukan peran pemerintah untuk mengatur penggunaan bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan lingkungan yang lebih buruk.
- Ledakan populasi manusia mengubah habitat dan mengurangi keanekaragaman biologis di dunia yang dapat dicegah dengan melakukan

konservasi pada tingkat gen, spesies, komunitas, ekosistem dan bentang alam

- Nitrogen memasuki ekosistem melalui dua jalur ilmiah, yaitu deposit pada atmosfer dan melalui fiksasi nitrogen. Siklus fosfor tidak meliputi pergerakan melalui atmosfer, karena tidak ada gas yang mengandung fosfor secara signifikan. Fosfor hanya ditemukan dalam satu bentuk anorganik penting, fosfat (PO_4^{3-}) yang diserap oleh tumbuhan dan digunakan untuk sintesis organik.

Pembelajaran 3. Energi dalam Kehidupan

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru

Modul 4. Kinematika dan Dinamika Gerak, Serta Suhu dan Kalor

Penulis. Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T.

A. Kompetensi

Penjabaran model kompetensi yang selanjutnya dikembangkan pada kompetensi guru bidang studi yang lebih spesifik pada pembelajaran 3. Energi dalam Kehidupan ada beberapa kompetensi guru bidang studi yang akan dicapai pada pembelajaran ini, kompetensi yang akan dicapai pada pembelajaran ini adalah calon guru P3K mampu menguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA, (2) materi dan interaksinya, (3) gerak, gaya, dan tekanan, (4) energi, usaha, dan pesawat sederhana, (5) gelombang dan optik serta aplikasinya dalam teknologi, (6) kelistrikan dan kemagnetan, (7) ciri, klasifikasi, sistem, struktur, fungsi makhluk hidup, zat aditif dan adiktif serta dampaknya terhadap kesehatan, (8) interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan, (9) reproduksi, hereditas, evolusi (10) mikroorganisme dan bioteknologi, (11) tata surya, struktur bumi, perubahan iklim, dan mitigasi bencana, termasuk advanced materials dalam IPA secara bermakna yang dapat menjelaskan aspek “apa” (konten), “mengapa” (filosofi), dan “bagaimana” (penerapan) dalam kehidupan sehari-hari.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Dalam rangka mencapai kompetensi guru bidang studi, maka dikembangkanlah indikator - indikator yang sesuai dengan tuntutan kompetensi guru bidang studi.

Indikator pencapaian kompetensi yang akan dicapai dalam pembelajaran 3. Energi dalam Kehidupan adalah sebagai berikut.

3.1.1 Menganalisis perubahan energi dalam sel.

3.1.2 Menganalisis proses metabolisme dalam sel.

3.1.3 Menganalisis transformasi energi pada proses biologis makhluk hidup.

1.2.1 Menganalisis sistem gerak manusia.

- 1.3.1 Menganalisis mekanisme pengangkutan air dan nutrisi pada tumbuhan.
- 1.3.2 Menganalisis proses peredaran darah pada manusia.
- 1.3.3 Menganalisis proses pernapasan pada manusia.
- 3.4.1 Menganalisis mekanisme pengaturan suhu tubuh pada manusia.
- 3.4.2 Menganalisis mekanisme pengaturan suhu tubuh pada hewan.
- 3.4.3 Menganalisis mekanisme pengaturan suhu tubuh pada tumbuhan.

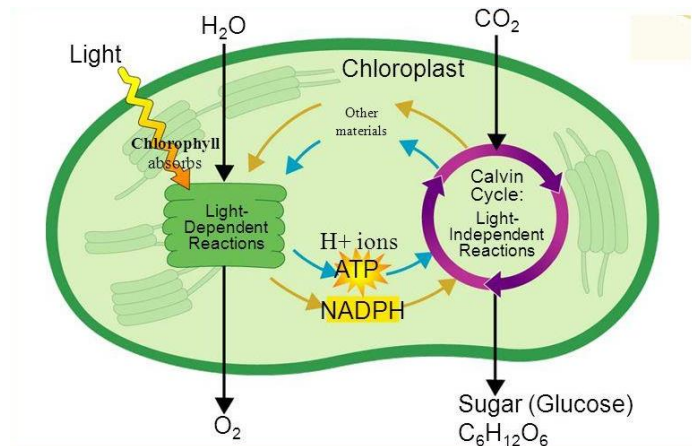
C. Uraian Materi

1. Transformasi Energi dalam Sel

Pada makhluk hidup heterotrof (makhluk hidup yang memanfaatkan sumber makanan organik/makhluk hidup yang tidak mampu mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik), energi bersumber dari makanan yang dikonsumsi. Energi ini akan mengalami transformasi mulai dari energi potensial berupa energi kimia makanan menjadi energi panas dan energi kinetik/gerak dalam aktivitas makhluk hidup tersebut. Transformasi energi tersebut terjadi di dalam organel yang terdapat di dalam sel. Transformasi energi dalam sel terjadi dengan cara sebagai berikut.

- **Transformasi Energi oleh Klorofil**

Klorofil adalah zat hijau daun yang terdapat dalam organel sel tumbuhan yang disebut kloroplas (Reece, dkk, 2008). Klorofil berfungsi dalam fotosintesis. Energi radiasi sinar matahari yang ditangkap oleh klorofil berfungsi melancarkan proses fotosintesis. Proses tersebut digunakan untuk mereaksikan CO_2 dan H_2O menjadi glukosa. Selain menjadi energi kimia dalam bentuk glukosa, hasil reaksinya menghasilkan oksigen yang dapat digunakan oleh tumbuhan untuk beraktivitas, seperti tumbuh, berkembang, dan bernapas (Lihat Gambar 1.22.).

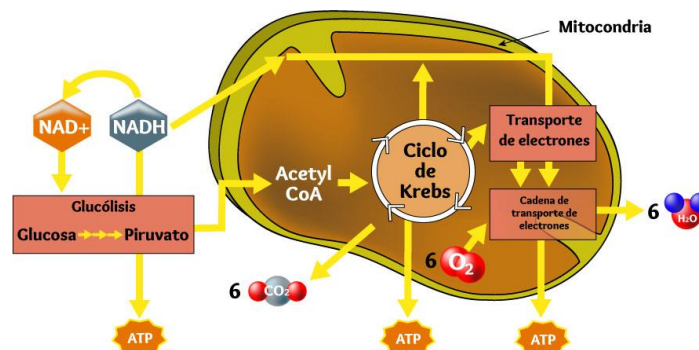


Gambar 152. Prinsip kerja transformasi energi pada klorofil
Sumber : <http://slideplayer.com>

Jadi, energi radiasi matahari yang berbentuk energi cahaya diubah menjadi energi potensial dan energi kimiawi yang disimpan dalam molekul karbohidrat dan bahan makanan lainnya. Energi ini dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk beraktivitas (tumbuh dan berkembang) dan juga dimanfaatkan oleh makhluk hidup lain yang mengonsumsi tumbuhan tersebut. Akibatnya energi yang terdapat pada tumbuhan berpindah ke dalam tubuh makhluk hidup lainnya dan menjadi energi potensial. Di dalam tubuh makhluk hidup ini, energi akan ditransformasi kembali.

- **Transformasi Energi oleh Mitokondria**

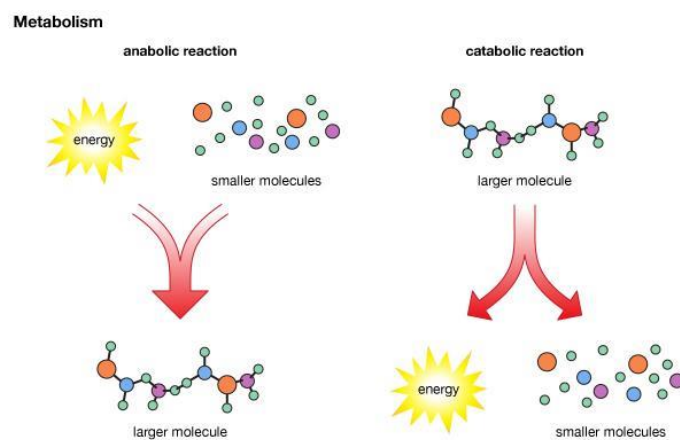
Mitokondria adalah organel yang terdapat di dalam sel, yang memiliki peran dalam respirasi sel (Lihat Gambar 1.23.). Di dalam mitokondria, energi kimia digunakan untuk mengubah karbohidrat, protein, dan lemak. Mitokondria banyak terdapat pada sel otot makhluk hidup dan sel saraf.



Gambar 153. Prinsip kerja transformasi energi pada mitokondria
Sumber : ciclodekrebsntic.blogspot.com

● Metabolisme Sel

Metabolisme adalah proses kimia yang terjadi di dalam tubuh sel makhluk hidup. Metabolisme disebut reaksi enzimatik karena metabolisme terjadi selalu menggunakan katalisator enzim. Metabolisme terdiri atas reaksi pembentukan/sintesis/anabolisme seperti fotosintesis dan reaksi penguraian/katabolisme seperti respirasi (Lihat Gambar 1.24.). Enzim mengarahkan aliran materi melalui jalur-jalur metabolisme dengan cara mempercepat tahapan reaksi secara selektif.



Gambar 154. Peristiwa metabolisme, anabolisme, dan katabolisme
Sumber: nature.com

"Metabolisme adalah proses-proses kimia yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup."

● Fotosintesis

Fotosintesis merupakan perubahan energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk glukosa. Sumber energi cahaya alami adalah matahari yang memiliki spektrum cahaya tampak, dari ungu sampai merah, infra merah, dan ultra ungu tidak digunakan dalam fotosintesis.

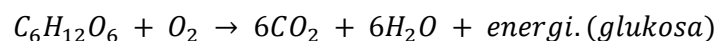
Pada proses fotosintesis yang terjadi dalam daun, terjadi reaksi kimia antara senyawa air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2) dibantu oleh cahaya matahari yang diserap oleh klorofil menghasilkan oksigen (O_2) dan senyawa glukosa ($C_6H_{12}O_6$). Glukosa adalah makanan bagi tumbuhan. Oksigen yang dihasilkan pada proses fotosintesis sangat dibutuhkan oleh manusia dan hewan.

- **Respirasi**

Respirasi, yaitu suatu proses pembebasan energi yang tersimpan dalam zat sumber energi melalui proses kimia dengan menggunakan oksigen. Dari respirasi, dihasilkan energi kimia untuk kegiatan kehidupan, seperti sintesis (anabolisme), gerak, dan pertumbuhan.

Contoh

Respirasi pada glukosa, reaksi sederhananya



“Respirasi ialah suatu proses pembebasan energi yang tersimpan dalam zat sumber energi melalui proses kimia dengan menggunakan oksigen.”

Zat gizi makanan mengandung energi kimia yang dapat diubah menjadi energi panas atau energi bentuk lain. Sebagian energi ini digunakan untuk mempertahankan suhu tubuh. Saat Anda sedang kedinginan, Anda akan menggigil untuk mempercepat metabolisme tubuh sehingga suhu tubuh tetap terjaga. Setiap makanan kemasan harus tercantum kandungan energinya.



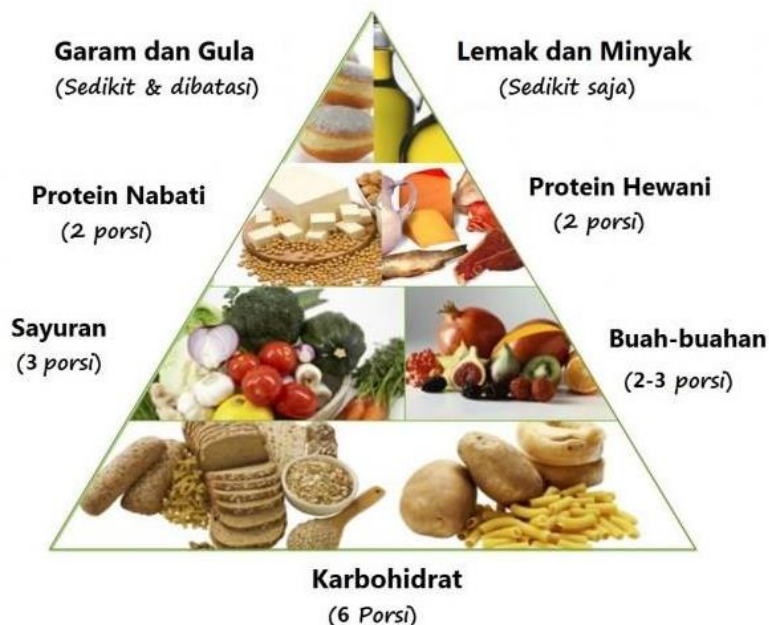
Gambar 155. Produsen makanan kemasan diharuskan mencantumkan kandungan energi yang terdapat pada makanan itu.

Sumber: <http://www.innovamei.com>

a. Energi pada Proses Biologis Makhluk Hidup

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya. Energi bermanfaat pada saat terjadinya perubahan bentuk. Perubahan bentuk energi tersebut disebut dengan transformasi energi. Sebagai contoh, energi kimia dalam baterai kering bermanfaat untuk menyalakan senter ketika terjadi perubahan dari energi kimia menjadi energi listrik. Energi juga dapat dipindahkan dari satu sistem ke sistem yang lainnya yang disebut dengan transfer energi. Contohnya energi pembakaran yang ada dalam api dipindahkan ke air yang ada dalam panci sehingga air mendidih. Energi total sebuah sistem dan lingkungannya tidak berubah (kekal). Bila energi sistem berkurang, maka selalu ada penambahan energi yang terkait dengan lingkungannya atau sistem lain.

Makanan merupakan sumber energi bagi tubuh manusia (Lihat Gambar 2.1!). Fungsinya untuk berolahraga, belajar, dan melakukan aktivitas lainnya. Anda membutuhkan makanan sebagai sumber energi. Berikut beberapa kandungan bahan kimia yang terdapat dalam makanan yang dapat digunakan sebagai sumber energi bagi tubuh manusia.



Gambar 156. Zat makanan, sumber, dan fungsinya bagi manusia
Sumber: <http://ellensnewbolggader.blogspot.co.id>

Makanan diperlukan oleh tubuh sebagai sumber energi. Dengan asupan makanan yang baik dan cukup, Anda dapat melakukan berbagai aktivitas sehari-hari. Zat makanan yang berperan sebagai sumber energi adalah karbohidrat, protein, dan lemak.

b. Karbohidrat

Karbohidrat merupakan senyawa kimia yang tersusun atas unsur-unsur karbon. Bahan makanan yang banyak mengandung karbohidrat, misalnya beras, jagung, kentang, gandum, umbi-umbian, dan buah-buahan yang rasanya manis (Lihat Gambar 2.2.!). Karbohidrat berperan sebagai sumber energi (1 gram karbohidrat setara dengan 4 kilo kalori).



Gambar 157. Beberapa bahan makanan yang mengandung karbohidrat
Sumber: : www.minutkab.go.id, diarynouvanutritionis.com

c. Protein

Protein merupakan senyawa kimia yang mengandung unsur C, H, O, N (kadang juga mengandung unsur P dan S). Bahan makanan yang mengandung banyak protein, antara lain (Lihat Gambar 2.3!).

- 1) protein hewani, misalnya daging, ikan, telur, susu, dan keju;
- 2) protein nabati, misalnya kacang-kacangan, tahu, tempe, dan gandum.



Gambar 158. Beberapa bahan makanan yang mengandung protein
Sumber: : www.sulselsatu.com

“Fungsi protein, antara lain sebagai sumber energi, pembangun sel jaringan tubuh, dan pengganti sel tubuh yang rusak.”

d. Lemak

Lemak merupakan senyawa kimia yang mengandung unsur C, H, dan O. Peran lemak untuk menyediakan energi sebesar 9 Kalori/gram, melarutkan vitamin A, D, E, K, dan menyediakan asam lemak esensial bagi tubuh manusia (Lihat Gambar 2.4.!).



Gambar 159. Beberapa bahan makanan yang mengandung lemak
Sumber: : www.go-dok.com

Lemak mulai dianggap berbahaya bagi kesehatan setelah adanya suatu penelitian yang menunjukkan hubungan antara kematian akibat penyakit jantung koroner

dengan banyaknya konsumsi lemak dan kadar lemak di dalam darah. Penyakit jantung koroner terjadi apabila pembuluh darah tersumbat atau menyempit karena endapan lemak yang secara bertahap menumpuk di dinding arteri. Bahan makanan yang mengandung banyak lemak, antara lain.

- 1) lemak hewani: keju, susu, daging, kuning telur, daging sapi, daging kambing, daging ayam, dan daging bebek;
- 2) lemak nabati: kelapa, kemiri, kacang-kacangan, dan buah avokad.

Fungsi lemak, antara lain

*sumber energi (1 gram lemak setara dengan 9 kilo kalori);
pelarut vitamin A, D, E, dan K;
pelindung organ-organ tubuh yang penting dan;
pelindung tubuh dari suhu yang rendah.*

2. Metabolisme pada Manusia

Makanan sebagai sumber energi bagi tubuh sudah dikemukakan pada pembahasan sebelumnya. Makanan yang masuk ke dalam tubuh akan mengalami perombakan dari molekul kompleks menjadi molekul sederhana. Perombakan ini akan menghasilkan sejumlah energi. Zat makanan yang berperan sebagai sumber energi adalah karbohidrat, lemak, dan protein.

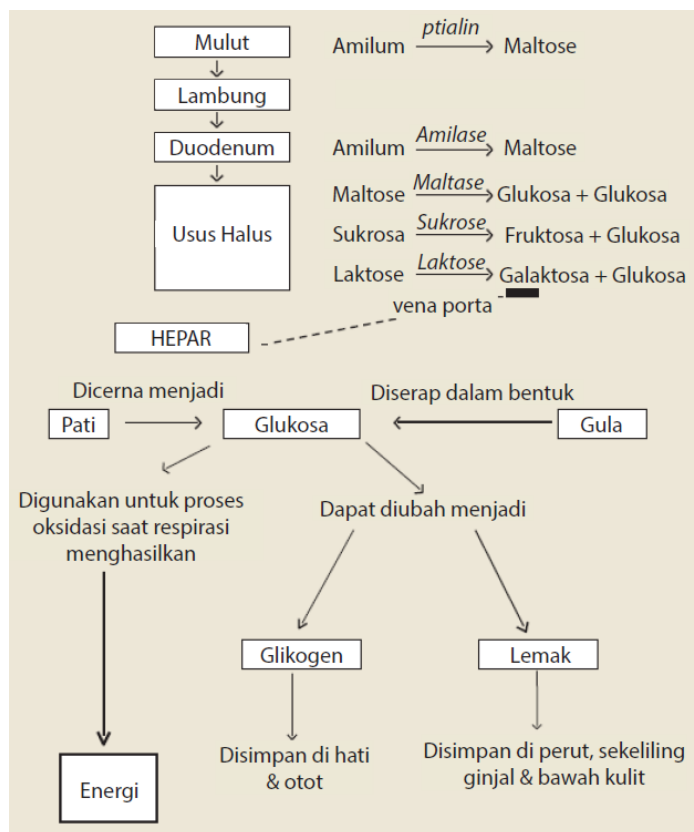
a. Pencernaan Karbohidrat dalam Tubuh

Karbohidrat setelah dicerna di usus akan diserap oleh dinding usus halus dalam bentuk monosakarida. Monosakarida dibawa oleh aliran darah sebagian besar menuju hati dan sebagian lainnya dibawa ke sel jaringan tertentu dan mengalami proses metabolisme lebih lanjut. Di dalam hati, monosakarida mengalami proses sintesis menghasilkan glikogen, dioksidasi menjadi CO_2 dan H_2O , atau dilepaskan untuk dibawa oleh aliran darah ke bagian tubuh yang memerlukan. Hati dapat mengatur kadar glukosa dalam darah atas bantuan hormon insulin yang dikeluarkan oleh kelenjar pankreas. Kenaikan proses pencernaan dan penyerapan karbohidrat menyebabkan glukosa dalam darah meningkat, sehingga sintesis glikogen dari glukosa oleh hati akan naik. Sebaliknya, jika banyak kegiatan, maka

banyak energi yang digunakan untuk kontraksi otot, sehingga kadar glukosa dalam darah menurun. Dalam hal ini, glikogen akan diuraikan menjadi glukosa yang selanjutnya mengalami katabolisme menghasilkan energi (dalam bentuk energi kimia) (Lihat Gambar 2.10!).

Hormon yang mengatur kadar gula dalam darah, yaitu sebagai berikut.

- 1) Hormon insulin, dihasilkan oleh pankreas berfungsi menurunkan kadar glukosa dalam darah.
- 2) Hormon adrenalin, dihasilkan oleh korteks adrenal berfungsi menaikkan kadar glukosa dalam darah.



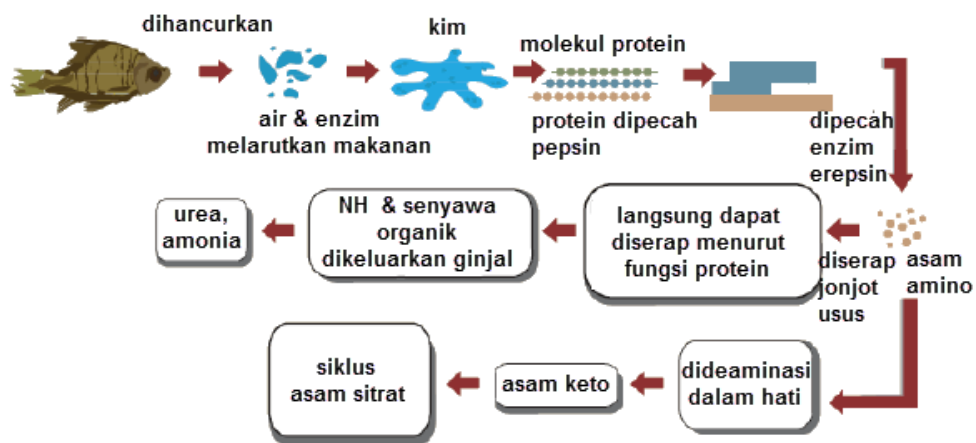
Gambar 160. Proses pencernaan karbohidrat dalam tubuh
 Sumber: <http://www.pakmono.com>

b. Pencernaan Protein dalam Tubuh

Di dalam tubuh, protein diubah menjadi asam amino oleh beberapa reaksi hidrolisis serta enzim-enzim yang bersangkutan. Enzim-enzim yang bekerja pada

proses hidrolisis protein, antara lain pepsin, tripsin, kemotripsin, karboksipetidase, dan amino peptidase.

Protein yang telah dipecah menjadi asam amino, kemudian diabsorpsi melalui dinding usus halus dan sampai ke pembuluh darah. Setelah diabsorpsi dan masuk ke dalam pembuluh darah, asam amino tersebut sebagian besar langsung digunakan oleh jaringan. Sebagian lain, mengalami proses pelepasan gugus amin (gugus yang mengandung N) di hati. Proses pelepasan gugus amin ini dikenal dengan deaminasi protein. Cermati skema berikut untuk dapat memahami proses metabolisme protein dalam tubuh (Lihat Gambar 2.11).



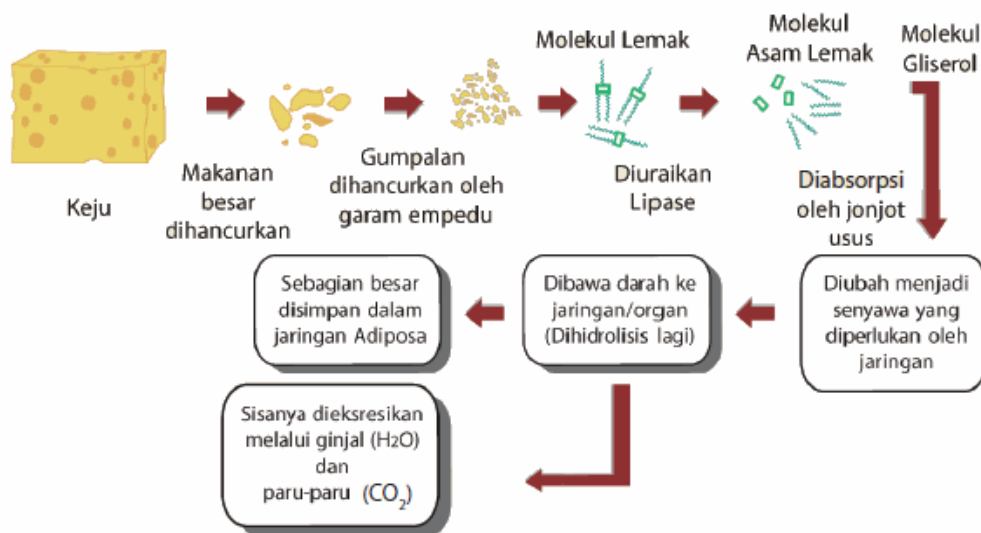
Gambar 161. Proses pencernaan protein dalam tubuh
Sumber: mikirbae.com

Protein tidak dapat disimpan di dalam tubuh, sehingga kelebihan protein akan segera dibuang atau diubah menjadi zat lain. Zat sisa hasil penguraian protein yang mengandung nitrogen akan dibuang bersama air seni dan zat sisa yang tidak mengandung nitrogen akan diubah menjadi karbohidrat dan lemak. Oksidasi 1 gram protein dapat menghasilkan energi 4 kalori. Kelebihan protein dalam tubuh dapat mengakibatkan pembengkakan hati dan ginjal karena beban kerja organ-organ tersebut lebih berat dalam menguraikan protein dan mengeluarkannya melalui air seni.

c. Pencernaan Lemak dalam Tubuh

Di dalam tubuh, lemak mengalami metabolisme. Lemak akan dihidrolisis menjadi asam lemak dan gliserol dengan bantuan enzim lipase. Proses ini berlangsung

dalam saluran pencernaan. Sebelum diserap usus, asam lemak akan bereaksi dengan garam empedu membentuk senyawa, seperti sabun. Selanjutnya, senyawa tersebut akan diserap jonjot usus dan akan terurai menjadi asam lemak dan garam empedu. Asam lemak tersebut akan bereaksi dengan gliserol membentuk lemak. Kemudian, diangkut oleh pembuluh getah bening >usus menuju pembuluh getah bening dada kiri. Selanjutnya, ke pembuluh balik bawah selangka kiri (Lihat Gambar 2.12!).



Gambar 162. Proses pencernaan lemak dalam tubuh
Sumber: mikirbae.com

Lemak dikirim dari tempat penimbunannya ke hati dalam bentuk lesitin untuk dihidrolisis menjadi asam lemak dan gliserol. Selanjutnya, gliserol akan diubah menjadi gula otot atau glikogen. Asam lemak akan diubah menjadi *asetil koenzim*.

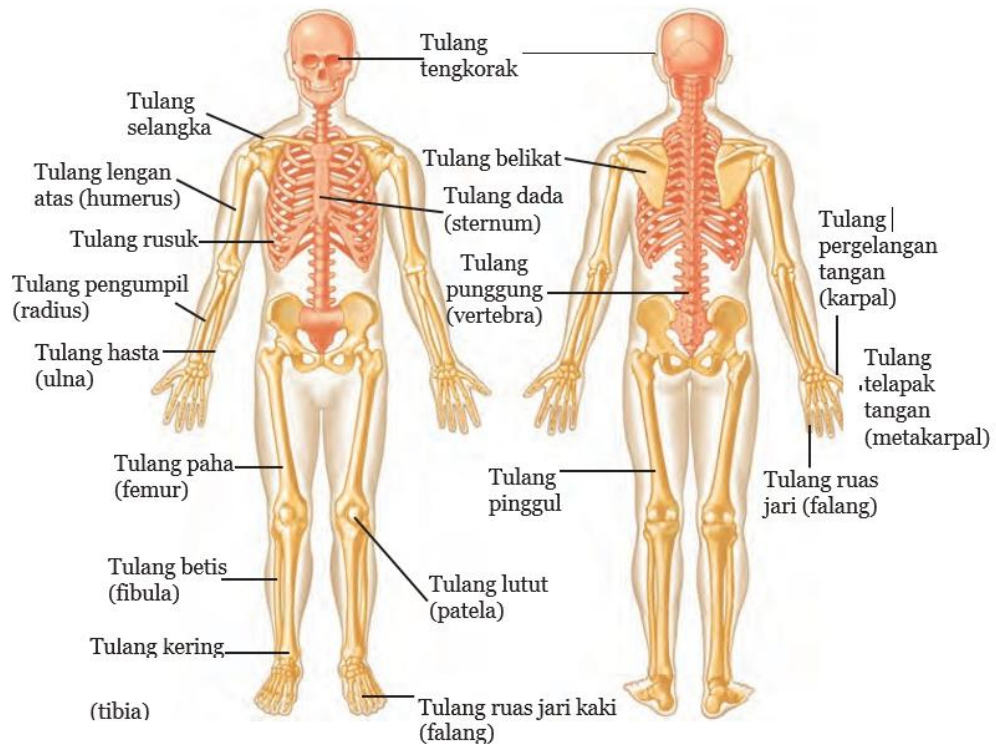
Gangguan metabolisme berupa tertimbunnya senyawa aseton yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan. Kesulitan bernapas terjadi karena meningkatnya tingkat keasaman dan jumlah CO₂ yang tertimbun. Kelainan ini dinamakan *asidosis*.

3. Sistem Gerak Manusia

- **Rangka**

Pada tubuh manusia terdapat banyak sekali jenis tulang. Misalnya, pada anggota tubuh bagian tangan terdapat 6 jenis tulang, yaitu tulang lengan atas (humerus),

tulang pengumpil (radius), tulang hasta (ulna), tulang pangkal telapak tangan (karpal), tulang ruas jari (falang), dan tulang telapak tangan (metakarpal). Apabila dihitung, jumlah seluruh tulang tubuh manusia dewasa terdiri dari 206 tulang. Perhatikan Gambar 2.35!



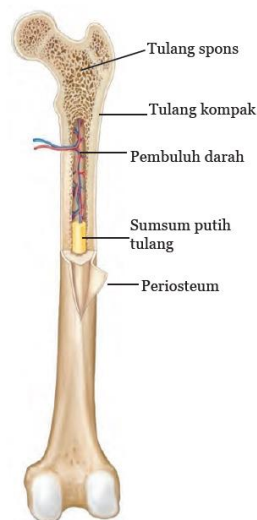
Gambar 163. Sistem Rangka Manusia
Sumber: Reece et al. 2012

Secara umum, ada empat fungsi utama tulang bagi tubuh, yaitu sebagai berikut.

- Memberikan bentuk pada tubuh dan menopang tubuh kita.
- Melindungi organ dalam, misalnya tulang rusuk melindungi jantung dan paru-paru, tulang tengkorak melindungi otak.
- Tempat menempelnya otot yang merupakan alat gerak aktif sehingga dapat menggerakkan tulang.
- Pada jenis tulang tertentu, seperti tulang paha (femur) tulang juga berfungsi sebagai tempat pembentukan sel darah. Sel darah dibentuk di bagian sumsum tulang, yaitu jaringan lunak yang terdapat di bagian tengah tulang.

a. Struktur Tulang

Terdapat benjolan pada bagian ujung tulang, berbentuk bulat serta terdapat titik-titik kasar pada bagian ujung, terdapat lekukan, tonjolan, dan lubang. Masing-masing bagian ini mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Lekukan dan tonjolan berfungsi sebagai tempat menempelnya otot. Lubang berfungsi sebagai tempat keluar masuknya pembuluh darah dan saraf.



Gambar 164. Struktur Tulang Manusia
Sumber: Shier et al. 2010

Permukaan tulang ditutupi oleh membran yang menempel dengan kuat, membran itu disebut periosteum. Pada periosteum terdapat pembuluh-pembuluh darah kecil yang berfungsi membawa zat-zat makanan ke dalam tulang. Membran ini juga penting dalam pertumbuhan dan perbaikan tulang. Pada bagian bawah periosteum terdapat tulang kompak atau disebut juga tulang keras, yaitu suatu lapisan tulang yang keras dan kuat. Tulang kompak mengandung sel-sel tulang, pembuluh-pembuluh darah, zat kapur dan fosfor, serta serabut elastis. Kerasnya tulang disebabkan karena tulang mengandung zat kapur dan fosfor. Sedangkan serabut-serabut elastis mempertahankan tulang agar tetap kuat, tidak mudah rapuh atau patah.

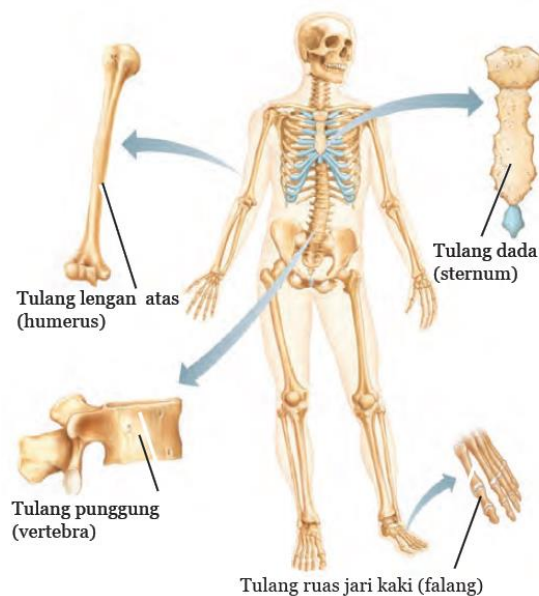
Tulang spons dalam tulang pipa atau tulang panjang terdapat di daerah ujung tulang. Tulang spons kurang kompak dan mempunyai banyak ruang-ruang kecil terbuka yang membuat tulang menjadi ringan. Tulang panjang mempunyai lubang atau saluran yang besar. Saluran-saluran itu terdapat di tengah tulang panjang

dan diisi oleh jaringan lemak yang disebut sumsum. Sumsum merah tulang berada di daerah tulang panjang bagian ujung di antara tulang spons, sedangkan sumsum kuning berada di tulang panjang bagian tengah dan sebagian besar berisi lemak. Pada orang sehat, sumsum tulang merah menghasilkan sel-sel darah merah dengan kecepatan sampai tiga juta sel per sekon. Sel-sel darah putih juga dihasilkan di dalam sumsum tulang, tetapi lebih sedikit jumlahnya.

Ujung tulang panjang ditutup dengan suatu lapisan jaringan tebal, lunak dan lentur, yang disebut dengan tulang rawan (kartilago). Tulang rawan tersusun atas sel-sel yang dikelilingi oleh matriks protein yang dihasilkan oleh sel-sel tersebut. Selain di ujung-ujung tulang panjang, tulang rawan juga dapat ditemukan di ujung-ujung tulang rusuk, dinding saluran pernapasan, hidung, dan telinga.

b. Macam-Macam Tulang pada SistemRangka

Tahukah Anda bentuk tulang yang ada pada tangan, tulang jari dan tulang pipi? Coba sekarang rabalah tulang lengan bawah, tulang jari-jari tangan, dan tulang pipi. Anda akan merasakan bahwa bentuk danukurantulang-tulangtersebuttidaksama. Bentuktulangmanusia dibedakan menjadi empat, yaitu: (1) tulang panjang, misalnya tulang lengan(*humerus*), (2) tulangpipih, misalnya tulangdada(*sternum*), (3) tulang pendek, misalnya tulang ruas jari (*falang*), dan (4) tulang tidak beraturan, misalnya tulang punggung (*vertebra*). Agar Anda memahaminya, coba perhatikan Gambar 2.23!



Gambar 2.37. Macam Tulang Berdasarkan Bentuk dan Ukurannya
Sumber: Shier et al. 2010

- **Otot**

- a. **Fungsi Otot**

Otot adalah penggerak bagian- bagian tubuh, sehingga otot disebut alat gerak aktif. Hampir 35 hingga 40 persen massa tubuh adalah jaringan otot seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.38. Otot adalah jaringan yang dapat berkontraksi menjadi lebih pendek. Proses kontraksi ini mengakibatkan bagian-bagian tubuhmu bergerak. Pada kontraksi ini diperlukan energi.

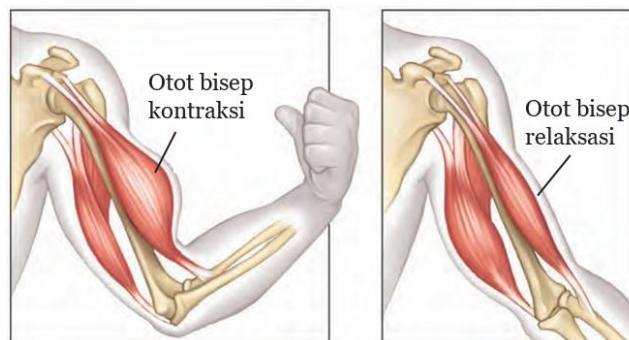


Gambar 165. Otot pada Manusia
Sumber: Marieb et al. 2012

Otot yang bekerja di bawah kesadaran adalah otot yang kerjanya dapat Anda kendalikan. Prinsip kerja otot ini adalah dapat dikendalikan, artinya Anda dapat mengendalikan apakah harus menggerakkan atau tidak menggerakkan otot-otot tersebut. Sebagai contohnya, kerja otot-otot pada saat Anda makan, menulis, berlari serta aktivitas-aktivitas lainnya yang Anda lakukan secara sadar. Selain otot yang bekerja di bawah kesadaran, ada juga otot yang bekerja di luar kesadaran. Otot yang bekerja di luar kesadaran adalah otot yang tidak dapat Anda kendalikan secara sadar. Prinsip kerja otot ini adalah tidak dapat dikendalikan, artinya Anda tidak dapat mengendalikan apakah harus menggerakkan atau tidak

menggerakkan otot-otot tersebut. Otot-otot tersebut bekerja sepanjang hari, sepanjang hidup di luar kesadaran Anda. Contoh dari aktivitas otot ini antara lain aktivitas jantung untuk selalu memompa darah ke seluruh tubuh, aktivitas otot-otot lambung untuk mencerna makanan secara mekanik.

Simaklah gambar 2.39, apakah yang akan terjadi pada diameter otot lengan Anda ketika meluruskan atau membengkokkan tangan. Diameter lengan Anda akan membesar karena otot lengan dalam keadaan kontraksi. Pada saat melakukan kontraksi otot akan memadat dan memendek, sehingga pada saat diukur diameter otot akan membesar. Sebaliknya, pada saat otot dalam keadaan relaksasi, otot akan memanjang, sehingga pada saat diukur diameter otot akan mengecil.



Gambar 166. Kondisi Otot pada saat Berkontraksi dan Relaksasi
Sumber: Reece et al. 2012

Sekarang Anda telah mengetahui prinsip kerja dari otot. Anda harus banyak bersyukur kepada Tuhan karena Tuhan telah menciptakan otot-otot tersebut sehingga seluruh aktivitas tubuh dapat bekerja terus tanpa harus Anda kendalikan. Bayangkan jika Tuhan tidak menciptakan otot-otot tersebut, maka Anda tidak akan dapat tidur dengan pulas karena Anda harus mengontrol otot jantung agar tetap dapat memompa darah ke seluruh tubuh selama Anda tidur.

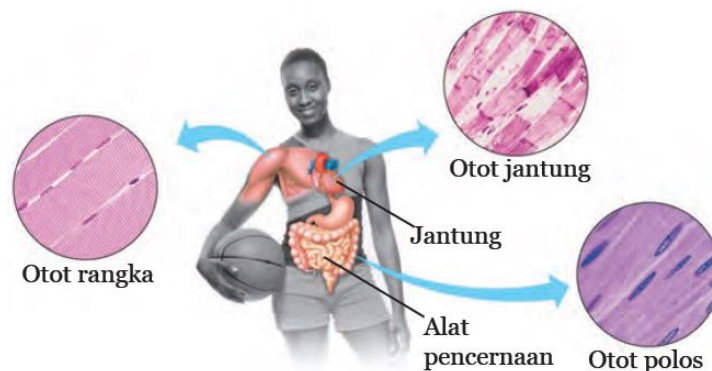
b. Tiga Jenis Jaringan Otot

Untuk mempelajari jaringan otot, simaklah penjelasan berikut ini!

1) Otot Rangka

Otot Rangka adalah otot yang paling banyak terdapat di dalam tubuh. Jika diamati di bawah mikroskop, sel-sel otot rangka terlihat bergaris-garis melintang, sehingga

otot ini juga disebut dengan otot lurik. Otot rangka melekat pada tulang dengan perantara tendon. Tendon adalah pita tebal, berserat, dan liat yang melekatkan otot pada tulang. Otot rangka tergolong otot sadar. Anda dapat mengontrol penggunaan otot ini. Anda dapat menentukan kapan berjalan dan kapan tidak. Otot rangka cenderung cepat berkontraksi dan cepat lelah. Agar Anda mengetahui posisi otot rangka yang melekat pada tendon, perhatikan Gambar 2.40!



Gambar 167. Tiga Jenis Otot pada Tubuh Manusia
Sumber: Reece et al. 2012

2) Otot Polos

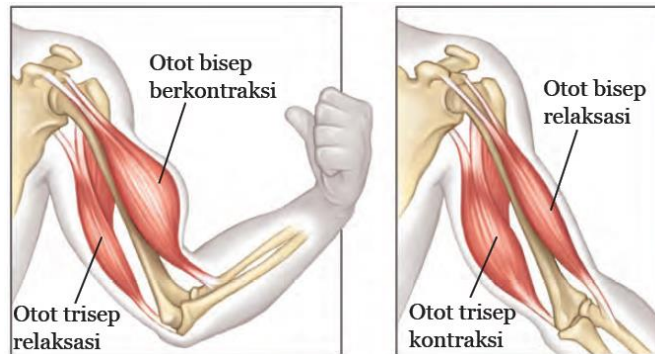
Otot polos terdapat pada dinding lambung usus halus, rahim, kantung empedu, dan pembuluh darah. Otot polos berkontraksi dan berelaksasi dengan lambat. Otot ini berbentuk gelendong serta memiliki sebuah inti pada tiap selnya. Berdasarkan cara kerjanya, otot polos tergolong dalam otot tak sadar.

3) Otot Jantung

Otot jantung hanya ditemukan di jantung. Otot jantung mempunyai garis-garis seperti otot rangka. Sebaliknya, cara kerja otot jantung mirip otot polos karena tergolong otot tidak sadar. Otot jantung berkontraksi sekitar 70 kali per menit sepanjang hari selama hidupmu. Anda mengetahui bahwa otot jantung berkontraksi pada saat jantung berdenyut. Otot ini tidak dapat dikontrol oleh kemauan sadarmu.

Tahukah Anda bahwa ternyata otot kita juga ada yang bekerja secara berlawanan. Maksudnya pada saat melakukan sebuah gerakan meskipun gerakan itu dilakukan secara bersamaan tetapi proses kontraksi dan relaksasi antara otot satu dengan otot lainnya berlangsung secara berlawanan. Agar Anda lebih memahami

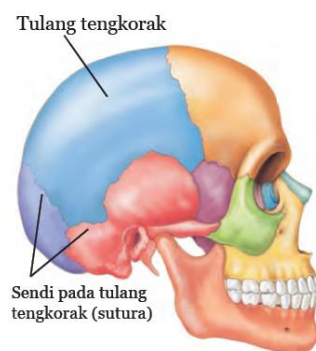
maksud dari pernyataan di atas, perhatikan Gambar 2.41! Pada gambar tersebut terlihat jelas bahwa pada saat tangan dilipat, otot bicep berkontraksi sedangkan otot trisep relaksasi. Sebaliknya, pada saat tangan direntangkan, otot bicep relaksasi sedangkan otot trisep berkontraksi.



Gambar 168. Mekanisme Kerja dari Otot Bicep dan Otot Trisep
Sumber: Reece et al. 2012

- **Sendi**

Sendi adalah tempat bertemunya dua tulang atau lebih. Dengan adanya sendi, hubungan antara tulang-tulang tubuh dapat digerakkan.

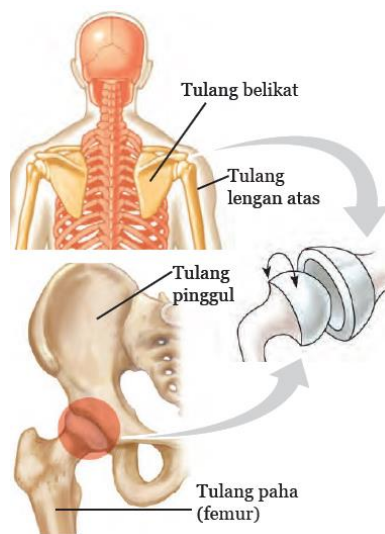


Gambar 2.42. Sendi yang Tidak Dapat Digerakkan (Sendi Mati)
Sumber: Reece et al. 2012

Sendi dapat dikelompokkan berdasarkan banyak sedikitnya gerakan yang memungkinkan dilakukan. Sendi yang tidak dapat digerakkan disebut dengan sinartrosis, misalnya sendi yang terdapat pada tulang tengkorak. Perhatikan Gambar 2.28! Sendi yang dapat digerakkan namun terbatas disebut dengan amfiartrosis, misalnya sendi antarruas tulang belakang. Sendi yang dapat digerakkan dengan bebas disebut dengan diartrosis. Berikut ini beberapa jenis persendian yang dapat digerakkan dengan bebas.

a. Sendi Peluru

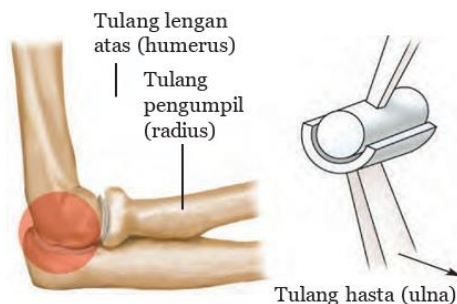
Sendi peluru menghubungkan antara satu tulang yang mempunyai satu ujung bulat yang masuk ke ujung tulang lain yang berongga seperti mangkok. Sendi ini dapat membentuk gerakan sangat bebas. Contoh sendi peluru adalah sendi antara tulang lengan atas dan tulang belikat, serta antara tulang pinggul dan tulang paha. Adanya sendi ini memungkinkan tulang-tulang tersebut dapat diayunkan ke arah manapun. Perhatikan Gambar 2.29!



Gambar 169. Sendi Peluru
Sumber: Reece et al. 2012

b. Sendi Engsel

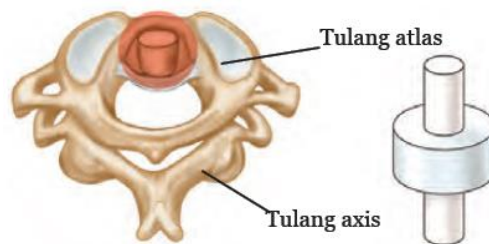
Tipe sendi ini mempunyai gerakan satu arah, ada yang ke depan dan ada yang ke belakang seperti engsel pintu. Contoh sendi engsel antara lain sendi-sendi pada siku dan lutut. Perhatikan Gambar 2.44! Sendi ini memiliki ruang gerak yang lebih sempit dibandingkan sendi peluru.



Gambar 2.44. Sendi Engsel
Sumber: Reece et al. 2012

c. Sendi Putar

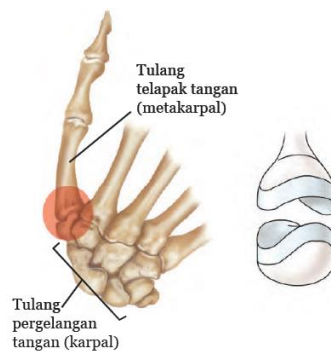
Pada sendi putar salah satu tulang berfungsi sebagai poros dan ujung tulang yang lain berbentuk cincin yang dapat berputar pada poros tersebut. Contohnya adalah persendian yang terdapat di antara tulang tengkorak dengan tulang leher. Perhatikan Gambar 2.45! Sendi tersebut memungkinkan kepala kita dapat memutar, mengangguk, serta menggeleng.



Gambar 2.45. Sendi Putar
Sumber: Reece et al. 2012

d. Sendi Pelana

Pertemuan antara dua tulang yang berbentuk seperti pelana disebut dengan sendi pelana. Sendi ini dapat menggerakkan tulang ke dua arah, yaitu muka-belakang dan ke samping. Contoh sendi ini adalah pada pangkal ibu jarimu. Perhatikan Gambar 2.46!

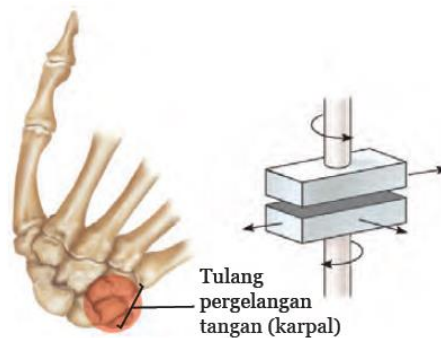


Gambar 2.46. Sendi Pelana
Sumber: Reece et al. 2012

e. Sendi Geser

Sendi geser menghubungkan antara dua tulang yang memiliki permukaan yang datar. Prinsip kerja sendi ini adalah satu bagian tulang bergerak menggeser di atas tulang lain. Perhatikan Gambar 2.47! Sendi geser juga memungkinkan tulang

bergerak ke depan dan ke belakang. Contoh sendi geser berada pada tulang-tulang pergelangan tangan dan pergelangan kaki dan di antara tulang belakang. Sendi ini merupakan sendi yang paling sering digunakan dalam melakukan aktivitas sehari-hari, misalnya mengambil buku, naik tangga, makan, dan beberapa aktivitas lainnya.



Gambar 170. Sandi Geser
Sumber: Reece et al. 2012

4. Tekanan Zat pada Makhluk Hidup

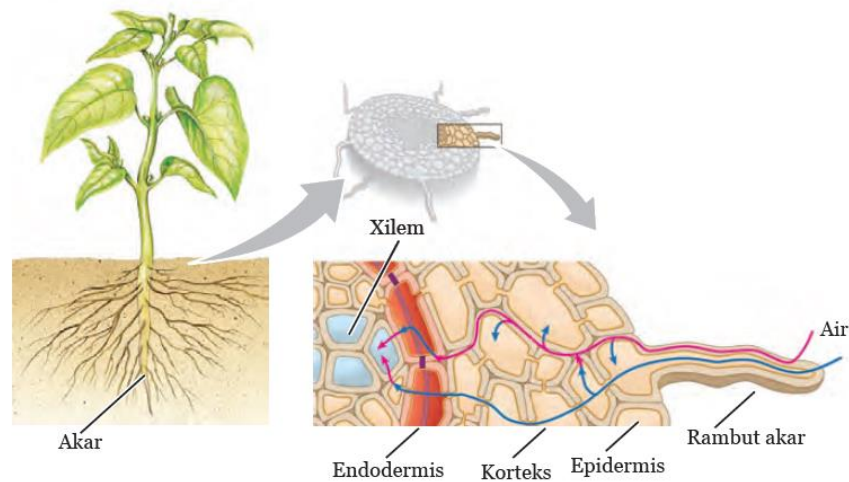
Konsep tekanan zat juga terdapat pada makhluk hidup, misalnya pada mekanisme pengangkutan air dan nutrisi pada tumbuhan, tekanan darah manusia, dan tekanan gas pada proses pernapasan.

- **Pengangkutan Air dan Nutrisi pada Tumbuhan**

Xilem dan floem adalah jaringan seperti tabung yang berperan dalam sistem pengangkutan pada tumbuhan. Air dan mineral dari dalam tanah akan diserap oleh akar, kemudian diangkut melalui xilem ke bagian batang dan daun tumbuhan. Zat makanan yang dibuat di daun akan diangkut melalui floem ke bagian lain tumbuhan yang memerlukan zat makanan. Lalu bagaimana mekanisme pengangkutan air, mineral, dan nutrisi tersebut?

5. Pengangkutan Air pada Tumbuhan

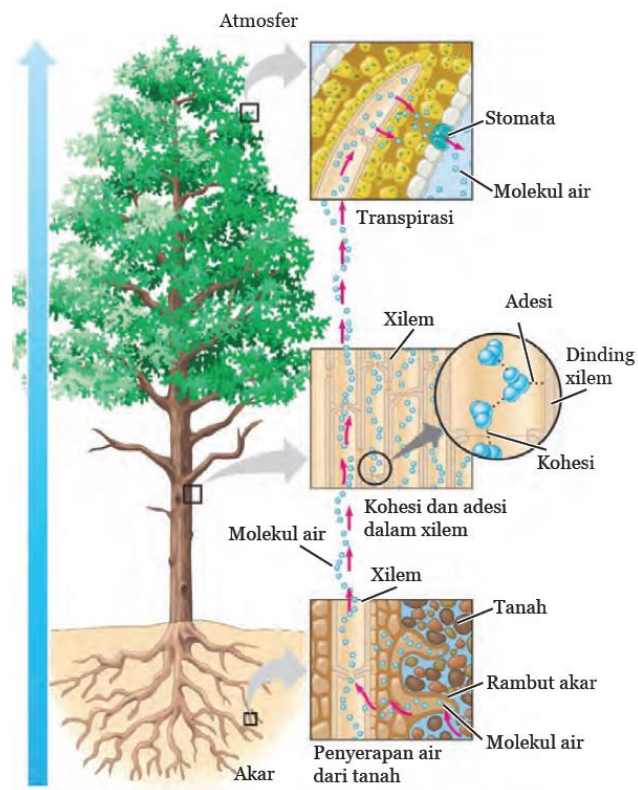
Perhatikan Gambar 3.21 untuk mengetahui jaringan yang dilalui oleh air ketika masuk ke dalam akar.



Gambar 171. Jalur pengangkutan air ketika masuk ke dalam akar
Sumber: Dok. Kemdikbud

Pertama-tama, air diserap oleh rambut-rambut akar. Kemudian, air masuk ke sel epidermis melalui proses secara osmosis. Selanjutnya, air akan melalui korteks. Dari korteks, air kemudian melalui endodermis dan perisikel. Selanjutnya, air masuk ke jaringan xilem yang berada di akar. Setelah tiba di xilem akar, air akan bergerak ke xilem batang dan ke xilem daun!

Tumbuhan tidak mempunyai mekanisme pemompaan cairan seperti pada jantung manusia. Lalu, bagaimanakah air dapat naik dari akar ke bagian tumbuhan lain yang lebih tinggi? Perhatikan Gambar 3.22 tentang pergerakan air dari akar menuju daun!



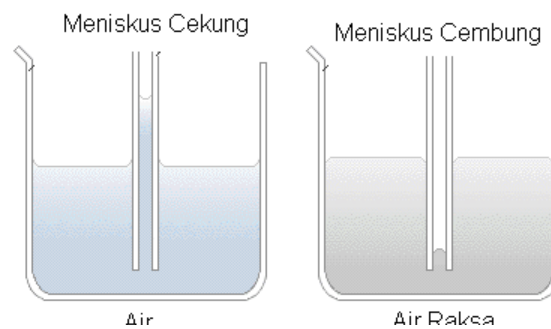
Gambar 172. Pengangkutan air dari akar menuju daun
Sumber: Campbell *et al.* 2008

Air dapat diangkut naik dari akar ke bagian tumbuhan lain yang lebih tinggi dan diedarkan ke seluruh tubuh tumbuhan karena adanya daya kapilaritas batang. Sifat ini seperti yang terdapat pada pipa kapiler. Pipa kapiler memiliki bentuk yang hampir menyerupai sedotan akan tetapi diameternya sangat kecil. Apabila salah satu ujung pipa kapiler dimasukkan ke dalam air, air yang berada pada pipa tersebut akan lebih tinggi daripada air yang berada di sekitar pipa kapiler. Begitu pula pada batang tanaman, air yang berada pada batang tanaman akan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan air yang berada pada tanah.

Daya kapilaritas batang dipengaruhi oleh adanya gaya kohesi dan adhesi. Kohesi merupakan kecenderungan suatu molekul untuk dapat berikatan dengan molekul lain yang sejenis. Adhesi adalah kecenderungan suatu molekul untuk dapat berikatan dengan molekul lain yang tidak sejenis. Melalui gaya adhesi, molekul air membentuk ikatan yang lemah dengan dinding pembuluh. Melalui gaya kohesi akan terjadi ikatan antara satu molekul air dengan molekul air lainnya. Hal ini akan

menyebabkan terjadinya tarik-menarik antara molekul air yang satu dengan molekul air lainnya di sepanjang pembuluh xilem.

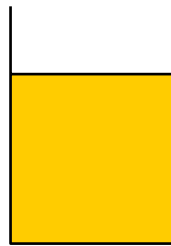
Gaya kohesi maupun gaya adhesi mempengaruhi bentuk permukaan zat cair dalam wadahnya. Misalkan ke dalam dua buah tabung reaksi masing-masing diisi air dan air raksa. Apa yang terjadi ? Permukaan air dalam tabung reaksi berbentuk cekung disebut meniskus cekung sedangkan permukaan air raksa dalam tabung reaksi berbentuk cembung disebut meniskus cembung. Hal itu dapat dijelaskan bahwa gaya adhesi molekul air dengan molekul kaca lebih besar daripada gaya kohesi antar molekul air, sedangkan gaya adhesi molekul air raksa dengan molekul kaca lebih kecil daripada gaya kohesi antara molekul air raksa.



Meniskus cekung dan meniskus cembung

Meniskus cembung maupun meniskus cekung menyebabkan sudut kontak antara bidang wadah (tabung) dengan permukaan zat cair berbeda besarnya. Meniskus cembung menimbulkan sudut kontak tumpul ($> 90^\circ$), sedangkan meniskus cekung menimbulkan sudut kontak lancip ($< 90^\circ$).

Gaya kohesi dan gaya adhesi juga berpengaruh pada gejala kapilaritas. Sebuah pipa kapiler kaca bila dicelupkan pada tabung berisi air akan dijumpai air dapat naik ke dalam pembuluh kaca pipa kapiler, sebaliknya bila pembuluh pipa kapiler dicelupkan pada tabung berisi air raksa akan dijumpai bahwa air raksa di dalam pembuluh kaca pipa kapiler lebih rendah permukaannya dibandingkan permukaan air raksa dalam tabung.



Gambar:

Pipa kapiler

Jadi kapilaritas sangat tergantung pada kohesi dan adhesi. Air naik dalam pembuluh pipa kapiler dikarenakan adhesi sedangkan air raksa turun dalam pembuluh pipa kapiler dikarenakan kohesi. Perhatikan gambar berikut ini.

Pada air: Permukaannya cekung, pada pipa kapiler permukaannya lebih tinggi, karena adhesinya lebih kuat dari kohesinya sendiri.

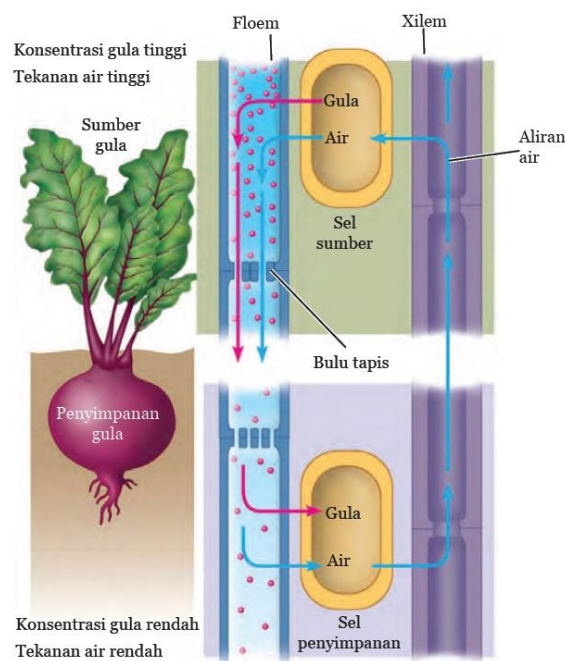
Pada raksa: Permukaannya cembung, sedangkan pada pipa kapiler permukaannya lebih rendah, karena kohesi air raksa lebih besar dari adhesi antara air raksa dengan kaca.

Selain disebabkan oleh gaya kohesi dan adhesi, naiknya air ke daun disebabkan oleh penggunaan air di bagian daun atau yang disebut dengan daya isap daun. Air dimanfaatkan oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis. Pada daun, air juga mengalami penguapan. Penguapan air oleh daun disebut transpirasi. Penggunaan air oleh bagian daun akan menyebabkan terjadinya tarikan terhadap air yang berada pada bagian xilem sehingga air yang ada pada akar dapat naik ke daun.

6. Pengangkutan Nutrisi pada Tumbuhan

Semua bagian tumbuhan, yaitu akar, batang, daun, dan bagian lainnya memerlukan nutrisi. Agar kebutuhan nutrisi di setiap bagian tumbuhan terpenuhi, maka dibutuhkan suatu proses pengangkutan nutrisi hasil fotosintesis berupa gula dan asam amino ke seluruh tubuh tumbuhan. Pengangkutan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh tubuh tumbuhan terjadi melalui pembuluh floem.

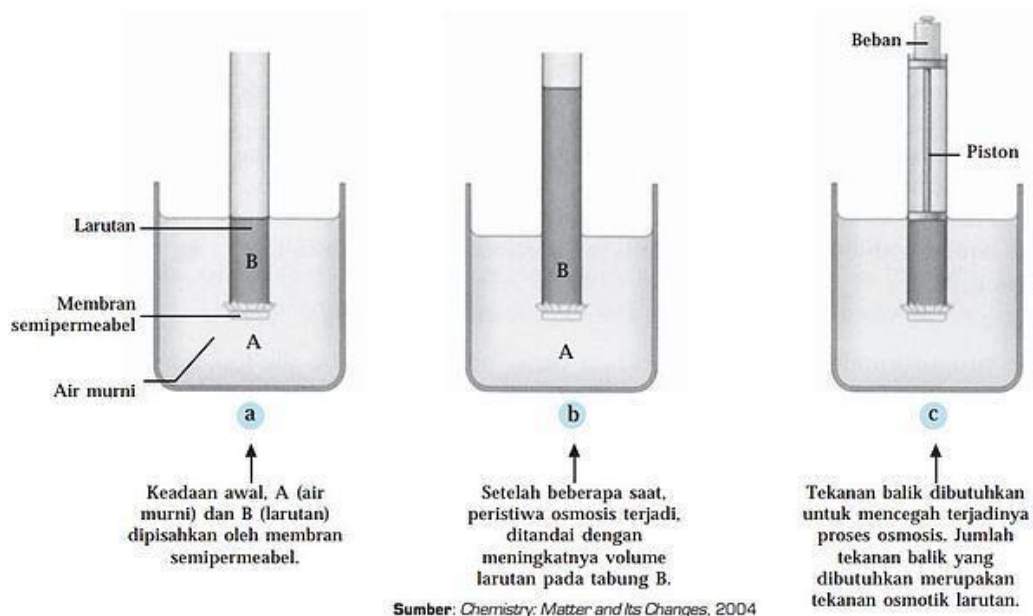
Pengangkutan zat-zat hasil fotosintesis dimulai dari sumbernya, yaitu daun (daerah yang memiliki konsentrasi gula tinggi) ke bagian tanaman lain yang dituju (daerah yang memiliki konsentrasi gula rendah) dengan dibantu oleh sirkulasi air yang mengalir melalui pembuluh xilem dan floem. Perhatikanlah Gambar 3.23!



Gambar 173. Pengangkutan nutrisi hasil fotosintesis pada tumbuhan
Sumber: Reece *et al.* 2012

7. Tekanan Osmotik

Osmosis adalah peristiwa difusi atau perpindahan pelarut dari suatu larutan lebih encer atau pelarut murni ke larutan yang lebih pekat melalui membran semipermeabel. Supaya kamu lebih paham, coba perhatikan gambar di bawah ini. Pada gambar tersebut ada dua wadah yang diisi air murni (A) dan suatu larutan (B). Keduanya dipisahkan oleh membran semipermeabel yang hanya bisa dilalui oleh molekul air saja.



Proses osmosis dengan membran semipermeabel

Gambar (a) menggambarkan kondisi awal, setelah beberapa lama akan tampak seperti gambar (b). Permukaan larutan B menjadi naik, sedangkan permukaan air murni B turun, hingga kesetimbangan tercapai. Tekanan balik dibutuhkan untuk menahan terjadinya osmosis seperti di gambar (c) yang besarnya tentu sama dengan tekanan pada peristiwa osmosis.

Jika kondisi antara dua larutan sama besar maka disebut isotonik. Apabila, salah satunya lebih besar disebut hipertonic, dan jika lebih rendah disebut hipotonic. Tekanan osmotik adalah tekanan hidrostatik yang terbentuk pada larutan untuk

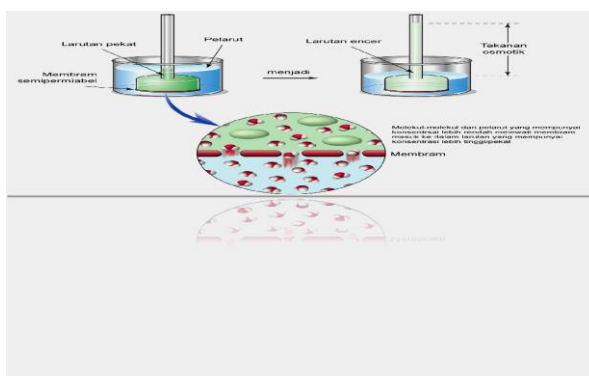
menghentikan proses osmosis pelarut ke dalam larutan melalui membran semipermeabel.

Seperti yang telah disebutkan, besarnya tekanan luar (tekanan osmotik) adalah sama dengan tekanan untuk melakukan osmosis tersebut. Tekanan osmotik juga dapat didefinisikan sebagai tekanan luar yang diberikan pada larutan untuk menghentikan proses osmosis pelarut ke dalam larutan melalui membran semipermeabel.

Jadi secara umum, pengertian tekanan ini adalah suatu larutan sama dapat berupa tekanan hidrostatik yang terbentuk dalam larutan atau tekanan luar yang diberikan pada larutan untuk menghentikan proses osmosis.

Tekanan yang timbul dari larutan yang berfungsi menahan agar molekul pelarut tidak dapat masuk ke dalam larutan. Masuknya molekul pelarut ke dalam larutan atau masuknya pelarut dari larutan yang encer ke dalam larutan yang lebih pekat melalui **Selaput semi permeabel**.

Perhatikan gambar :



Menurut **Van't Hoff** tekanan osmosis suatu larutan sama dengan tekanan gas zat terlarut jika zat itu terdapat dalam keadaan gas pada temperatur dan volume yang sama dengan temperatur dan volume larutan tersebut

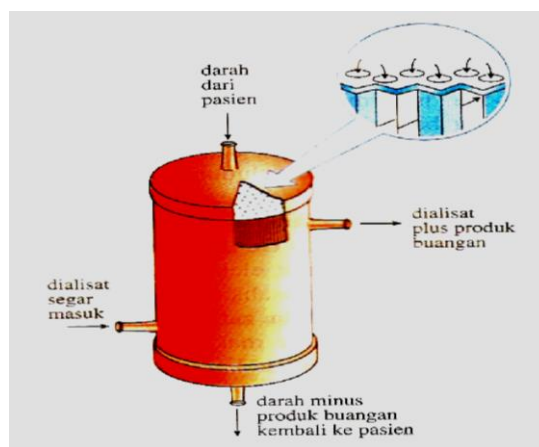
Proses Osmosis dalam Kehidupan Sehari-hari:

1. Sel darah merah diletakkan di dalam larutan NaCl 0,9 %, sel darah merah akan tetap. Lar NaCl 0,9% bersifat **isotonik** terhadap sel darah merah,

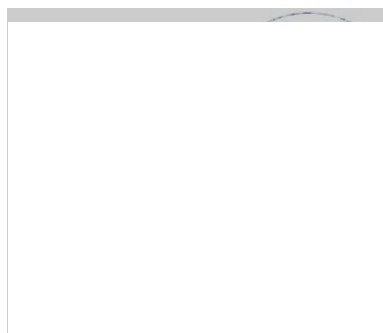
Dimana;

Sel darah merah diletakkan di dalam larutan NaCl 5 %, sel darah merah akan mengerut. Larutan NaCl 5 % bersifat hipertonik terhadap sel darah merah

2. Air tanah dapat masuk ke tanaman melalui sel akar lalu naik ke batang tanaman. Fenomena ini tergolong proses osmosis. Tumbuhan dapat menyerap air dari dalam tanah, kemudian mendistribusikannya ke seluruh bagian tumbuhan yang letaknya lebih tinggi. Air dapat masuk ke dalam sel tanaman, tetapi zat dalam sel tanaman tidak dapat keluar. Hal ini dikarenakan adanya selaput semipermeabel.



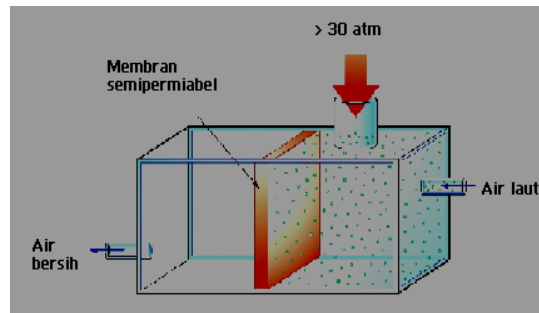
3. Proses pemisahan hasil metabolisme dari darah oleh ginjal juga merupakan proses **dialisis**. Jaringan ginjal sebagai selaput semipermeabel dapat dilewati air dan molekul-molekul kecil. Orang yang mengalami gagal ginjal dapat menjalani cuci darah, dimana fungsi ginjal diganti oleh mesin dialisator.



Osmosis Balik

Tekanan osmotik adalah tekanan yang diperlukan untuk menghentikan aliran pelarut dari larutan encer/pelarut ke larutan lebih pekat. Jika tekanan yang diberikan lebih besar dari tekanan osmotiknya, maka akan terjadi aliran pelarut

dari larutan pekat menuju ke larutan encer. Pemberian tekanan berlebih ini dikenal dengan osmosis balik yang dapat digunakan untuk memisahkan zat beracun dalam limbah industri, mendapatkan air minum dari air laut.



- **Tekanan Darah pada Sistem Peredaran Darah Manusia**

Tekanan yang terdapat pada pembuluh darah memiliki prinsip kerja seperti hukum Pascal. Hal ini karena tekanan pada pembuluh darah merupakan tekanan yang berada pada ruang tertutup. Pada saat jantung memompa darah, darah akan mendapatkan dorongan sehingga mengalir melalui pembuluh darah. Saat mengalir dalam pembuluh darah, darah memberikan dorongan pada dinding pembuluh darah yang disebut dengan tekanan darah. Agar tekanan darah tetap terjaga, maka pembuluh darah harus terisi penuh oleh darah. Bila terjadi kehilangan darah akibat kecelakaan atau penyakit, tekanan darah dapat hilang, sehingga darah tidak dapat mengalir menuju sel-sel di seluruh tubuh. Akibatnya, sel-sel tubuh akan mati karena tidak mendapatkan pasokan oksigen dan nutrisi.

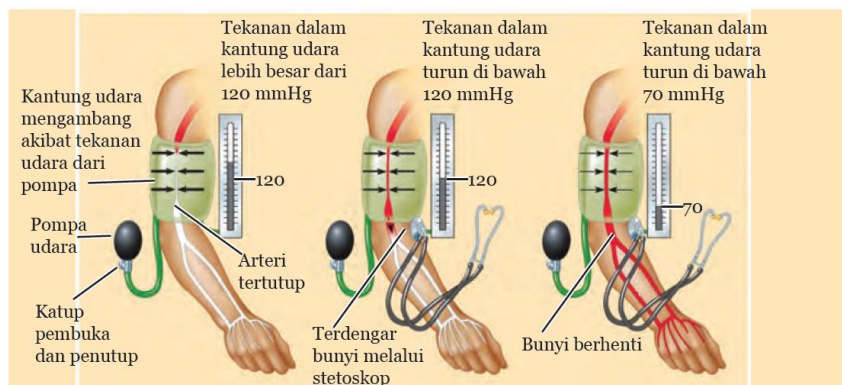
Tekanan darah diukur dengan menggunakan sebuah alat yang bernama *sphygmomanometer*, ada pula yang menyebutnya dengan tensimeter seperti yang terdapat pada Gambar 3.24.



Gambar 174.Sphygmomanometer
Sumber: Markuso, 2011

Tekanan darah diukur di dalam pembuluh nadi (arteri) besar yang biasanya dilakukan di tangan bagian lengan atas. Coba perhatikan Gambar 3.25! Tekanan darah yang normal berkisar antara 120/80 mmHg. Angka pertama menunjukkan tekanan saat bilik berkontraksi dan darah terdorong keluar dari bilik jantung melalui pembuluh arteri disebut angka sistol. Angka kedua, yaitu yang lebih rendah adalah hasil pengukuran tekanan saat bilik relaksasi dan darah masuk menuju bilik jantung, tepat sebelum bilik-bilik ini berkontraksi lagi, disebut angka diastol.

Gambar 175.Sphygmomanometer



Gambar 3.25.Cara mengukur tekanan darah
Sumber: Campbell *et al.* 2008

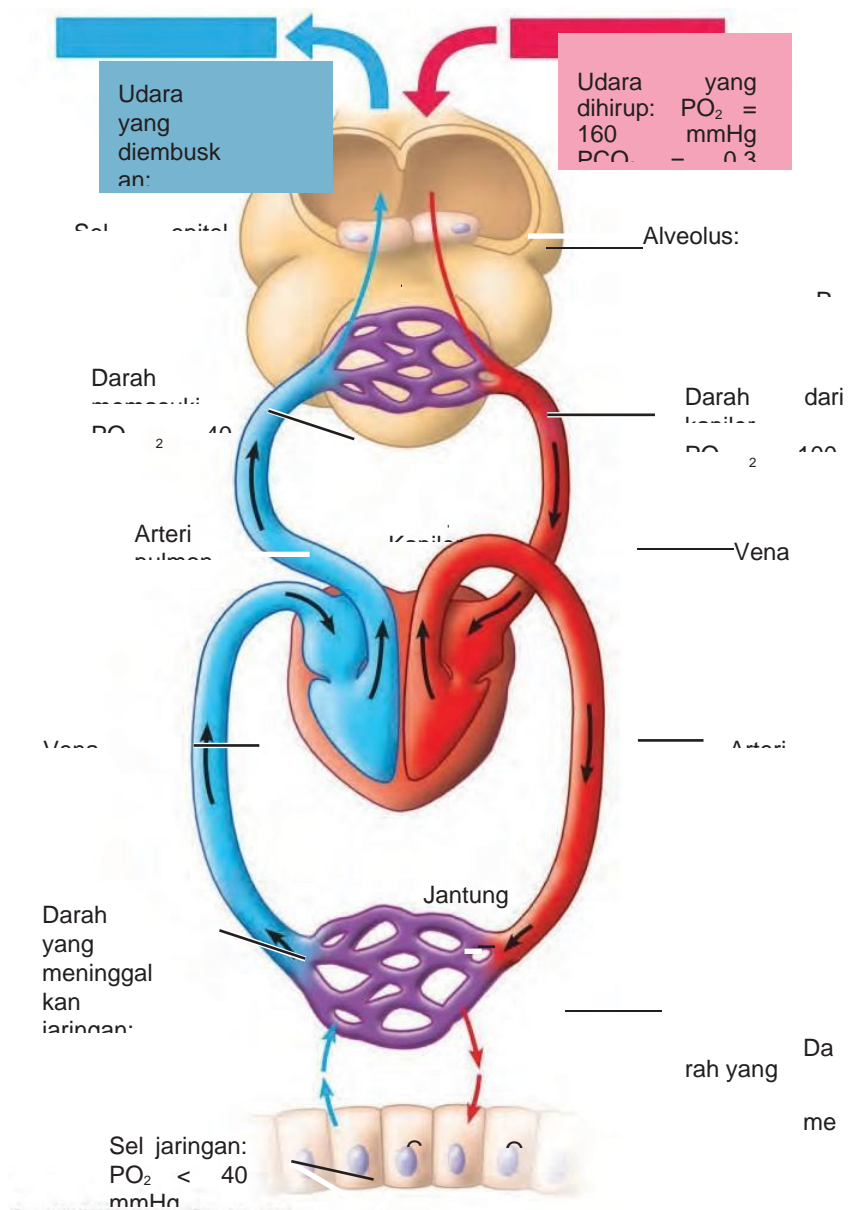
Pada proses pengukuran tekanan darah juga berlaku hukum Pascal. Dengan demikian, tekanan darah yang berada pada bagian aorta, akan sama dengan tekanan yang ada pada arteri atau pembuluh nadi yang ada di lengan atas atau di bagian tubuh yang lainnya.

- **Tekanan Gas pada Proses Pernapasan Manusia**

Di dalam paru-paru tepatnya di alveolus terjadi pertukaran antara oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2). Setiap menit paru-paru dapat menyerap sekitar 250 mL O_2 dan mengeluarkan sebanyak 200 mL CO_2 . Proses pertukaran antara O_2 dengan CO_2 terjadi secara difusi, yaitu proses perpindahan zat terlarut dari daerah yang memiliki konsentrasi dan tekanan parsial tinggi ke daerah yang memiliki konsentrasi dan tekanan parsial rendah.

Tekanan parsial adalah tekanan yang diberikan oleh gas tertentu dalam campuran gas tersebut. Pada bagian ini yang dimaksud dengan tekanan parsial adalah tekanan O_2 dan CO_2 yang terlarut di dalam darah. Tekanan parsial O_2 diberi simbol PO_2 , sedangkan tekanan parsial CO_2 diberi simbol PCO_2 . Pada sistem peredaran darah, tekanan parsial antara O_2 dan CO_2 bervariasi pada setiap organ. Darah yang masuk ke paru-paru melalui arteri pulmonalis memiliki PO_2 yang lebih rendah dan PCO_2 yang lebih tinggi daripada udara di dalam alveoli (alveoli merupakan jamak dari alveolus).

Pada saat darah memasuki kapiler alveoli, CO_2 yang terkandung dalam darah berdifusi menuju alveoli dan O_2 yang terkandung dalam udara di alveoli berdifusi ke dalam darah. Akibatnya PO_2 dalam darah menjadi naik (banyak mengandung oksigen) dan PCO_2 dalam darah menjadi turun (sedikit mengandung karbondioksida). Darah tersebut selanjutnya menuju ke jantung, kemudian dipompa ke seluruh bagian tubuh. Pada saat darah tiba di jaringan tubuh, O_2 dalam darah tersebut mengalami difusi menuju jaringan tubuh. Kandungan CO_2 dalam jaringan tubuh lebih besar dari pada kandungan CO_2 dalam darah, sehingga CO_2 dalam jaringan tubuh mengalami difusi ke dalam darah. Setelah melepaskan O_2 dan membawa CO_2 dari jaringan tubuh, darah kembali menuju jantung dan dipompa lagi ke paru-paru. Perhatikan Gambar 3.26!



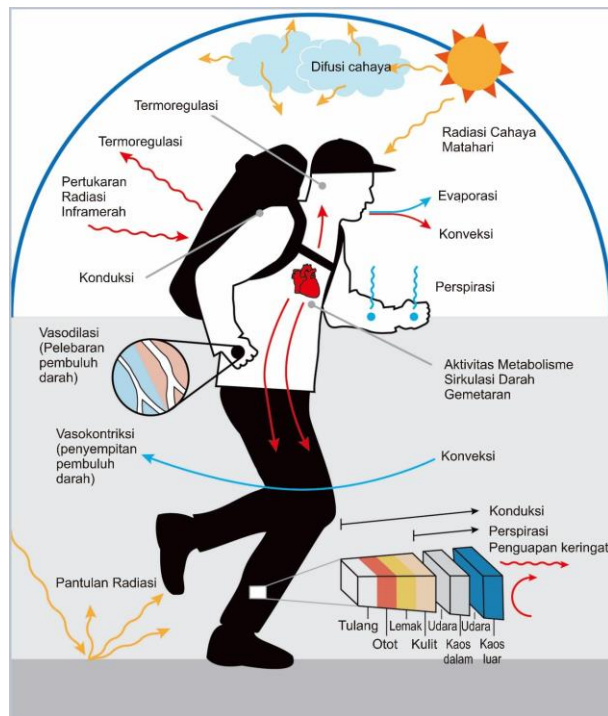
Gambar 176. Difusi Gas pada Proses Pernapasan dan Sirkulasi
Sumber: Reece *et al.* 2012

8. Pengaturan Suhu pada Makhluk Hidup

- Mekanisme Pengaturan Suhu Tubuh Manusia

Manusia memiliki mekanisme pengaturan untuk bisa mempertahankan suhu tubuh tetap optimal dalam berbagai macam kondisi lingkungan. Suhu tersebut, utamanya dipertahankan pada suhu 37°C apabila diukur secara oral atau melalui mulut. Akan tetapi, suhu tubuh masih dianggap normal apabila suhu tubuh dalam rentang 35,5°C pada pagi hari hingga 37,7°C pada malam hari. Rata-ratanya adalah 36,7°C. Pengaturan suhu ini amat penting supaya metabolisme sel tetap optimal. Istilah ini kita sebut sebagai termoregulasi.

Termoregulasi adalah suatu mekanisme makhluk hidup untuk mempertahankan suhu internal agar berada di dalam kisaran yang dapat ditolerir. Proses yang terjadi pada hewan untuk mengatur suhu tubuhnya agar tetap konstan dinamis. Mekanisme Termoregulasi terjadi dengan mengatur keseimbangan antara perolehan panas dengan pelepasan panas. Termoregulasi manusia berpusat pada hypothalamus anterior terdapat tiga komponen pengatur atau penyusun sistem pengaturan panas, yaitu termoreseptor, hypothalamus, dan saraf eferen serta termoregulasi dapat menjaga suhu tubuhnya, pada suhu-suhu tertentu yang konstan biasanya lebih tinggi dibandingkan lingkungan sekitarnya.



Gambar 177. Termoregulasi pada manusia
Sumber: sekedarperawat.blogspot.co.id

Mengapa Anda dapat Berkeringat?

Sistem tubuh manusia bekerja optimal pada suhu 36,5°C hingga 37,5°C. Seringkali aktivitas dan lingkungan sekitar memaksa tubuh manusia bereaksi untuk menjaga agar suhu tubuhnya tetap optimal.



Gambar 178. Anda berkeringat saat berolahraga untuk mengeluarkan panas tubuh
Sumber: <http://www.wordpress.com>

Pada saat Anda beraktivitas, misalnya berolahraga akan terjadi peningkatan proses perubahan energi kimia makanan menjadi energi gerak (Gambar 4.35). Proses ini menghasilkan panas yang dapat meningkatkan suhu tubuh. Pada saat ini, mekanisme dalam tubuh Anda memberi perintah agar tubuh berkeringat. Pada saat keringat itu menguap, proses penguapan keringat memerlukan kalor. Kalor ini diambil dari kulit tubuhmu, sehingga tubuh Anda yang memanas itu menjadi dingin, dan kembali ke suhu optimal. Pada saat itu, mengapa Anda merasa nyaman jika dikipasi? Saat dikipasi, proses penguapan keringat itu terjadi lebih cepat, sehingga tubuhmu segera kembali ke suhu optimumnya.

Pada konveksi, panas berpindah melalui aliran udara atau air. Misalnya dengan hembusan dari kipas angin maupun seperti pada saat mengendarai sepeda atau kendaraan dengan jendela terbuka. Itulah mengapa pada kondisi tersebut, kita cenderung merasa lebih dingin. Sementara itu, evaporasi berkaitan dengan keluarnya panas melalui penguapan keringat.

Pada tubuh, fungsi termostat diperankan oleh hipotalamus. Hipotalamus menerima informasi dari berbagai bagian tubuh. Selanjutnya dilakukan koordinasi untuk penentuan mekanisme mempertahankan atau melepaskan panas. Perubahan suhu hingga 0,01°C dapat terdeteksi oleh hipotalamus ini. Sensor pada

tubuh yang berperan untuk memberikan informasi mengenai suhu tubuh maupun suhu kulit disebut sebagai **termoreseptor**.

Mengapa saat kedinginan Anda cepat merasa lapar?

Pada saat Anda kedinginan, Anda akan menggigil (Gambar 4.36). Dengan menggigil, maka tubuh Anda bergerak cepat. Gerak tubuh Anda ini memaksa tubuh melakukan metabolisme, membakar energi kimia makanan menjadi energi gerak (dan tentu saja menghasilkan energi panas). Dengan cara ini, suhu tubuh tidak turun. Tentu saja, ada “harga yang harus dibayar”. Pada saat kedinginan, Anda cepat merasa lapar.

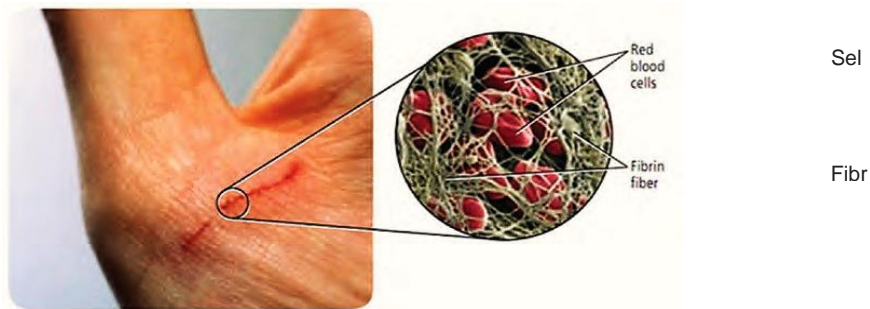


Gambar 179. Anda menggigil saat kedinginan untuk meningkatkan panas tubuh
Sumber: www.merdeka.com

Pada bayi, karena kemampuan untuk menggigilnya kurang, terdapat mekanisme non menggigil untuk mempertahankan panas. Pada saat bayi baru lahir, terdapat deposit jaringan adiposa berupa lemak coklat yang dapat mengkonversi energi kimia menjadi panas. Selain sebagai jalur pengiriman nutrisi, aliran darah pada pembuluh darah juga berperan dalam pengaturan suhu, terutama aliran darah yang menuju kulit. Sebagai pengatur suhu, aliran darah kulit dapat bervariasi dari 400 ml/menit hingga 2500 ml/menit. Semakin banyak darah yang mengalir ke kulit, panas yang terbawa dari tubuh bagian dalam melalui darah akan semakin banyak yang dapat keluar melalui proses konduksi-konveksi serta radiasi.

Mengapa darah membeku pada bagian yang terluka?

Darah yang mengalir pada tubuh manusia dapat mengalami perubahan wujud (Gambar 4.37). Jika kita terluka, darah akan mengalir. Jika luka tersebut dibiarkan, lama-lama darah akan mengering.



Gambar 4.37. Pembekuan darah ketika mengalami luka
Sumber: www.sindyfinata.blogspot.com

Pada saat itu, darah membeku, mengalami perubahan wujud cair menjadi padat. Kemampuan darah untuk membeku sangat bermanfaat bagi manusia karena mencegah terjadinya pengeluaran darah yang banyak dari dalam tubuh. Jika tubuh kekurangan darah maka bisa menimbulkan efek yang fatal (kematian).

Tahukah Anda? perilaku kita mempengaruhi panas yang dibuang oleh tubuh?

Selain dengan bantuan pembuluh darah, permukaan tubuh yang berkontak dengan lingkungan juga berperan dalam pengaturan suhu yang hendak dikonservasi atau hendak dibuang. Misalnya, dengan perubahan posisi tubuh seperti meringkuk, bersedekap saat kedinginan atau membuka baju serta melebarkan badan saat kepanasan. Mengenakan baju hangat juga mekanisme perilaku yang dilakukan manusia untuk mempertahankan panas. Contoh lain perilaku yang manusia lakukan adalah menggunakan kipas angin, atau mandi. Namun, berbeda dengan kepercayaan umumnya, ternyata mengenakan pakaian yang longgar dan berwarna cerah ternyata lebih dingin dibandingkan dengan telanjang (Gambar 4.38). Hal ini karena pada saat telanjang, semua panas yang mengenai kulit akan diserap semuanya. Sementara itu, pada pakaian yang berwarna cerah justru memantulkannya. Oleh karena itu, jika pakaian berwarna terang tersebut cukup longgar dan tipis untuk konveksi serta evaporasi terjadi, mengenakan pakaian tersebut akan lebih dingin dibandingkan tidak memakai pakaian.



Gambar 180. Baju seragam sekolah umumnya berwarna terang atau putih. Mengapa?
Sumber: kumparannews.blogspot.com

Bagaimana mekanisme pengaturan suhu tubuh kita pada kondisi dingin?

Pada kondisi dingin tubuh akan mengalami hal-hal berikut (Gambar 4.39).



Gambar 181. Tubuh menggigil, mengenakan jaket, dan makan saat kedinginan
Sumber: coach.nine.com.au

Saat kedinginan, kita akan beradaptasi dengan mengurangi jumlah keringat yang dikeluarkan oleh kulit. Coba Anda perhatikan, otot di bawah kulit akan berkontraksi sehingga kantong rambut tegak. Ini menyebabkan rambut berdiri untuk menangkap panas. Kontraksi otot menimbulkan bintil-bintil kecil di tubuh, kondisi ini biasa kita sebut dengan istilah **merinding**. Dengan demikian, arteri yang membawa darah ke bawah permukaan kulit akan berkontraksi. Darah tidak mengalir menuju ke dekat permukaan kulit. Hal ini tentunya mencegah darah membuang panas ke lingkungan sehingga suhu tubuh tidak turun. Di sisi yang lain, kalau Anda menggigil, hal itu akan meningkatkan produksi panas. Dengan demikian, lebih sedikit panas yang hilang ke lingkungan melalui konveksi.

- **Mekanisme Pengaturan Suhu Tubuh pada Hewan**

Kapan biasanya anjing menjulurkan lidahnya? Mengapa anjing melakukan hal itu? Coba jelaskan.



Gambar 4.40. Anjing menjulurkan lidahnya
Sumber: ilfracombecarlton.co.uk

Pengaturan suhu tubuh hewan, semua jenis hewan memperoleh panas dari lingkungan dan melepaskannya kembali ke lingkungan, disamping mereka sendiri dapat menghasilkan panas sendiri dari dalam tubuhnya sebagai akibat aktivitas metabolismenya. Panas dari kedua asal dan peristiwa ini (dari luar dan dari dalam tubuh hewan tersebut) pada dasarnya merupakan sumber kemampuan untuk mengatur suhu tubuhnya, yang selanjutnya akan berakibat kepada perilaku metabolisme, perilaku gerak dan kelangsungan hewan tersebut.

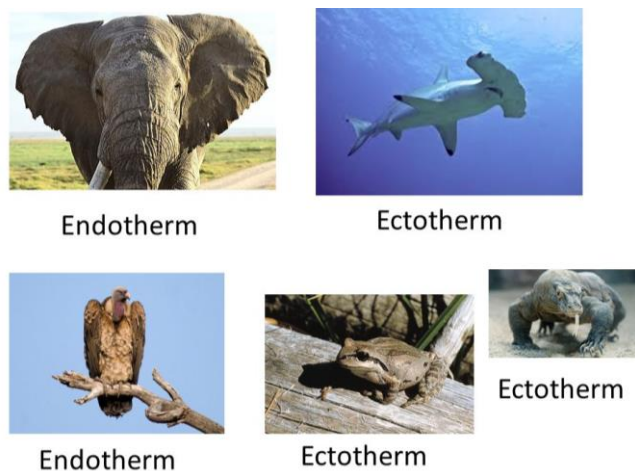
Berdasarkan karakteristik temperatur tubuh yang dihasilkan hewan dan dipengaruhi tidaknya suhu tubuh hewan oleh lingkungan, dikenal empat istilah mekanisme pengaturan suhu tubuh pada hewan sebagai berikut:

1. **Ectothermic**, hewan-hewan yang menyediakan suhu tubuhnya dari luar.
2. **Enothermic**, hewan-hewan yang menyediakan panas tubuh dari dalam tubuhnya sendiri.
3. **Homeothermic**, hewan-hewan yang suhu tubuhnya konstan (relatif tetap)
4. **Poikilothermic**, hewan-hewan yang suhu tubuhnya fluktuatif mengikuti suhu tubuhnya dan fluktuatif mengikuti suhu lingkungannya.

Semua bangsa reptil termasuk ke dalam kelompok *ectothermic*, sedangkan ikan dilaut termasuk ke dalam hewan yang *ectotherm-homotherm*; panas

tubuhnya berasal dari luar tubuhnya (dari lingkungannya) akan tetapi suhu tubuhnya konstan (tetap).

Reptil adalah hewan *ektoterm-poikiloterm* karena tubuh mereka sangat dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, akan tetapi suhu tubuh reptil juga dipengaruhi oleh tingkah lakunya. Mereka akan berjemur dibawah sinar matahari untuk menghangatkan tubuhnya atau mencari tempat yang teduh untuk menghindari *overheating* (panas yang berlebih) (Lihat Gambar 182).



Gambar 182. Mekanisme pengaturan suhu tubuh hewan
Sumber: canacopegdl.com

Beberapa hewan endoterm, seperti rubah kutub adalah jenis hewan spesialis udara dingin. Strategi mereka yang paling jelas nyata adalah melawan dingin dengan menggunakan isolasi/penyekatan yang disediakan oleh suatu bulu tebal. Ikan hiu adalah binatang air yang mengandalkan sebagian besar lemak untuk mengisolasi/menyekat tubuhnya dari pengaruh suhu luar ketika berada didalam air (Gambar 4.42.). Manusia bersama-sama dengan mamalia lain dan burung termasuk kedalam kelompok *endothermic*. Kelompok ini dapat memelihara suhu tubuh secara relatif konstan (tetap) terbebas dari pengaruh suhu/ temperatur lingkungan.



Gambar 183. Hiu menggunakan lemak untuk menjaga suhu tubuh dari dinginnya
Sumber: <http://semenanjung-senja.blogspot.co.id>

Dalam termoregulasi dikenal adanya hewan berdarah dingin (*cold-blood animals*) dan hewan berdarah panas (*warm-blood animals*) (Gambar 4.43). Namun, ahli-ahli Biologi lebih suka menggunakan istilah ektoterm dan endoterm yang berhubungan dengan sumber panas utama tubuh hewan.



Gambar 184. Hasil pencitraan infra merah menunjukkan bahwa Anjing adalah hewan berdarah panas dan Bunglon adalah hewan berdarah dingin.

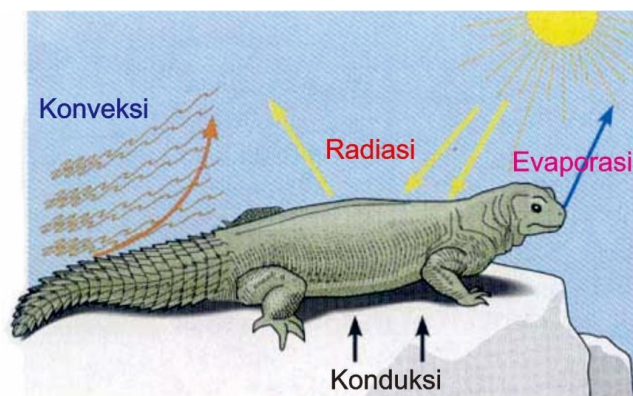
Sumber: <http://semenanjung-senja.blogspot.co.id>

Ektoterm adalah hewan yang panas tubuhnya berasal dari lingkungan (menyerap panas lingkungan). Suhu tubuh hewan ektoterm cenderung berfluktuasi, tergantung pada suhu lingkungan. Hewan dalam kelompok ini adalah anggota invertebrata, ikan, amfibi, dan reptilia. Sedangkan endoterm adalah hewan yang panas tubuhnya berasal dari hasil metabolisme. Suhu tubuh hewan ini lebih konstan. Endoterm umum dijumpai pada kelompok burung (Aves), dan mamalia.

9. Mekanisme perubahan panas tubuh hewan

Coba Anda lihat Gambar 4.44, dalam pengaturan suhu tubuh, hewan harus mengatur panas yang diterima atau yang hilang ke lingkungan. Mekanisme perubahan panas tubuh hewan dapat terjadi dengan 4 proses, yaitu konduksi, konveksi, radiasi, dan evaporasi.

- Konduksi adalah perubahan panas tubuh hewan karena kontak dengan suatu benda.
- Konveksi adalah transfer panas akibat adanya gerakan udara atau cairan melalui permukaan tubuh.
- Radiasi adalah emisi dari energi elektromagnet. Radiasi dapat mentransfer panas antar obyek yang tidak kontak langsung. Sebagai contoh, radiasi sinar matahari.
- Evaporasi proses kehilangan panas dari permukaan cairan yang ditransformasikan dalam bentuk gas.



Gambar 185. Termoregulasi pada Biawak

Sumber: Campbell, 2011

Terdapat beberapa adaptasi yang dilakukan hewan untuk menjaga tubuhnya.

- Hewan mempunyai kemampuan adaptasi terhadap perubahan suhu lingkungan. Apakah yang dilakukan mamalia dan burung pada kondisi suhu sangat dingin dan sangat panas?
- Pada ektoterm (misal pada lebah madu), adaptasi terhadap suhu dingin dengan cara berkelompok dalam sarangnya. Mengapa demikian?



Gambar 186. Termoregulasi pada Lebah

Sumber: youtube.com

- **Mekanisme Pengaturan Suhu Tubuh pada Tumbuhan**

Tahukah Anda, tumbuhan merupakan makhluk hidup yang tidak bergerak secara aktif melainkan gerakannya bersifat pasif. Tumbuhan memang tidak memiliki alat gerak seperti kaki dan tangan yang terdapat pada hewan dan manusia, tetapi organ-organ mereka sangatlah kompleks untuk dipelajari. Di setiap tumbuhan tersebut pasti ada jaringan pengangkutan terpenting yang terdiri dari xilem dan floem. Kedua jaringan tersebut berperan sangat penting bagi proses kehidupan sebuah tanaman dan berperan untuk mengambil air dari dalam tanah dan kemudian menyebarkannya ke seluruh bagian tanaman agar semua organ tanaman dapat berkembang secara maksimal. Proses ini yang dinamakan dengan transportasi pada tumbuhan.

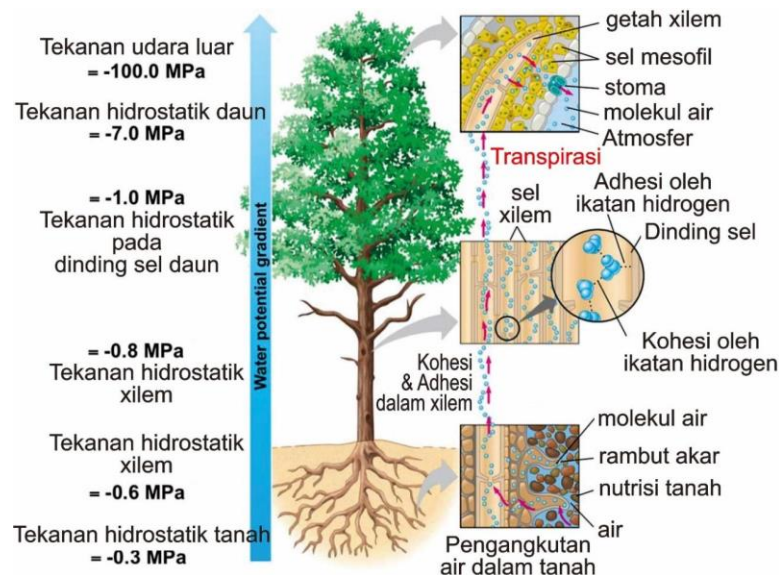


Gambar 4.45. Transpirasi pada tumbuhan

Sumber: <http://hqwall.net>

Tumbuhan melakukan transpirasi, yaitu pelepasan dalam bentuk uap melalui stomata (Gambar 4.45). Transpirasi ini merupakan salah satu mekanisme pengaturan fisiologi pada tumbuhan yang terkait dengan berbagai kondisi yang ada di tubuhnya dan lingkungan sekitarnya. Adanya transpirasi ini menyebabkan terjadinya aliran air yang berlangsung secara imbas dari akar, batang, dan daun. Aliran air tersebut akan ikut membantu proses penyerapan dan transportasi air

tanah di dalam tubuh tumbuhan. Mekanisme transpirasi dijelaskan pada Gambar 187.



Gambar 187. Mekanisme transpirasi pada tumbuhan

Sumber: <http://hqwall.net>

Air diserap ke dalam akar secara osmosis melalui rambut akar, sebagian besar bergerak menurut gradien potensial air melalui xilem. Air dalam pembuluh xilem mengalami tekanan besar karena molekul air polar menyatu dalam kolom berlanjut akibat dari penguapan yang berlangsung di bagian atas. Sebagian besar ion bergerak melalui simplas dari epidermis akar ke xilem, dan kemudian ke atas melalui arus transportasi.

Tumbuhan melakukan transpirasi untuk mengubah air menjadi bentuk uap air dari jaringan hidup tanaman yang terletak di atas permukaan tanah melewati stomata, lubang kutikula, dan lentisel. Transpirasi terjadi pada siang hari saat panas, melalui stomata (mulut daun), lubang kutikula, dan lentisel (celah batang). Semakin cepat laju transpirasi berarti semakin cepat pengangkutan air dan zat hara terlarut, demikian pula sebaliknya. Alat untuk mengukur besarnya laju transpirasi melalui daun disebut fotometer atau **transpirometer**.

Tidak semua tumbuhan mengalami proses transpirasi. Sedangkan pada tumbuhan yang mengalami proses ini, transpirasi terkadang terjadi secara

berlebihan sehingga mengakibatkan tumbuhan kehilangan banyak air dan lama kelamaan layu sebelum akhirnya mati.



Gambar 188. Transpirasi berlebihan menyebabkan tumbuhan layu

Sumber: <http://awalilmu.blogspot.co.id>

10. Jenis-jenis Transpirasi

Ada tiga tipe transpirasi yaitu :

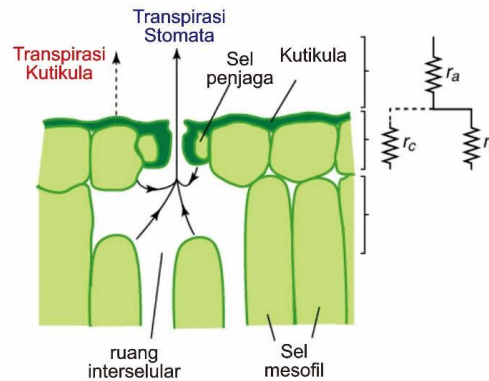
1. *Transpirasi Kutikula*

Adalah evaporasi (penguapan) air yang terjadi secara langsung melalui kutikula epidermis. Kutikula daun secara relatif tidak tembus air, dan pada sebagian besar jenis tumbuhan transpirasi kutikula hanya sebesar 10 persen atau kurang dari jumlah air yang hilang melalui daun-daun. Oleh karena itu, sebagian besar air yang hilang terjadi melalui stomata.

2. *Transpirasi Stomata*

Adalah sel-sel mesofil daun tidak tersusun rapat, tetapi diantara sel-sel tersebut terdapat ruang-ruang udara yang dikelilingi oleh dinding-dinding sel mesofil yang jenuh air. Air menguap dari dinding-dinding basah ini ke ruang-ruang antar sel, dan uap air kemudian berdifusi melalui stomata dari ruang-ruang antar sel ke atmosfer di luar. Sehingga dalam kondisi normal evaporasi membuat ruang-ruang itu selalu

jenuh uap air. Asalkan stomata terbuka, difusi uap air ke atmosfer pasti terjadi kecuali bila atmosfer itu sendiri sama-sama lembap.



Gambar 189. Transpirasi kutikula dan stomata. Laju transpirasi ibarat resistansi dalam rangkaian listrik. Dimana Stomata (r_s) dan kutikula (r_c) dipasang secara parallel. Jika transpirasi terjadi pada kedua bagian ini,

3. *Transpirasi Lentikuler*

Lentisel adalah daerah pada kulit kayu yang berisi sel-sel yang tersusun lepas yang dikenal sebagai alat komplementer, uap air yang hilang melalui jaringan ini sebesar 0.1 % dari total transpirasi (Gambar 190).



Gambar 190. Transpirasi lentikuler terjadi pada lentisel. Transpirasi lentikuler terjadi pada lentisel.

Sumber: incessantoptimism.wordpress.com

Kegiatan transpirasi dipengaruhi oleh banyak faktor baik faktor dalam ataupun faktor luar, antara lain :

1. *Faktor Dalam :*

- a. Stomata : jumlah per satuan luas, letak/ lokasi stomata (permukaan bawah

atau atas daun, timbul/ tenggelam), waktu bukaan stomata, banyak sedikitnya stomata, bentuk stomata

- b. Daun : warna daun (kandungan klorofil daun), posisinya menghadap matahari atau tidak, besar kecilnya daun, tebal tipisnya daun, berlapis atau tidaknya permukaan daun, banyak sedikitnya bulu di permukaan daun.

2. Faktor Luar :

- a. Sinar matahari : sinar matahari menyebabkan membukanya stomata dan gelap menyebabkan tertutupnya stomata, jadi semakin tinggi intensitas sinar matahari yang diterima daun, maka kecepatan transpirasi akan semakin tinggi.
- b. Temperatur : semakin tinggi temperatur, kecepatan transpirasi akan semakin tinggi pula.
- c. Kelembaban udara : udara yang basah akan menghambat transpirasi sedangkan udara yang kering akan memperlancar transpirasi.
- d. Angin : angin mempunyai pengaruh ganda yang cenderung saling bertentangan terhadap laju transpirasi. Secara singkat dapat disimpulkan bahwa angin cenderung untuk meningkatkan laju transpirasi, baik di dalam naungan atau cahaya, melalui penyapuan uap air. Akan tetapi, di bawah sinar matahari, pengaruh angin terhadap penurunan suhu daun, dengan demikian terhadap penurunan laju transpirasi, cenderung lebih penting daripada pengaruhnya terhadap penyingkiran uap air. Oleh karena itu dalam udara yang bergerak, besarnya lubang stomata mempunyai pengaruh lebih besar terhadap transpirasi daripada dalam udara tenang. Tetapi efek angin secara keseluruhan adalah selalu meningkatkan transpirasi.
- e. Keadaan air di dalam tanah : air di dalam tanah ialah satu-satunya sumber yang pokok, dari mana akar-akar tanaman mendapatkan air yang dibutuhkannya. Laju transpirasi dapat dipengaruhi oleh kandungan air tanah dan laju absorpsi air dari akar. Pada siang hari, biasanya air ditranspirasikan dengan laju yang lebih cepat daripada penyerapannya dari tanah. Hal tersebut menimbulkan defisit air dalam daun. Pada malam hari akan terjadi kondisi yang sebaliknya, karena suhu udara dan suhu daun lebih rendah.

Jika kandungan air tanah menurun, sebagai akibat penyerapan oleh akar, gerakan air melalui tanah ke dalam akar menjadi lebih lambat.



Gambar 191. Faktor-faktor yang mempengaruhi transpirasi

Sumber: missyruisiwebsite.blogspot.com

D. Rangkuman

Rangkuman Transformasi energi dalam Sel

- Makanan merupakan sumber energi bagi tubuh manusia. Untuk berolahraga, belajar, dan aktivitas lain manusia membutuhkan makanan sebagai sumber energi. Zat makanan yang berperan sebagai sumber energi adalah karbohidrat, lemak, dan protein.
- Karbohidrat merupakan senyawa kimia yang banyak tersusun oleh unsur-unsur karbon. Unsur yang terdapat dalam karbohidrat adalah C, H, dan O. Bahan makanan yang banyak mengandung karbohidrat, misalnya beras,

jagung, kentang, gandum, umbi-umbian, dan buah- buahan yang rasanya manis.

- Protein merupakan senyawa kimia yang mengandung unsur C, H, O, N (kadang juga mengandung unsur P dan S). Bahan makanan yang mengandung banyak protein antara lain
 - a. protein hewani, misalnya daging, ikan, telur, susu, dan keju;
 - b. protein nabati, misalnya kacang-kacangan, tahu, tempe, dan gandum.
- Lemak merupakan senyawa kimia yang mengandung unsur C, H, dan O. Peran lemak adalah menyediakan energi, melarutkan vitamin A, D, E, K, dan menyediakan asam lemak esensial bagi tubuh manusia. Bahan makanan yang mengandung banyak lemak antara lain
 - a. lemak hewani: keju, daging, susu, dan ikan basah;
 - b. lemak nabati: kelapa, kemiri, kacang-kacangan, dan buah avokad.
- Transformasi energi dalam sel terjadi dalam bentuk:
 - a. transformasi energi oleh klorofil;
 - b. transformasi energi oleh mitokondria.
- Metabolisme adalah proses-proses kimia yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup/sel. Metabolisme terdiri atas reaksi pembentukan/ sintesis/anabolisme seperti fotosintesis dan reaksi penguraian/ disintesis/katabolisme seperti respirasi.

Rangkuman Sistem Gerak Manusia

- Empat fungsi utama tulang bagi tubuh : memberi bentuk dan menopang tubuh; melindungi organ dalam; tempat menempelnya otot; serta tempat pembentukan sel darah.
- Bentuk tulang manusia dibedakan menjadi empat, yaitu: (1) tulang panjang, (2) tulang pipih, (3) tulang pendek, dan (4) tulang tidak beraturan,
- Otot merupakan alat gerak aktif. Otot Rangka adalah otot yang paling banyak terdapat di dalam tubuh, disebut dengan otot lurik. Otot polos berkontraksi dan berelaksasi dengan lambat. Otot ini berbentuk gelendong serta memiliki

sebuah inti pada tiap selnya. Otot jantung hanya ditemukan di jantung. Otot jantung mempunyai garis-garis seperti otot rangka. Sebaliknya, cara kerja otot jantung mirip otot polos karena tergolong otot tidak sadar.

- Sendi adalah tempat bertemunya dua tulang atau lebih. Dengan adanya sendi, hubungan antara tulang-tulang tubuh dapat digerakkan.

Rangkuman Tekanan Zat pada Makhluk Hidup

- Aplikasi konsep tekanan zat pada makhluk hidup dapat ditemui pada pengangkutan air dan nutrisi pada tumbuhan, tekanan darah pada pembuluh darah manusia, dan tekanan gas pada proses pernapasan.
- Air dapat diangkut naik dari akar ke bagian tumbuhan lain yang lebih tinggi dan diedarkan ke seluruh tubuh tumbuhan karena adanya daya kapilaritas batang dan daya isap daun.
- Pengangkutan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh tubuh tumbuhan terjadi melalui pembuluh floem. Perjalanan zat-zat hasil fotosintesis dimulai dari sumbernya, yaitu daun (daerah yang memiliki konsentrasi gula tinggi) ke bagian tumbuhan lain yang dituju (daerah yang memiliki konsentrasi gula rendah)

Rangkuman Pengaturan Suhu pada Makhluk Hidup

- Termoregulasi adalah suatu mekanisme makhluk hidup untuk mempertahankan suhu internal agar berada di dalam kisaran yang dapat ditolelir. Mekanisme Termoregulasi terjadi dengan mengatur keseimbangan antara perolehan panas dengan pelepasan panas.
- Sensor pada tubuh yang berperan untuk memberikan informasi mengenai suhu tubuh maupun suhu kulit disebut sebagai termoreseptor.
- Terdapat empat istilah mekanisme pengaturan suhu tubuh pada hewan sebagai berikut:
 - **Ectothermic**, hewan-hewan yang menyediakan suhu tubuhnya dari

- luar.
- **Enhothemic**, hewan-hewan yang menyediakan panas tubuh dari dalam tubuhnya sendiri.
 - **Homeothermic**, hewan-hewan yang suhu tubuhnya konstan (relatif tetap)
 - **Poikilothermic**, hewan-hewan yang suhu tubuhnya fluktuatif mengikuti suhu tubuhnya dan fluktuatif mengikuti suhu lingkungannya
- Transpirasi adalah mekanisme hilangnya air dari tumbuhan, bisa melalui stomata atau melalui kutikula. Tetapi lebih banyak yang hilang dari stomata. Ada tiga tipe transpirasi yaitu transpirasi kutikula dan transpirasi stomata dan transpirasi lentikuler
 - Mekanisme Transpirasi pada tumbuhan, hal yang penting adalah difusi uap air dari udara yang lembab di dalam daun ke udara kering di luar daun. Kehilangan air dari daun umumnya melibatkan kekuatan untuk menarik air ke dalam daun dari berkas pembuluh yaitu pergerakan air dari sistem pembuluh dari akar ke pucuk, dan bahkan dari tanah ke akar
 - Faktor yang mempengaruhi transpirasi terbagi atas dua faktor internal ialah : Stomata dan daun, dan pada faktor luar atau eksternal ialah : Sinar matahari, Temperatur, Kelembaban udara, Angin, Keadaan air di dalam tanah.
 - Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi (penguapan). Peristiwa penguapan dari tanaman disebut transpirasi. Kedua-duanya bersama-sama disebut Evapotranspirasi
 - Kegunaan Transpirasi pada tumbuhan antara lain: Pengangkutan air ke daun dan difusi air antar sel, penyerapan dan pengangkutan air, hara, pengangkutan asimilatif, membuang kelebihan air, pengaturan bukaan stomata, mempertahankan suhu daun, kerugian transpirasi tumbuhan ialah : pengaruh transpirasi yang merugikan akan kelihatan dengan layunya daun, sebagai akibat hilangnya turgor.

Pembelajaran 4. Pendengaran, Penglihatan, dan Kelistrikan pada Manusia dan Hewan

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 5. Gelombang, Optik, dan Listrik Magnet
Penulis. Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T.

A. Kompetensi

Penjabaran model kompetensi yang selanjutnya dikembangkan pada kompetensi guru bidang studi yang lebih spesifik pada pembelajaran 4. Pendengaran, Penglihatan, dan Kelistrikan pada Manusia dan Hewan, ada beberapa kompetensi guru bidang studi yang akan dicapai pada pembelajaran ini, kompetensi yang akan dicapai pada pembelajaran ini adalah calon guru P3K mampu menguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA, (2) materi dan interaksinya, (3) gerak, gaya, dan tekanan, (4) energi, usaha, dan pesawat sederhana, (5) gelombang dan optik serta aplikasinya dalam teknologi, (6) kelistrikan dan kemagnetan, (7) ciri, klasifikasi, sistem, struktur, fungsi makhluk hidup, zat aditif dan adiktif serta dampaknya terhadap kesehatan, (8) interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan, (9) reproduksi, hereditas, evolusi (10) mikroorganisme dan bioteknologi, (11) tata surya, struktur bumi, perubahan iklim, dan mitigasi bencana, termasuk advanced materials dalam IPA secara bermakna yang dapat menjelaskan aspek “apa” (konten), “mengapa” (filosofi), dan “bagaimana” (penerapan) dalam kehidupan sehari-hari.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Dalam rangka mencapai kompetensi guru bidang studi, maka dikembangkanlah indikator - indikator yang sesuai dengan tuntutan kompetensi guru bidang studi. Indikator pencapaian kompetensi yang akan dicapai dalam pembelajaran 4. Pendengaran, Penglihatan, dan Kelistrikan pada Manusia dan Hewan adalah sebagai berikut.

1.1.1 Menganalisis mekanisme pendengaran pada manusia

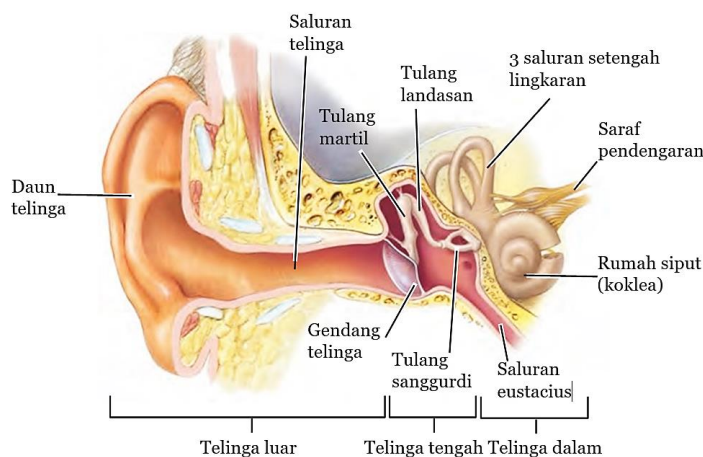
- 1.1.2 Menganalisis mekanisme pendengaran pada hewan
- 1.2.1 Menganalisis mekanisme penglihatan pada manusia
- 1.2.2 Menganalisis mekanisme penglihatan pada hewan
- 4.3.1 Menganalisis kelistrikan pada sel saraf
- 4.3.2 Menjelaskan medan magnet pada navigasi hewan saat migrasi

C. Uraian Materi

1. Pendengaran pada Manusia dan Hewan

- **Mekanisme Mendengar pada Manusia dan Hewan**

Telinga dibagi menjadi tiga bagian, yaitu telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam. Perhatikan Gambar 14!



Gambar 192. Anatomi Telinga Manusia
Sumber: Campbell et al. 2008

Bunyi yang terdengar oleh telinga kita memerlukan medium. Jadi, mungkinkah kita dapat mendengar di ruang hampa udara? Tentu saja tidak. Bunyi memerlukan medium untuk merambat. Apakah di telinga terdapat medium untuk merambatkan bunyi? Telinga luar dan telinga tengah terisi oleh udara dan rongga telinga dalam terisi oleh cairan limfa. Bagian-bagian penyusun telinga dan fungsinya dapat dilihat pada Tabel 12

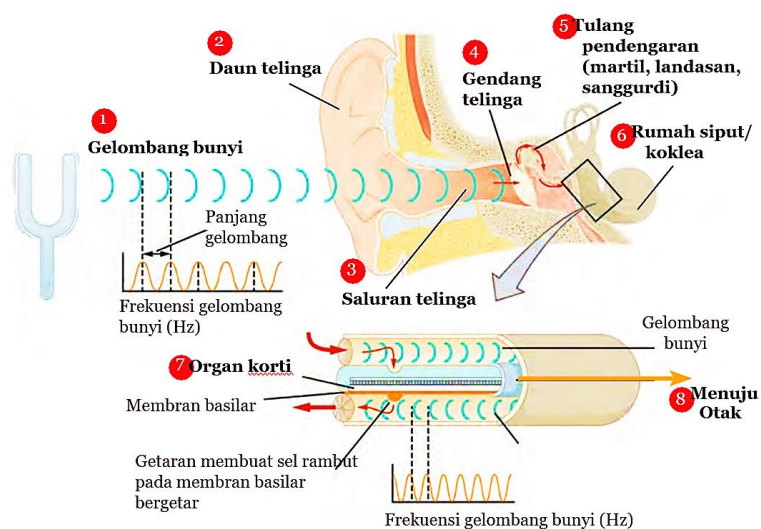
Tabel 12. Struktur dan Fungsi Bagian pada Telinga

Bagian Penyusun Telinga	Fungsi
Bagian Luar	
a. Daun telinga	Mengumpulkan gelombang suara ke saluran telinga
b. Saluran telinga (menghasilkan minyak serumen)	Menangkap debu yang masuk ke saluran telinga Mencegah hewan berukuran kecil masuk ke dalam telinga
Bagian Tengah	
a. Gendang telinga/membran timpani	Menangkap gelombang suara dan mengubahnya menjadi getaran yang diteruskan ke tulang telinga
b. Tulang telinga (maleus/ martil, inkus/landasan, stapes/sanggurdi)	Meneruskan getaran dari gendang telinga ke rumah siput
Bagian Dalam	
c. Saluran eustacius	Menghubungkan ruang telinga tengah dengan rongga mulut (faring) berfungsi untuk menjaga tekanan udara antara telinga tengah dengan saluran di telinga luar agar seimbang. Tekanan udara yang terlalu tinggi atau rendah disalurkan ke telinga luar dan akan mengakibatkan gendang telinga tertekan kuat sehingga dapat sobek.
a. Rumah siput (koklea)	Koklea merupakan saluran berbentuk spiral yang menyerupai rumah siput. Di dalam koklea terdapat adanya organ korti yang merupakan fonoreseptor. Organ korti berisi ribuan sel rambut yang peka terhadap tekanan getaran. Getaran akan diubah menjadi impuls saraf di dalam sel rambut tersebut dan kemudian diteruskan oleh saraf ke otak.
b. Saluran gelang (labirin)	Terdiri atas saluran setengah lingkaran (semisirkularis) yang berfungsi untuk mengetahui posisi tubuh (alat keseimbangan).

Proses mendengar pada manusia melalui beberapa tahap. Perhatikan pada Gambar 1.15! Tahap tersebut diawali dari lubang telinga yang menerima gelombang dari sumber suara. Gelombang suara yang masuk ke dalam lubang telinga akan menggetarkan gendang telinga (yang disebut membran timpani). Getaran membran timpani ditransmisikan melintasi telinga tengah melalui tiga tulang kecil, yang terdiri atas tulang martil, landasan, dan sanggurdi. Telinga tengah dihubungkan ke faring oleh tabung eustacius. Getaran dari tulang sanggurdi ditransmisikan ke telinga dalam melalui membran jendela oval ke

koklea. Koklea merupakan suatu tabung yang bergulung seperti rumah siput. Koklea berisi cairan limfa.

Getaran dari jendela oval ditransmisikan ke dalam cairan limfa dalam ruangan koklea. Di bagian dalam ruangan koklea terdapat organ korti. Organ korti berisi cairan sel-sel rambut yang sangat peka. Inilah reseptor getaran yang sebenarnya. Sel-sel rambut ini akan bergerak ketika ada getaran di dalam koklea, sehingga menstimulasi getaran yang diteruskan oleh saraf auditori ke otak.



Gambar 193. Proses Mendengar pada Manusia
Sumber: oerpub.github.io

Pendengaran pada Hewan

Pernahkah Anda melihat anjing menggerakkan telinganya? Anjing sering menggerakkan telinga ketika melakukan pelacakan atau berburu. Beberapa mamalia akan menggunakan daun telinga untuk memfokuskan suara yang diterimanya. Sistem ini disebut sistem sonar yaitu sistem yang digunakan untuk mendeteksi tempat dalam melakukan pergerakan dengan deteksi suara frekuensi tinggi (ultrasonik). Sonar atau *Sound Navigation and Ranging* merupakan suatu metode penggunaan gelombang ultrasonik untuk menaksir ukuran, bentuk, letak, dan kedalaman benda-benda, seperti pada Gambar 1.16.

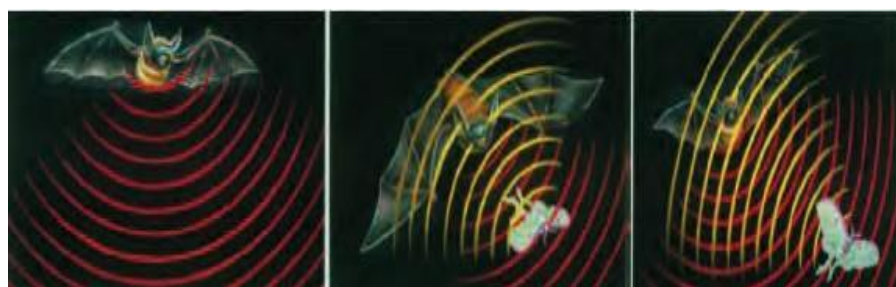


Gambar 194. Sistem Sonar pada Kelelawar
Sumber : www.hngn.com.

1) Kelelawar

Tahukah Anda kelelawar? Kelelawar dapat mengeluarkan dan menerima gelombang ultrasonik dengan frekuensi di atas 20.000 Hz pada saat ia terbang. Gelombang yang dikeluarkan akan dipantulkan kembali oleh objek yang akan dilewatinya dan diterima oleh *receiver* (alat penerima) yang berada di tubuh kelelawar. Kemampuan kelelawar untuk menentukan lokasi ini disebut dengan ekolokasi.

Pada saat terbang dan berburu, kelelawar akan mengeluarkan bunyi yang frekuensinya tinggi, kemudian mendengarkan gema yang dihasilkan. Pada saat kelelawar mendengarkan gema, kelelawar hanya akan terfokus pada suara yang dipancarkannya sendiri. Rentang frekuensi yang mampu didengar oleh makhluk ini terbatas, sehingga kelelawar harus mampu menghindari efek Doppler yang muncul.



Gambar 195. Ekolokasi Kelelawar
Sumber : McGraw-Hill, 2007

Menurut efek Doppler, jika sumber bunyi dan penerima suara keduanya tak bergerak, maka penerima akan mendengar frekuensi bunyi yang sama dengan yang dipancarkan oleh sumber suara. Akan tetapi, jika salah satu dari sumber

bunyi atau penerima suara tersebut bergerak, frekuensi yang diterima akan berbeda dengan yang dipancarkan. Pada keadaan tersebut frekuensi suara yang dipantulkan dapat jatuh ke wilayah frekuensi yang tidak dapat didengar oleh kelelawar.

Agar dapat menghindari efek Doppler, kelelawar akan menyesuaikan besar frekuensi suara yang dipancarkannya. Misalnya, kelelawar akan mengirimkan suara berfrekuensi tinggi untuk mendeteksi alat yang bergerak menjauh, sehingga pantulannya tidak hilang.

2) Lumba-lumba

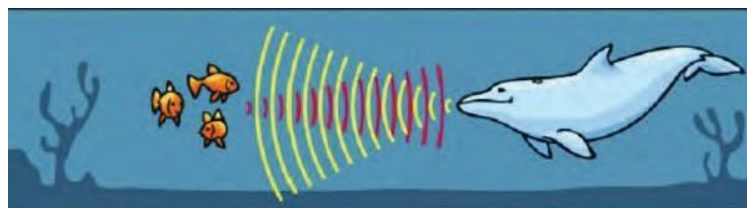
Pernahkah Anda melihat lumba-lumba? Di mana Anda pernah melihat lumba-lumba? Habitat asal lumba-lumba adalah di lautan. Lumba-lumba dapat dilihat di permukaan air, namun sebagian besar waktu mereka di kedalaman lautan yang cukup gelap. Sekalipun hidup di kedalaman lautan, lumba-lumba mempunyai sistem yang memungkinkan untuk berkomunikasi dan menerima rangsangan, yaitu sistem sonar. Sama seperti pada kelelawar, sistem ini berguna untuk mengindra benda-benda di lautan, mencari makan, dan berkomunikasi.



Gambar 196. Lumba-Lumba
Sumber : www.apakabardunia.com

Bagaimana cara kerja sistem sonar pada lumba-lumba? Lumba-lumba bernapas melalui lubang yang ada di atas kepalanya. Di bawah lubang ini, terdapat kantung-kantung kecil berisi udara. Agar dapat menghasilkan suara berfrekuensi tinggi, lumba-lumba mengalirkan udara pada kantung-kantung ini. Selain itu, kantung udara ini juga berperan sebagai alat pemfokusan bunyi. Kemudian, bunyi ini dipancarkan ke segala arah secara terputus-putus.

Gelombang bunyi lumba-lumba akan dipantulkan kembali bila membentur suatu benda. Pantulan gelombang bunyi tersebut ditangkap di bagian rahang bawahnya yang disebut “jendela akustik”. Dari bagian tersebut, informasi bunyi diteruskan ke telinga bagian tengah, dan akhirnya ke otak untuk diterjemahkan. Dengan cara tersebut, lumba- lumba mengetahui lokasi, ukuran, dan pergerakan mangsanya. Lumba- lumba juga mampu saling berkirir pesan walaupun terpisahkan oleh jarak lebih dari 220 km. Lumba-lumba berkomunikasi untuk menemukan pasangan dan saling mengingatkan akan bahaya.



Gambar 197. Sistem Sonar pada Lumba-Lumba
Sumber : www.hngn.com.

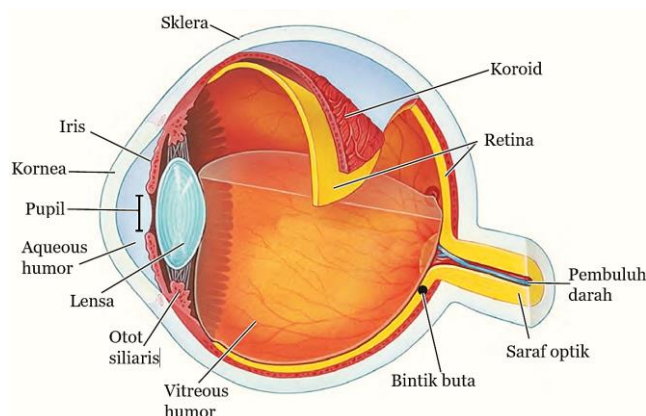
2. Indra Penglihatan Manusia dan Hewan

• Indra Penglihatan Manusia

Pada saat Anda menutup mata, Anda tidak dapat melihat apapun yang ada di sekitar Anda karena tidak ada cahaya yang masuk ke mata Anda. Hal ini menunjukkan bahwa mata kita dapat melihat benda karena adanya cahaya yang mengenai benda tersebut kemudian dipantulkan ke mata kita.

a. Bagian-bagian Mata Manusia

Organ penglihatan yang dimiliki oleh manusia adalah mata. Organ ini berbentuk bulat. Organ ini tersusun atas beberapa bagian yang berbeda yang masing-masing bagian memiliki fungsi yang berbeda pula. Mata kita dibalut oleh tiga lapis jaringan yang berlainan. Lapisan luar adalah lapisan sklera, lapisan ini membentuk kornea. Lapisan tengah adalah lapisan koroid, lapisan ini membentuk iris. Lapisan ketiga adalah lapisan dalam, yaitu retina. Perhatikan Gambar 2.25!



Gambar 198. Bagian-bagian Mata
Sumber: Campbell et al. 2008

d. Kornea

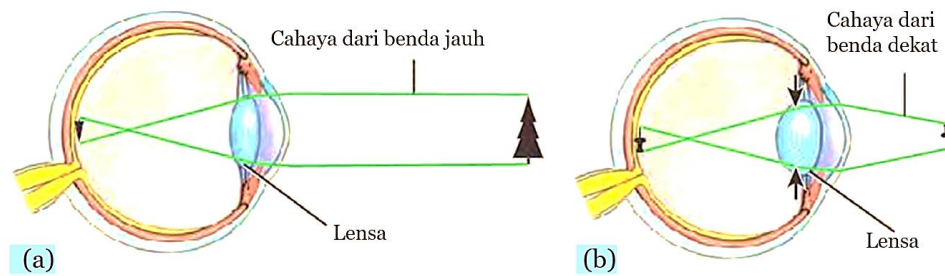
Mata memiliki bentuk seperti bola dengan diameter $\pm 2,5$ cm. Lapisan terluar mata disebut sklera yang membentuk putih mata, dan bersambung dengan bagian depan yang bening yang disebut kornea. Cahaya masuk ke mata melewati kornea. Lapisan kornea mata terluar bersifat kuat dan tembus cahaya. Kornea berfungsi melindungi bagian yang sensitif yang berada di belakangnya dan membantu memfokuskan bayangan pada retina.

e. Iris atau Selaput Pelangi

Setelah cahaya melewati kornea, selanjutnya cahaya akan menuju ke pupil. Pupil adalah bagian berwarna hitam yang merupakan jalan masuknya cahaya ke dalam mata. Pupil dikelilingi oleh iris, yang merupakan bagian berwarna pada mata yang terletak di belakang kornea. Sekarang Anda mengetahui bahwa warna mata sebenarnya adalah warna iris. Jumlah cahaya yang masuk ke dalam mata Anda diatur oleh iris. Besar dan kecilnya iris dan pupil bergantung pada jumlah cahaya yang masuk ke dalam mata.

f. Lensa Mata

Setelah melewati pupil, cahaya bergerak merambat menuju ke lensa. Lensa mata Anda berbentuk bikonvex (cembung depan-belakang), seperti lensa pada kaca pembesar. Lensa mata bersifat fleksibel. Otot siliar yang ada dalam mata akan membantu mengubah kecembungan lensa mata Anda.

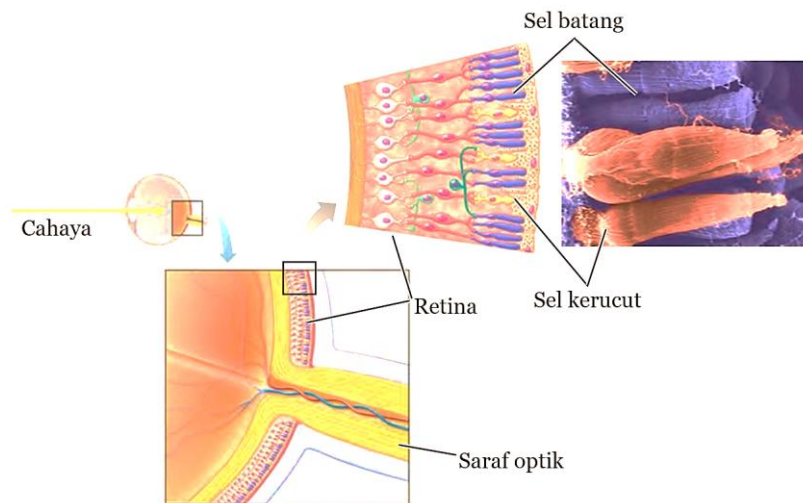


Gambar 199. Perubahan Kecembungan Lensa Mata Ketika Melihat Benda Jauh dan Dekat
Sumber: Dok. Kemdikbud

Ketika Anda melihat benda yang berada pada jarak jauh, otot siliaris akan mengalami relaksasi. Hal ini akan menyebabkan lensa mata menjadi lebih datar atau mata melihat tanpa berakomodasi. Ketika Anda melihat benda yang berada pada jarak dekat, otot siliaris akan mengalami kontraksi. Hal ini akan menyebabkan lensa mata menjadi lebih cembung. Pada kondisi ini mata dikatakan berakomodasi maksimum. Dengan mengubah kecembungan lensa, lensa dapat menangkap bayangan yang jelas pada jarak jauh atau dekat yang selanjutnya bayangan tersebut akan dibentuk di retina. Dengan demikian sebaiknya kita harus bersyukur kepada Tuhan atas anugerah berupa lensa mata, sehingga kita dapat melihat benda dengan jelas, baik berada pada jarak dekat maupun pada jarak jauh.

g. Retina

Cahaya yang melewati lensa selanjutnya akan membentuk bayangan yang kemudian ditangkap oleh retina. Retina merupakan sel yang sensitif terhadap cahaya matahari atau saraf penerima rangsang sinar (fotoreseptor) yang terletak pada bagian belakang mata. Retina terdiri atas dua macam sel fotoreseptor, yaitu sel batang dan sel kerucut. Sel kerucut memungkinkan Anda melihat warna, tetapi membutuhkan cahaya yang lebih terang dibandingkan sel batang. Sel batang akan menunjukkan responsnya ketika berada pada tempat yang redup. Sel batang mampu menerima rangsang sinar tidak berwarna, jumlahnya sekitar 125 juta. Sel kerucut mampu menerima rangsang sinar yang kuat dan warna, jumlahnya 6,5 - 7 juta.



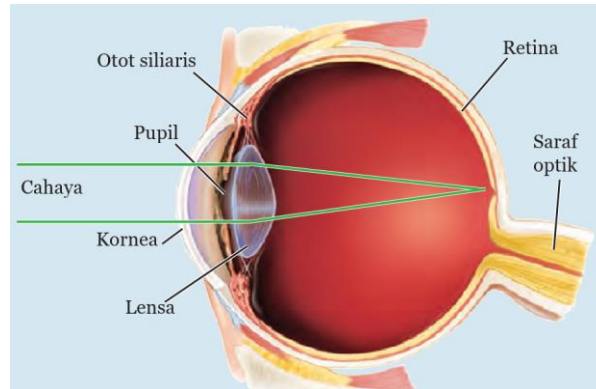
Gambar 200. Sel Batang dan Kerucut pada Retina
Sumber: Marieb & Hoehn, 2013

Ketika sel kerucut menyerap cahaya, maka akan terjadi reaksi kimia. Reaksi kimia ini akan menghasilkan impuls saraf yang kemudian ditransmisikan ke otak oleh saraf mata. Sel batang akan menunjukkan responsnya ketika berada pada tempat yang redup. Sel-sel batang mengandung pigmen yang disebut rodopsin, yaitu senyawa antara vitamin A dan protein. Bila terkena sinar terang rodopsin terurai, dan terbentuk kembali menjadi rodopsin pada keadaan gelap. Pembentukan kembali rodopsin memerlukan waktu yang disebut adaptasi gelap atau adaptasi rodopsin. Pada saat itu mata sulit untuk melihat. Sekarang Anda mengetahui mengapa vitamin A penting bagi kesehatan mata. Sel kerucut mengandung pigmen iodopsin, yaitu senyawa antara retinin dan opsin. Ada tiga macam sel kerucut yang masing-masing peka terhadap warna merah, biru, dan hijau. Akibatnya, Anda dapat melihat seluruh spektrum warna yang merupakan kombinasi dari ketiga warna.

Mari Kita Pahami

Mata Anda dapat mendeteksi cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan oleh objek atau benda. Lensa pada mata akan memfokuskan cahaya untuk menghasilkan bayangan yang akan jatuh pada bagian belakang mata. Sel-sel khusus yang terletak di belakang mata akan mengubah bayangan menjadi sinyal

elektrik (impuls). Sinyal elektrik ini kemudian akan ditransfer ke otak, yang kemudian akan diterjemahkan sebagai objek atau benda yang Anda lihat.



Gambar 201. Jalur Sinar dalam Mata

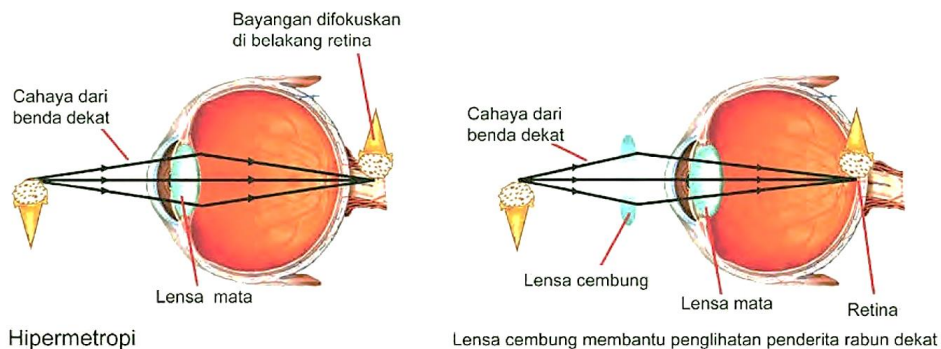
Sumber: Marieb & Hoehn, 2013

b. Gangguan pada Indra Penglihat

Seseorang yang mempunyai penglihatan yang baik, akan dapat melihat benda secara jelas pada jarak kira-kira 30 cm. Hal ini berarti pada orang yang memiliki penglihatan normal, bayangan yang dibentuk jatuh tepat pada retina. Jika seseorang memiliki gangguan pada penglihatannya maka dia tidak akan dapat melihat objek dengan jelas pada jarak tersebut. Hal ini menyebabkan mereka membutuhkan alat bantu penglihatan berupa kacamata seperti yang dikenakan oleh teman Anda atau bahkan Anda kenakan sendiri. Kacamata berfungsi untuk memfokuskan cahaya sehingga dapat jatuh tepat pada retina.

h. Rabun Dekat (Hipermetropi)

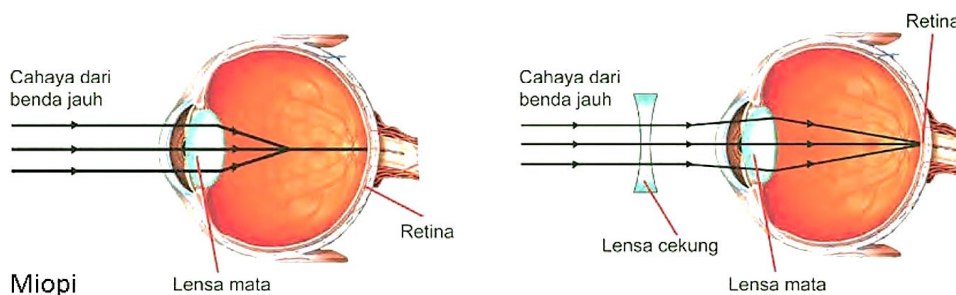
Seorang penderita rabun dekat tidak dapat melihat benda yang berada pada jarak dekat (± 30 cm) dengan jelas. Hal ini karena bayangan yang terbentuk jatuh di belakang retina, sehingga bayangan yang jatuh pada retina menjadi tidak jelas (kabur). Kacamata positif dapat menolong penderita rabun dekat, sebab lensa cembung mengumpulkan cahaya sebelum cahaya masuk ke mata. Dengan demikian, kornea dan lensa dapat membentuk bayangan yang jelas pada retina seperti ditunjukkan pada Gambar 2.29.



Gambar 202. Perubahan Fokus Sinar pada Rabun Dekat
Sumber: Dok. Kemdikbud

i. Rabun Jauh (Miopi)

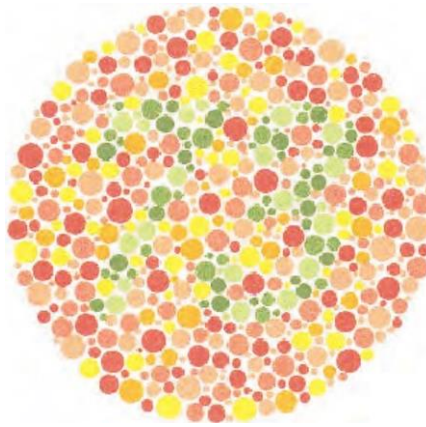
Seorang penderita rabun jauh tidak dapat melihat benda yang berada pada jarak jauh (tak hingga) dengan jelas. Hal ini dikarenakan bayangan yang terbentuk jatuh di depan retina, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.30. Kacamata negative dapat menolong penderita rabun jauh karena lensa cekung akan dapat membuat cahaya menyebar sebelum cahaya masuk ke mata. Dengan demikian, bayangan yang jelas akan terbentuk di retina.



Gambar 203. Perubahan Fokus Sinar pada Rabun Jauh
Sumber: Dok. Kemdikbud

j. ButaWarna

Perhatikan Gambar 2.31! Apakah Anda dapat melihat angka? Coba sebutkan angka berapa yang dapat Anda lihat! Masih ingatkah Anda pada sel kerucut? Anda memiliki lebih kurang tujuh juta sel kerucut pada retina. Gelombang cahaya dipantulkan dari benda masuk ke pupil dan ditangkap oleh retina. Respons dari sel kerucut pada cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda menyebabkan Anda dapat melihat benda yang berwarna.



Gambar 204. Huruf Tokek untuk Mengecek Kelainan Buta Warna
Sumber: Dok. Kemdikbud

Buta warna merupakan suatu kelainan pada mata yang disebabkan ketidakmampuan sel-sel kerucut mata untuk menangkap suatu warna tertentu. Penyakit ini bersifat menurun. Buta warna ada yang buta warna total dan buta warna sebagian. Buta warna total hanya mampu melihat warna hitam dan putih saja, sedangkan buta warnasebagian tidak dapat melihat warna tertentu, yaitu merah, hijau, atau biru. Ingat kembali tentang sel kerucut!

Gambar 2.31 merupakan salah satu gambar yang dipakai untuk menguji buta warna. Uji tersebut dikenal dengan **Uji Ishihara**. Uji tersebut didasarkan pada penentuan angka atau pola yang ada pada kartu dengan berbagai ragam warna, dengan pola tertentu. Ada satu seri gambar titik bola kecil dengan warna dan besar berbeda-beda, sehingga dalam keseluruhan terlihat warna pucat dan menyulitkan pasien dengan kelainan penglihatan warna untuk melihatnya. Penderita buta warna atau dengan kelainan penglihatan warna dapat melihat sebagian ataupun sama sekali tidak dapat melihat gambaran yang diperlihatkan. Pada pemeriksaan, pasien diminta melihat dan mengenali tanda gambar yang diperlihatkan dalam waktu 10 detik.

k. Presbiopi

Presbiopi disebut juga rabun jauh dan dekat atau rabun tua, karena kelainan mata ini biasanya diderita oleh orang yang sudah tua. Kelainan jenis ini membuat si

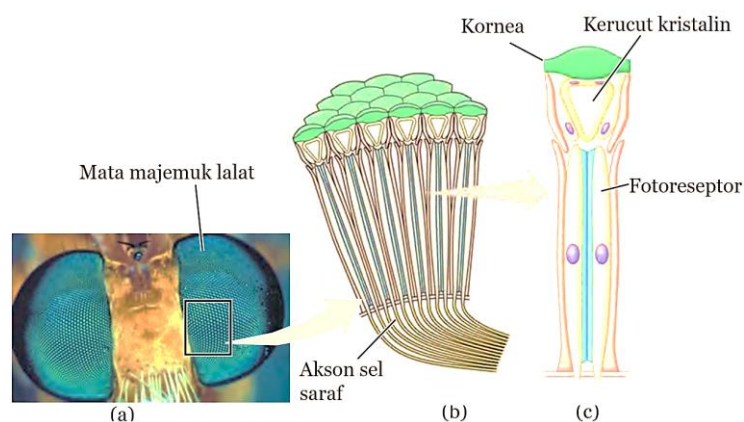
penderita tidak mampu melihat dengan jelas benda-benda yang berada di jarak jauh maupun benda yang berada pada jarak dekat. Hal tersebut diakibatkan oleh berkurangnya daya akomodasi mata. Kelainan ini biasanya diatasi dengan kacamata rangkap, yaitu kacamata cembung dan cekung. Pada kacamata dengan lensa rangkap atau kacamata bifokal, lensa negatif bekerja seperti pada kacamata untuk penderita miopi, sedangkan lensa positif bekerja seperti pada kacamata untuk penderita hipermetropi.

I. Astigmatisma

Astigmatisma atau dikenal dengan istilah silinder adalah sebuah gangguan pada mata karena penyimpangan dalam pembentukan bayangan pada lensa. Hal ini disebabkan oleh cacat lensa yang tidak dapat memberikan gambaran atau bayangan garis vertikal dengan horizontal secara bersamaan. Penglihatan si penderita menjadi kabur. Untuk mengatasi gangguan ini, dapat menggunakan lensa silindris.

• Indra Penglihatan Serangga

Apakah Anda mengetahui berbagai macam hewan dari golongan serangga? Pernahkah Anda membayangkan bagaimana cara serangga-serangga tersebut melihat sebuah benda? Tahukah Anda bahwa lalat, belalang, kumbang, atau serangga mempunyai cara melihat suatu benda dengan cara yang sangat berbeda dengan manusia? Apabila manusia hanya memiliki dua buah mata untuk melihat, serangga memiliki banyak sekali mata untuk melihat, sehingga mata serangga disebut dengan “mata majemuk” (Gambar 2.32).



Gambar 205. Mata Majemuk pada Mata Lalat
Sumber: Campbell et al. 2008

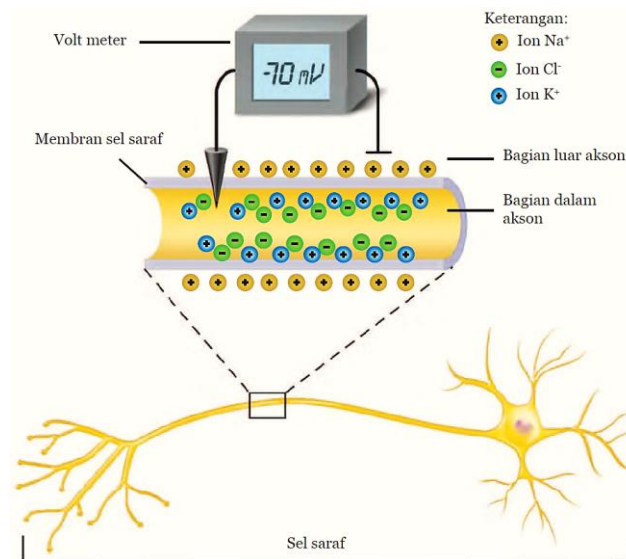
Masing-masing mata serangga disebut omatidium (jamak: omatidia). Masing-masing omatidium berfungsi sebagai reseptor penglihatan yang terpisah. Setiap omatidium terdiri atas beberapa bagian, di antaranya berikut ini. (1) Lensa, permukaan depan lensa merupakan satu faset mata majemuk. (2) Kerucut kristalin, yang tembus cahaya. (3) Sel-sel penglihatan, yang peka terhadap adanya cahaya. (4) Sel-sel yang mengandung pigmen, yang memisahkan omatidia dari omatidia di sekelilingnya. Setiap omatidium akan menyumbangkan informasi penglihatan dari satu daerah objek yang dilihat serangga, dari arah yang berbeda-beda. Bagian omatidia yang lain akan memberikan sumbangan informasi penglihatan pada daerah lainnya. Gabungan dari gambar-gambar yang dihasilkan dari setiap omatidium merupakan bayangan mosaik, yang menyusun seluruh pandangan serangga.

Sebagai contoh, mata lalat rumah terdiri atas 6.000 bentuk mata yang ditata dalam segi enam (omatidium). Setiap omatidium dihadapkan ke arah yang berbeda-beda, seperti ke depan, belakang, bawah, atas, dan ke setiap sisi, sehingga lalat dapat melihat ke mana-mana. Dengan demikian, lalat dapat mengindra dalam daerah penglihatan dari semua arah. Pada setiap omatidium, terdapat delapan neuron sel saraf reseptor (penerima cahaya), sehingga secara keseluruhan terdapat sekitar 48.000 sel pengindra di dalam matanya. Dengan kelebihan tersebut, mata lalat dapat memroses hingga seratus gambar per detik.

3. Kelistrikan pada Sel Saraf

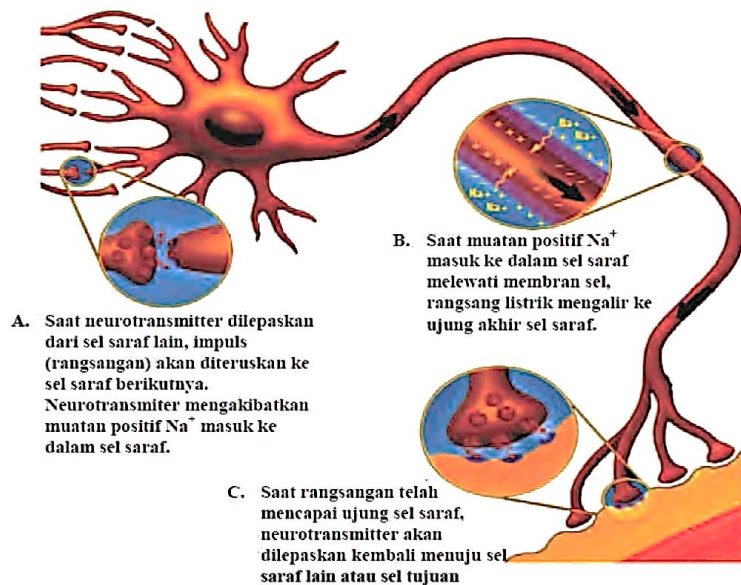
Tubuh kita dialiri oleh arus listrik khususnya pada syaraf yaitu dengan adanya impuls listrik. Bidang yang khusus mempelajari tentang aliran impuls listrik pada tubuh manusia disebut **biolistrik**. Kelistrikan pada tubuh hanya berkaitan dengan komposisi ion yang terdapat dalam tubuh, bukan listrik yang mengalir seperti pada kabel listrik di rumah-rumah.

Muatan yang ada di luar dan di dalam sel saraf tidak dapat saling tarik menarik dengan sendirinya karena ada pemisah berupa membran sel saraf (perhatikan Gambar 3.8). Tarik menarik antar muatan akan terjadi jika ada rangsangan dari neurotransmitter.



Gambar 206. Ilustrasi Muatan Listrik pada Sel Saraf Tidak Bermielin
 Sumber: Dokumen Kemdikbud

Saat sel saraf tidak menghantarkan impuls, muatan positif Na^+ melingkupi bagian luar membran sel. Pada kondisi demikian, membran sel saraf bagian luar bermuatan listrik positif dan membran sel bagian dalam bermuatan listrik negatif (Cl^-). Lebih jelasnya, perhatikan Gambar 3.9.



Gambar 207. Impuls Listrik pada Saraf Manusia
 Sumber: Biggs, 2008: 638.

Setiap manusia memiliki sistem saraf yang dapat mengontrol gerak otot. Sistem saraf terdiri atas sel-sel saraf berfungsi untuk menerima, mengolah, dan mengirim rangsangan yang diterima panca indera. Rangsangan ini disebut impuls. Setiap sel saraf terdiri atas 3 bagian, yaitu badan sel saraf, dendrit, dan akson atau neurit. Selain ketiga bagian tersebut, pada sel saraf juga terdapat bagian tambahan berupa selubung myelin. Myelin sebetulnya bukan bagian sel saraf, tetapi terdiri dari sel pembentuk myelin yang berfungsi menyelubungi akson. Berdasarkan keberadaan myelin, terdapat dua macam neuron, yaitu neuron yang berselubung myelin dan neuron yang tidak berselubung myelin.

- **Hewan-Hewan Penghasil Listrik**

Seperti manusia, hewan menghasilkan listrik sebagai impuls rangsang dalam tubuhnya untuk menanggapi rangsangan, bergerak, berburu mangsa, melawan predator, atau bahkan navigasi. Meskipun pada umumnya arus listrik yang dihasilkan sangat lemah, namun ada beberapa hewan yang dianugerahi keistimewaan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga mampu menghasilkan arus listrik yang sangat kuat. Hewan apa sajakah yang mampu menghasilkan arus listrik yang kuat? Bacalah informasi berikut dengan teliti.

a. Ikan Belalai Gajah

Ikan belalai gajah memiliki mulut yang panjang menyerupai bentuk belalai gajah. Ikan ini dilengkapi dengan organ khusus, yang disusun oleh ribuan sel *electroplax*, pada bagian ekor yang mampu menghasilkan listrik statis bertegangan tinggi.



Gambar 208. Ikan Belalai Gajah

Sumber: <http://zafact.blogspot.co.id>

Sel *electroplax* merupakan sel yang menghasilkan muatan negatif pada bagian dalam dan muatan positif pada bagian luar saat ikan belalai gajah dalam keadaan beristirahat. Arus listrik akan muncul pada saat otot ikan berkontraksi, pada saat itu pula ikan mampu mendeteksi keberadaan predator dan mangsa.

b. Ikan Pari Elektrik

Ikan pari elektrik mampu mengendalikan tegangan listrik yang ada pada tubuhnya. Kedua sisi kepala ikan pari elektrik mampu menghasilkan listrik hingga sebesar 220 volt. Besar tegangan ini sama seperti besar tegangan listrik yang ada di rumah.



Gambar 209. Ikan Pari Elektrik
Sumber: <http://yanuarasmara.blogspot.co.id>

c. Hiu Kepala Martil



Gambar 210. Hiu Kepala Martil
Sumber: apakabardunia.com

Hiu kepala martil memiliki ratusan ribu elektroreseptor atau sel penerima rangsang listrik. Hiu kepala martil mampu menerima sinyal listrik hingga setengah milyar volt. Hiu kepala martil biasa menggunakan kemampuan mendeteksi sinyal listrik untuk mengetahui letak mangsa di bawah pasir, menghindari keberadaan predator, dan untuk mendeteksi arus laut yang bergerak sesuai medan magnet bumi.

d. Echidnas



Gambar 211. Echidnas
Sumber: apakabardunia.com

Echidnas memiliki moncong memanjang yang berfungsi sebagai pengirim sinyal-sinyal listrik untuk menemukan serangga (mangsa). Elektroreseptor Echidnas terus menerus dibasahi agar lebih mudah untuk menghantarkan listrik. Hal inilah yang menyebabkan kebanyakan hewan yang memiliki sistem elektroreseptor berasal dari perairan.

e. Belut Listrik



Gambar 212. Belut Listrik
Sumber: trubus.id

Penelitian menunjukkan bahwa belut listrik dapat menghasilkan kejutan tanpa lelah selama satu jam. Besarnya jumlah energi listrik yang dihasilkan tersebut diyakini dapat membunuh manusia dewasa.

f. Lele Elektrik



Gambar 213. Lele Elektrik
Sumber: apakabardunia.com

Lele air tawar yang berasal dari perairan tropis di Afrika ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan listrik hingga sebesar 350 volt. Besarnya energi yang dihasilkan lele elektrik sama seperti energi listrik yang diperlukan untuk menyalakan komputer selama 45 menit.

- **Pemanfaatan Medan Magnet pada Migrasi Hewan**

Kehidupan makhluk hidup di bumi dipengaruhi oleh medan magnet bumi. Medan magnet bumi adalah daerah di sekitar bumi yang masih dipengaruhi oleh gaya

tarik bumi. Sebagian besar hewan memanfaatkan medan magnet bumi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Medan magnet bumi berada di sekitar bumi, dapat mempengaruhi batang magnet yang diletakkan bebas disekitar permukaan bumi. Tahukah Anda, mengapa di utara bumi ada kutub selatan magnet bumi dan di selatan bumi ada kutub utara magnet bumi?

Hewan mampu mendeteksi medan magnet bumi karena di dalam tubuh hewan terdapat magnet. Fenomena tersebut dinamakan **biomagnetik**. Selain itu, medan magnet bumi dapat membantu hewan dalam menentukan arah migrasi, mempermudah upaya mencari mangsa, atau menghindari musuh. Tahukah Anda hewan apa saja yang melakukan migrasi dengan memanfaatkan medan magnet bumi? Cermati gambar dan uraian berikut yang menunjukkan beberapa hewan yang melakukan migrasi di bumi.

4. Migrasi Burung

Beberapa jenis burung, misal burung elang dan burung layang-layang, melakukan migrasi pada tiap musim tertentu. Burung tersebut menggunakan partikel magnetik yang ada pada tubuhnya untuk menciptakan “peta” navigasi dengan memanfaatkan medan magnet bumi.



Gambar 214. Migrasi Burung
Sumber: blog.sap.com

Pemanfaatan medan magnet bumi juga digunakan burung merpati pos. Pada zaman dahulu, burung merpati sering dimanfaatkan sebagai kurir surat. Bagaimanakah cara merpati untuk mengetahui jalan pulang? Ternyata merpati memanfaatkan medan magnet bumi sebagai penunjuk arah pulang. Hal ini ditunjukkan hasil penelitian Comel pada tahun 1974 yang memasang magnet di kepala burung merpati. Ternyata, setelah dipasang magnet pada

kepalanya, burung merpati tiba-tiba kehilangan arah dan tidak mengetahui jalan pulang. Mengapa pemasangan magnet pada kepala burung menyebabkan burung tersesat? cari jawabannya pada berbagai sumber yang dapat Anda peroleh!

Penemuan medan magnet menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Penemuan ini menghantarkan manusia ke era baru dalam tatanan kehidupan. Menariknya, tak hanya manusia yang dipengaruhi oleh penemuan hal tersebut, burung pun mengalaminya.

Sejak ditemukannya fenomena alam tentang elektromagnetik, perkembangan dalam dunia elektronik terus berkembang. Padahal, penemuan yang baru berusia 200 tahun itu ternyata memberikan baik hal positif maupun negatif. Umumnya, hal positif dirasakan oleh manusia sedangkan dampak yang negatif dirasakan oleh burung. Beberapa studi terakhir menunjukkan tingginya kemungkinan tentang medan listrik mempengaruhi pola migrasi beberapa jenis burung.

Bumi adalah magnet dengan ukuran paling besar sejauh pengetahuan manusia. Hal itu disebabkan karena inti bumi tersusun atas besi cair yang berputar sehingga membentuk pola medan magnet yang tak terlihat. Hasilnya, kutub utara dan selatan masing-masing menjadi kutub magnet pada bumi. Fenomena tersebut dimanfaatkan oleh burung sebagai penunjuk arah pada sistem navigasi burung. Hal ini pula yang menjelaskan mengapa arah jarum kompas selalu mengarah kepada kutub utara dan selatan bumi.

Medan magnet yang dihasilkan oleh Bumi tidak statis, melainkan dinamis. Medan tersebut ada di sekitar bumi dan medan gaya yang dihasilkan bersifat kontinu. Sebagai makhluk yang dilengkapi oleh sistem pendeteksi medan magnet, burung menggunakan gejala alam ini pada pola kehidupan migrasi mereka. Dengan memanfaatkan medan magnet bumi, beberapa jenis burung tidak akan pernah tersesat ketika bermigrasi dari daerah utara ke selatan. Medan magnet ini lah yang diproses oleh otak burung dan dijadikan rambu-rambu untuk menentukan posisi.

Namun, dengan begitu banyaknya alat-alat elektronik yang diciptakan oleh manusia, tercipta sebuah anomali magnetik yang berdampak pada kehidupan burung. Dalam situsnya, scientificamerican.com menuliskan bahwa beberapa penelitian tentang migrasi burung menggunakan medan magnet bumi mengalami perubahan. Henrik Mouritsen membenarkan persoalan ini, ia mendapatkan bahwa

sistem navigasi burung dipengaruhi oleh kegaduhan (noise) elektromagnetik. Sistem navigasi burung terganggu dengan adanya kegaduhan tersebut sehingga sulit menentukan tujuan.

Penemuan yang dilakukan Mouritsen dilandasi atas pola migrasi European Robins (*Erithacus rubecula*). Ia memodelkan noise elektromagnetik dengan rentang 50 kHz sampai 5 MHz yang merupakan rentang yang digunakan oleh transmisi radio AM. Percobaan ini dilakukan pada sebuah pondok kayu yang dilapisi oleh aluminium untuk mengurangi intensitas noise dari luar. Percobaan yang dilakukan memperlihatkan ketika arus listrik diputus dan aluminium dilepas dan noise elektromagnetik dihidupkan, burung tersebut mengalami disorientasi tujuan yang berarti mereka sulit untuk menemukan arah terbang.

5. Migrasi Salmon

Salmon memiliki kemampuan untuk kembali ke aliran sungai air tawar tempat awal mereka menetas dan tumbuh setelah berenang ribuan mil mengarungi lautan. Penelitian dilakukan terhadap ikan salmon yang melewati Sungai Fraser di Canada dan kembali ke Sungai Fraser lagi setelah dua tahun bermigrasi mengarungi Samudra Pasifik. Hal ini dikarenakan sungai Fraser memiliki medan magnet tertentu yang dapat dideteksi oleh ikan salmon.



Gambar 215. Migrasi Ikan Salmon
Sumber: imgkid.com

6. Migrasi Penyu

Penyu memulai dan mengakhiri migrasi di Pantai Timur Florida Amerika Serikat. Jalur migrasi sepanjang 12.900 km melewati Laut Sargasso, wilayah perairan Laut

Atlantik Utara. Waktu yang dibutuhkan untuk sekali migrasi antara 5-10 tahun. Tidak seperti migrasi hewan lain yang umumnya dilakukan secara berkelompok, penyu bermigrasi sendiri tanpa mengikuti penyu lain.

Seorang peneliti yang bernama Kenneth Lohmann dari Universitas Carolina Utara mempelajari tingkah laku tukik atau penyu saat dihadapkan dengan medan magnet yang berbeda-beda. Peneliti tersebut meletakkan penyu ke dalam sebuah wadah air yang dikelilingi alat yang dapat menimbulkan medan magnet. Medan magnet yang dihasilkan disesuaikan dengan medan magnet jalur migrasi penyu, yaitu wilayah Florida utara, wilayah timur laut dekat Portugal. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penyu mengikuti jalur migrasi yang diberikan.



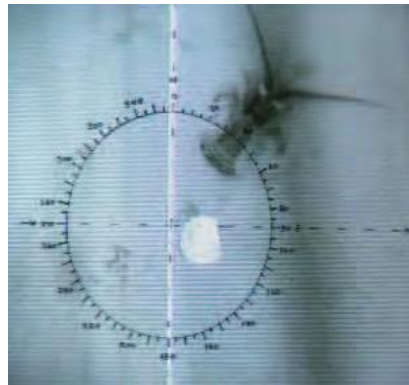
Gambar 216. Penyu yang Bermigrasi
Sumber: www.costarica-scuba.com

Ketika penyu mendeteksi medan magnet yang mirip dengan medan magnet wilayah dekat Portugal, penyu akan berenang menuju selatan ke arah Portugal. Pergerakan penyu dalam mengikuti jalur medan magnet bertujuan untuk menjaga penyu agar tetap berada di lautan yang hangat dan wilayah yang kaya akan sumber makanan.

7. Migrasi Lobster Duri

Peneliti Kenneth Lohmann juga mengobservasi kemampuan lobster duri untuk mendeteksi medan magnet dengan cara meletakkan lobster duri ke dalam bak air yang dapat diatur medan magnetnya. Setiap kali medan magnet diubah, lobster duri akan menyesuaikan diri untuk tetap bergerak menuju arah kutub utara. Hasil dari observasi tersebut membuktikan bahwa lobster duri mampu merasakan

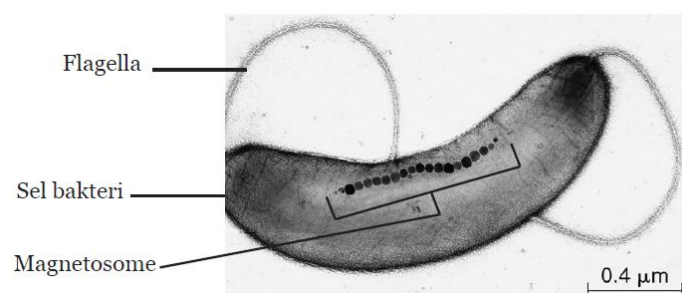
medan magnet bumi untuk memandu migrasi yang dilakukan dari lepas pantai Florida menuju lautan lepas yang lebih hangat dan tenang di setiap akhir musim gugur.



Gambar 217. Lobster Duri Mengikuti Arah Perubahan Medan Magnet
Sumber: National Geographic Channel

8. Magnet dalam Tubuh Bakteri

Tahukah Anda, bahwa dalam tubuh bakteri yang disebut dengan bakteri *Magnetotactic bacteria (MTB)* terdapat organel (komponen) khusus yang disebut **magnetosome**? *Magnetotactic bacteria* merupakan kelompok bakteri yang mampu melakukan navigasi dan bermigrasi dengan memanfaatkan medan magnet. Beberapa jenis bakteri ini memiliki flagela yang berfungsi sebagai pendorong.



Gambar 218. Magnetosome pada Bakteri *Magnetospirillum magnetotacticum* Saat dilihat dengan Menggunakan Mikroskop Elektron dengan Perbesaran Ribuan Kali

Jenis bakteri ini ditemukan pertama kali oleh Richard P. Blakemore pada tahun 1975. Magnetosome tersusun atas senyawa magnetite (Fe_3O_4) atau greigite (Fe_3S_4) yang memiliki sifat kemagnetan jauh lebih kuat dibandingkan dengan

magnet sintetis atau yang dibuat oleh manusia. Magnetosome dan senyawa yang terkandung di dalamnya masih terus diteliti dan diduga memiliki potensi yang besar untuk digunakan dalam bidang kesehatan.

D. Rangkuman

Rangkuman Pendengaran pada Manusia dan Hewan

- Organ pendengaran pada manusia adalah telinga yang berfungsi menangkap gelombang suara dan memberikan rangsang pada sel saraf untuk diterjemahkan di otak.
- Telinga manusia dibagi menjadi 3 area, yaitu telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam.
- Telinga manusia mampu mendengar bunyi dengan frekuensi 20-20.000 Hz yang disebut bunyi audiosonik. Beberapa hewan dapat mendengar bunyi dengan frekuensi di bawah 20 Hz yang disebut bunyi infrasonik, dan bunyi dengan frekuensi di atas 20.000 Hz yang disebut bunyi ultrasonik.
- Sonar merupakan suatu sistem penggunaan gelombang ultrasonik untuk menaksirkan ukuran, bentuk, atau kedalaman yang biasa dipakai di kapal atau hewan tertentu seperti lumba-lumba dan kelelawar.

Rangkuman Indra Penglihatan Manusia dan Hewan

- Bagian mata yang banyak berperan pada proses pembentukan bayangan benda adalah kornea, iris, lensa, dan retina.
- Gangguan pada lensa mata dapat menyebabkan seseorang menderita miopi, hipermetropi, buta warna, presbiopi, dan astigmatisme.
- Miopi adalah kelainan yang menyebabkan seseorang tidak dapat melihat dengan jelas benda yang jaraknya jauh (tak hingga). Penderita hipermetropi dapat dibantu dengan lensa cekung.
- Hipermetropi adalah kelainan yang menyebabkan seseorang tidak dapat melihat dengan jelas benda yang jaraknya dekat. Penderita hipermetropi dapat dibantu dengan lensa cembung.
- Buta warna adalah kelainan yang disebabkan ketidakmampuan sel-sel kerucut mata untuk menangkap suatu warna tertentu.

- Penderita presbiopi tidak mampu melihat dengan jelas benda- benda yang berada di jarak jauh maupun benda yang berada pada jarak dekat. Presbiopi dapat dibantu dengan kaca mata rangkap, yaitu kaca mata cembung dan cekung.
- Mata serangga disebut juga mata majemuk atau mata faset yang terdiri atas beberapa omatidia. Omatidia berfungsi sebagai reseptor penglihatan yang terpisah. Gabungan seluruh respons dari omatidia merupakan bayangan mosaik

Rangkuman Kelistrikan pada Sel saraf

- Hewan tertentu dapat menghasilkan listrik, misalnya ikan belalai gajah, ikan pari elektrik, hiu kepala martil, echidnas, belut listrik, lele elektrik.
- Lobster duri, bakteri, merpati, elang, salmon, dan penyu laut memanfaatkan prinsip medan magnet bumi untuk navigasi, menghindari predator, dan mencari mangsa.

Penutup

Modul belajar mandiri yang telah dikembangkan diharapkan dapat menjadi referensi bagi Anda dalam mengembangkan dan me-*refresh* pengetahuan dan keterampilan. Selanjutnya, Anda dapat menggunakan modul belajar mandiri sebagai salah satu bahan belajar mandiri untuk menghadapi seleksi Guru P3K.

Anda perlu memahami substansi materi dalam modul dengan baik. Oleh karena itu, modul perlu dipelajari dan dikaji lebih lanjut bersama rekan sejawat baik dalam komunitas pembelajaran secara daring maupun komunitas praktisi (Gugus, KKG, MGMP) masing-masing. Kajian semua substansi materi yang disajikan perlu dilakukan, sehingga Anda mendapatkan gambaran teknis mengenai rincian materi substansi. Selain itu, Anda juga diharapkan dapat mengantisipasi kesulitan-kesulitan dalam materi substansi yang mungkin akan dihadapi saat proses seleksi Guru P3K.

Pembelajaran-pembelajaran yang disajikan dalam setiap modul merupakan gambaran substansi materi yang digunakan mencapai masing-masing kompetensi Guru sesuai dengan indikator yang dikembangkan oleh tim penulis/kurator. Selanjutnya Anda perlu mencari bahan belajar lainnya untuk memperkaya pengetahuan dan keterampilan sesuai dengan bidang studinya masing-masing, sehingga memberikan tingkat pengetahuan dan keterampilan yang komprehensif. Selain itu, Anda masih perlu mengembangkan pengetahuan dan keterampilan Anda dengan cara mencoba menjawab latihan-latihan soal tes yang disajikan dalam setiap pembelajaran pada portal komunitas pembelajaran.

Dalam melaksanakan kegiatan belajar mandiri Anda dapat menyesuaikan waktu dan tempat sesuai dengan lingkungan masing-masing (sesuai kondisi demografi). Harapan dari penulis/kurator, Anda dapat mempelajari substansi materi bidang studi pada setiap pembelajaran yang disajikan dalam modul untuk mengembangkan pengetahuan dan keterampilan sehingga siap melaksanakan seleksi Guru P3K.

Selama mengimplementasikan modul ini perlu terus dilakukan refleksi, evaluasi, keberhasilan serta permasalahan. Permasalahan-permasalahan yang ditemukan dapat langsung didiskusikan dengan rekan sejawat dalam komunitas pembelajarannya masing-masing agar segera menemukan solusinya.

Capaian yang diharapkan dari penggunaan modul ini adalah terselenggaranya pembelajaran bidang studi yang optimal sehingga berdampak langsung terhadap hasil capaian seleksi Guru P3K. Kami menyadari bahwa modul yang dikembangkan masih jauh dari kesempurnaan. Saran, masukan, dan usulan penyempurnaan dapat disampaikan kepada tim penulis/kurator melalui surat elektronik (e-mail) sangat kami harapkan dalam upaya perbaikan dan pengembangan modul-modul lainnya.

Modul Belajar Mandiri

CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)

Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)