



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

Biologi



MODUL BELAJAR MANDIRI CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)

Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)

**Bidang Studi
Biologi**

Penulis:

Tim GTK DIKDAS

Desain Grafis dan Ilustrasi:

Tim Desain Grafis

Copyright© 2021

Direktorat GTK Pendidikan Dasar

Direktorat Jenderal Gurudan 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	ix
Daftar Tabel	xv
Pendahuluan	1
A. Deskripsi Singkat.....	1
B. Peta Kompetensi	2
C. Ruang Lingkup	7
D. Petunjuk Belajar	8
Pembelajaran 1: Sel	9
A. Kompetensi	9
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	9
C. Uraian Materi.....	9
1. Struktur dan Fungsi Komponen Sel	9
2. Perbedaan Sel Tumbuhan dan Sel Hewan	28
3. Transportasi Melalui Membran Plasma.....	29
D. Rangkuman.....	36
Pembelajaran 2: Struktur dan Fungsi jaringan	37
A. Kompetensi	37
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	37
C. Uraian Materi.....	38
1. Jaringan Tumbuhan.....	38
2. Jaringan Hewan.....	46
D. Rangkuman.....	57
Pembelajaran 3: Sistem Gerak pada Manusia	59
A. Kompetensi	59
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	59
C. Uraian Materi.....	59
1. Sistem Rangka pada Manusia	60
2. Sistem Otot Manusia	74
3. Gangguan/Penyakit pada Sistem Rangka	77
D. Rangkuman.....	79

Pembelajaran 4: Genetika dan Pewarisan Sifat	81
A. Kompetensi	81
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	81
C. Uraian Materi.....	82
1. Materi Genetika	82
2. Pewarisan Sifat.....	91
D. Rangkuman	108
Pembelajaran 5: Respon Fisiologi Makhluk Hidup	109
A. Kompetensi	109
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	109
C. Uraian Materi.....	109
1. Jenis-jenis Gerak pada Tumbuhan	109
2. Respon Fisiologi pada Hewan	119
3. Sistem Imun.....	122
D. Rangkuman	140
Pembelajaran 6: Pertumbuhan dan Perkembangan Makhluk Hidup	143
A. Kompetensi	143
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	143
C. Uraian Materi.....	144
1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tanaman	144
2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Hewan	158
D. Rangkuman	162
Pembelajaran 7: Ekosistem	163
A. Kompetensi	163
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	163
C. Uraian Materi.....	163
1. Komponen Ekosistem.....	165
2. Interaksi dalam ekosistem	168
3. Pola Makan.....	171
4. Siklus Biogeokimia.....	175
5. Suksesi.....	177
6. Upaya manusia dalam pemeliharaan Ekosistem	180

7. Upaya Memperbaiki Ekosistem	180
D. Rangkuman.....	182
Pembelajaran 8: Keanekaragaman Hayati	183
A. Kompetensi	183
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	183
C. Uraian Materi.....	184
1. Konsep Keanekaragaman hayati.....	184
2. Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Keanekaragaman Hayati.....	185
3. Tingkat Keanekaragaman Hayati.....	186
4. Pola Sebaran Keanekaragaman Hayati di Indonesia	189
5. Manfaat Keanekaragaman Hayati.....	190
6. Faktor Penyebab Penurunan Keanekaragaman Hayati	192
7. Upaya Konservasi Keanekaragaman Hayati.....	195
D. Rangkuman.....	197
Pembelajaran 9: Klasifikasi Tumbuhan.....	199
A. Kompetensi	199
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	199
C. Uraian Materi.....	199
1. Sistem Klasifikasi Makhluk Hidup.....	199
2. Identifikasi Makhluk Hidup	204
3. Klasifikasi pada Tumbuhan	206
D. Rangkuman.....	223
Pembelajaran 10: Evolusi.....	225
A. Kompetensi	225
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	225
C. Uraian Materi.....	225
1. Pengertian Evolusi.....	225
2. Prinsip-Prinsip Evolusi.....	239
3. Mekanisme Evolusi.....	240
D. Rangkuman.....	252
Pembelajaran 11: Bioteknologi.....	253
A. Kompetensi	253
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	253
C. Uraian Materi.....	253

Modul Belajar Mandiri

1. Pengertian bioteknologi	253
2. Prinsip-prinsip dasar bioteknologi	255
3. Sejarah perkembangan bioteknologi.....	256
4. Peranan mikroorganisme dan bioteknologi konvensional.....	267
D. Rangkuman	275
Penutup	276
Daftar Pustaka.....	277

Daftar Gambar

	Hlm.
Gambar 1. Alur Pembelajaran Bahan Belajar Mandiri	8
Gambar 2 Dinding Sel	12
Gambar 3. Membran Plasma	13
Gambar 4. Struktur Fosfolipida	13
Gambar 5. Nukleus.....	15
Gambar 6. Retikulum Endoplasma	16
Gambar 7. Badan Golgi	17
Gambar 8. Lisosom	18
Gambar 9. Mitokondria	20
Gambar 10. Ribosom.....	21
Gambar 11. Kloroplas.....	22
Gambar 12. Sentrosom/Sentriol.....	23
Gambar 13. Struktur Peroxisom.....	24
Gambar 14. Mikrotubulus dan Mikrofilamen.....	26
Gambar 15. Vakuola pada sel tumbuhan dan hewan.....	27
Gambar 16. Struktur Sel Tumbuhan dan Sel Hewan	29
Gambar 17. Mekanisme Pompa Ion (Natrium-Kalium).....	31
Gambar 18. Mekanisme Endositosis.....	31
Gambar 19. Eksositosis	32
Gambar 20. Difusi zat (a) dipermudah dengan saluran protein;	34
Gambar 21. Osmosis.....	35
Gambar 22. Jaringan pada daun dengan sel-sel epidermis dan parenkim.....	40
Gambar 23. Jaringan parenkim.....	41
Gambar 24. Jaringan kolenkim	42
Gambar 25. Jaringan sklerenkim	43
Gambar 26. Struktur jaringan xylem.....	44
Gambar 27. Sel-sel floem	45
Gambar 28. Jaringan Gabus.....	46
Gambar 29. Jaringan ikat pada manusia	51
Gambar 30. Jaringan darah	53

Gambar 31. Otot polos.....	54
Gambar 32. Otot Jantung	54
Gambar 33. Otot Lurik	54
Gambar 34. Struktur sel saraf.....	55
Gambar 35. Sinapsis	56
Gambar 36. Kerjasama antara Rangka dan Otot Menghasilkan Gerakan	60
Gambar 37. Pembentukan Tulang	62
Gambar 38. Struktur tulang pipih	63
Gambar 39. Tulang tidak beraturan	63
Gambar 40. Tulang sesamoid.....	64
Gambar 41. Tulang kompak dan tulang spon	65
Gambar 42. Struktur Tulang Panjang.....	65
Gambar 43. Struktur Mikroskopik Tulang Kompak.....	67
Gambar 44. Sendi engsel	72
Gambar 45. Sendi putar.....	72
Gambar 46. Sendi pelana	73
Gambar 47. Sendi Geser	73
Gambar 48. Sendi peluru	73
Gambar 49. Struktur otot	74
Gambar 50. Aktin dan miosin dalam sel.....	75
Gambar 51. Filamen aktin dan miosin yang saling meluncur	76
Gambar 52. Tiga Bentuk Patah Tulang.....	77
Gambar 53. Hubungan DNA dengan Kromosom	82
Gambar 54. Alel warna mata pada <i>Drosophila</i> sp.	84
Gambar 55. Nukleotida	85
Gambar 56. Replikasi DNA	86
Gambar 57. Nukleotida RNA.....	87
Gambar 58. Proses Transkripsi	89
Gambar 59. Proses Translasi	90
Gambar 60. Kode Gentika	90
Gambar 61. Gregor Mendel	91
Gambar 62. Proses Penyilangan	92
Gambar 63. Alel pada warna bunga.....	95
Gambar 64. Persilangan Monohibrid.....	96

Gambar 65. Rasio Genotip dan Fenotip pada Persilangan Monohibrid.....	97
Gambar 66. Persilangan Dihibri	98
Gambar 67. Persilangan Polimeri	103
Gambar 68. Kriptomeri.....	104
Gambar 69. Gerak higroskopis pada lamtoro.....	110
Gambar 70. Gerak fototropisme tumbuhan.....	112
Gambar 71. Bunga Mirabilis jalapa	115
Gambar 72. Niktinasti pada daun Turi (<i>Sesbania grandiflora</i>).....	116
Gambar 73. Tigmonasti pada <i>Mimosa pudica</i> (kiri), termonasti pada bunga tulip (kanan).....	117
Gambar 74. Bagan Mekanisme Pertahanan Tubuh	125
Gambar 75. Kulit sebagai pertahanan tubuh.....	127
Gambar 76. Makrofag yang Memakan Bakteri.....	129
Gambar 77. Mekanisme pertahanan tubuh dengan respon inflamatori	130
Gambar 78. Bentuk Immunoglobulin	135
Gambar 79. Struktur Antibodi.....	136
Gambar 80. Mekanisme Pengikatan antibodi ke antigen	138
Gambar 81. Pembengkokan arah pertumbuhan menuju cahaya (fototropisme) dipengaruhi oleh auksin. (sumber: Taiz & Zeiger, 2006)	146
Gambar 82. Mekanisme auksin mempengaruhi gen (sumber: Taiz & Zeiger, 2006).....	147
Gambar 83. Rantai Makanan.....	172
Gambar 84. Jaringan-jaring makanan.....	172
Gambar 85. Piramida Makanan	173
Gambar 86. Hubungan antara aliran energi, daur materi dan rantai makanan .	174
Gambar 87. Suksesi primer	177
Gambar 88. Suksesi tumbuhan dalam suatu rawa yang dimulai dengan batang tumbuhan rawa, yang tumbuh keluar daridalam air, rnaka terbentuk selapis vegetasi yang makin lama makin tebal sesuai dengan tahun-tahun yang berlalu dan area perairan terbuka makin menciut.....	178
Gambar 89. Peta Dunia	185
Gambar 90. Berbagai varietas Ikan Koi	187
Gambar 91. Keanekaragaman jenis ikan hias air asin	188
Gambar 92. Contoh keanekaragaman ekosistem	189

Gambar 93. Pola sebaran keanekaragaman hayati di Indonesia	190
Gambar 94. Koridor untuk mengatasi fragmentasi habitat	193
Gambar 95. Kawasan Heart of Borneo	196
Gambar 96. Situasi pasar tradisional dan swalayan.....	200
Gambar 97. Sejarah perkembangan sistem klasifikasi makhluk hidup	202
Gambar 98. Model kunci determinasi dikotom	206
Gambar 99. Diagram filogenetik yang menunjukkan hipotesis hubungan kekerabatan antar golongan tumbuhan (Campbell, 2011).....	208
Gambar 100. <i>Marchantia polymorpha</i>	209
Gambar 101. Lumut Tanduk	210
Gambar 102. Diagram Lumut Daun. A. Gametofit; B. Sporofit	210
Gambar 103. Lumut daun pada permukaan batu yang lembab.....	211
Gambar 104. <i>Lycopodium</i> sp. (A.); <i>Selaginella</i> sp. (B.); dan <i>Isoetes</i> (C.).....	212
Gambar 105. Paku Tiang (<i>Cyathea contaminans</i>), dengan entalnya	213
Gambar 106. Paku ekor kuda, <i>Equisetum</i> sp.....	214
Gambar 107. <i>Psilotum</i> sp.....	214
Gambar 108. Perbandingan Gametofit – Sporofit pada lumut, paku, dan tumbuhan berbiji.	215
Gambar 109. Pakis Haji (<i>Cycas rhumpii</i>)	216
Gambar 110. <i>Ginkgo biloba</i>	216
Gambar 111. Melinjo (<i>Gnetum gnemon</i>).....	217
Gambar 112. Variasi bentuk buah. Mahoni (a); Pacar Air (b); dan Dandelion (c)	218
Gambar 113. <i>Nymphaea caerulea</i> (Nymphaeales)	219
Gambar 114. Bunga Lawang, <i>Illicium verum</i> (Austrobaileyales)	219
Gambar 115. Alpukat (<i>Persea americana</i>).....	220
Gambar 116. Perbedaan karakter dari Monocot dan Eudicot.....	221
Gambar 117. Diagram Filogeni Angiospernae (APG III, 2009).....	222
Gambar 118. Pertumbuhan Populasi Manusia (dalam hitungan miliar orang)..	232
Gambar 119. Lamarck percaya bahwa leher jerapah yang panjang berkembang dari generasi-generasi jerapah yang memanjangkan lehernya untuk mencapai daun-daun yang lebih tinggi.....	233
Gambar 120. Lyell menemukan bukti bahwa lembah-lembah dibentuk melalui proses yang lambat dari erosi, bukan oleh karena malapetaka banjir.	234

Gambar 121. Di pulau Galapagos Darwin menemukan 13 spesies burung Finch (Geospiza sp) yang beradaptasi dengan relung lingkungan yang berbeda. Burung-burung tersebut berbeda dalam bentuk paruh, sumber makanan, dan cara memperoleh makanan.	235
Gambar 122. Merpati pos (bawah kiri) dan Brunner pouter (bawah kanan) berasal dari merpati batu karang yang liar (atas)	237
Gambar 123. Cara seleksi alam dalam mempengaruhi penurunan frekuensi suatu sifat	243
Gambar 124. Bayi Mammoth yang terperangkap dalam es, diperkirakan hidup 22.000 tahun yang lalu.....	247
Gambar 125. (a) Mineral menggantikan material tumbuhan untuk membentuk kayu yang membatu; (b) serangga terjat di dalam getah pohon, yang kemudian mengeras ke dalam batu amber	248
Gambar 126. Homologi pada daun	249
Gambar 127. “Dewclaws” organ vestigial pada beberapa hewan.....	250
Gambar 128. Karakter-karakter yang ditunjukkan oleh embrio mungkin menguraikan pola hubungan di antara garis keturunan.....	251
Gambar 129. Sejarah perkembangan bioteknologi. Beberapa penemuan penting telah digambarkan dalam grafik ini dengan kemungkinan untuk pertumbuhannya yang tidak terbatas di masa depan	260
Gambar 130. Masa bercocok tanam dan beternak di zaman Mesir kuno	261
Gambar 131. Gregor Mendel, biarawan asal Austria yang menemukan pola pewarisan sifat pada makhluk hidup.....	263
Gambar 132. Edward Jenner, penemu vaksin untuk penyakit cacar dan rabies	263
Gambar 133. Alexander Flemming, penemu senyawa antibiotik dari mikroba .	264
Gambar 134. Watson dan Crick, penemu model struktur DNA	265
Gambar 135. Kary Mullis mendapatkan Nobel dibidang Kimia pada usia 49 tahun atas penemuan metode Polymerase Chain Reaction yang merubah metode perbanyak DNA dari kloning pada bakteri (in vivo) menjadi in vitro	266
Gambar 136. Bakteri sebagai agen biokontrol tanaman terhadap patogen yang merusak tanaman.	269
Gambar 137. Pemanfaatan bioteknologi dalam bidang farmasi	272
Gambar 138. Proses isolasi tembaga dari papan sirkuit sisa barang elektronik	273

Gambar 139. Proses bioremediasi limbah minyak menggunakan mikroorganisme
.....274

Daftar Tabel

	Hlm.
Tabel 1. Target Kompetensi Guru P3K	2
Tabel 2. Peta Kompetensi Bahan Belajar Bidang Studi Biologi	2
Tabel 3 Beberapa karakteristik pasangan kromosom homolog	83
Tabel 4 Hasil penyilangan yang dilakukan oleh Mendel	93
Tabel 5 Hubungan antara jumlah sifat beda dengan jumlah kombinasi gen pada gamet yang dihasilkan F1, genotip dan fenotip F2	99
Tabel 6 Mekanisme pertahanan tubuh nonspesifik dan spesifik.....	126
Tabel 7 Macam antibodi dan fungsinya.....	135
Tabel 8 Perbedaan Pertahanan Nonspesifik (Alamiah) Dengan Pertahanan Spesifik.....	140
Tabel 9 Fungsi nutrisi pada tumbuhan dan penyakit akibat kekurangan unsur makro	152
Tabel 10 Fungsi nutrisi pada tumbuhan dan penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan unsur mikro	153
Tabel 11 Hubungan waktu geologis dengan keanekaragaman organisme	228
Tabel 12 Perkembangan sejarah bioteknologi	258

Pendahuluan

A. Deskripsi Singkat

Modul Belajar Mandiri ini disusun dalam rangka memudahkan guru mempelajari bahan-bahan bacaan untuk calon guru P3K. Modul ini disusun sebagai bahan belajar berdasarkan kompetensi yang dimuat pada Model Kompetensi Guru dan dikurasi dari beberapa sumber, yaitu modul PKB dan modul PPG. Pada modul ini dilakukan penyesuaian dan perbaikan pada kalimat kompetensi pembelajaran dan indikator pencapaian kompetensi agar selaras dengan tujuan penulisan modul yaitu untuk memudahkan calon guru P3K dalam mempelajari bahan ajar ini.

Bahan belajar mandiri bidang studi biologi ini berisi bahan bacaan bagi calon guru P3K yang terdiri dari:

- Pembelajaran 1. Sel
- Pembelajaran 2. Struktur dan Fungsi Jaringan
- Pembelajaran 3. Sistem Gerak pada Manusia
- Pembelajaran 4. Genetika dan Pewarisan Sifat
- Pembelajaran 5. Respon Fisiologi Makhluk Hidup
- Pembelajaran 6. Pertumbuhan dan Perkembangan Makhluk Hidup
- Pembelajaran 7. Ekosistem
- Pembelajaran 8. Keanekaragaman hayati
- Pembelajaran 9. Klasifikasi Tumbuhan
- Pembelajaran 10. Evolusi
- Pembelajaran 11. Bioteknologi

Bahan belajar mandiri ini memberikan pengalaman belajar bagi calon guru P3K dalam memahami konsep dari setiap materi biologi yang disajikan dengan tujuan agar calon guru P3K dapat dengan mudah memahami teori, hukum, maupun konsep bidang studi biologi, sekaligus mendorong guru untuk menguasai semua topik dalam pembelajaran biologi.

Rangkuman pembelajaran selalu diberikan di setiap akhir pembelajaran yang berfungsi untuk memudahkan dalam mengingat dan memahami substansi materi esensial, serta mudah memahami ruang lingkup dan gambaran umum dari konsep-konsep biologi yang diperlukan untuk dikuasai oleh guru P3K.

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 Guru yang akan dicapai oleh calon 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

Kompetensi dari Model Kompetensi Guru di atas dijabarkan ke dalam indikator-indikator pencapaian kompetensi untuk bidang studi biologi yang disajikan di dalam Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Peta Kompetensi Bahan Belajar Bidang Studi Biologi

KOMPETENSI GURU	INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI
Pembelajaran 1. Sel	
1. Memahami teori sel	1. Menjelaskan teori sel.
2. Memahami struktur/organel sel dan fungsinya	2. Menjelaskan struktur pada sel
	3. Menjelaskan perbedaan sel

KOMPETENSI GURU	INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI
3. Memahami perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan 4. Memahami transportasi zat pada sel	tumbuhan dan hewan 4. Menjelaskan transportasi zat melalui membran
Pembelajaran 2. Struktur dan Fungsi Jaringan	
1. Menguasai pengetahuan tentang ciri-ciri serta contoh jaringan penyusun pada organ-organ tumbuhan dan hewan. 2. Memahami secara tepat fungsi jaringan-jaringan penyusun organ pada tumbuhan dan hewan. 3. Memahami jaringan-jaringan tumbuhan. 4. Memahami jaringan-jaringan hewan	1. Menyebutkan ciri-ciri jaringan meristem. 2. Menyebutkan contoh-contoh jaringan meristem. 3. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan epidermis dan fungsinya pada tumbuhan 4. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan dasar dan fungsinya pada tumbuhan. 5. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan penyokong dan fungsinya pada tumbuhan 6. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan pengangkut dan fungsinya pada tumbuhan 7. Menjelaskan struktur dan fungsi jaringan epitel pada hewan atau manusia. 8. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan penunjang dan fungsinya pada hewan. 9. Menjelaskan struktur dan fungsi saraf pada manusia.

KOMPETENSI GURU	INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI
Pembelajaran 3. Sistem Gerak pada Manusia	
<ol style="list-style-type: none"> Memahami struktur dan fungsi sistem gerak dengan mekanisme gerak pada manusia dengan benar Memahami kelainan yang terjadi pada sistem gerak dengan tepat 	<ol style="list-style-type: none"> Menjelaskan fungsi rangka sebagai penyusun sistem gerak pada manusia Menjelaskan fungsi otot sebagai penyusun sistem gerak pada manusia Mendeskripsikan struktur tulang pada manusia Mendeskripsikan perkembangan dan pertumbuhan tulang Mendeskripsikan struktur otot pada manusia Menjelaskan mekanisme kontraksi otot pada manusia Mendeskripsikan hubungan antar tulang yang membentuk berbagai persendian Mengidentifikasi berbagai gangguan atau penyakit pada sistem gerak manusia.
Pembelajaran 4. Genetik dan Pewarisan Sifat	
<ol style="list-style-type: none"> Memahami Hukum Mendel I dan II dalam pewarisan sifat Menerapkan prinsip pewarisan sifat berdasarkan Hukum Mendel Menguasai macam-macam interaksi gen dalam pewarisan sifat 	<ol style="list-style-type: none"> Menjelaskan struktur dan fungsi kromosom, Gen, DNA, dan RNA Membedakan DNA dan RNA Menjelaskan proses sintesis protein Menjelaskan kode genetik Menjelaskan hukum mendel dalam proses pewarisan sifat; Menerapkan hukum Mendel I dan

KOMPETENSI GURU	INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI
	<p>Il secara teoritis dalam persilangan tumbuhan;</p> <p>7. Menentukan macam-macam interaksi gen yang terjadi pada makhluk hidup;</p> <p>8. Menerapkan interaksi gen dalam dalam persilangan;</p> <p>9. Menjelaskan pola pewarisan sifat pada makhluk hidup berdasarkan Hukum Mendel</p>
Pembelajaran 5. Respon Fisiologi Makhluk Hidup	
<p>1. Memahami jenis-jenis gerak pada tumbuhan.</p> <p>2. Memahami respon fisiologi pada hewan.</p> <p>3. Memahami system imun.</p>	<p>1. Menjelaskan jenis-jenis gerak pada tumbuhan.</p> <p>2. Menjelaskan respon fisiologi pada hewan.</p> <p>3. Menjelaskan system imun</p>
Pembelajaran 6. Pertumbuhan dan Perkembangan Makhluk Hidup	
<p>1. Memahami faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.</p> <p>2. Memahami faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hewan</p>	<p>1. Menjelaskan faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.</p> <p>2. Menjelaskan faktor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.</p> <p>3. Menjelaskan faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hewan.</p> <p>4. Menjelaskan faktor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hewan</p>

KOMPETENSI GURU	INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI
Pembelajaran 7. Ekosistem	
Mendeskripsikan dan menerapkan konsep-konsep ekosistem.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menyebutkan jenis komponen ekosistem 2. Menguraikan pola interaksi dalam ekosistem 3. Menyusun rantai makanan dan jaring-jaring makanan dalam ekosistem 4. Menjelaskan siklus biogeokimia dalam ekosistem 5. Mengenal suksesi ekosistem 6. Menjelaskan upaya manusia dalam pemeliharaan ekosistem
Pembelajaran 8. Keanekaragaman Hayati	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Memahami keterkaitan antara faktor-faktor penyebab keanekaragaman hayati dengan tingkat keanekaragaman hayati 2. Memahami manfaat keanekaragaman hayati dalam kehidupan 3. Memahami upaya pelestarian keanekaragaman hayati 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan konsep keanekaragaman hayati. 2. Menjelaskan konsep tingkat keanekaragaman hayati (genetik, jenis, hingga ekosistem). 3. Mengidentifikasi pola sebaran keanekaragaman hayati di Indonesia (orientalis, peralihan, dan australis). 4. Menjelaskan manfaat keanekaragaman hayati. 5. Menjelaskan faktor-faktor penurunan keanekaragaman hayati. 6. Mengidentifikasi dampak penurunan keanekaragaman hayati. 7. Menjelaskan upaya-upaya konservasi sumber daya

KOMPETENSI GURU	INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI
	keanekaragaman hayati.
Pembelajaran 9. Klasifikasi Tumbuhan	
1. Memahami dasar-dasar klasifikasi pada makhluk hidup. 2. Memahami klasifikasi pada tumbuhan	1. Menjelaskan dasar-dasar klasifikasi makhluk hidup 2. Membuat kunci determinasi makhluk hidup sederhana 3. Menjelaskan sistem klasifikasi pada tumbuhan
Pembelajaran 10. Evolusi	
1. Memahami pengertian dan perkembangan teori evolusi. 2. Memahami prinsip-prinsip evolusi 3. Memahami bukti-bukti evolusi	1. Menjelaskan pengertian evolusi. 2. Menjelaskan perkembangan teori evolusi. 3. Menjelaskan prinsip-prinsip evolusi. 4. Menjelaskan bukti-bukti evolusi
Pembelajaran 11. Bioteknologi	
1. Memahami pengertian dan prinsip-prinsip bioteknologi. 2. Memahami perkembangan bioteknologi. 3. Memahami peranan mikroorganisme dalam bioteknologi	1. Menjelaskan pengertian bioteknologi. 2. Menjelaskan prinsip-prinsip dasar bioteknologi. 3. Menjelaskan fase perkembangan bioteknologi. 4. Menjelaskan peranan mikroorganisme dan bioteknologi konvensional

C. Ruang Lingkup

Ruang lingkup materi pada bahan belajar mandiri calon guru P3K ini disusun dalam dua bagian besar. Bagian pertama adalah Pendahuluan yang terdiri dari deskripsi singkat, peta kompetensi, ruang lingkup, dan petunjuk belajar. Bagian kedua adalah Pembelajaran yang terdiri dari Kompetensi, Indikator Pencapaian

Kompetensi, Uraian Materi, dan Rangkuman. Di bagian selanjutnya adalah Penutup, Daftar pustaka, dan Lampiran.

Rincian materi pada bahan belajar mandiri bagi calon guru P3K adalah materi esensial pada topik Ekosistem, Keanekaragaman Hayati, Struktur dan Fungsi Jaringan, Sistem Gerak pada Manusia, Klasifikasi Tumbuhan, Sel, Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan tanaman, Respon Fisiologi Makhluk Hidup, Evolusi, dan Bioteknologi.

D. Petunjuk Belajar

Secara umum cara penggunaan bahan belajar mandiri ini disesuaikan dengan skenario yang ada di setiap modul bidang studi. Bahan belajar mandiri ini dapat digunakan dalam kegiatan peningkatan kompetensi guru bidang studi, baik melalui untuk moda mandiri, maupun moda daring yang menggunakan konsep Pembelajaran Bersama dalam komunitas pembelajaran secara daring.



Gambar 1. Alur Pembelajaran Bahan Belajar Mandiri

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa akses ke bahan belajar mandiri dapat melalui SIMPB bersamaan dengan Perangkat Ajar dan Soal-soal Latihan. Bahan-bahan tersebut dapat diperoleh secara daring dan didapat secara mudah dan dipelajari secara mandiri oleh calon Guru P3K. Sistem dikembangkan secara sederhana, mudah, dan ringan sehingga *user friendly* dengan memanfaatkan komunitas pembelajaran secara daring. Dengan sistem tersebut diharapkan segala permasalahan yang muncul dalam proses pembelajaran mandiri dapat di selesaikan secara komunitas, sehingga tanpa kehadiran fasilitator-pun guru dapat berkolaborasi dan menjawab berbagai permasalahan belajar yang muncul.

Pembelajaran 1: Sel

Sumber: Modul PPG (Pendidikan Profesi Guru)
Modul 2, Kegiatan Belajar 1. Sel Tumbuhan dan Hewan
Penulis: Dra. Cicik Suriani, M. Si, dkk

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi Sel, kompetensi yang diharapkan dikuasai peserta adalah:

1. Memahami teori sel
2. Memahami struktur/organel sel dan fungsinya
3. Memahami perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan
4. Memahami transportasi zat pada sel

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Sel berikut ini

1. Menjelaskan teori sel.
2. Menjelaskan struktur pada sel
3. Menjelaskan perbedaan sel tumbuhan dan hewan
4. Menjelaskan transportasi zat melalui membrane

C. Uraian Materi

1. Struktur dan Fungsi Komponen Sel

Sel merupakan unit terkecil yang menyusun tubuh makhluk hidup dan merupakan tempat terselenggaranya fungsi kehidupan. Sel pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan Inggris bernama Robert Hooke pada tahun 1665. Saat itu Hooke mengamati sayatan gabus dari batang tumbuhan yang sudah mati menggunakan mikroskop sederhana. Ia menemukan adanya ruang-ruang kosong yang dibatasi dinding tebal dan menamakannya dengan istilah *cellulae* artinya sel. Penemuan tentang sel berkembang lagi ketika ilmuwan

Belanda bernama Antonie van Leeuwenhoek merupakan orang pertama yang menemukan sel hidup. Ia merancang sebuah mikroskop kecil berlensa tunggal yang digunakan untuk mengamati air rendaman jerami. Ia menemukan organisme yang bergerak-gerak di dalam air yang kemudian disebut bakteri. Sejak saat itu, beberapa ilmuwan berlomba untuk mengetahui lebih banyak tentang sel. Kemudian lahirlah teori-teori tentang sel. Beberapa teori tentang sel sebagai berikut:

Sel merupakan kesatuan atau unit struktural makhluk hidup, Tahun 1839 Jacob Schleiden, ahli botani berkebangsaan Jerman mengadakan pengamatan mikroskopis terhadap sel tumbuhan. Pada waktu yang bersamaan Theodore Schwann melakukan pengamatan terhadap sel hewan. Dari hasil pengamatannya mereka menarik kesimpulan bahwa:

- a. Tiap makhluk hidup terdiri dari sel
- b. Sel merupakan unit struktural terkecil pada makhluk hidup
- c. Organisme bersel tunggal terdiri dari sebuah sel, organisme lain yang tersusun lebih dari satu sel disebut organisme bersel banyak.

Sel sebagai unit fungsional makhluk hidup, Max Schultze (1825–1874) menyatakan bahwa protoplasma merupakan dasar fisik kehidupan bukan hanya bagian struktural sel tetapi juga merupakan bagian penting sel sebagai tempat berlangsung reaksi-reaksi kimia kehidupan.

Sel sebagai unit pertumbuhan makhluk hidup Rudolph Virchow (1821–1902) berpendapat bahwa *omnis cellula ex cellulae* (semua sel berasal dari sel sebelumnya).

Sel sebagai unit hereditas makhluk hidup Ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong penemuan unit-unit penurunan sifat yang terdapat dalam nukleus, yaitu kromosom. Dalam kromosom terdapat gen yang merupakan unit pembawa sifat. Melalui penemuan ini muncullah teori bahwa sel merupakan unit hereditas makhluk hidup.

Secara struktural dan fungsional, sel terdiri dari komponen bahan kimia dan organel-organel sel. Di dalam sel hidup terdapat senyawa kimiawi yang dihasilkan dari aktivitas sel, disebut biomolekul. Seluruh senyawa tersebut saling berinteraksi secara terarah dan teratur sehingga menunjukkan ciri kehidupan. Terdapat perbedaan komposisi senyawa penyusun tubuh hewan dengan tumbuhan. Tubuh hewan banyak mengandung protein, sedangkan tubuh

tumbuhan lebih banyak mengandung karbohidrat. Komponen kimiawi sel tersebut merupakan unsur dan senyawa dasar yang penting untuk aktivitas sel di dalam tubuh makhluk hidup. Bahan dasar sebuah sel terdiri dari 70-85% air, sekitar 10-20% protein, 2% lemak, 1% karbohidrat dan elektrolit. Komponen kimia dalam sel dapat berupa komponen anorganik (misalnya air dan ion-ion mineral) dan komponen organik (misalnya karbohidrat, protein, lipida dan asam nukleat). Secara struktural, komponen sel yang menyusun sel sebagai berikut:

a. Dinding Sel

Dinding sel merupakan komponen sel yang terdapat pada sel tumbuhan (Gambar 39). Sel hewan tidak memiliki komponen ini. Dinding sel menentukan bentuk sel, berfungsi sebagai penguat dan melindungi protoplas. Dinding sel mempunyai ketebalan yang bervariasi tergantung umur dan atau tipe sel. Pada umumnya sel yang masih muda berdinding tipis dan sel yang dewasa berdinding lebih tebal. Tetapi ada beberapa sel yang tidak mengalami penebalan dinding

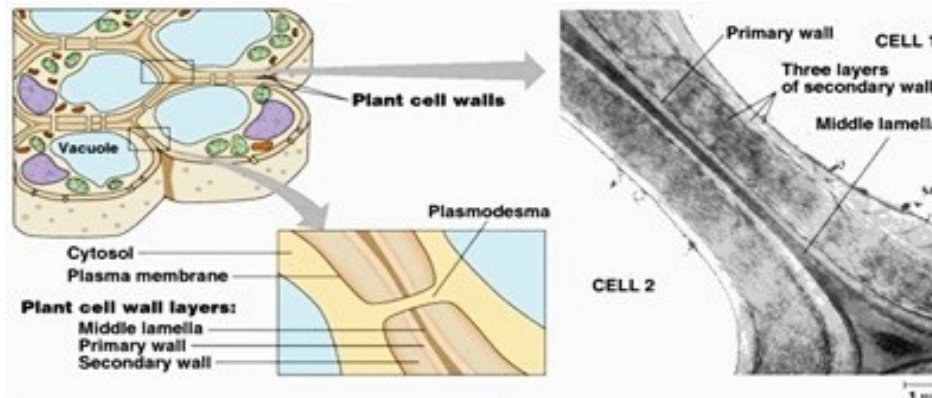
Berdasarkan perkembangan dan strukturnya, dinding sel dibedakan menjadi 3 bagian pokok yakni lamela tengah, dinding sel primer dan dinding sel sekunder. Semua sel tumbuhan memiliki lamela tengah dan dinding sel primer, sedangkan dinding sel sekunder dimiliki sel-sel yang mengalami penebalan dinding sel.

Lamela tengah adalah suatu lapisan yang terdapat diantara dua buah sel yang bersebelahan. Lapisan ini sebagian besar terdiri atas air dan zat-zat pektin yang bersifat koloid dan bersifat plastik (dapat mudah dibentuk) sehingga memungkinkan gerakan antar sel dan penyesuaiannya yang diperlukan sebelum sel-sel dapat mencapai ukuran dan bentuk dewasa.

Dinding sel primer adalah dinding sel pertama yang dibentuk pada saat pembentukan sebuah sel baru. Dinding sel primer terdiri dari zat pektin, selulosa dan hemiselulosa. Sel-sel meristematik mempunyai dinding sel primer. Sel-sel dewasa yang hanya mempunyai dinding primer dapat kembali menjadi meristematik.

Dinding sel sekunder adalah dinding sel yang terbentuk dalam peristiwa penebalan dinding sel. Dinding sekunder terbentuk di sebelah dalam dinding primer. Dinding sel sekunder tersebut bisa terdiri dari dua lapis atau lebih yang terpisah-pisah. Dinding sekunder dapat memenuhi ruang dalam sel sehingga ruang sel menjadi kecil volumenya. Penyusun dinding sel sekunder sebagian besar berupa selulosa, atau campuran selulosa dan semiselulosa, pektin, kutin,

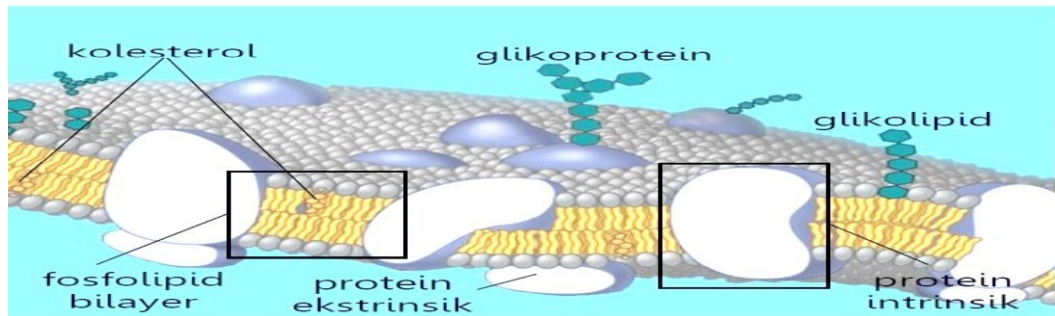
suberin, lilin, air dan zat lain seperti lignin (zat kayu). Bagian dinding sel yang tidak ikut mengalami penebalan dinamakan noktah yang terdiri dari mulut noktah dan saluran noktah. Di dalam saluran noktah terdapat plasmodesmata yang merupakan benang-benang plasma yang halus yang berfungsi menghubungkan protoplasma sel yang satu dengan protoplasma sel tetangganya.



Gambar 2 Dinding Sel
(Sumber : Campbell, NA., Reece, JB., Mitchel, LG.. Biology.2009)

b. Membran Plasma

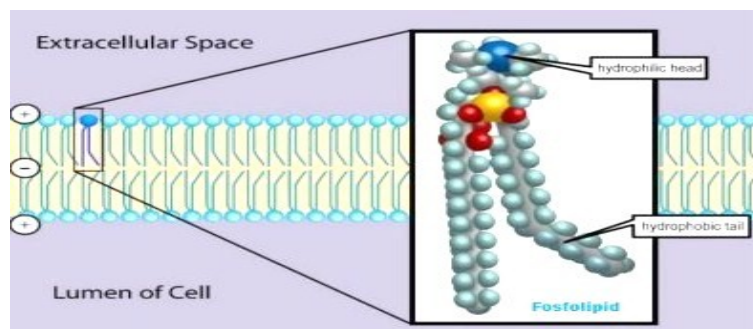
Membran plasma atau membran sel atau selaput plasma merupakan selaput terluar sel yang tersusun dari molekul lipoprotein (fosfolipida dan protein) dan molekul-molekul lain yang menyempurnakan struktur membran plasma. Protein pada struktur membran plasma tersebut berupa protein intrinsik (integral) merupakan protein yang berada di sela-sela fosfolipida, dan protein ekstrinsik (perifer) merupakan protein yang terdapat di permukaan fosfolipida. Di sisi luar membran plasma fosfolipida berikatan dengan molekul glukosa membentuk ikatan glikolipida, protein berikatan dengan glukosa membentuk ikatan glikoprotein. Pada membran plasma juga terdapat molekul kolesterol. Tebal membran plasma antara 7,5 - 10 nano meter, sifat membran plasma semipermeabel atau selektif permeabel. Struktur membran plasma dapat dilihat pada gambar 70 di bawah ini.



Gambar 3. Membran Plasma
(Sumber: Principles of anatomy and physiology by Tortora)

c. Fosfolipida

Secara struktural membran plasma tersusun atas fosfolipida bilayer yaitu dua lapisan lemak yang berikatan dengan fosfat. Fosfolipid merupakan molekul fosfat (bagian kepala) dan molekul lemak (bagian ekor) yang mirip dengan kepala dan ekor. Pada gambar 2 dan 3 terihat dua lapis fosfolipida dimana fosfatnya (bagian kepala) menghadap ke arah luar dan dalam membran plasma, sedangkan molekul lemak (bagian ekor) terdapat di tengah-tengah. Fosfat bersifat hidrofilik, sedangkan bagian lipida bersifat hidrofobik. Struktur fosfolipida dapat juga dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Struktur Fosfolipida

d. Protein membran

Protein membran merupakan protein yang terdapat pada membran sel (lihat gambar 2). Protein dalam fosfolipid dapat mencapai lebih 50% dari berat membran tersebut. Hal ini terjadi karena struktur protein yang lebih besar dan kompleks dibandingkan lemak. Protein membran terdiri dari: 1) protein integral

(protein intrinsik) merupakan protein yang menembus fosfolipida bilayer, berperan dalam transpotasi beberapa molekul masuk dan keluar sel dan 2) protein perifer (protein ekstrinsik) merupakan protein yang tidak menembus atau di permukaan fosfolipida, protein perifer biasanya berupa hormon atau enzim berperan mengatur kerja membran plasma.

Fungsi membran plasma :

- Mengatur transportasi materi atau zat-zat masuk dan keluar dari sel
- Melindungi bagian atau komponen sel di sebelah dalam membrane
- Sebagai reseptor stimulus atau rangsangan untuk sel
- Tempat berlangsungnya berbagai macam reaksi kimia.
- Menjadi media hubungan antar sel dengan lingkungan luar sel

e. Nukleus atau Inti Sel

Nukleus atau inti sel merupakan komponen sel bermembran yang bentuknya bulat atau lonjong seperti cakram. Letak nukleus pada sitoplasma biasanya di tengah, tetapi pada sel tumbuhan seringkali nukleus terletak agak ke tepi sitoplasma. Umumnya pada sel tumbuhan ataupun hewan memiliki satu nukleus, tetapi ada pula yang memiliki nukleus lebih dari satu nukleus misalnya sel otot lurik. Nukleus adalah bagian sel yang ukurannya lebih besar dibandingkan dengan organel sel pada umumnya, yaitu berukuran antara 10 - 20 nm.

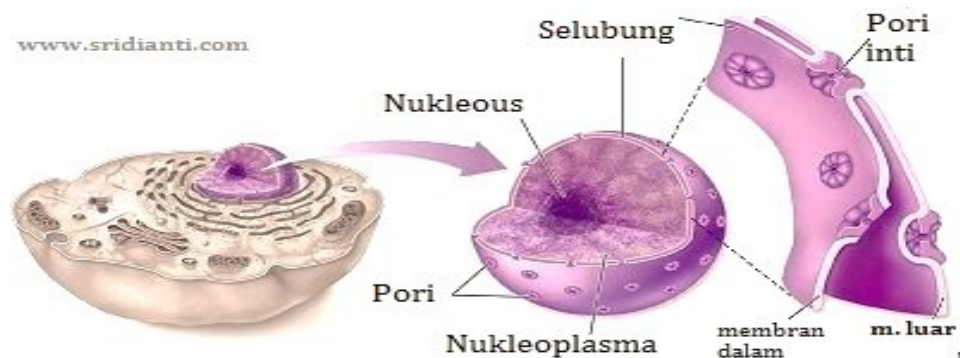
Fungsi utama nukleus adalah mengendalikan seluruh kegiatan sel. Secara lebih rinci, fungsi nukleus antara lain :

- Sebagai pengendali seluruh aktifitas sel
- Mengandung atau membawa informasi genetik (DNA) yang akan mewariskan sifat-sifat genetik tersebut melalui pembelahan sel
- Memproduksi tRNA, rRNA dan mRNA untuk keperluan sintesis protein
- Memproduksi ribosom

Struktur nukleus dapat dilihat pada gambar 72. Nukleus tersusun atas komponen- komponen berikut:

a. Membran nukleus (membran inti sel), memiliki struktur lipoprotein, dengan fosfolipida bilayer seperti halnya membran plasma. Membran nukleus merupakan membran rangkap yakni membran luar dan membran dalam, dan diantara membran luar dan dalam terdapat ruang yang disebut ruang perinuklear. Di beberapa sisi dari membran luar berkesinambungan dengan

- retikulum endoplasma kasar (rRE). Pada membran nukleus terdapat porus yang memungkinkan adanya hubungan antara nukleoplasma dan sitoplasma. Membran nukleus ini memisahkan bagian nukleus dengan sitoplasma sel
- b. Nukleolus (anak inti) yang berfungsi untuk mensintesis berbagai macam molekul RNA (asam ribonukleat).
 - c. Nukleoplasma (plasma inti) merupakan cairan yang tersusun dari protein
 - d. Butiran kromatin yang terdapat pada nukleoplasma, yang dapat menebal menjadi struktur seperti benang yaitu kromosom yang mengandung DNA (asam deoksiribonukleat) yang berfungsi menyampaikan informasi genetik melalui sintesa protein.



Gambar 5. Nukleus

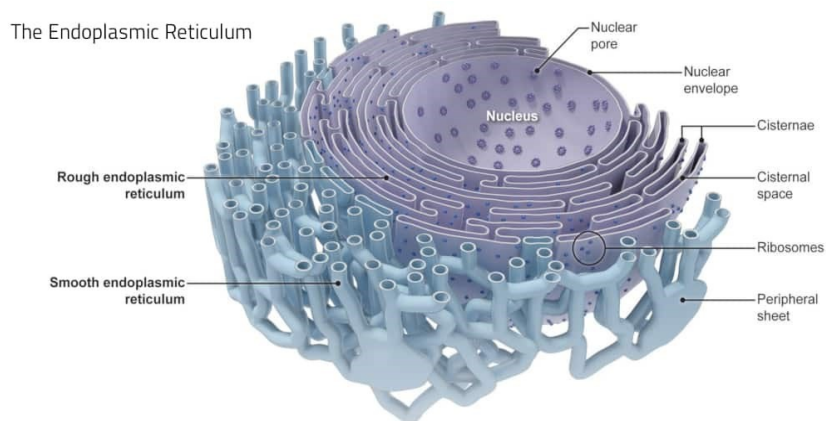
f. Retikulum Endoplasma (RE)

Retikulum endoplasma berupa vesikel atau kantung yang dapat berbentuk pipih, bundar, atau tubuler dan satu sama lain dapat berhubungan (Gambar 73). RE memiliki selapis membran, dan membran tersebut ada yang berhubungan dengan membran inti dan membran plasma sehingga dapat berperan sebagai penghubung antara bagian luar sel dengan bagian dalam sel. Ada dua jenis retikulum endoplasma yakni RE halus (REh) yang tidak dilekati ribosom dan RE kasar (REk) yang dilekati ribosom. RE memiliki peran anabolik dan protektif.

Retikulum endoplasma merupakan perluasan membran yang saling berhubungan yang membentuk saluran pipih atau lubang seperti tabung di dalam sitoplasma. Dalam pengamatan mikroskop, retikulum endoplasma nampak seperti saluran berkelok-kelok dan jala yang berongga-rongga. Saluran-saluran

tersebut berfungsi membantu gerakan subsatansi-subsatansi dari satu bagian sel ke bagian sel lainnya.

Ribosom pada REk adalah tempat sintesa protein yang hasilnya akan melekat pada retikulum endoplasma dan biasanya ditujukan untuk luar sel. REh memiliki enzim-enzim pada permukaannya yang berfungsi untuk sintesis lipid, glikogen dan persenyawaan steroid seperti kolesterol, gliserida dan hormon.



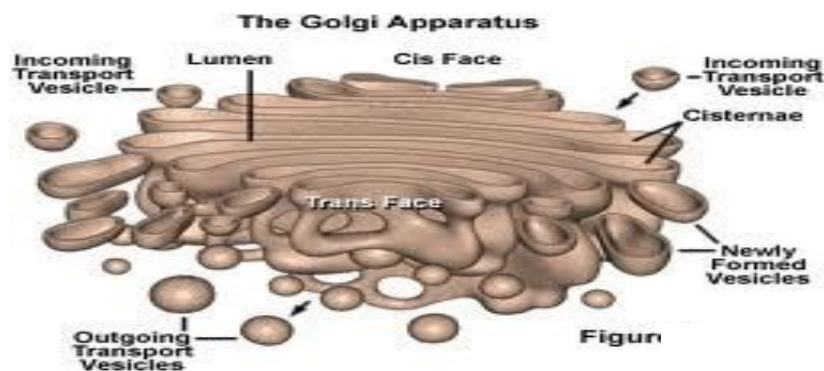
Gambar 6. Retikulum Endoplasma
(Sumber: Principles of anatomy and physiology by Tortora)

g. Badan Golgi

Badan golgi disebut juga aparatus golgi atau kompleks golgi adalah organel sel yang ditemukan Camillo Golgi, seorang ahli histologi. Badan golgi banyak dijumpai pada sel-sel yang melakukan fungsi ekskresi Badan golgi pada sel tumbuhan sering disebut diktiosom. Badan golgi berbentuk kantung-kantung pipih, tubulus dan vesikula (Gambar 74). Badan golgi memiliki membran lipoprotein seperti pada membran plasma. Struktur badan golgi memiliki dua permukaan yakni permukaan luar berbentuk cembung (*forming face*) disebut permukaan cis dan permukaan dalam berbentuk cekung (*maturing face*) disebut permukaan trans. Bagian cis menerima vesikel-vesikel yang pada umumnya berasal dari retikulum endoplasma kasar. Isi vesikel ini akan diserap ke ruangan-ruangan (lumen) di dalam badan golgi dan isi dari vesikel tersebut akan diproses sedemikian rupa dan proses tersebut bergerak dari bagian cis menuju bagian trans. Di ruang-ruang permukaan trans inilah senyawa-senyawa sekret/eksret

akan membentuk dirinya menjadi vesikel yang kandungannya bervariasi, dan siap untuk disalurkan ke bagian-bagian sel yang lain atau ke luar sel. Fungsi badan golgi antara lain :

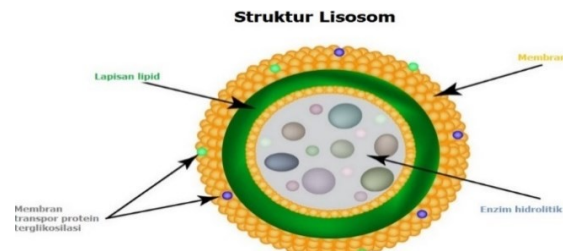
- Membentuk dinding sel tumbuhan
- Membentuk bahan membran plasma.
- Membentuk lisosom
- Tempat sekresi senyawa-senyawa sekret kelompok karbohidrat, lipida dan protein.
- Membentuk akrosom pada spermatozoa



Gambar 7. Badan Golgi
(Sumber: Principles of anatomy and physiology by Tortora)

h. Lisosom

Lisosom adalah suatu organel sel yang berbentuk kantung (bola) diselubungi oleh selaput atau membran tunggal. Lisosom ditemukan oleh Christian de Duve pada tahun 1950. Diameter lisosom kurang lebih 500 nm. Lisosom berisi enzim hidrolitik seperti glikosidase, fosfolipase, protease, nuklease, lipase, fosfatase. Lisosom ditemukan pada sel eukariotik. Struktur lisosom dapat dilihat pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Lisosom
Sumber: Principles of anatomy and physiology by Tortora)

Lisosom memiliki beberapa fungsi antara lain sebagai berikut:

- Mencerna zat makanan hasil dari fagositosis (makanan berupa padatan) dan pinositosis (makanan berupa cairan)
- Mencerna makanan cadangan
- Menghancurkan organel sel yang telah rusak atau sudah tua
- Menghancurkan benda yang berada di luar sel, contohnya enzim yang dikeluarkan oleh sel sperma agar dapat menghancurkan dinding sel ovum ketika terjadinya fertilisasi.
- Menghancurkan zat asing misalnya yang memiliki sifat karsinogen yang dapat menyebabkan kanker.
- Menghancurkan diri sel sendiri yakni dengan cara melepaskan semua enzim yang berada di dalam lisosom.

Dilihat dari fungsi lisosom di atas maka fungsi lisosom dapat dikelompokkan atas:

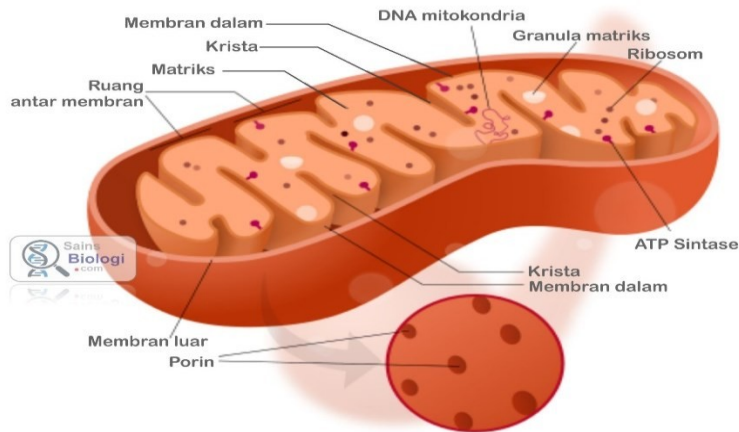
- Mencerna zat-zat makanan, atau melisis zat-zat asing yang masuk/ada di sitoplasma sel
- Autofagi yakni menghancurkan atau degradasi bagian-bagian sel yang sudah tidak berfungsi lagi.
- Autolisis yakni menghancurkan diri sel sendiri.

i. Mitokondria

Mitokondria disebut juga kondriosom, merupakan organel sel tempat berlangsungnya respirasi sel pada makhluk hidup. Bentuk dan jumlah mitokondria di dalam sel dapat berbeda tergantung tipe atau aktivitas sel. Mitokondria banyak terdapat pada sel yang memiliki aktivitas metabolisme yang tinggi, yang memerlukan energi dalam jumlah yang banyak, seperti sel

otot jantung. Mitokondria umumnya berbentuk bulat lonjong atau elips dengan diameter 0,5 μm dan panjang 0,5 – 1,0 μm . Mitokondria diselubungi membran rangkap yaitu membran luar dan membran dalam (Gambar 76). Mitokondria terdiri dari bagian-bagian:

- Membran luar
Membran luar terdiri dari lapisan lipoprotein (protein dan lemak). Membran luar mengandung enzim yang terlibat dalam biosintesis lemak dan enzim yang berperan dalam proses transpor lemak ke matriks untuk menjalani β -oksidasi menghasilkan asetil-KoA.
- Membran dalam
Membran dalam merupakan tempat utama pembentukan ATP. Membran dalam membentuk lipatan-lipatan yang disebut krista. Struktur krista ini dapat meningkatkan luas permukaan dalam membran, sehingga dapat meningkatkan kemampuan mitokondria memproduksi ATP. Membran dalam mengandung protein-protein berupa enzim-enzim yang terlibat dalam reaksi fosforilasi oksidatif (pembentukan ATP) dan protein transport yang berperan mengatur keluar masuknya metabolit melalui membran dalam.
- Ruang antar membran
Ruang antar membran luar dan dalam berfungsi.
- Matriks
Pada matriks mitokondria terdapat materi genetik DNA, ribosom, ATP, ADP, enzim-enzim yang berperan dalam siklus Krebs, air, gas CO_2 dan O_2 . Fungsi mitokondria adalah sebagai tempat terjadinya respirasi sel sehingga merupakan tempat diproduksinya energi (ATP).

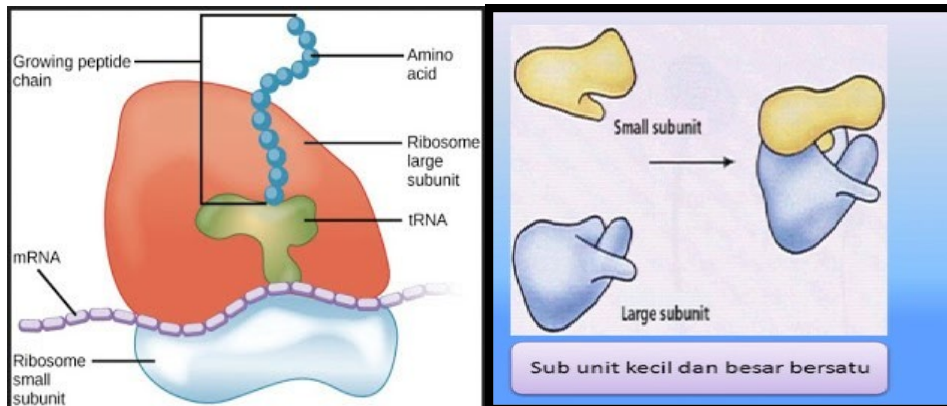


Gambar 9. Mitokondria
(Sumber: Principles of anatomy and physiology by Tortora)

j. Ribosom

Istilah ribosom berasal dari “ribonucleic acid” (asam ribonukleat) dan “soma” (badan). Ilmuwan yang pertama kali melakukan penelitian tentang ribosom adalah George Emil Palade dengan menggunakan mikroskop elektron. Ribosom sangat kecil (diameternya 20 – 25 nm), terdapat pada sitoplasma secara bebas atau menempel pada retikulum endoplasma.

Ribosom merupakan organel bermembran, berisi untai RNA dan protein yang beragam, karbohidrat, sedikit lemak dan mineral. Struktur ribosom terdiri dari 2 bagian yakni sub unit kecil dan subunit besar (Gambar 77). Kedua unit datang bersama-sama ketika ribosom siap untuk membuat protein baru. Subunit kecil sebenarnya tidak memiliki ukuran yang terlalu kecil, hanya lebih kecil dibandingkan dengan subunit besar. Subunit kecil berguna untuk mengalirkan/menyampaikan informasi selama sintesis protein, subunit ini disebut dengan sebutan “40S” dalam sel eukariotik dan “50S” dalam sel prokariotik. Subunit besar merupakan bagian ribosom tempat terbentuknya ikatan asam amino-asam amino yang baru untuk membuat protein, subunit disebut dengan “60S” dalam sel eukariotik dan “50S” dalam sel prokariotik. Fungsi ribosom adalah sebagai tempat terjadinya sintesis protein yakni tempat beikatannya asam amino-asam amino (polipeptida).



Gambar 10. Ribosom
(Sumber: Principles of anatomy and physiology by Tortora)

k. Plastida

Plastida merupakan organel yang khas pada sel tumbuhan. Plastida adalah organel yang tersebar di sitoplasma pada sel tumbuhan dan terlihat jelas di bawah mikroskop sederhana. Plastida sangat bervariasi ukuran dan bentuknya serta pigmentasi yang bermacam-macam. Pada sel-sel tumbuhan berbunga biasanya berbentuk lempengan kecil bikonveks. Berdasarkan ada dan tidaknya zat warna, plastida dapat dibedakan atas:

1. Leukoplas

Leukoplas adalah plastida yang tidak berwarna, umumnya terdapat dalam sel-sel dewasa yang tidak terkena cahaya matahari, misalnya pada jaringan yang terletak sangat dalam pada bagian tumbuhan baik di dalam maupun di atas tanah. Fungsi leukoplas adalah sebagai pusat pembentukan dan penyimpanan makanan cadangan seperti pati. Leukoplas yang berfungsi menghasilkan zat makanan cadangan zat pati (amilum) disebut amiloplas, yang menghasilkan protein disebut proteinoplas, yang menghasilkan substansi berlemak disebut elaioplas.

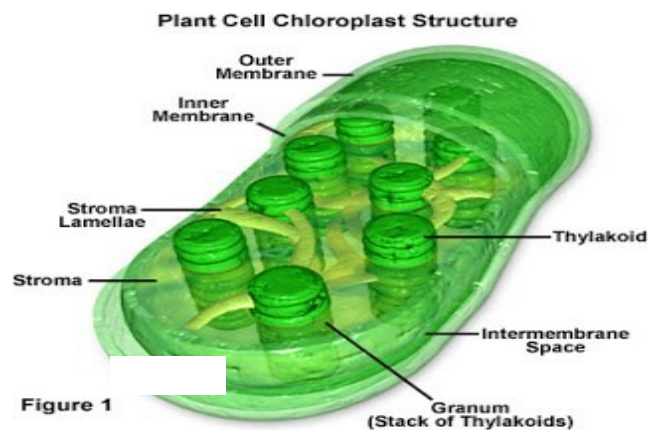
2. Kloroplas

Kloroplas merupakan plastida yang berwarna hijau, mengandung klorofil yaitu suatu pigmen yang memberi warna hijau pada tumbuhan (Gambar 78). Fungsinya adalah menangkap energi cahaya yang diperlukan untuk proses fotosintesis. Selain klorofil, kloroplas juga mengandung karotenoid. Kloroplas terdapat pada jaringan fotosintetik misalnya daun atau bagian tumbuhan yang berwarna hijau. Bentuk kloroplas bermacam-macam, pada Spermatophyta

umumnya berbentuk lensa. Kloroplas diselubungi membran rangkap yakni membran luar dan membran dalam. Membran ini membungkus substansi protein yang disebut stroma (matriks kloroplas), stroma tidak berwarna karena tidak mengandung klorofil. Di dalam kloroplas terdapat sistem membran berupa lempeng yang disebut sistem tilakoid yang terdiri dari granum (jamak:grana) dan lamela inter granum. Pada granum ini terdapat klorofil.

3. Kromoplas

Merupakan plastida yang menghasilkan warna selain hijau. Warna merah, kuning atau oranye pada bagian tumbuhan tertentu disebabkan adanya zat warna karotenoid pada bagian tumbuhan tersebut. Biasanya terdapat pada mahkota bunga, pada buah yang masak, akar wortel, buah tomat dan lain-lain. Karotenoid tersebut diantaranya: karoten (warna orange pada wortel), xantofil (warna kuning pada daun tua), antosianin (warna merah pada bunga), Fungsinya antara lain bertanggung jawab untuk sintesis dan penyimpanan pigmen, memberi warna pada bunga, buah atau bagian tumbuhan lain yang berwarna selain hijau, untuk menarik perhatian hewan polinator atau penyebar biji.

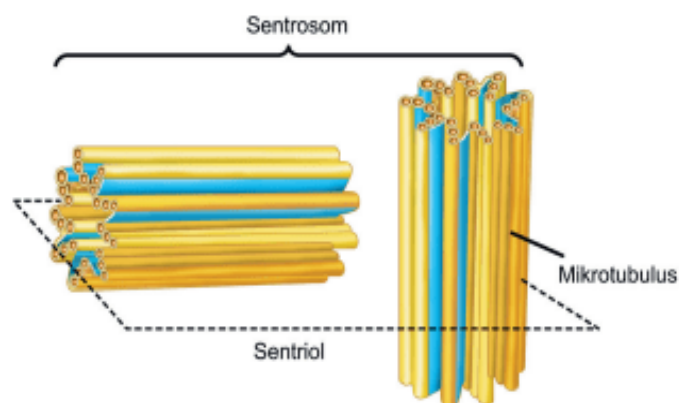


Gambar 11. Kloroplas

I. Sentrosom/Sentriol

Sentrosom dan sentriol merupakan dua komponen dari sel hewan, terutama terlibat dalam pembelahan sel (Gambar 79). Sentrosom adalah organel sel yang terdiri dari dua sentriol yang disusun secara ortogonal. Kedua sentriol tersebut cenderung tegak lurus satu sama lain yang terdapat dalam massa yang amorf yang mengandung lebih dari 100 protein yang berbeda. Letaknya di sitoplasma biasanya dekat nukleus.

Sentriol terdiri dari sembilan mikrotubulus triplet (masing-masing set terdiri dari 3 buah mikrotubulus) yang dirangkai dalam struktur seperti silinder, berfungsi menggerakkan kromosom pada saat pembelahan sel. Jenis-jenis mikrotubulus pada sentriol tersebut adalah centrin, cenexin dan tektin. Sentriol membentuk aster dan benang-benang spindel yang berfungsi mengatur arah gerak kromosom dan sekaligus untuk menarik kromosom ke kutub-kutub berseberangan selama pembelahan sel.



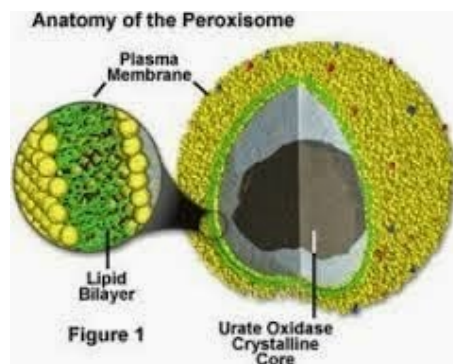
Gambar 12. Sentrosom/Sentriol
Sumber: Principles of anatomy and physiology by Tortora

m. Mikrobodi

merupakan organel sel dengan struktur mirip dengan lisosom, bentuknya bulat dengan diameter sekitar 0,2 – 2 μm , diselubungi membran. Ada dua macam mikrobodi yaitu peroksisom dan glioksisom. Peroksisom terdapat pada sel hewan juga tumbuhan, glioksisom ditemukan pada sel tumbuhan. Mikrobodi mengandung enzim mengandung enzim katalase dan oksidase yang berpartisipasi dalam berbagai reaksi biokimia dalam sel. Mikrobodi memfasilitasi pemecahan lemak, alkohol dan asam amino.

n. Peroxisom

Peroxisom menghasilkan enzim katalase yang dapat merubah peroksida air (H_2O_2) menjadi oksigen dan air ($H_2O_2 \rightarrow O_2 + H_2O$). Hidrogen peroksida merupakan produk metabolisme sel yang berpotensi membahayakan sel. Peroxisom juga berperan dalam perubahan lemak menjadi karbohidrat. Peroxisom terdapat pada sel hewan dan sel tumbuhan (Gambar 80). Pada sel hewan, peroxisom banyak terdapat di hati dan ginjal, sedangkan pada tumbuhan, peroxisom terdapat dalam berbagai tipe sel.



Gambar 13. Struktur Peroxisom

o. Glioksisom

Glioksisom merupakan mikrobodi yang terdapat pada sel tumbuhan. Organel ini banyak ditemukan di dalam jaringan lemak pada biji yang sedang berkecambah. Glioksisom menghasilkan enzim β -peroxisomal oksidase yang berfungsi mengoksidasi (mengkonversi) asam lemak menjadi asetil-CoA dan akhirnya dihasilkan energi (ATP) yang diperlukan untuk perkecambahan.

p. Mikrotubulus dan Mikrofilamen

1. Mikrotubulus

Mikrotubulus adalah salah satu komponen sitoplasma, terdapat pada sel-sel hewan maupun sel tumbuhan berupa silinder atau tabung panjang dan berongga. Diameter luar tabung sekitar 24 nm, dan diameter bagian dalamnya sekitar 12 nm. Mikrotubulus merupakan polimer protein tubulin yang terangkai dalam susunan heliks (terpilin), bersifat kaku. Monomer dari polimer tubulin

adalah dimer α / β -tubulin. Mikrotubulus tunggal terdiri dari protofilamen-protofilamen. Biasanya sekitar tiga belas protofilamen terkait dalam satu mikrotubulus.

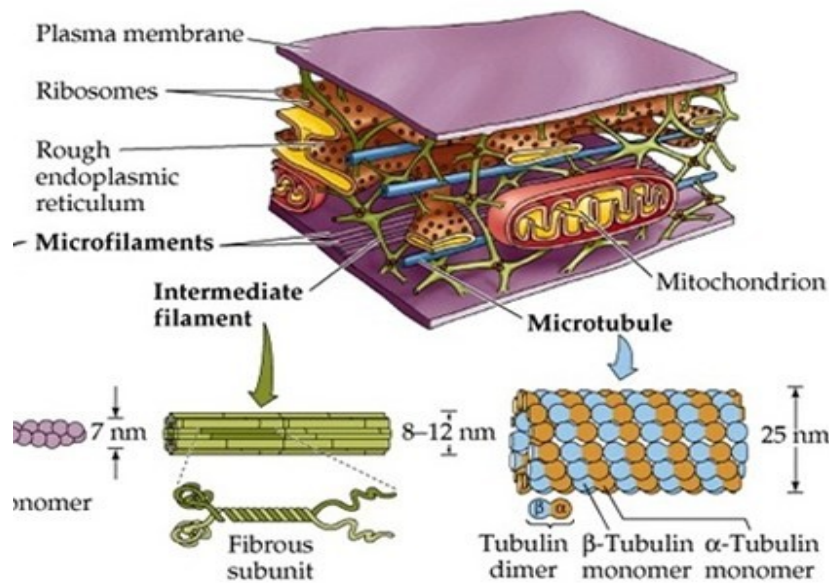
Peranan mikrotubulus antara lain sebagai rangka dalam sel (sitoskeleton), merupakan jaringan struktural sel yang memberi bentuk sel. Selain itu mikrotubulus membantu transportasi seluler, merupakan komponen utama yang membangun silia dan flagel. Mikrotubulus juga terlibat dalam pemisahan kromosom/kromatid dalam pembelahan sel mitosis dan meiosis, membentuk benang-benang gelendong selama berlangsungnya pembelahan sel.

2. Mikrofilamen

Mikrofilamen merupakan benang-benang halus yang tersusun dari protein aktin. Mikrofilamen dibentuk oleh polimerisasi monomer protein aktin (aktin globular) dalam susunan heliks (terpilin). Mikrofilamen adalah komponen dari sitoskeleton. Diameter mikrofilamen sekitar 5-7 nanometer (nm), sehingga untuk mengamatinya harus menggunakan mikroskop elektron.

Mikrofilamen terlibat dalam sitokinesis dan motilitas sel seperti gerakan amoeboid. Umumnya mikrofilamen ikut berperan dalam bentuk sel, kontraktilitas sel, stabilitas mekanis, eksositosis, dan endositosis. Mikrofilamen kuat dan relatif fleksibel. Motilitas sel terjadi karena pemanjangan salah satu ujung dan kontraksi ujung yang lain. Mikrotubulus dan mikrofilamen adalah dua komponen dalam sitoskeleton (Gambar 81).

Mikrotubulus dan mikrofilamen adalah struktur dinamis. Sifat dinamis tersebut diatur oleh protein yang terkait dengan polimer. Perbedaan utama antara mikrotubulus dan mikrofilamen adalah struktur dan fungsinya. Mikrotubulus memiliki struktur silinder yang panjang dan berongga, terbentuk oleh polimerisasi protein tubulin. Peran utama mikrotubulus adalah memberikan dukungan mekanis sel, terlibat dalam pemisahan kromosom/kromatid selama pembelahan sel dan membantu transportasi seluler.



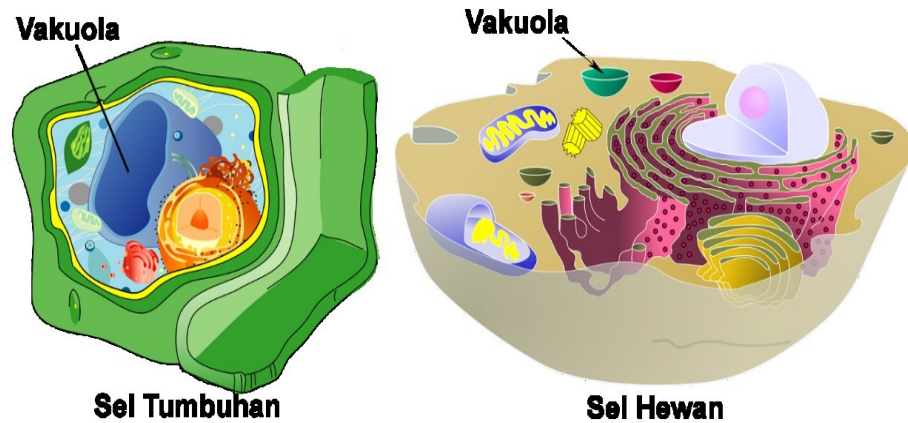
Gambar 14. Mikrotubulus dan Mikrofilamen

q. Vakuola

Vakuola merupakan komponel sel pada sel tumbuhan ataupun sel hewan. Vakuola selalu ditemukan pada sel tumbuhan, seluruh jenis tumbuhan memiliki vakuola. Berbeda dengan tumbuhan, pada sel hewan tidak semua jenisnya mempunyai vakuola. Vakuola sel hewan mempunyai ukuran yang jauh lebih kecil dari pada vakuola sel tumbuhan. Ukuran vakuola sel tumbuhan tergantung usia sel, semakin dewasa sel maka ukuran vakuolanya juga semakin besar, dan kehadiran vakuola ini permanen (terus ada selama sel tumbuhan itu hidup). Vakuola pada sel tumbuhan umumnya berukuran besar hingga hampir memenuhi seluruh isi sitoplasma pada sel yang telah dewasa.

Organel ini dibungkus oleh suatu membran tunggal yang disebut tonoplas. Di dalam tonoplas terdapat cairan yang umumnya disebut dengan getah sel. Getah ini sebagian besar tersusun atas air dan zat-zat terlarut lain tergantung jenis tumbuhannya. Zat-zat terlarut diantaranya garam mineral, sukrosa, enzim, alkaloid, basa, asam. Sel yang masih muda pada umumnya akan memiliki banyak vakuola yang berukuran kecil, seiring dengan berkembangnya sel tersebut, vakuola-vakuola tadi akan bersatu membentuk vakuola tunggal yang

berukuran besar. Vakuola pada sel tumbuhan dan hewan dapat dilihat pada gambar 82 berikut.



Gambar 15. Vakuola pada sel tumbuhan dan hewan

Fungsi vakuola. Tumbuhan memiliki vakuola yang berfungsi sebagai osmoregulator yakni menjaga nilai osmotik sel (mengendalikan tekanan turgor sel), tempat menyimpan bahan tertentu, wadah sisa metabolisme (metabolit sekunder) dan berperan dalam degradasi organel-organel sel yang telah tua atau rusak. Vakuola sebagai osmoregulator.

Kandungan air di dalam vakuola sangat mempengaruhi tekanan turgor sel. Tekanan turgor yang tinggi menyebabkan sel tegang dan sebaliknya tekanan turgor yang rendah menyebabkan sel menjadi kendur yang akhirnya menyebabkan tumbuhan layu. Vakuola menjadi tempat menyimpan berbagai bahan tertentu seperti kristal kalsium oksalat dan pigmen tumbuhan. Banyak tumbuhan, di organ-organ tertentu terdapat kalsium oksalat, misalnya pada batang bayam terdapat kalsium oksalat berbentuk kristal pasir, pada sel-sel mesofil daun Aloe vera dan daun Mirabilis jalapa terdapat kalsium oksalat berbentuk rafida.

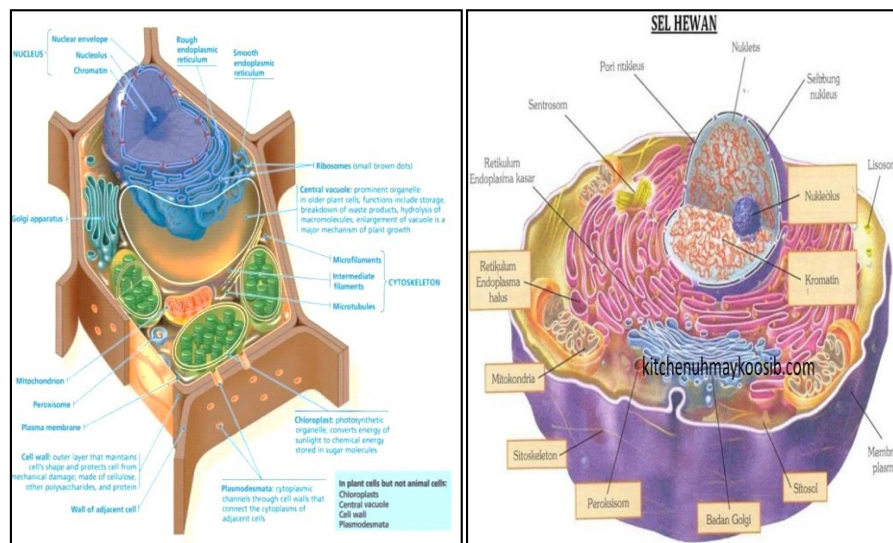
Pigmen tumbuhan seperti kelompok antosianin larut dalam air dan disimpan dalam vakuola, Beberapa tumbuhan memiliki vakuola yang mengandung zat asam seperti jeruk nipis. Vakuola sebagai wadah sisa-sisa metabolisme (metabolit sekunder) pada sel tumbuhan. Hasil-hasil metabolisme sekunder tumbuhan seperti nikotin dan alkaloid akan dibuang dalam vakuola supaya tidak

menjadi racun yang dapat membahayakan sel itu sendiri. Vakuola berperan dalam degradasi organel atau komponen sel yang sudah tua atau rusak. Hal ini karena vakuola juga mengandung enzim hidrolitik, yang dapat melisis atau menghancurkan organel atau komponen sel yang sudah tua atau rusak seperti halnya peranan lisosom pada sel hewan.

2. Perbedaan Sel Tumbuhan dan Sel Hewan

Struktur sel tumbuhan dan sel hewan pada dasarnya mempunyai banyak persamaan dalam kandungan kimia maupun jenis-jenis organelnya. Meskipun demikian karena peran ekologis yang berbeda pada tumbuhan dan hewan maka ada beberapa perbedaan antara sel tumbuhan dan sel hewan tersebut. Tumbuhan berperan sebagai produsen, sementara hewan berperan sebagai konsumen. Perbedaan mendasar antara sel tumbuhan dan sel hewan adalah dalam jenis organel atau komponen sel seperti pada keberadaan dinding sel, plastida, lisosom, vakuola, sentosom/sentriol dan beberapa karakter sel yang disebabkan perbedaan organel sel yang dimiliki. Untuk lebih mudah memahami perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan tersebut perhatikan tabel dan gambar 83 berikut ini.

No	Perbedaan	Sel Hewan	Sel Tumbuhan
	Bentuk Sel	i. Dapat berubah bentuk karena tidak memiliki dinding sel. ii. Cenderung dipengaruhi sitoskeleton	i. Bentuk sel kaku dan jarang berubah bentuk. ii. Cenderung dipengaruhi oleh kehadiran dinding sel
	Dinding Sel	Tidak ada	Ada
	Lisosom	Ada	Tiada ada/jarang
	Plastida	Tida ada	Ada
	Sentosom/sentriol	Ada	Tidak ada/jarang ditemukan
	Peroksisom	Ada	Ada
	Glioksisom	Tidak ada	Ada
	Vakuola	Ada, kecil dan tidak	Ada, permanen. Vakuola



Gambar 16. Struktur Sel Tumbuhan dan Sel Hewan
Sumber: Reece at.al., 2011

3. Transportasi Melalui Membran Plasma

Membran plasma merupakan selubung sel di sebelah luar sitoplasma. Di dalam sitoplasma terdapat bagian atau komponen sel yang disebut organel dan juga terdapat air dan bahan kimia lain yang ikut menyusun sitoplasma. Semuanya itu diselubungi oleh membran plasma. Bukan hanya melindungi secara fisik, membran plasma juga mengontrol lalu-lintas zat keluar masuk sel (transportasi zat melalui membran plasma). Membran plasma bersifat selektif permeabel (semipermeabel) artinya membran plasma dapat dilalui dengan lebih mudah oleh beberapa zat daripada beberapa zat lainnya.

Molekul yang dapat melewati membran dengan mudah antara lain adalah air, etanol, CO_2 dan O_2 . Sementara molekul lain dapat melalui membran plasma membutuhkan mekanisme khusus, contohnya glukosa. Sifat selektif permeabel tersebut disebabkan struktur membran plasma yang lipoprotein dengan struktur fosfolipida bilayer dan struktur protein yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Transportasi melalui membran dibedakan menjadi dua yaitu transpor aktif dan transpor pasif. Transpor aktif merupakan transpor zat melalui membran plasma

melawan gradien konsentrasi, memerlukan energi dan menggunakan protein pembawa. Contoh zat-zat yang melalui membran plasma melalui transpor aktif adalah glukosa dan asam amino. Transpor pasif merupakan transpor yang tidak memerlukan energi, berlangsung karena adanya perbedaan konsentrasi zat/larutan di dalam dan luar sel.

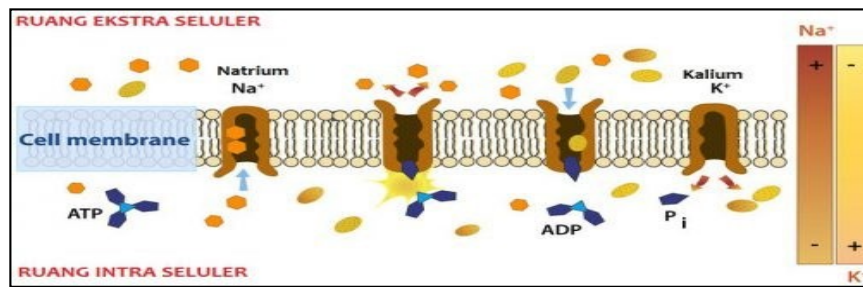
a) Transpor Aktif

Transpor aktif menggerakkan molekul melintasi membran sel dari daerah konsentrasi rendah ke daerah konsentrasi tinggi. Transpor aktif memerlukan penggunaan energi. Zat-zat yang diserap melalui transpor aktif, misalnya glukosa dan asam amino yang diserap usus kecil pada manusia. Transpor aktif dapat terjadi melalui mekanisme pompa ion

1. Pompa ion

Pompa ion adalah transpor ion melalui membran dengan cara melakukan pertukaran ion dari dalam sel dengan ion di luar sel. Transpor dilakukan oleh protein transpor atau protein pembawa yang tertanam pada membran plasma, menggunakan sumber energi ATP. Protein pembawa dapat bekerja dengan gradien konsentrasi (selama transportasi pasif), tetapi beberapa protein pembawa dapat memindahkan zat terlarut melawan gradien konsentrasi (dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi), dengan masukan energi. Protein pembawa yang digunakan untuk memindahkan bahan melawan gradien konsentrasi mereka, protein ini dikenal sebagai pompa. Seperti pada jenis-jenis kegiatan selular, ATP memasok energi untuk kebanyakan transportasi aktif.

Contoh dari jenis sistem transpor aktif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 84 di bawah, adalah pompa natrium-kalium, yang melakukan pertukaran ion natrium ion kalium melintasi membran plasma. Sistem pompa ion (natrium-kalium) menggerakkan ion natrium dan kalium melawan gradien konsentrasi besar. Ia menggerakkan dua ion kalium ke dalam sel di mana kadar kalium yang tinggi, dan memompa tiga ion natrium keluar dari sel dan ke dalam cairan ekstraseluler.

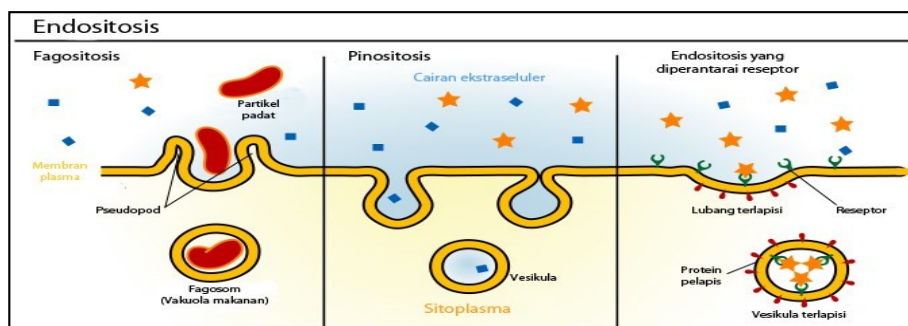


Gambar 17. Mekanisme Pompa Ion (Natrium-Kalium)

2. Endositosis

Endositosis merupakan transpor yang memerlukan energi. Endositosis merupakan proses masuknya senyawa dari luar ke dalam sel melalui membran dengan cara pembungkusan senyawa atau cairan ekstraseluler dengan pelelukan ke dalam sebagian membran (Gambar 85). Istilah endositosis berasal dari bahasa Yunani, *endo* artinya ke dalam dan *cytos* artinya sel. Membran sel membentuk pelipatan ke dalam (invaginasi) dan “memakan” benda yang akan dipindahkan ke dalam sel.

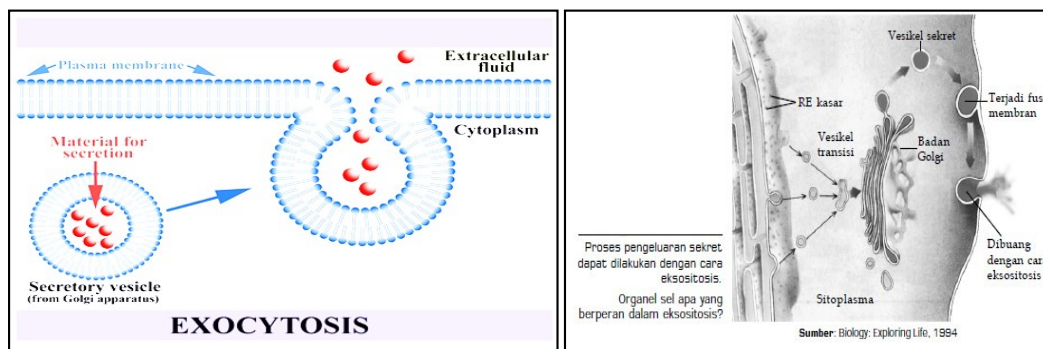
Di dalam sel, benda tersebut dilapisi oleh sebagian membran sel yang terlepas membentuk kantung (vesikel). Vesikel tersebut berisi materi yang sebelumnya berada di luar sel. Ada tiga tipe endositosis, yakni (1) fagositosis, jika materi yang dimasukkan berupa zat padat, (2) pinositosis, jika materi yang dimasukkan berupa larutan, (3) endositosis yang diperantarai reseptor, terjadi saat fluida ekstraseluler terikat pada reseptor spesifik yang berkumpul pada lubang yang dilapisi protein pada membran plasma, kemudian membentuk vesikula. Transpor ini bertujuan untuk memperoleh substansi spesifik dalam jumlah besar.



Gambar 18. Mekanisme Endositosis

3. Eksositosis

Eksositosis merupakan proses pengeluaran zat dari dalam sel keluar sel. Sekret terbungkus kantong membran yang selanjutnya melebar dan pecah (Gambar 86). Kemudian kantung membran tersebut bergabung kembali dengan membran plasma sehingga sisa zat makanan akan dibuang keluar sel. Eksositosis terjadi pada beberapa sel kelenjar atau sel sekresi. Misalnya, sel-sel kelenjar di pankreas yang mengeluarkan enzim ke saluran pankreas yang bermuara di usus halus. Contoh lainnya adalah neuron yang menggunakan eksositosis untuk melepaskan neurotransmitter yang memberikan sinyal kepada neuron lain atau sel otot.



Gambar 19. Eksositosis

b) Transportasi Pasif

Transpor pasif merupakan transpor ion, molekul, senyawa dari luar atau dalam sel yang tidak memerlukan energi. Transportasi ini berlangsung karena adanya perbedaan konsentrasi antara zat yang berada di dalam sel dengan zat yang berada di luar sel. Zat-zat yang ditranspor bergerak dari daerah berkonsentrasi tinggi hingga daerah berkonsentrasi rendah. Transpor pasif meliputi difusi dan osmosis.

1. Difusi

Difusi merupakan penyebaran molekul-molekul suatu zat dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah hingga terjadi keseimbangan konsentrasi. Difusi merupakan proses spontan yang tidak memerlukan masukan energi. Mekanisme transpor ini meliputi berbagai zat (padat, cair, gas). Difusi bertujuan untuk mencapai keseimbangan konsentrasi antara zat dengan pelarutnya. Selain itu,

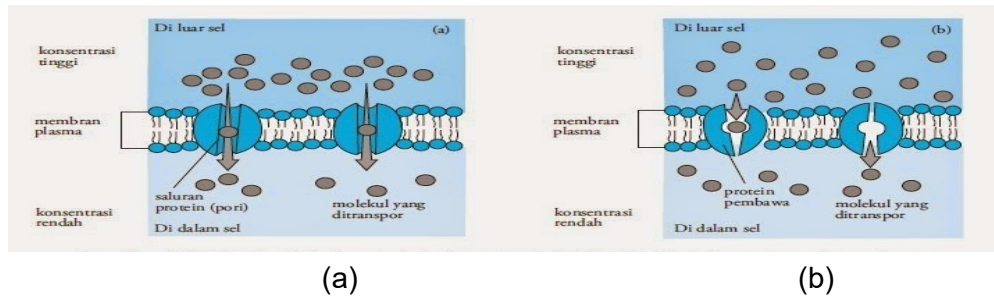
difusi juga berperan dalam peristiwa pertukaran materi dari suatu sel dengan lingkungannya.

Salah satu contoh penting adalah pengambilan oksigen oleh sel yang melakukan respirasi seluler. Oksigen terlarut berdifusi ke dalam sel tersebut melintasi membran plasma. Selama respirasi seluler terus mengonsumsi O_2 saat molekul tersebut masuk, difusi ke dalam sel akan berlanjut karena gradien konsentrasi mendukung pergerakan ke arah itu. Kecepatan difusi bergantung pada beberapa aspek, diantaranya adalah:

1. Wujud Materi : Semakin besar ikatan antar molekul, makin lama difusi terjadi (padat lebih sulit melakukan difusi)
2. Suhu : Semakin tinggi suhu, maka ikatan antar molekul akan cepat terputus. Hal itu menyebabkan difusi menjadi cepat.
3. Ukuran Molekul : Molekul yang berukuran kecil akan lebih mudah untuk melintasi suatu membran dari pada molekul yang besar pada suhu yang sama.
4. Konsentrasi : Semakin besar perbedaan konsentrasi antara zat dan pelarutnya, atau perbedaan konsentrasi zat pada dua tempat yang berbeda, menyebabkan semakin besar rata-rata difusinya.

Difusi Terfasilitasi (*Facilitated Diffusion*)

Difusi difusi terfasilitasi atau difusi dipermudah merupakan mekanisme transpor yang dibantu oleh protein-protein integral dalam membran plasma (protein pembawa). Protein-protein tersebut membentuk struktur menyerupai saluran-saluran, sehingga molekul bisa melintasi membran plasma (Gambar 87). Beberapa protein ada yang berikatan dengan suatu molekul dan melintasi membran plasma. Difusi terfasilitasi juga merupakan transpor pasif karena hanya mempercepat proses difusi dan tidak merubah arah gradien konsentrasi. Pada proses difusi yang terfasilitasi oleh protein, molekul-molekul seperti asam amino, gula, tidak dapat melalui membran plasma. Molekul tersebut melewati saluran yang dibentuk oleh suatu protein membran yang disebut protein transpor. Proses difusi zat dipermudah dengan protein pembawa.

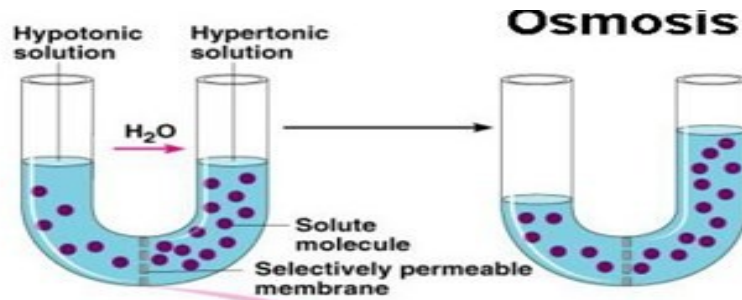


Gambar 20. Difusi zat (a) dipermudah dengan saluran protein; (b) terfasilitasi dengan protein pembawa

Difusi dapat juga dipermudah oleh saluran protein. Banyak molekul yang berukuran besar (misalnya, asam amino dan glukosa) dan ion (misalnya, K^+ , Na^+ , Cl^-) tertahan oleh membran ganda fosfolipid, tetapi dapat berdifusi melalui saluran yang dibentuk oleh protein. Protein yang biasanya membentuk saluran adalah protein integral. Saluran protein dapat membuka dan menutup karena adanya rangsangan listrik atau kimiawi, contohnya saat molekul neurotransmitter dapat membuka saluran protein pada membran sel saraf ion Na^+ dalam masuk ke dalam sel.

2. Osmosis

Peristiwa yang penting dalam kehidupan ialah osmosis (Gambar 88). Pada dasarnya osmosis masih termasuk peristiwa difusi. Pada peristiwa osmosis, air dari larutan yang konsentrasinya rendah (hipotonis) akan bergerak ke konsentrasi yang lebih tinggi (hipertonis). Pada gambar berikut, air akan bergerak menembus membran selektif permeabel sehingga pada sisi tabung lainnya, volume air semakin bertambah. Larutan, misalnya glukosa mempunyai tekanan osmosis. Tekanan osmotis dapat diukur dengan osmometer. Naiknya air pada pipa osmometer dapat dipakai untuk menentukan tekanan osmotis. Jadi tekanan osmotis dapat dikatakan dengan tekanan yang diperlukan untuk mencegah pelarut bergerak melalui membran semi permeabel.



Gambar 21. Osmosis

Salah satu penyebab zat dapat bergerak secara osmosis adalah adanya perbedaan konsentrasi zat total. Akibat keadaan ini, molekul air yang berada pada larutan hipotonik dapat berpindah menuju larutan hipertonik. Namun, keadaan ini juga bisa berlangsung sebaliknya. Meskipun zat terlarut banyak terkandung pada larutan hipotonik, proses transpor zat akan tetap terjadi secara osmosis. Sementara itu, andaikan dua larutan bersifat isotonik, molekul air akan berpindah melalui membran dengan kelajuan sama. Akibatnya selisih osmosis tidak terjadi pada dua larutan.

Contoh peristiwa osmosis pada sel hewan adalah pada sel darah merah. Sel darah merah akan tetap stabil bentuknya bila ditempatkan pada larutan garam 1 %. Sel darah merah yang sama bila ditempatkan pada lingkungan hipotonik, misalnya akuades akan menyebabkan sel mengembang terus menerus. Lingkungan hipotonik dengan kondisi konsentrasi air di luar sel lebih tinggi daripada di dalam sel menyebabkan air masuk terus menerus ke dalam sel hingga sel tersebut pecah (hemolisis). Pada lingkungan hipertonik dengan kondisi konsentrasi air di luar sel lebih rendah (lebih pekat) dari pada di dalam sel sehingga sel mengkerut (krenasi).

Sel-sel tumbuhan memiliki dinding selulosa yang keras dan elastis sehingga dapat membatasi volume sel serta mempertahankan sel agar tidak pecah. Bila sel tumbuhan ditempatkan pada lingkungan hipotonik, misalnya akuades, air akan masuk ke dalam sel. Sel tumbuhan akan terus membengkak sampai selulosa tidak dapat direntangkan lagi. Namun sel tersebut tidak pecah. Sel tumbuhan pada keadaan ini disebut *turgid*. Sel-sel tumbuhan bila ditempatkan pada lingkungan hipertonik, misalnya pada larutan garam dengan konsentrasi lebih dari 1 % akan menyebabkan keluarnya air dari vakuola. Sitoplasma

mengkerut dan membran plasma terlepas dari dinding sel. Peristiwa ini disebut *plasmolisis*.

D. Rangkuman

- Sel merupakan unit terkecil secara struktural dan fungsional pada makhluk hidup. Sel tersusun atas bahan-bahan kimia dan komponen atau organel-organel sel yang secara keseluruhan saling mendukung untuk berlangsungnya kehidupan sel.
- Sel tumbuhan dan sel hewan mempunyai banyak persamaan. Namun karena adanya perbedaan peran ekologis tumbuhan dan hewan, maka terdapat beberapa perbedaan terutama pada organel/komponen sel diantaranya keberadaan dinding sel, lisosom, sentrosom/sentriol, plastida, vakuola dan beberapa karakter lainnya.
- Membran plasma diantaranya berperan dalam transportasi zat dari dan ke dalam sel. Ada dua macam transpor melalui membran plasma yakni transpor aktif dan transpor pasif.

Pembelajaran 2: Struktur dan Fungsi jaringan

Sumber: Modul PKB (Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan) Biologi SMA Kelompok Kompetensi C dan E, Bab Jaringan Tumbuhan dan Jaringan Hewan
Penulis: Zaenal Arifin, M. Si dan Arief Husein, M.Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi ini diharapkan peserta menguasai kompetensi sebagai berikut :

1. Memahami ciri-ciri serta contoh jaringan penyusun pada organ-organ tumbuhan dan hewan.
2. Memahami secara tepat fungsi jaringan-jaringan penyusun organ pada tumbuhan dan hewan.
3. Memahami jaringan-jaringan tumbuhan.
4. Memahami jaringan-jaringan hewan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang struktur dan fungsi jaringan berikut ini.

1. Menyebutkan ciri-ciri jaringan meristem.
2. Menyebutkan contoh-contoh jaringan meristem.
3. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan epidermis dan fungsinya pada tumbuhan
4. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan dasar dan fungsinya pada tumbuhan.
5. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan penyokong dan fungsinya pada tumbuhan
6. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan pengangkut dan fungsinya pada tumbuhan
7. Menjelaskan struktur dan fungsi jaringan epitel pada hewan atau manusia.

8. Menjelaskan keterkaitan antara struktur jaringan penunjang dan fungsinya pada hewan.
9. Menjelaskan struktur dan fungsi saraf pada manusia.
10. Melakukan pengamatan jaringan epitel hewan dengan menggunakan mikroskop.

C. Uraian Materi

1. Jaringan Tumbuhan

Pada tumbuhan ada 2 kelompok utama jaringan, yaitu *jaringan meristem* dan *jaringan permanen*. Jaringan meristem berisi sekumpulan sel-sel yang terus menerus aktif membelah. Sel-sel hasil pembelahan kemudian menjadi bagian dari jaringan dan organ tertentu dan tidak memiliki sifat meristematik lagi karena sudah terspesialisasi. Jaringan inilah yang dinamakan *jaringan permanen*.

a. Jaringan Meristem dan Fungsinya

Pengertian jaringan adalah sekumpulan sel dengan bentuk dan fungsi yang sama. Dengan demikian, jaringan meristem dapat diartikan sebagai sekumpulan sel dengan bentuk dan fungsi yang sama serta memiliki sifat meristematik. Jaringan meristem memiliki beberapa ciri, yaitu terdiri dari beberapa sel yang aktif membelah, sel-sel berusia muda, berukuran kecil, memiliki bentuk dan ukuran yang sama, tidak memiliki fungsi khusus, tidak ditemukan ruang antarsel, tidak mengandung zat-zat.

Berdasarkan asal pembentukannya, jaringan meristem dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu *promeristem*, *meristem primer*, dan *meristem sekunder*. Promeristem adalah jaringan meristem yang telah ada ketika tumbuhan masih dalam tingkat embrio. Sementara meristem primer (meristem apical) merupakan jaringan meristem yang ditemukan pada tumbuhan dewasa serta biasa ditemukan pada ujung batang (yang mengakibatkan tumbuhan bertambah tinggi) dan ujung akar (yang mengakibatkan akar bertambah dalam/panjang). Kelompok terakhir meristem adalah meristem sekunder, yaitu jaringan meristem yang berasal dari jaringan yang telah mengalami diferensiasi. Contoh meristem sekunder adalah kambium. Kambium menyebabkan pertumbuhan sekunder yang ditandai dengan membesarnya batang pada

tumbuhan dikotil dan Gymnospermae. Kambium tumbuh ke arah luar membentuk kulit batang dan ke arah dalam membentuk kayu. Berdasarkan posisinya, jaringan meristem dibedakan menjadi meristem apikal, meristem lateral, dan meristem interkalar.

b. Jaringan Epidermis Tumbuhan

Jaringan epidermis selalu terletak paling luar pada setiap organ tumbuhan. Jelas artinya bahwa fungsi lapisan epidermis adalah melindungi bagian dalam organ bersangkutan dari keadaan seperti hilangnya air karena penguapan, kerusakan mekanik, perubahan suhu, dan hilangnya zat-zat makanan.

Jaringan epidermis memiliki beberapa ciri antara lain:

- 1) terdiri dari sel-sel hidup;
- 2) berbentuk persegi panjang;
- 3) sel-selnya rapat tanpa ruang antarsel;
- 4) tidak memiliki klorofil; dan
- 5) mampu membentuk modifikasi jaringan epidermis. Beberapa modifikasi epidermis antara lain adalah stomata, spina (duri), sel kipas, sel kersik, dan trikomata (rambut-rambut).

Seperti yang Anda amati pada gambar 15 terdapat lapisan jaringan epidermis yang membatasi organ dengan lingkungan luarnya. Lapisan epidermis menjadi jaringan yang tipis (umumnya 1 lapis sel) dan karena lokasinya tersebut, epidermis menjadi tempat untuk terjadinya pertukaran zat. Pada batang dan daun (atau bagian manapun dari tumbuhan yang berada di atas tanah) sebenarnya lapisan epidermis dilindungi oleh kutikula (senyawa lemak) sebagai pelindung tambahan, terutama membantu tumbuhan menekan laju penguapan air dari daun, batang, dan biji. Selain itu pula melindungi dari patogen, kerusakan akibat gangguan fisik/mechanis.



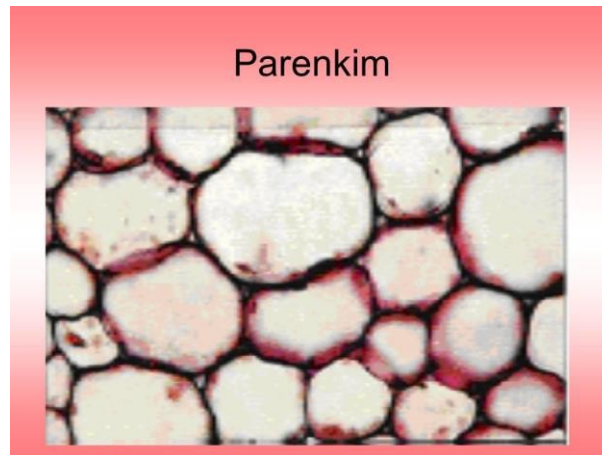
Gambar 22. Jaringan pada daun dengan sel-sel epidermis dan parenkim
(Sumber: fphoto.photoshelter.com)

c. Jaringan Dasar (Parenkim)

Jaringan dasar dikenal dengan istilah parenkim. Disebut jaringan dasar karena jaringan ini ditemukan hampir di setiap bagian tumbuhan baik pada akar, batang, daun, daging buah, atau endosperm. Begitu pula jaringan ini dapat ditemukan di setiap jenis tumbuhan. Pada batang yang dipotong melintang, Anda amati bahwa sebagian besarnya pasti adalah jaringan dasar ini. Alasan selain itu karena parenkim juga terdapat di antara jaringan lain misalnya di antara xylem dan floem.

Ciri-ciri jaringan parenkim yang membedakanya dengan jaringan lain adalah:

- 1) Sel-selnya merupakan sel hidup yang berukuran besar dan tipis, serta umumnya berbentuk segi enam;
- 2) Memiliki banyak vakuola;
- 3) Letak inti sel mendekati dasar sel;
- 4) Mampu bersifat merismatik karena dapat membelah diri; dan
- 5) Memiliki ruang antar sel yang banyak sehingga letaknya tidak rapat.



Gambar 23. Jaringan parenkim
(Sumber : <https://www.shutterstock.com/image-photo/parenchyma-tissue-plant-under-microscope-463653020>)

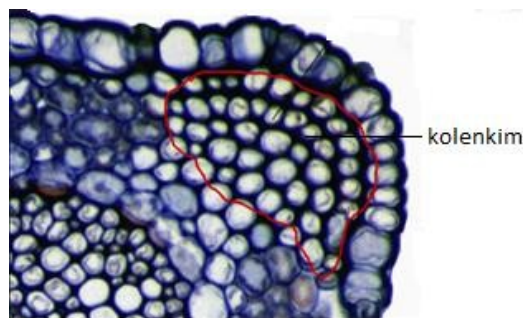
Pada gambar 16 Anda dapat mengamati sel-sel pada jaringan dasar yang ukuran selnya besar-besar (ruang vakuolanya besar), bentuknya bervariasi, dinding sel tipis, serta ruang antar sel yang renggang. Oleh karena jaringan dasar ini dapat ditemukan di setiap tumbuhan, maka fungsi jaringan ini berbeda-beda untuk setiap tumbuhan yang berbeda. Misalnya pada tumbuhan kaktus, jaringan dasar akan berfungsi menyimpan air. Pada tumbuhan eceng gondok, jaringan dasar/parenkim akan menyimpan udara pada ruang antar sel. Pada umbi-umbian, maka jaringan dasar akan berfungsi menyimpan cadangan makanan.

d. Jaringan Penyokong

Jaringan penyokong dikenal juga dengan nama *jaringan mekanik*, *jaringan penunjang*, atau *jaringan penguat*. Anda bisa membayangkannya seperti tulang pada tubuh manusia, jaringan inilah yang menunjang bentuk tumbuhan hingga dapat berdiri dengan kokoh. Jaringan penyokong berfungsi untuk menguatkan/menegakkan batang dan daun, melindungi biji atau embrio, serta melindungi berkas pengangkut (vaskuler). Ada 2 jenis jaringan penyokong, yaitu *jaringan kolenkim* dan *jaringan sklerenkim*.

1) Jaringan Kolenkim

Sifat utama dari jaringan kolenkim adalah sel-sel penyusunnya hidup dan dinding selnya banyak mengandung selulosa. Sifatnya mirip jaringan parenkim, dan dapat dianggap sebagai jaringan parenkim khusus yang menunjang organ muda pada tumbuhan. Kolenkim terdapat langsung di bawah atau dekat permukaan batang muda dan tangkai daun muda, namun jarang ditemukan pada akar.



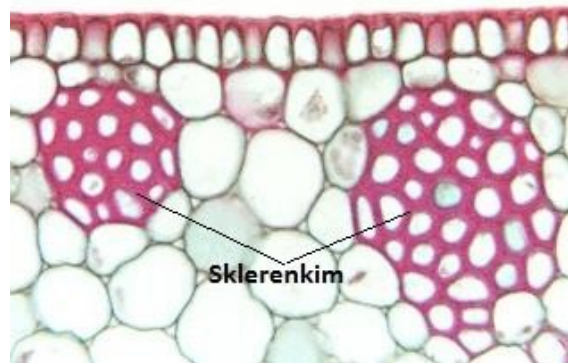
Gambar 24. Jaringan kolenkim

(Sumber : <https://www.wonderwhizkids.com/conceptmaps/Collenchyma.html>)

Sel-sel kolenkim mengalami penebalan di sudut-sudut selnya, tidak merata pada seluruh permukaan dinding sel (Gambar 17). Dinding selulosa yang tebal pada kolenkim menyebabkan organ bersangkutan memiliki sifat lentur. Oleh karena itu, kolenkim baik sekali untuk menopang organ yang aktif tumbuh karena sel-selnya dapat meregang untuk menyesuaikan diri dengan perpanjangan organ.

2) Jaringan Sklerenkim

Jaringan sklerenkim merupakan jaringan penunjang pada organ tumbuhan yang telah dewasa (Gambar 18). Dengan demikian sel-sel dewasa jaringan sklerenkim telah mati dan memiliki dinding sel yang tebal, biasanya berlignin (mempunyai zat kayu).



Gambar 25. Jaringan sklerenkim
(Sumber: http://www.kbg.fpv.ukf.sk/studium_materialy/morfologia_rastlin/webchap5scler/chapter_5.htm)

Ada 2 kelompok besar jaringan sklerenkim, yaitu:

- a) Serabut/serat. Serabut merupakan sel yang panjang dan sempit yang berujung runcing. Sel-sel ini biasanya berkumpul menjadi sebuah jalur panjang, sementara ujung-ujungnya yang runcing bertumpang tindih dan menyatu dengan kuat. Serabut sklerenkim terdapat pada sebagian besar bagian tumbuhan.
- b) Sklereid merupakan sel-sel tumbuhan yang telah mati, bentuknya bervariasi dan berdinding keras yang tahan terhadap tekanan. Sklereid dapat dijumpai dalam keadaan tunggal atau berkelompok kecil di antara sel-sel lain, misalnya butiran pada daging buah jambu biji dan buah pir. Sklereid pada batok kelapa adalah contoh yang baik dari bagian tumbuhan yang mengandung serabut dan sklereid.

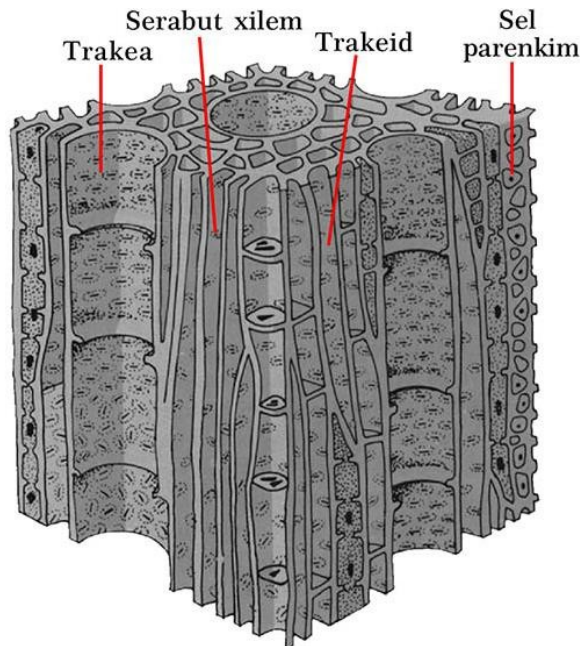
e. Jaringan Pengangkut

Nama lain jaringan pengangkut adalah berkas vaskular. Sebagaimana namanya yaitu vaskular (pembuluh), jaringan ini berwujud saluran/pipa. Anda dapat membayangkan jaringan pengangkut ini sebagai pipa-pipa pembuluh darah yang mengantarkan oksigen dan zat makanan ke seluruh bagian tubuh. Jaringan pengangkut ini berfungsi mengangkut air dan unsur hara, serta mengedarkan zat makanan hasil fotosintesis dari satu bagian ke bagian lain tumbuhan.

Jaringan pengangkut pada tumbuhan di bagi menjadi dua kelompok berdasarkan fungsinya.

1) Xylem

Xylem (pembuluh kayu) berfungsi untuk menyalurkan air dan unsur hara dari akar ke daun. Xylem merupakan jaringan pengangkut yang rumit. Xylem tersusun dari parenkim dan serabut, serta trakeid, dan komponen pembuluh (trakea). Sebagaimana telah diulas di atas, trakeid adalah sel-sel tumbuhan yang dindingnya mengalami lignifikasi (penebalan oleh senyawa lignin) dan sel-selnya akan mati setelah dewasa. Trakea yang membentuk xylem merupakan sel-sel silinder yang mati setelah dewasa, bagian ujungnya saling menyatu membentuk sebuah tabung pengangkut air bersel banyak. Dinding ujung (kadang-kadang juga dinding samping) komponen pembuluh ini berlubang-lubang yang merupakan tempat air lewat dengan bebas dari satu sel ke sel lain (Gambar 19).

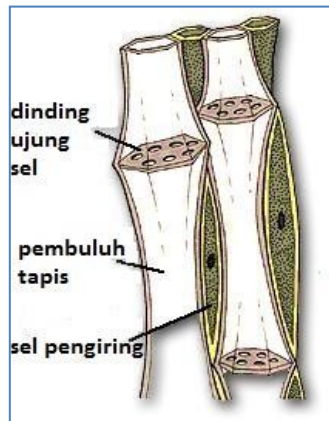


Gambar 26. Struktur jaringan xylem
(Sumber : <http://www.myrightspot.com/2016/06/fungsi-jaringan-xilem-dan-floem.html>)

2) Floem

Floem (pembuluh tapis) merupakan jaringan yang berfungsi mengangkut lalu menyalurkan zat-zat makanan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan. Jaringan floem sangat rumit, terdiri atas berbagai macam bentuk sel dan diantaranya ada yang masih hidup dan ada pula yang telah mati.

Komponen floem antara lain adalah parenkim floem yang berfungsi menyimpan cadangan makanan dan berperan sebagai sekat pemisah antara floem yang satu dengan yang lain. Serabut floem merupakan jaringan sklerenkim yang berfungsi untuk memperkuat jaringan pembuluh. Selain itu, komponen lain dari floem adalah pembuluh tapis dan sel pengiring/penyerta.



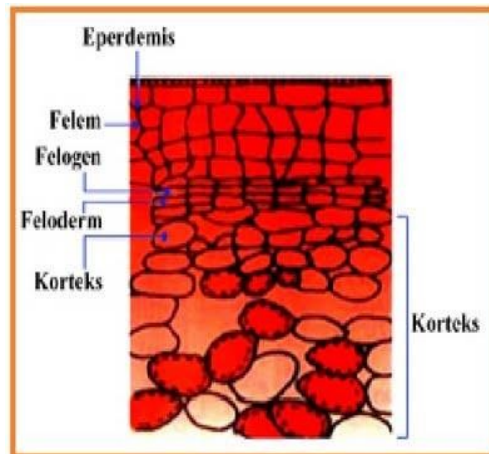
Gambar 27. Sel-sel floem

(Sumber : <http://biology-igcse.weebly.com/functions-of-xylem-and-phloem.html>)

- a) Komponen floem memiliki ciri-ciri dinding sel yang tipis dan inti sel-nya hilang. Sel-sel unsur tapis memanjang dan ujungnya bersatu membentuk suatu pembuluh. Pada komponen pembuluh tapis, dinding ujungnya saling berlekatan dengan dinding ujung sel di bawahnya atau di atas sehingga membentuk deretan sel-sel memanjang yang disebut pembuluh tapis.
- b) Sel pengiring/pengantar berukuran lebih kecil dibandingkan sel penyusun komponen pembuluh tapis dan memiliki sifat meristematis. Sel pengiring berperan untuk memberi makan sel-sel penyusun komponen pembuluh tapis yang masih hidup. Sel pengiring hanya dijumpai pada Angiospermae.

f. Jaringan Gabus

Jaringan gabus sering berfungsi menggantikan epidermis ketika lapisan epidermis tersebut rusak karena usia atau faktor lain sehingga jaringan lain di bawahnya terlindung dari kehilangan banyak air dan gangguan mekanik. Jaringan gabus dibentuk oleh kambium gabus yang bernama felogen. Jaringan gabus tersebut membentuk jaringan ke arah dalam yang tersusun dari sel-sel hidup dan dinamakan feloderm. Sebaliknya, kambium gabus membentuk jaringan ke arah luar yang tersusun dari sel-sel mati yang dinamakan felem (Gambar 21). Felem inilah yang bersifat tidak tembus air (impermeabel) karena dinding selnya mengalami penebalan oleh suberin.



Gambar 28. Jaringan Gabus
(<http://www.apsnet.org/edcenter/illglossary/Article%20Images/phellem.jpg>)

2. Jaringan Hewan

Hewan adalah makhluk hidup multiseluler selain tumbuhan yang memiliki beraneka ragam jaringan. Jaringan pada hewan pada prinsipnya sama dengan jaringan tumbuhan, yaitu tersusun dari sel-sel yang memiliki bentuk, ukuran, dan fungsi serupa. Akan tetapi terdapat banyak perbedaan penampakan pada jaringan hewan apabila diamati di bawah mikroskop disebabkan karena terdapat perbedaan besar pada struktur sel hewan dibandingkan sel tumbuhan. Oleh sebab itu pengamatan struktur jaringan dengan menggunakan mikroskop menjadi keniscayaan yang akan memperkuat pemahaman Anda mengenai materi struktur jaringan tumbuhan dan hewan.

Jaringan pada hewan ada 2 kelompok utama, yaitu *jaringan germinal* dan *jaringan somatis*. Jaringan germinal terletak di dalam gonad (organ yang memproduksi sel sperma atau ovum) dan merupakan jaringan yang secara terus menerus menghasilkan sel benih/sel kelamin. Sementara sebagian besar jaringan lain adalah jaringan somatis/jaringan tubuh yang terdiri dari 4 jaringan dasar, yaitu *jaringan epitel*, *jaringan pengikat/penunjang*, *jaringan saraf*, dan *jaringan otot*.

a. Jaringan Epitel pada Hewan atau Manusia

Jaringan epitel merupakan lapisan terluar dari organ yang menjadi pemisah antara organ dan lingkungan luarnya. Tersusun secara kompak dan tidak ada ruang antarsel. Dengan demikian fungsi yang paling mendasar dari jaringan epitel adalah menjadi pelindung bagi jaringan atau organ yang dibungkusnya. Baik melindungi dari gangguan mekanis seperti gesekan, benda tajam, tekanan, panas, dan gangguan patogen/mikroorganisme atau senyawa berbahaya. Akan tetapi fungsi epitel tidak semata melindungi saja, epitel memiliki fungsi-fungsi lain yang pada dasarnya terkait dengan keberadaan strukturnya yang melapisi bagian terluar organ-organ.

Diantara fungsi-fungsi jaringan epitel tersebut adalah:

1) Perlindungan

Jaringan epitel menutupi permukaan dalam organ, melindunginya dari gangguan mekanis dari luar seperti panas, tekanan, gesekan atau dari gangguan mikroorganisme, senyawa berbahaya, atau melindungi dari kehilangan air yang berlebihan.

2) Sekresi

Jaringan epitel berperan sebagai kelenjar yang mengeluarkan zat-zat seperti hormon, enzim, pelumas/lubrikasi agar permukaan epitel tetap basah (organ tertentu).

3) Absorpsi

Jaringan epitel yang melapisi permukaan dalam usus membantu dalam proses penyerapan nutrisi hasil pencernaan makanan.

4) Menerima rangsang/impuls

Jaringan epitel yang mengandung ujung saraf sensorik, misalnya pada lidah, telinga, hidung, dan kulit.

5) Ekskresi

Jaringan epitel yang mengekskresikan limbah seperti sel-sel epitel kelenjar keringat dan sel epitel di ginjal

6) Difusi

Jaringan epitel menjadi tempat terjadinya difusi gas atau cairan.

Berikut pembahasan jenis-jenis jaringan epitel berdasarkan bentuk serta susunannya beserta fungsi yang dimilikinya.

1) Jaringan Epitel Selapis

Jaringan ini tersusun dari selapis sel. Berdasarkan bentuk sel-sel penyusunnya, jaringan ini diklasifikasikan sebagai berikut.

(a) Epitel pipih selapis

Sel-sel epitel ini pipih dan tipis, berisi sedikit sitoplasma yang membungkus inti di bagian tengah. Sehingga berfungsi dalam pertukaran/difusi gas, zat, atau cairan. Misalnya epitel yang terdapat di alveoli lapisan dalam pembuluh darah (pertukaran O_2 dan CO_2), pembuluh limfe, kapsul Bowman, dan dinding pembuluh kapiler darah.

(b) Epitel kubus selapis

Jaringan epitel kubus selapis berfungsi dalam sekresi dan melindungi. Contoh ini terdapat pada permukaan ovarium, kelenjar tiroid, saluran nefron ginjal, retina mata, dan kelenjar gondok.

(c) Epitel silindris selapis

Epitel ini terdiri atas selapis sel berbentuk panjang dan sempit. Ada yang memiliki silia pada permukaannya seperti di oviduk. Jaringan ini melapisi seluruh saluran pencernaan yang diselingi oleh sel goblet yang menghasilkan mukus (lendir) untuk melindungi lambung dari asam lambung misalnya pada lambung dan jonjot usus, selain itu terdapat pula pada saluran pernapasan atas dan kantung empedu.

(d) Epitel selapis bersilia

Epitel bersilia terdiri atas sel-sel yang berbentuk batang bersilia di tepi luar yang berfungsi menghasilkan lendir untuk menangkap benda asing yang masuk. Getaran silia menimbulkan aliran. Jaringan ini terdapat pada saluran pernapasan atas/trakea.

(e) Epitel berlapis semu

Jika kita perhatikan akan tampak beberapa sel dengan ketinggian berbeda karena tidak semua sel mencapai permukaan yang bebas. Meskipun demikian, epitel ini terdiri atas selapis sel-sel tebal dan tiap-tiap selnya melekat pada membran basal. Jaringan epitelium ini dapat kita jumpai pada saluran kencing dan tenggorokan, uretra jantan, saluran reproduksi jantan, serta epididimis (saluran sperma).

2) Jaringan Epitel Berlapis

Jaringan epitel berlapis apabila dibandingkan dengan epitel sederhana memiliki bentuk dan susunan lebih kuat karena tersusun atas beberapa lapis sel. Jaringan epitel berlapis meliputi:

- (a) epitel pipih berlapis, terdapat pada sebagian kerongkongan, dan epidermis kulit vertebrata.
- (b) epitel kubus berlapis, terdapat pada saluran besar beberapa kelenjar seperti di kelenjar ludah, kelenjar susu, dan pangkal esofagus;
- (c) epitel silindris berlapis berfungsi dalam eksresi, adsorpsi, sebagai saluran ekskresi kelenjar ludah dan kelenjar susu terdapat pada saluran kelenjar susu, kelenjar ludah submandibula.

3) Epitel Kelenjar

Epitel kelenjar merupakan jenis jaringan epitel yang berfungsi membentuk kelenjar. Kelenjar tersebut menghasilkan cairan yang kandungannya berbeda dengan darah dan cairan sel lainnya. Bentuk sel-sel di dalam epitel kelenjar tidak sama, tapi umumnya berbentuk tubular (tabung) atau kubus serta meliputi organ-organ yang berhubungan dengan sekresi. Terdapat 2 jenis kelenjar yaitu, *kelenjar eksokrin* dan *endokrin*. Kelenjar eksokrin mensekresikan cairan melalui saluran ke permukaan misalnya kelenjar pada kulit dan kelenjar pada saluran

pencernaan. Kelenjar endokrin mensekresikan cairan ke dalam jaringan bersama darah, misalnya *hormon*.

b. Jaringan Penunjang dan Jaringan Otot pada Hewan

Jaringan penunjang (penyokong) memiliki istilah lain yaitu jaringan pengikat. Jaringan ini terdapat pada tubuh manusia dan hewan dengan perannya sebagai pengisi celah antarjaringan, memberi kekuatan dan bentuk, membungkus organ-organ tubuh sekaligus mengikatnya/menghubungkannya dengan jaringan lain, atau sekaligus pula melindunginya (pada organ-organ yang lemah dan rentan benturan). Peran tersebut dimiliki oleh jaringan penunjang disebabkan jaringan ini menjalankan beberapa fungsi di antaranya seperti menyimpan lemak, melindungi dari mikroorganisme, memproduksi darah, menghasilkan matriks yang keras, dan lain-lain. Jaringan penunjang terdiri atas jaringan ikat, jaringan skeleton, dan jaringan darah.

1) Jaringan Ikat

Seperti nama yang disandangnya, jaringan ikat merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengikat (menghubungkan) satu jaringan dengan jaringan lainnya. Berdasarkan fungsinya tersebut Anda tentu mafhum jika jaringan ikat tidak terdapat di permukaan luar tubuh dan bahkan jaringan ikat memiliki pembuluh darah. Jaringan ikat pada dasarnya adalah sekumpulan jalinan matriks yang terdiri dari serabut kolagen, serabut elastin, dan serabut retikuler. Jaringan ikat dibedakan menjadi jaringan ikat padat, jaringan ikat longgar, dan jaringan lemak.



Gambar 29. Jaringan ikat pada manusia
(Sumber: <http://study.com/academy/lesson/connective-tissue-types-functions-disorders.html>)

- Jaringan ikat padat terbagi lagi ke dalam 2 jenis yaitu *jaringan ikat kolagen* dan *jaringan ikat elastis*. Jaringan ikat kolagen contohnya adalah tendon yang melekatkan otot pada tulang. Jaringan ikat elastis contohnya adalah ligamen yang mengikat tulang-tulang dengan persendian. Ligamen tersusun dari serabut elastis.
- Jaringan ikat longgar adalah jaringan ikat yang paling banyak ditemukan pada tubuh hewan vertebrata. Jaringan ini menghubungkan epitel dengan jaringan atau organ di bawahnya serta menjaga organ-organ agar berada pada tempatnya. Jaringan ikat mengandung berbagai jenis sel dan serabut. Sel yang ada diantaranya sel fibroblas, mast cell, sel lemak, sel makrofag (sel yang 'memakan' patogen, mikroorganisme asing sel mati). Serabut yang ada antara lain serabut kolagen dan serabut elastis.
- Jaringan lemak adalah sekumpulan sel-sel yang menyimpan lemak. Jaringan ini merupakan bagian dari jaringan ikat yang berfungsi sebagai penyimpan cadangan lemak. Sel-sel yang dikenal sebagai sel adiposa ini menyimpan lemak di dalam vakuolanya. Bentuk selnya bulat dengan ukuran yang berbeda-beda. Jaringan lemak ini selain menjadi cadangan lemak (energi), juga perannya sebagai bantalan tubuh yang mengurangi

goncangan/benturan, isolator panas, juga mengisi ruang-ruang antar jaringan.

2) Jaringan Skeleton

Jaringan skeleton/tulang merupakan jaringan yang paling keras dan kuat. Selain mengandung sedikit air, jaringan ini tersusun dari kalsium fosfat dan kalsium karbonat. Pada vertebrata terdapat 2 macam jaringan tulang, yaitu *tulang rawan* dan *tulang keras*. Tulang rawan (kartilago) terbuat dari matriks yang mengandung sel-sel kondroblas. Sementara tulang keras sifatnya lebih keras daripada tulang rawan karena matriksnya sebagian besar adalah garam anorganik seperti kalsium fosfat. Berdasarkan susunan matriksnya jaringan tulang keras dibedakan menjadi *tulang kompak* dan *tulang spons*. Kombinasi zat organik dan anorganik menghasilkan struktur yang kuat pada tulang kompak. Tulang spons matriksnya berongga, mengandung sumsum merah yang memproduksi sel-sel darah merah.

3) Jaringan Darah

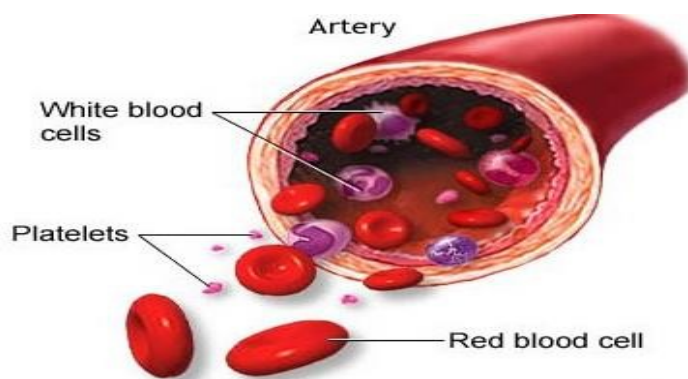
Jaringan darah letaknya berada di pembuluh darah, tersusun atas cairan (plasma) yang di dalam cairan tersebut terdapat sel-sel darah merah, sel-sel darah putih, dan keping darah (Gambar 24). Darah merupakan cairan yang terdapat pada manusia dan hewan tingkat tinggi yang berfungsi dalam membawa gas oksigen, karbondioksida, serta zat-zat terlarut lain (glukosa, asam lemak, asam amino, hormon, dan lain-lain) dan mengangkutnya dari satu bagian tubuh ke bagian tubuh lain. Darah menjadi bagian penting dari kehidupan, organisme yang mengalami kekurangan darah bisa mengalami gangguan bahkan kematian. Sel darah merah (eritrosit) merupakan unsur yang membuat cairan darah terlihat berwarna merah, jumlahnya paling banyak dibanding sel darah putih atau keping darah, sel darah merah tidak mempunyai inti, mengandung hemoglobin untuk mengikat oksigen, sehingga sel darah merah menjadi kunci penting bagi kehidupan organisme karena ia berperan mengangkut oksigen ke jaringan-jaringan hingga sel-sel di seluruh bagian tubuh.

Sel darah putih (leukosit) bertanggung jawab dalam memusnahkan bibit penyakit atau benda-benda yang dianggap asing dan berbahaya oleh tubuh (seperti virus dan bakteri). Sel darah putih memiliki inti sel, tidak berwarna, jumlahnya sekitar

7.000-25.000 sel pertetes pada orang sehat. Ada 5 jenis sel darah putih yang jumlah, bentuk, dan fungsinya berbeda, yaitu eosinofil, basofil, neutrofil, limfosit, dan monosit.

Trombosit atau keping darah bertanggung jawab dalam pembekuan darah (membantu darah membeku/berhenti mengalir misalnya saat terjadi luka). Saat pembuluh darah pecah, trombosit berkumpul di daerah luka sampai terjadinya proses pembekuan darah yang bisa menutup kebocoran karena luka.

Plasma darah adalah bagian cair dari jaringan darah, terdiri dari 90% air dan 7-8% protein. Di dalam plasma inilah terlarut garam-garam, glukosa, lemak, asam amino, dan lain-lain (senyawa-senyawa hasil metabolisme). Pembuluh darah yang berupa pipa tempat mengalirnya darah memiliki dinding yang permeabel bagi air dan elektrolit, sehingga plasma darah secara terus menerus saling bertukar zat dengan cairan tubuh.

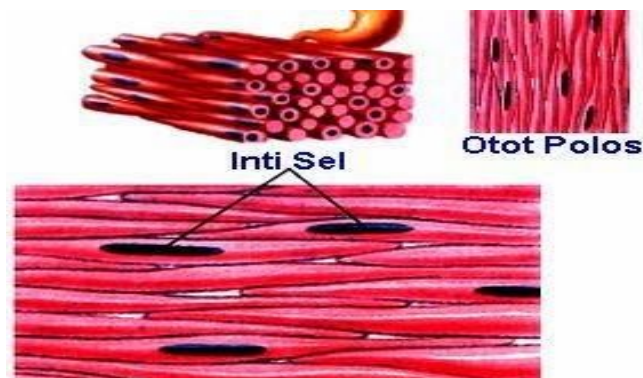


Gambar 30. Jaringan darah
(Sumber: <http://www.myvmc.com/anatomy/blood-function-and-composition/>)

4) Jaringan Otot

Jaringan otot tersusun dari sel-sel yang mampu berkontraksi dan berelaksasi dikarenakan kandungan miofibril. Otot menjadi alat gerak aktif karena kemampuannya berkontraksi, dan berpasangan dengan tulang yang berfungsi sebagai alat gerak pasif. Pada manusia dan vertebrata, gerakan tubuh secara seluruhnya disebabkan oleh kontraksi otot yang menempel pada rangka. Termasuk pada alat cerna seperti usus terdapat jaringan otot yang bekerja untuk menekan dan mendorong benda di dalam organ tersebut hingga terjadi pergerakan. Ada 3 macam otot berdasarkan struktur dan cara kerjanya yaitu *otot polos*, *otot lurik*, dan *otot jantung*.

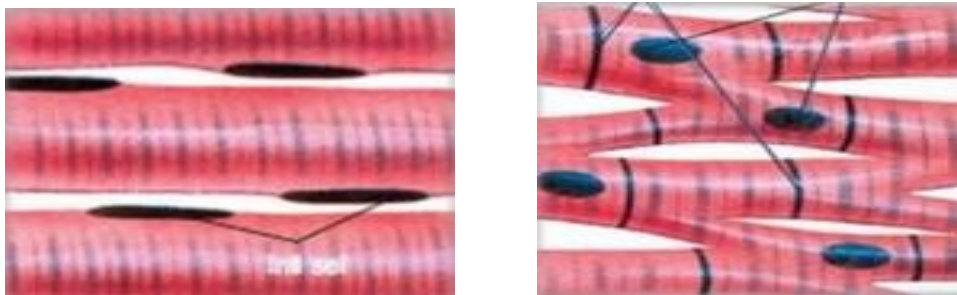
Otot polos terletak di organ-organ dalam yang bekerja secara tidak sadar seperti di usus, pembuluh darah, saluran kemih, dan lain-lain. Otot polos tidak mudah lelah meski terus beraktivitas dan memiliki reaksi yang lambat. Ciri-ciri selnya adalah berbentuk seperti tabung tapi lancip di kedua ujungnya, berinti sel satu yang terletak di tengah sel.



Gambar 31. Otot polos
(Sumber : https://s3.amazonaws.com/rapgenius/1379223534_smooth-muscle-670.jpg)

Otot lurik letaknya melekat terhadap rangka yang bercorak lurik-lurik. Karena perannya sebagai alat gerak aktif maka otot lurik termasuk otot yang bekerja secara sadar, cepat reaksinya terhadap rangsangan, dan mudah lelah jika bekerja secara keras terus menerus. Ciri otot ini selain bercorak lurik adalah memiliki inti sel yang terletak di tepi sel.

Otot jantung terletak hanya di organ jantung. Sifatnya berkerja secara tidak sadar dan tidak mudah lelah. Ciri otot jantung mirip dengan otot lurik, namun bercabang-cabang serta jumlah intinya 1 kadang 2 buah (Gambar 26).



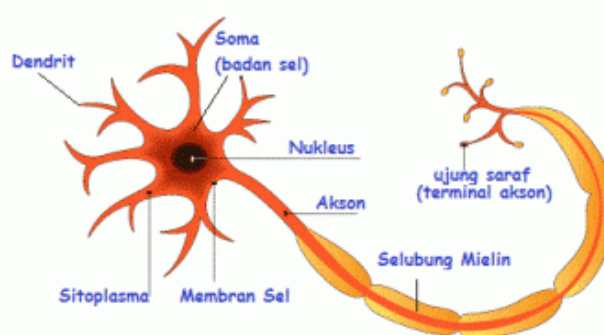
Gambar 32. Otot Jantung
Gambar 33. Otot Lurik Jaringan Saraf pada Manusia

Jaringan saraf tersusun dari sel-sel yang bernama neuron. Jaringan saraf berfungsi untuk menghantarkan rangsang (impuls) dari panca indra ke saraf pusat dan dari saraf pusat ke organ-organ lainnya. Di panca indra terletak reseptor (penerima rangsang), yang pertama kali berinteraksi dengan rangsang yang berasal dari luar/lingkungan. Misalnya pada organ lidah sehingga kita bisa merasakan sensasi rasa manis, asam, pahit, pedas, dan sebagainya, atau pada kulit saat kita merasakan panas, dingin, halus, dan kasar.

Berdasarkan fungsi tersebut, dapat Anda simulasikan di benak Anda sendiri mengenai struktur neuron yang panjang karena harus menghubungkan impuls dari lokasi penerimaan rangsang (di seluruh bagian tubuh) ke saraf pusat (otak dan sumsum tulang belakang). Berdasarkan fungsi tersebut pula dapat dibedakan 3 jenis neuron, yaitu neuron sensorik, neuron motorik, dan neuron penghubung.

Neuron sensorik menghantarkan impuls dari reseptor ke saraf pusat, neuron motorik menghantarkan impuls dari saraf pusat ke organ sasaran, sedangkan neuron penghubung merupakan neuron yang menghubungkan neuron sensorik dan neuron motorik.

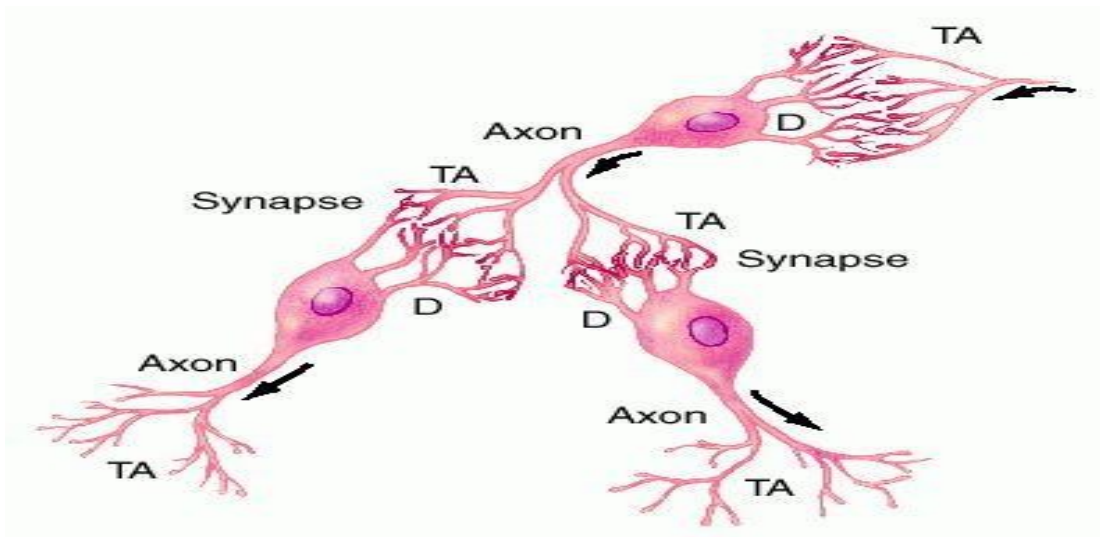
Neuron mempunyai struktur yang unik untuk bisa berhubungan dengan neuron-neuron lain. Satu sel neuron tersusun atas badan sel, dendrit, dan akson. Di badan sel terletak inti sel, dan dari badan akson menjulur sitoplasma yang bercabang-cabang disebut dendrit yang berfungsi menghantarkan impuls ke badan sel. Sementara akson adalah perpanjangan sitoplasma yang paling panjang dan dibungkus myelin untuk menghantarkan impuls ke sel neuron lain, atau ke efektor (organ penerima rangsang).



Gambar 34. Struktur sel saraf
(Sumber: <https://askbiologist.asu.edu/neuron-anatomy>)

Bagian akson yang panjang seperti Anda amati, tersusun dari bagian yang dibungkus myelin dan ada juga bagian kecil yang tidak terbungkus (bernama nodus Ranvier). Bungkus/seludang myelin dibentuk oleh sel-sel Schwann berfungsi sebagai isolator, meningkatkan konduksi, selain untuk memberi nutrisi serta regenerasi akson rusak.

Dalam jaringan saraf, sel neuron bertemu dengan sel neuron lainnya dan pertemuan kedua sel tersebut dinamakan sinapsis. Sinapsis menjadi persimpangan tempat mengalirnya impuls dari satu sel neuron ke sel neuron berikutnya. Sinapsis tersebut membuat impuls berjalan satu arah, memecah impuls ke beberapa neuron, atau mengumpulkan beberapa impuls ke satu neuron tunggal.



Gambar 35. Sinapsis
Sumber: Campbell, N.A, etc. 2009

Komunikasi yang dilakukan sel-sel neuron melalui sinapsis terdiri dari dua jenis sinyal, yaitu listrik dan kimiawi. Dengan menggunakan struktur khusus dari sel neuron dapat digunakan arus listrik untuk menerima, menghantarkan, serta mengatur arus informasi ke lokasi yang jauh di dalam tubuh. Sementara untuk menghantarkan informasi dari satu sel ke sel lainnya, neuron lebih mengandalkan sinyal dari senyawa kimia yang bernama neurotransmitter.

D. Rangkuman

Jaringan tumbuhan terdiri atas 2 jenis, yaitu jaringan meristem (selnya aktif membelah dan tetap bersifat meristematik) dan jaringan permanen (sel-selnya sudah terspesialisasi, menjadi jaringan tertentu pada tumbuhan). Berdasarkan asal pembentukannya, meristem dikelompokkan menjadi promeristem, meristem primer, dan meristem sekunder. Sedangkan berdasarkan posisinya, jaringan meristem dibedakan menjadi meristem apikal, meristem lateral, dan meristem interkalar.

Jaringan permanen berdasarkan fungsinya terdiri atas jaringan epidermis, Jaringan dasar, jaringan penyokong, jaringan pengangkut, dan jaringan gabus. Jaringan epidermis ibarat pakaian yang terletak di bagian paling luar, melindungi bagian dalam organ. Sel-selnya dapat berdiferensiasi untuk membantu menjalankan fungsi jaringan epidermis, menjadi stomata dan trikomata.

Jaringan dasar atau parenkim terdapat di setiap organ baik pada jaringan akar, batang, daun, maupun buah. Jaringan dasar tersusun dari sel-sel parenkim yang bisa berfungsi sebagai tempat fotosintesis, untuk menyimpan makanan dan air, dan sebagainya. Jaringan penyokong berfungsi untuk menunjang dan menguatkan bentuk tumbuhan karena sel-selnya memiliki dinding sel yang kuat dan telah terspesialisasi bentuknya. Ada 2 jenis jaringan penyokong yaitu jaringan kolenkim dan jaringan sklerenkim. Jaringan pengangkut/pembuluh terdiri atas xylem dan floem. Xilem berfungsi untuk menyalurkan air dan unsur hara dari akar ke daun, sementara floem berfungsi untuk mengangkut lalu menyalurkan zat-zat makanan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan.

Jaringan somatis/jaringan tubuh yang terdiri dari 4 jaringan dasar, yaitu jaringan epitel, jaringan pengikat/penunjang, jaringan saraf, dan jaringan otot.

Jaringan saraf berfungsi untuk menghantarkan rangsan (impuls) dari panca indra ke saraf pusat dan dari saraf pusat ke efektor (seperti otot dan kelenjar).

Jaringan epitel merupakan lapisan terluar dari organ yang menjadi pemisah antara organ dan lingkungan luarnya. Tersusun secara kompak dan tidak ada ruang antarsel. fungsi-fungsi jaringan epitel tersebut adalah sebagai

perlindungan, sebagai alat sekresi, untuk absorpsi, menerima rangsang/impuls, alat ekskresi, dan sebagai alat difusi. Jaringan penunjang pada hewan berfungsi mengisi celah antarjaringan, memberi kekuatan dan bentuk, membungkus organ-organ tubuh sekaligus mengikatnya/menghubungkannya dengan jaringan lain, atau sekaligus pula melindunginya. Jaringan penunjang terdiri dari jaringan ikat, jaringan skeleton, dan jaringan darah. Jaringan otot pada manusia dan hewan adalah jaringan yang bisa berkontraksi dan berelaksasi. Secara garis besar ada 3 jenis otot, yaitu otot polos, otot lurik, dan otot jantung.

Pembelajaran 3: Sistem Gerak pada Manusia

Sumber: Modul PKB (Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan) Biologi SMA
Kelompok Kompetensi A, Bab Sistem Gerak
Penulis: Arief Husein Maulani, M. Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi Sistem Gerak pada Manusia, kompetensi yang diharapkan dikuasai peserta adalah:

1. Memahami struktur dan fungsi sistem gerak pada manusia dengan benar
2. Memahami struktur dan fungsi sistem gerak dengan mekanisme gerak pada manusia dengan benar
3. Memahami kelainan yang terjadi pada sistem gerak dengan tepat.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

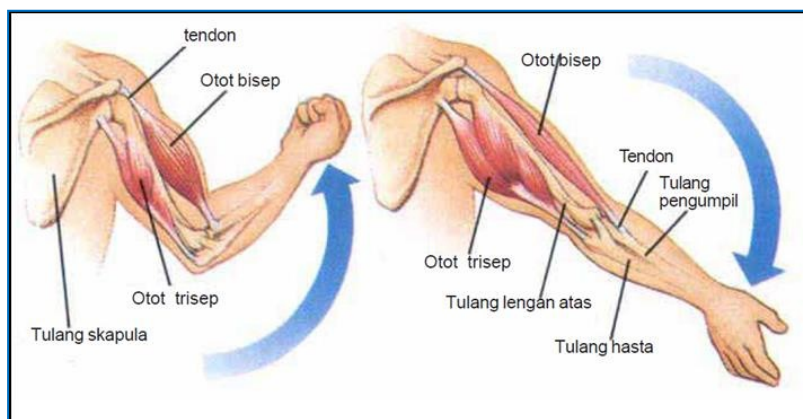
Setelah melaksanakan pembelajaran, guru pembelajar dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Sistem Gerak pada Manusia berikut ini.

1. Menjelaskan fungsi rangka sebagai penyusun sistem gerak pada manusia
2. Menjelaskan fungsi otot sebagai penyusun sistem gerak pada manusia
3. Mendeskripsikan struktur tulang pada manusia
4. Mendeskripsikan perkembangan dan pertumbuhan tulang
5. Mendeskripsikan struktur otot pada manusia
6. Menjelaskan mekanisme kontraksi otot pada manusia
7. Mendeskripsikan hubungan antar tulang yang membentuk berbagai persendian
8. Mengidentifikasi berbagai gangguan atau penyakit pada sistem gerak manusia.

C. Uraian Materi

Manusia mempunyai kemampuan bergerak dan berpindah tempat. Gerak terjadi oleh adanya kerja sama antara rangka dan otot. Rangka manusia disusun oleh lebih dari 200 buah tulang. Beberapa tulang saling menyatu, dan tulang-tulang

yang lainnya terhubung dengan sendi oleh ligamen yang memungkinkan terjadinya pergerakan. Otot menempel pada tulang dan menghubungkan tulang yang satu dengan tulang lainnya. Otot mempunyai kemampuan berkontraksi yang dapat menggerakkan tulang dengan mekanisme tertentu sehingga otot disebut alat gerak aktif, sedang tulang disebut alat gerak pasif (Gambar 30).



Gambar 36. Kerjasama antara Rangka dan Otot Menghasilkan Gerakan
(Sumber: <http://kelipet.com/2015/09/pengertian-dan-jenis-otot/>, diunduh tanggal 6/1/2016)

1. Sistem Rangka pada Manusia

Manusia memiliki rangka dalam yang disusun oleh tulang keras (disebut juga tulang rangka atau tulang) dan tulang rawan. Rangka manusia dibentuk dari tulang tunggal atau gabungan tulang (seperti tengkorak) yang ditunjang oleh struktur lain, seperti ligamen (jaringan ikat yang menghubungkan antara tulang yang satu dengan tulang lainnya), tendon (jaringan ikat yang menghubungkan otot dengan tulang), dan otot.

a. Fungsi dan Kegunaan Sistem Rangka

Sistem rangka memiliki lima fungsi utama yaitu:

1) Penopang/Penegak Tubuh

Sistem rangka menyediakan struktur yang mampu menopang seluruh tubuh. Tulang-tulang penyusun rangka secara sendiri atau dalam kelompok menyediakan tempat sangkutan bagi berbagai jaringan lunak dan organ.

2) Tempat Penyimpanan Kalsium dan Lemak

Di dalam tulang terdapat berbagai mineral seperti kalsium, kalium, dan natrium. Kalsium (zat kapur) merupakan mineral utama pembentuk tulang. Apabila tubuh kekurangan kalsium, tubuh akan mengambilnya dari tulang dan jika terjadi terus menerus, tulang dapat menjadi tipis, rapuh, dan mudah patah. Selain sebagai cadangan mineral, tulang rangka menyimpan cadangan energi dalam bentuk lemak yang disimpan pada sumsum tulang kuning.

3) Penghasil Sel-Sel Darah

Sel darah merah, sel darah putih, dan komponen darah lainnya dihasilkan pada sumsum tulang merah yang mengisi ruangan dalam kebanyakan tulang, terutama pada tulang pendek, tulang pipih, tulang tak beraturan, jaringan kanselus (tulang berbentuk spons) pada ujung tulang pipa, tulang rusuk, dan tulang dada.

4) Pelindung Alat-Alat Tubuh Penting

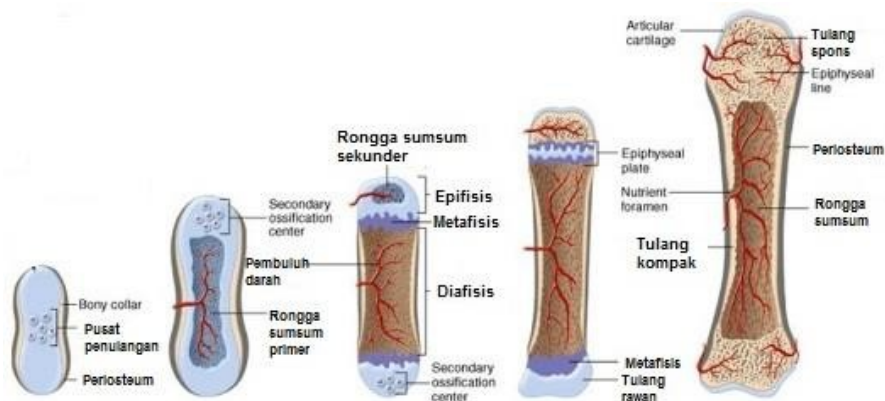
Jaringan dan organ lunak dikelilingi dan dilindungi rangka. Sebagai contoh, tulang rusuk melindungi jantung dan paru-paru; tengkorak melindungi otak; ruas-ruas tulang belakang melindungi sumsum tulang belakang; gelang panggul melindungi sistem reproduksi dan sistem pencernaan.

5) Alat Pergerakan

Tulang-tulang bertindak sebagai pengungkit apabila otot-otot yang melekat pada tulang itu berkontraksi menghasilkan gerakan yang bertumpu pada sendi.

b. Perkembangan dan Pertumbuhan Tulang

Tulang pada bayi sebagian besar disusun oleh tulang rawan. Tulang rawan, sebagian besar terdiri atas kolagen, bersifat pejal dan lentur. Dengan tumbuhnya bayi, sel-sel tulang rawan digantikan dengan tulang keras yang memiliki struktur lingkaran konsentris dari kalsium dan fosfat di antara sel-sel tulang. Proses perubahan dari tulang rawan ke sel tulang keras dinamakan penulangan (osifikasi). Proses penulangan berlanjut hingga remaja dan dewasa. Epifisis adalah area bagi pertumbuhan secara memanjang bagi tulang-tulang panjang sewaktu kanak-kanak. Pada masa pertumbuhan ini sel-sel pada epifisis membelah dan memanjangkan tulang. Ketika kita tumbuh, tulang bertambah keras dan bertambah berat, tetapi kelenturannya berkurang. Hal itu berarti tulang bertambah kuat tetapi mudah patah.



Gambar 37. Pembentukan Tulang
(Sumber : <http://www.slideshare.net/satyakiverma/stages-of-bone-formation>)

Gambar 37. di atas menunjukkan pembentukan tulang dari tulang rawan. Sewaktu embrio, semua tulang pipa pada mulanya berupa batang tulang rawan yang diselubungi oleh suatu membran (perikondrium). Sebuah pusat penulangan pertama disebut diafisis tampak di tengah jaringan yang kemudian menjadi tulang pipa. Kalsium ditimbun dalam matriks dan sel-sel tulang berkembang. Perikondrium menjadi periosteum, selanjutnya tulang tumbuh baik secara melingkar maupun memanjang. Selanjutnya tulang yang sedang tumbuh terdiri atas batang (diafisis) dan ujung (epifisis).

c. Struktur Tulang

Tulang (osteon), terdiri atas sel-sel tulang yang banyak mengandung senyawa kapur dan fosfat. Senyawa kapur dan fosfat yang terkandung dalam tulang mengakibatkan tulang menjadi keras.

Macam-Macam Tulang Berdasarkan Bentuk Tulang:

1. Tulang panjang atau tulang pipa.

Kelompok tulang ini secara umum lebih panjang, lebar, berbentuk silinder dan berfungsi sebagai pengungkit. Tulang panjang terletak pada lengan atas, lengan bawah, paha, betis, telapak kaki, jari, dan ibu jari. Tulang paha merupakan tulang panjang terbesar dan terberat pada tubuh.

2. Tulang pendek

Tulang pendek bentuknya mirip kubus, contohnya adalah tulang-tulang pada pergelangan tangan dan tulang-tulang pada pergelangan kaki, berperan memindahkan daya. Tulang bentuk ini sebagian besar disusun oleh jaringan tulang jarang (berbentuk spons).

3. Tulang pipih

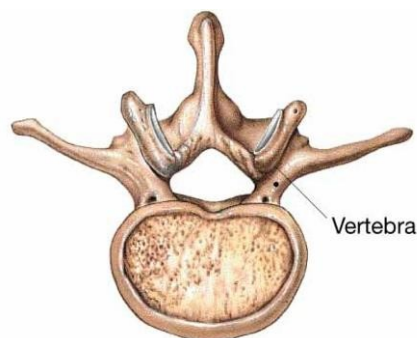
Tulang pipih bentuknya tipis dan lengkung terdiri atas dua lapisan tulang kompak (tulang keras), di tengahnya terdapat lapisan tulang seperti spons (Gambar 38). Tulang pipih antara lain membentuk atap pada tulang kepala, juga ditemukan pada tulang dada, tulang rusuk, dan tulang belikat. Tulang ini menyediakan perlindungan bagi penempatan jaringan lunak dan menyediakan permukaan bagi perlekatan otot-otot rangka.



Gambar 38. Struktur tulang pipih
(Sumber: <http://www.ikonet.com/en/visualdictionary/human-being/anatomy/skeleton/types-of-bones.php>)

4. Tulang yang tidak beraturan

Tulang jenis ini adalah tulang yang tidak dapat digolongkan dalam salah satu dari ketiga bentuk tadi. Bentuk dari kelompok tulang ini tidak beraturan (Gambar 33). Tulang tersebut berfungsi sebagai tempat pelekatan otot atau persendian. Tulang tidak beraturan ditemukan pada ruas-ruas tulang belakang, tulang pada panggul, dan beberapa tulang tengkorak.



Gambar 39. Tulang tidak beraturan
(Sumber: <https://www.studyblue.com/notes/n/kine-3600-test-1/deck/15216137>)

5. Tulang sesamoid

Umumnya berukuran kecil, pipih, dan bentuknya mirip biji wijen (lihat Gambar 34). Tulang ini berkembang di dalam tendon dan otot-otot, umumnya berada dekat sendi misal pada lutut, tangan dan tungkai.



Gambar 40. Tulang sesamoid

(Sumber: <http://m.dev.tempo.co/read/news/2010/12/23/060301024/Mengatasi-Sesamoiditis>, diunduh tanggal 3/9/2015)

6. Tulang sutura

Tulang sutura berukuran kecil, pipih, dan bentuknya tidak beraturan. Tulang sutura terletak di antara tulang pipih pada tengkorak, dengan jumlah, bentuk, dan posisi bervariasi pada tiap individu.

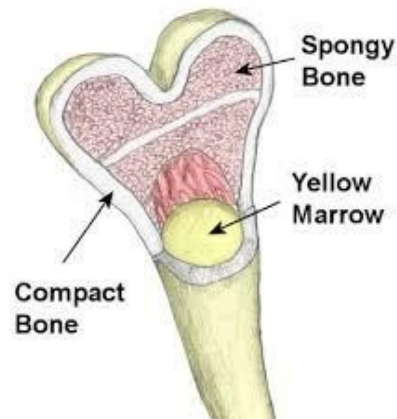
d. Macam- Macam Tulang Berdasarkan Bahan Penyusun Tulang

1) Tulang atau Osteon

Tulang terdiri atas hampir 50% air. Bagian padat tulang, terdiri atas berbagai bahan mineral (sekitar 33,5%) terutama garam kalsium dan bahan seluler (sekitar 16,5%). Struktur tulang yang dapat dilihat dengan mata telanjang adalah struktur kasar.

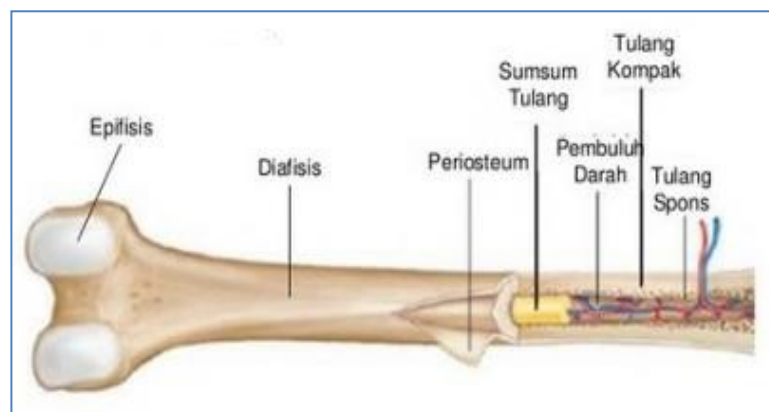
a) Struktur Kasar

Setiap tulang rangka berisi dua bentuk jaringan tulang yaitu (1) tulang kompak (padat) dan (2) tulang berbentuk spon. Tulang kompak selalu berada pada permukaan tulang membentuk lapisan pelindung yang kuat. Tulang spon terletak di bagian dalam tulang.



Gambar 41. Tulang kompak dan tulang spon
(Sumber : <http://budisma.net/2015/01/struktur-dan-fungsi-jaringan-tulang.html>, diunduh tanggal 3/9/2015)

Gambar 42 di bawah ini memperlihatkan anatomi tulang paha, tulang yang mewakili tulang panjang. Tulang panjang memiliki batang yang berbentuk tubular (pipa) disebut diafisis. Pada setiap ujung tulang terdapat suatu area perpanjangan dikenal sebagai epifisis. Diafisis dihubungkan dengan setiap epifisis melalui suatu area dikenal sebagai metafisis.



Gambar 42. Struktur Tulang Panjang
(Sumber: <http://fungsi.web.id/2015/05/fungsi-tulang-pada-manusia-secara-umum.html>, diunduh tanggal 6/1/2016)

Dinding diafisis terdiri atas lapisan tulang kompak yang mengelilingi ruang pusat disebut rongga sumsum. Epifisis sebagian besar berupa tulang berbentuk spon dengan pembungkus yang tipis disebut korteks (tulang kompak). Sel-sel pada tulang spon membentuk banyak rongga. Susunan rongga seperti itu menyediakan kekuatan untuk mendukung beban yang berat. Tulang spon bertindak sebagai bantalan yang mampu menyerap kejutan atau benturan.

Rongga sumsum pada diafisis dan ruang di antara epifisis dan lempengan epifisis mengandung sumsum tulang, dan berkurang kandungan jaringan ikatnya. Dikenal ada dua macam sumsum tulang yaitu sumsum tulang kuning dan sumsum tulang merah. Sumsum tulang kuning didominasi oleh sel-sel lemak. Sumsum tulang merah sebagian besar terdiri dari sel darah merah, sel darah putih, dan sel-sel induk yang menghasilkan kedua jenis sel darah tersebut. Sumsum tulang kuning merupakan cadangan energi yang penting, juga dapat membuat sel-sel darah dalam keadaan darurat, misalnya setelah orang mengalami perdarahan.

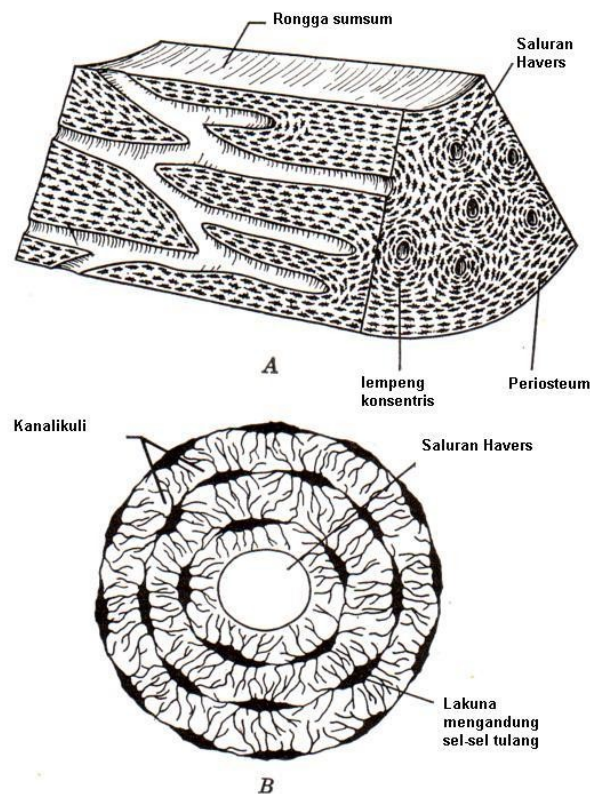
b) Struktur Halus

Periosteum adalah membran yang melapisi dan melekat erat pada bagian luar tulang, kecuali di antara persendian karena di bagian ini dilapisi oleh tulang rawan. Di dalam periosteum banyak terdapat pembuluh darah. Pembuluh darah yang berasal dari periosteum bercabang-cabang ke dalam tulang. Periosteum penting untuk menebalkan tulang dan menyembuhkan patah tulang (fraktur).

Pada irisan melintang tulang kompak, dapat dilihat adanya suatu bentuk yang terdiri atas lingkaran-lingkaran atau lempengan konsentris (lihat Gambar 43). Di dalam pusat setiap lingkaran terdapat suatu saluran yang disebut saluran Havers. Lempengan tulang atau lamela disusun konsentris sekitar saluran havers. Di antara lempeng itu terdapat ruang-ruang kecil disebut lakuna. Lakuna mengandung sel-sel tulang yang saling bersambungan satu dengan yang lain, juga disambungkan dengan saluran Havers di bagian tengah oleh saluran kecil yang disebut kanalikuli. Satu sistem Havers yang lengkap adalah sebagai berikut.

- (1) Saluran Havers, berada di pusat berisi urat saraf, pembuluh darah, dan pembuluh limfe.
- (2) Lamela (lempeng tulang) yang tersusun memusat.
- (3) Lakuna yang mengandung sel tulang.

- (4) Kanalikuli yang memancar di antara lakuna dan menggandengkannya dengan saluran Havers.



Gambar 43. Struktur Mikroskopik Tulang Kompak
A. Bagian tulang panjang dalam irisan melintang dan membujur
B. Tiga lamela yang konsentris mengelilingi saluran Havers
(Sumber: Setiawan, 2007)

2) Matriks dan Sel Tulang

Tulang terdiri atas sel-sel dan matriks. Matriks adalah komponen non hidup pada jaringan ikat, yang dibangun atas suatu anyaman serat yang terbenam dalam suatu bahan dasar homogen. Bahan dasar homogen ini biasanya berbentuk cairan, ada pula yang berbentuk jeli, ataupun berupa padatan. Jenis-jenis matriks adalah:

- mineral, misalnya kalsium, fosfat, dan karbonat;
- semen, tersusun dari molekul karbohidrat;
- kolagen, bentuknya seperti serat.

Ada tiga jenis sel tulang, yaitu:

- a) osteoblas, sel yang membangun tulang;
- b) osteosit, sel tulang yang matang; dan
- c) osteoklas, yaitu sel yang menghancurkan tulang.

Dengan aksi dari sel-sel tersebut, tulang dalam keadaan hidup dibentuk dan dihancurkan secara terus menerus.

3) Tulang Rawan atau Kartilago

Tulang rawan terbuat dari bahan yang padat, bening, dan putih kebiru-biruan, bersifat sangat kuat. Tulang tersebut ditemukan terutama pada sendi dan di antara dua tulang. Tulang rawan tidak mengandung pembuluh darah, tetapi diselubungi membran, yaitu perikondrion, tempat tulang rawan mendapatkan darah.

Tiga jenis utama tulang rawan :

a) Tulang rawan hialin

Terdiri atas serabut kolagen (serat berbahan protein sejenis gelatin) yang terbenam dalam bahan dasar yang bening dan ulet. Dijumpai menutupi ujung tulang pipa sebagai tulang rawan sendi. Juga pada tulang rawan rusuk, pada hidung, laring, trakea, dan pada bronkus.

b) Tulang rawan fibrosa

Tulang rawan fibrosa disusun oleh berkas-berkas serabut dengan sel tulang rawan tersusun di antara berkas serabut itu, dijumpai pada tempat yang memerlukan kekuatan besar. Tulang rawan fibrosa ada di bagian dalam rongga tulang panggul, dan tulang belikat. Juga sebagai tulang rawan penghubung seperti pada cakram intervertebralis pada tulang belakang, dan bantalan tulang rawan pada tulang kemaluan.

c) Tulang rawan elastik

Sering disebut tulang rawan elastik kuning, karena mengandung sejumlah besar serabut elastik berwarna kuning. Terdapat pada daun telinga, epiglottis, dan tabung Eustachius. Jika ditekan atau dibengkokkan terasa lentur dan cepat kembali ke bentuknya semula.

e. Struktur Rangka

1) Rangka Badan (Aksial) terdiri atas:

a) Tengkorak

Terdiri atas 8 buah tulang kranium atau tempurung kepala dan 14 buah tulang wajah). Tulang-tulang pada tengkorak melindungi otak dan menjaga saluran masuk sistem pencernaan (rongga mulut) serta lobang masuk sistem respirasi (rongga hidung). Tengkorak terdiri atas 22 buah tulang, yaitu 8 buah tulang yang membentuk tempurung kepala (kranium) dan 14 buah tulang yang bersambungan membentuk tulang wajah.

Tujuh buah tulang tambahan bergabung dengan tengkorak yaitu 6 buah tulang-tulang pendengaran (tulang landasan, martil, dan sanggurdi masing-masing satu pasang) berada di sebelah dalam tulang pelipis, dan tulang hioid dihubungkan dengan bagian bawah tulang pelipis oleh sepasang ligamen.

Tempurung kepala terdiri atas 8 buah tulang, yaitu 1 buah tulang kepala belakang, 2 buah tulang ubun-ubun, 1 buah tulang dahi, 2 buah tulang pelipis, 1 buah tulang baji, dan 1 buah tulang tapis yang tersambung oleh sutura. Tempurung kepala memiliki fungsi yang sangat penting. Fungsi tulang tengkorak adalah melindungi otak. Tulang-tulang yang berhubungan dengan tengkorak (terdiri atas 6 buah tulang pendengaran dan 1 buah tulang hioid).

2) Rangka dada

Terdiri atas 1 buah tulang dada dan 24 buah tulang rusuk)

Tulang-tulang pada daerah dada membentuk sejenis sangkar yang melindungi jantung dan paru-paru. Tulang dada merupakan tulang pipih berada di bagian tengah dan depan rongga dada. Tulang dada merupakan tempat melekatnya tulang rusuk dan otot-otot yang membantu kita bernapas. Tulang rusuk juga melindungi jantung.

Tujuh pasang tulang rusuk paling atas pada ujungnya terdapat tulang rawan dan langsung bersambungan dengan tulang dada (tulang rusuk sejati). Tiga pasang tulang rusuk di bawahnya tidak langsung berhubungan dengan tulang dada (tulang rusuk palsu). Ketiga pasang tulang ini berhubungan dengan tulang rawan yang menyambung pada tulang dada. Dua pasang tulang rusuk paling bawah sama sekali tidak melekat pada tulang dada. Kedua pasang tulang rusuk ini hanya melekat di bagian belakang.

3) Rangkaian tulang belakang

Terdiri atas 7 ruas tulang leher, 12 ruas tulang belakang bagian dada, 5 ruas tulang bagian pinggang 1 buah tulang kelangkang yang disusun oleh 5 ruas yang

rudimenter menjadi satu, dan 1 buah tulang tungging yang disusun oleh 4 ruas yang rudimenter menjadi satu).

Ruas-ruas tulang belakang disusun oleh 33 buah tulang kecil yang dikenal sebagai vertebra. Ruas-ruas tulang belakang melindungi sumsum tulang belakang. Setiap tonjolan tulang belakang merupakan satu ruas tulang yang terpisah. Di antara tulang-tulang itu terdapat lempengan tulang rawan disebut cakram yang bertindak sebagai bantalan untuk meredam kejutan.

Ruas-ruas tulang belakang dibagi dalam beberapa daerah.

- (1) Ruas-ruas tulang leher (7 buah) terdapat pada daerah leher yang mendukung kepala. Adanya ruas-ruas tulang ini membuat leher dapat lentur dan memungkinkan kepala dapat digerakkan ke berbagai arah.
- (2) Di bawah leher terdapat 12 ruas tulang belakang bagian dada. Tulang ini ikut membantu mendukung kerangka rongga dada.
- (3) Selanjutnya 5 buah ruas tulang belakang bagian pinggang merupakan penyangga utama berat badan. Tulang pinggang merupakan ruas tulang belakang terbesar dan terkuat.
- (4) Selanjutnya 5 ruas tulang kelangkang yang menyatu di daerah kelangkang. Tulang ini pun menyatu dengan tulang panggul di kedua sisinya. Gabungan tulang kelangkang dengan tulang usus disebut tulang panggul. Di bawah tulang kelangkang terdapat tulang tungging (tulang ekor) yang terdiri atas 3 – 5 ruas tulang yang menyatu.

4) Rangka Anggota Gerak (Apendikular)

a) Gelang Bahu

Tulang belikat bersama tulang selangka membentuk gelang bahu. Gelang bahu menyediakan tempat hubungan bagi lengan pada rangka aksial.

b) Lengan

Salah satu ujung tulang lengan atas melekat pada gelang bahu. Ujung bawah bertemu dengan dua buah tulang lengan bawah pada sendi siku.

c) Tangan

Terdapat delapan buah tulang pada pergelangan tangan, tersusun atas dua baris, empat tulang dalam setiap baris. Adanya tulang ini membuat pergelangan tangan leluasa bergerak. Tulang-tulang pergelangan tangan bersambungan dengan lima tulang yang membentuk telapak tangan. Setiap jari memiliki tiga

buah tulang, kecuali pada ibu jari yang hanya dua tulang. Ujung ibu jari dapat menyentuh semua ujung jari lainnya.

d) Gelang Panggul

Tulang panggul membentuk gelang yang kuat dapat menyeimbangkan berat tubuh pada kaki. Gelang panggul juga melindungi kebanyakan organ yang ada pada rongga perut, khususnya organ reproduksi. Walaupun gelang panggul terdiri atas banyak tulang, tulang-tulang itu bersambungan sangat erat dan menyatu, sehingga tampaknya hanya sebuah tulang.

e) Tungkai

Tulang paha merupakan tulang terbesar, terkuat, dan terberat di dalam tubuh. Hal itu disebabkan tulang paha harus mendukung berat tubuh bagian atas sewaktu berjalan, berlari, atau sewaktu kita melompat. Masing-masing tulang paha memanjang dari panggul sampai lutut. Di bawah lutut, terdapat dua buah tulang yang lebih kecil yang membagi beban berat tubuh. Tulang yang lebih besar (tulang kering) menyangga beban lebih banyak yang berasal dari tulang paha dan diteruskan pada kaki. Tulang yang lebih kecil (tulang betis) membantu tumit bergerak dengan leluasa. Tempurung lutut selalu berada di tempatnya, diikat oleh tendon dari otot sekitarnya. Tulang ini melindungi sendi lutut dan memungkinkan lutut membengkok secara halus.

f) Kaki

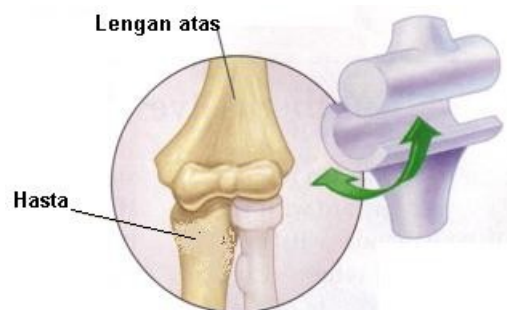
Struktur kaki mirip struktur tangan, tetapi kaki lebih kuat dan lebih kaku. Sebagaimana halnya tangan, lima buah tulang membentuk telapak kaki. Tulang-tulang ini berhubungan dengan tulang-tulang jari kaki. Ibu jari kaki, mirip dengan ibu jari tangan, hanya terdiri atas dua buah tulang. Jari kaki lainnya terdiri atas tiga buah tulang. Tulang terbesar pada kaki dan tulang yang terkecil pada jari kaki berperan menyerap kejutan sewaktu berjalan.

f. Sendi

Tempat bertemunya dua buah tulang dinamakan sendi. Sendi diikat oleh ligamen dan tendon. Terdapat tiga jenis sendi 1) sendi dengan gerakan bebas, 2) sendi dengan gerakan terbatas, 3) sendi yang tidak dapat bergerak.

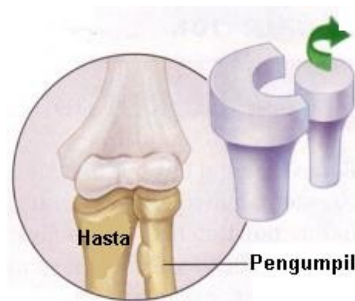
Sendi dengan gerakan bebas ada 4 jenis, yaitu:

- 1) Sendi engsel adalah jika gerakan dapat dilakukan ke satu arah (Gambar 44). Contoh sendi engsel adalah sendi pada lutut dan siku.



Gambar 44. Sendi engsel
(Sumber : Setiawan, 2007)

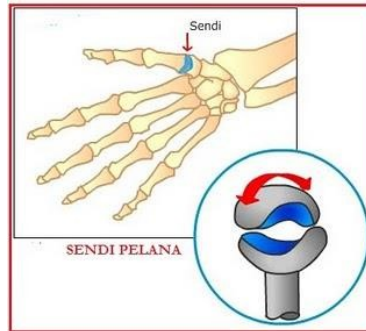
- 2) Sendi putar, tulang yang satu mengitari tulang yang lain. Bentuk seperti ini memungkinkan tulang itu saling menyilang. Contoh, ujung dua buah tulang pada lengan bawah, tulang hasta dan pengumpil, bertemu membentuk sendi putar pada siku (Gambar 45).



Gambar 45. Sendi putar
(Sumber : Setiawan, 2007)

- 3) Sendi pelana

Sendi pelana memungkinkan tulang yang satu meluncur pada tulang yang lain (Gambar 46). Tulang-tulang pada pergelangan tangan membentuk sendi pelana, dengan fleksibilitas yang tinggi. Sendi semacam ini terdapat juga pada tulang-tulang pergelangan kaki.



Gambar 46. Sendi pelana
(Sumber: Setiawan, 2007)

4) Sendi geser

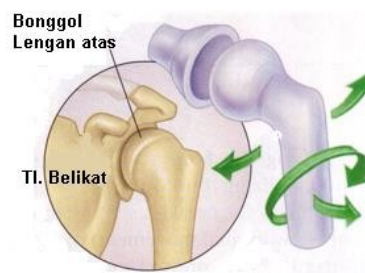
Sendi geser terdapat pada hubungan antar tulang yang memungkinkan pergerakan menggeser suatu tulang dengan tulang lain (Gambar 47). Contohnya seperti pada tulang belakang.



Gambar 47. Sendi Geser
(Sumber:Seeley, Rod. R. 2014)

5) Sendi peluru

Sendi peluru terbentuk dengan ujung tulang yang berbentuk bola masuk pada bagian tulang lainnya yang berbentuk mangkuk (Gambar 48). Sendi yang terdapat pada bahu dan panggul merupakan contoh sendi ini. Sendi peluru memungkinkan gerakan ke semua arah.



Gambar 48. Sendi peluru
Sumber: <http://biologipedia.blogspot.com/2010/10/sendipelana.html>, diunduh tanggal 4/9/2015)

2. Sistem Otot Manusia

a. Jenis Otot Manusia

Otot manusia dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan penampakkannya:

1) Otot Lurik

Dikatakan otot lurik karena adanya daerah gelap dan daerah yang terang berselangan kalau dilihat dengan mikroskop. Otot lurik disebut juga otot sadar karena bekerja menurut perintah otak.

2) Otot Polos

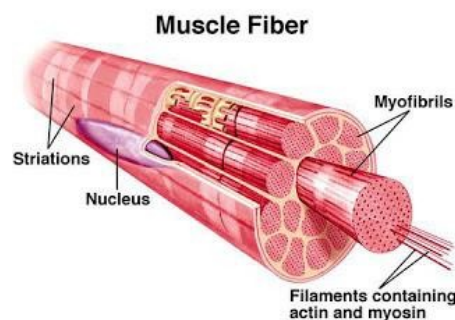
Di bawah mikroskop otot polos tampak polos. Bekerjanya dibawah kesadaran kita, misalnya pada rahim, usus, pembuluh darah, dan saluran kelamin.

3) Otot Jantung

Bekerjanya dibawah kesadaran kita, bentuknya bergaris melintang. Otot jantung hanya terdapat pada dinding jantung.

b. Struktur Anatomi Otot

Setiap otot terdiri dari beberapa ratus hingga beberapa ribu sel otot. Di dalam setiap sel otot terdapat banyak struktur yang mirip benang yang disebut myofibril (Gambar 49).

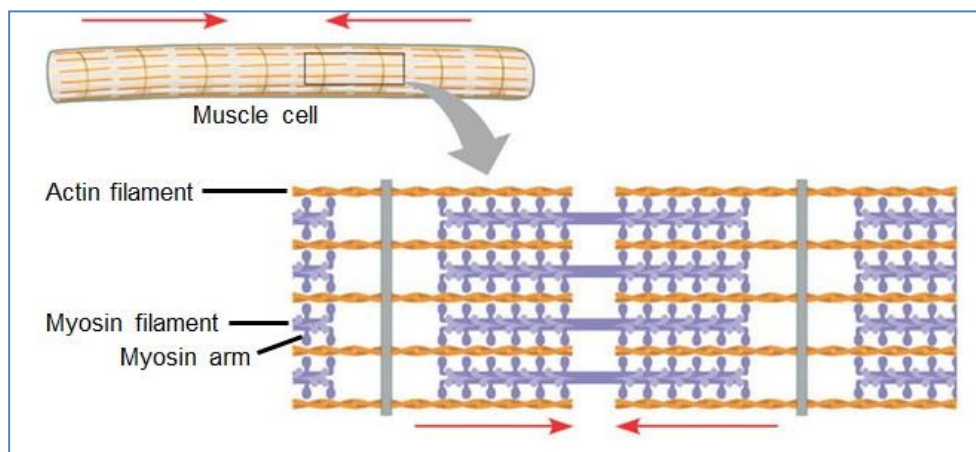


Gambar 49. Struktur otot
(Sumber : <http://contohlaporan.blogspot.com/2009/11/mekanisme-kerja-otot.html>,
diunduh tanggal 4/9/2015)

Pada setiap miofibril terdapat banyak filamen tebal dan filamen tipis yang susunannya sejajar. Setiap filamen tipis terdiri atas dua untaian manik-manik yang saling berpilin. Butir-butir manik-manik tersebut adalah molekul globular dari aktin. Setiap filamen tebal terdiri atas sekumpulan molekul miosin. Aktin dan miosin merupakan protein yang menggerakkan otot. Molekul miosin memiliki bagian kepala dan bagian ekor yang panjang. Molekul aktin dan miosin merupakan komponen dari sarkomer.

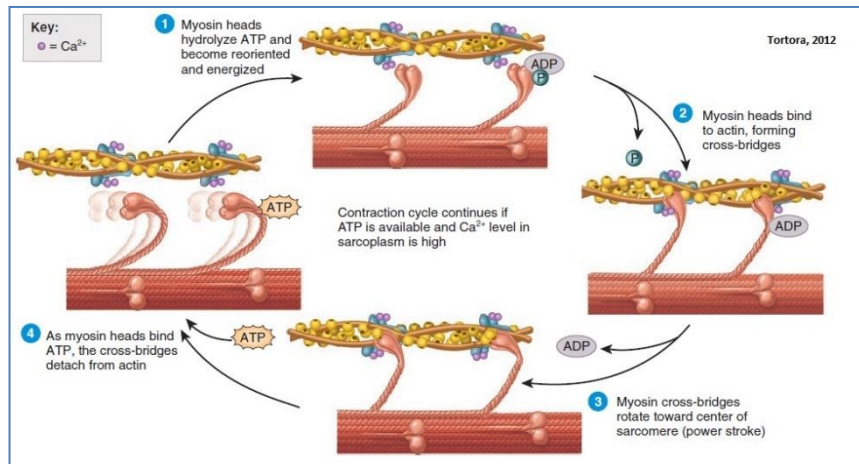
c. Mekanisme Kontraksi Otot

Otot dalam tubuh akan berkontraksi jika mendapatkan rangsangan. Proses kontraksi otot didahului dengan datangnya impuls saraf. Ribuan filamen aktin disusun sejajar satu sama lain di sepanjang sel otot, yang diselingi dengan filamen yang lebih tebal yang terbentuk dari protein yang disebut miosin (gambar 50).



Gambar 50. Aktin dan miosin dalam sel
(Sumber: Campbell, 2002)

Kontraksi sel otot terjadi akibat filamen aktin dan miosin yang saling meluncur melewati yang lain, yang akan memperpendek selnya. Dalam sel otot, filamen aktin terletak sejajar dengan filamen miosin tebal. Miosin bertindak sebagai molekul motor dengan bantuan lengan yang “menjalankan” kedua jenis filamen itu untuk saling melewati yang lainnya. Kerja tim dari banyak filamen yang meluncur seperti ini membuat seluruh sel otot dapat memendek (Gambar 45).



Gambar 51. Filamen aktin dan miosin yang saling meluncur
(Sumber: <http://deborafilifos.blogspot.com/2013/03/sistem-otot.html>, diunduh tanggal 4/9/2015)

d. Cara Kerja Otot

1) Otot sinergis

Yaitu hubungan antar otot yang cara kerjanya saling mendukung/bekerja sama/menimbulkan gerakan yang searah. Untuk menggerakkan tulang dari satu posisi ke posisi yang lain, kemudian kembali ke posisi semula, diperlukan paling sedikit dua macam otot dengan kerja berbeda.

Contoh:

- Seluruh otot pronator yang mengatur pergerakan telapak tangan untuk menelungkup.
- Seluruh otot supinator yang mengatur pergerakan telapak tangan menengadahkan.

2) Otot antagonis

Otot antagonis adalah dua otot atau lebih yang tujuan kerjanya berlawanan. Contoh otot antagonis adalah otot bisep dan trisep. Untuk mengangkat lengan bawah, otot bisep berkontraksi dan otot trisep berelaksasi. Untuk menurunkan lengan bawah, otot trisep berkontraksi dan otot bisep berelaksasi.

Macam otot antagonis:

- Otot ekstensor (meluruskan) dengan fleksor (membengkokkan).

- b) Otot abductor (menjauhi sumbu badan) dengan adductor (mendekatisumbu badan).
- c) Otot supinator (menengadahkan) dengan pronator (menelungkup).
- d) Otot depressor (gerakan ke bawah) dengan elevator (gerakan ke atas).

3. Gangguan/Penyakit pada Sistem Rangka

a. Osteoporosis

Osteoporosis adalah kondisi di mana tulang menjadi tipis, rapuh, keropos dan mudah patah akibat berkurangnya massa tulang, khususnya kalsium yang terjadi pada waktu lama. Komplikasi serius dari osteoporosis yang sering terjadi adalah patah tulang.

b. Patah Tulang

Patah tulang disebut juga fraktura dapat berupa sebagian dapat pula seluruhnya. Gambar 52. memperlihatkan tiga bentuk patah tulang.

- 1) “Fraktura batang hijau” merupakan patah tulang sebagian yang umum terjadi pada anak-anak.
- 2) Patah tulang sederhana terjadi jika tulang retak menjadi dua bagian, tetapi ujung tulang yang patah tidak keluar kulit.
- 3) patah tulang riuk (terbuka), ujung tulang yang patah menyobek kulit dan muncul ke luar. Pada patah tulang jenis ini ujung tulang yang keluar mudah diserang bibit penyakit.



Gambar 52. Tiga Bentuk Patah Tulang
kiri:green-stick; tengah: sederhana; kanan: terbuka (Sumber: Setiawan, 2007)

c. Luka pada Sendi

Kecelakaan pada sendi yang paling umum adalah keseleo. Keseleo terjadi jika ligamen dan tendon di sekitar sendi terenggut. Pada keseleo yang hebat jaringan itu dapat robek.

Bentuk lain kecelakaan pada sendi adalah dislokasi. Pada kasus dislokasi, ujung tulang tertarik ke luar sendi. Ligamen yang menghubungkan tulang pada sendi terenggut dan sobek.

Bursitis merupakan masalah sendi yang tidak secara langsung berhubungan dengan luka. Bursitis merupakan peradangan dengan rasa sakit pada kantung kecil di dekat sendi. Kantung ini, disebut bursae, terletak di antara tendon atau di antara tendon dan tulang. Tanpa kantung ini tendon akan bergesekan satu dengan yang lainnya.

d. Masalah pada Kaki

Ketika kita berdiri dengan telapak kaki menempel pada lantai, tampak bahwa bagian tengah telapak kaki kita tidak menyentuh lantai. Bagian ini dinamakan lengkung kaki. Lengkung kaki terbentuk dari susunan tulang-tulang pada kaki dan tekanan di antara tulang-tulang itu yang diikat oleh ligamen dan otot. Struktur ini membuat telapak kaki mirip pegas. Jika kaki menginjak lantai, lengkung kaki sedikit memipih lalu melengkung kembali. Kerja pegas ini mampu meredam kejutan dan menggunakan energi untuk melengkungkan kembali lengkung kaki pada langkah berikutnya. Kadangkala lengkung kaki menjadi pipih. Hal itu berarti semua bagian alas kaki menyentuh lantai. Hal itu berakibat berat badan tidak berada di pusat. Membuat kulit dan otot pergelangan kaki bekerja lebih berat untuk menyeimbangkan tubuh. Sakit pada lengkung kaki, pergelangan kaki, dan otot betis merupakan pertanda turunnya lengkung kaki. Wanita yang mengenakan sepatu dengan hak tinggi dapat menyebabkan lengkung kaki memipih. Sepatu dengan bantalan kecil, disebut arch supports dapat membantu keadaan ini.

Problem pada kaki lainnya adalah bunion. Bunion merupakan pembengkakan yang berat pada sendi ibu jari kaki. Bunion dapat disebabkan oleh arthritis atau tidak seimbangya otot pada kaki dan tungkai. Juga dapat disebabkan karena menggunakan sepatu sempit yang menekan jari secara bersamaan. Persendian pada ibu jari merupakan sendi engsel yang memungkinkan ibu jari bergerak ke

atas dan ke bawah. Mengenakan sepatu sempit, mengakibatkan jari dan sendi mendapat tekanan dari satu sisi. Pada tahap awal terbentuk bunion, sepatu yang lebar diperlukan, namun pembedahan sangat diperlukan pada kasus lanjutan.

e. Arthritis

Penyakit ini ditandai dengan pembengkakan dan pengembangan jaringan di sekitar sendi. Dengan beberapa macam arthritis, sendi menjadi kaku dan terjadi kerusakan tetap karena robeknya jaringan sendi.

Dengan mengetahui beberapa gangguan dan penyakit di atas, kita layak untuk bersyukur kepada Allah, Tuhan YME atas nikmat berupa kesehatan pada sistem gerak kita. Dengan pemahaman ini semoga mendorong guru untuk lebih aktif dan giat belajar dan mengajar, menekuni profesinya dengan baik.

D. Rangkuman

Gerak terjadi oleh adanya kerja sama antara rangka dan otot. Otot menempel pada tulang dan menghubungkan tulang yang satu dengan tulang lainnya. Otot mempunyai kemampuan berkontraksi yang dapat menggerakkan tulang dengan mekanisme tertentu sehingga otot disebut alat gerak aktif, sedang tulang disebut alat gerak pasif. Sistem rangka memiliki lima fungsi utama yaitu sebagai penopang/penegak tubuh, tempat penyimpanan kalsium dan lemak, penghasil sel-sel darah, pelindung alat-alat tubuh penting, dan sebagai alat pergerakan. Tulang pada bayi sebagian besar disusun oleh tulang rawan. Dengan tumbuhnya bayi, sel-sel tulang rawan digantikan dengan tulang keras yang memiliki struktur lingkaran konsentris dari kalsium dan fosfat di antara sel-sel tulang. Proses perubahan dari tulang rawan ke sel tulang keras dinamakan penulangan (osifikasi). Berdasarkan bentuknya, tulang-tulang itu dibedakan menjadi: tulang panjang/tulang pipa, tulang pendek, tulang pipih, tulang tidak beraturan, tulang sesamoid, dan tulang sutura. Menurut bahan penyusunnya, tulang dapat dikelompokkan atas tulang keras atau biasa disebut tulang saja (osteon) dan tulang rawan (kartilago). Sistem rangka terdiri dari rangka badan (rangka aksial) dan rangka anggota gerak (rangka apendikular). Komponen rangka aksial adalah tengkorak dan tulang-tulang yang berhubungan dengan tengkorak, rangka dada,

dan rangkaian tulang belakang. Lengan (gelang bahu, lengan, dan tangan) serta tungkai (gelang panggul, tungkai, dan kaki) yang berhubungan dengan rangka aksial membentuk rangka apendikular.

Tempat bertemunya dua buah tulang dinamakan sendi. Konstruksi sendi bervariasi semuanya memungkinkan tulang-tulang pada sambungan itu bergerak, atau mencegah terjadinya gerakan. Tiga jenis sendi adalah (1) sendi dengan gerakan bebas, (2) sendi dengan gerakan terbatas, (3) sendi yang tidak dapat bergerak. Ada empat jenis sendi dengan gerakan bebas, yaitu (1) sendi engsel; (2) sendi putar; (3) sendi luncur/pelana; dan (4) sendi peluru.

Dilihat dari bentuk dan cara kerjanya jaringan otot dibagi menjadi 3 macam, yaitu: Otot Lurik (otot bergaris melintang), otot polos, dan otot jantung. Di dalam setiap sel otot terdapat banyak struktur yang mirip benang yang disebut miofibril. Otot dalam tubuh akan berkontraksi jika mendapatkan rangsangan. Kontraksi sel otot terjadi akibat filamen aktin dan miosin yang saling meluncur melewati yang lain, yang akan memperpendek selnya. Berdasarkan cara kerjanya dibedakan menjadi: Otot sinergis dan otot antagonis.

Pembelajaran 4: Genetika dan Pewarisan Sifat

Sumber: Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB)
Modul KK D dan F, Genetika dan Pewarisan Sifat
Penulis: Any Suhaeny, M. Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi Genetika dan Pewarisan Sifat, peserta diharapkan menguasai kompetensi sebagai berikut:

1. Memahami Hukum Mendel I dan II dalam pewarisan sifat
2. Menguasai macam-macam interaksi gen dalam pewarisan sifat

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

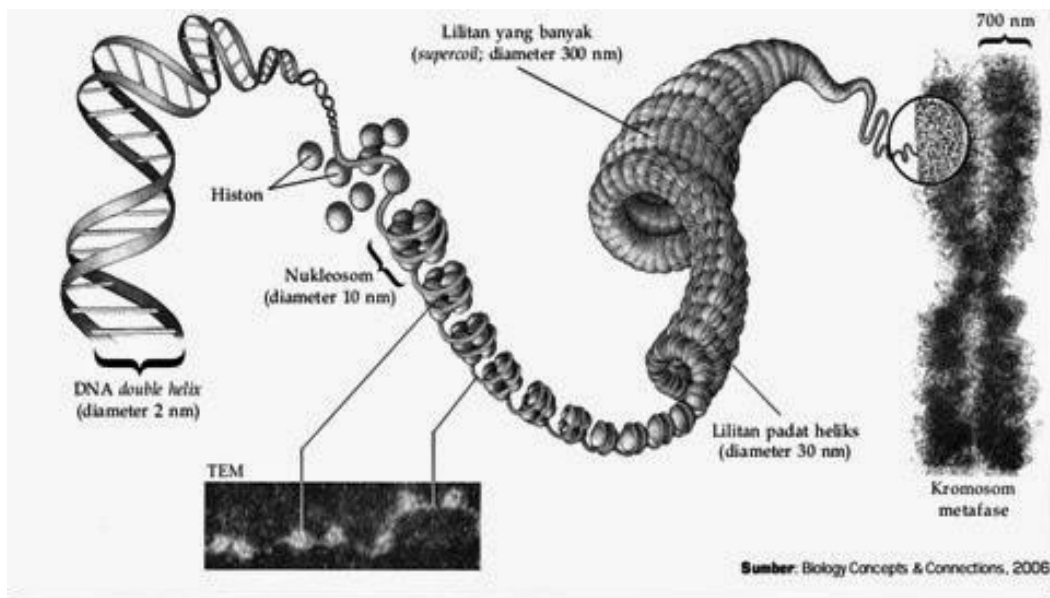
1. Menjelaskan struktur dan fungsi kromosom, Gen, DNA, dan RNA
2. Membedakan DNA dan RNA
3. Menjelaskan proses sintesis protein
4. Menjelaskan kode genetik
5. Menjelaskan hukum mendel dalam proses pewarisan sifat;
6. Menerapkan hukum Mendel I dan II secara teoritis dalam persilangan tumbuhan;
7. Menentukan macam-macam interaksi gen yang terjadi pada makhluk hidup;
8. Menerapkan interaksi gen dalam dalam persilangan;
9. Menjelaskan pola pewarisan sifat pada makhluk hidup berdasarkan Hukum Mendel

C. Uraian Materi

1. Materi Genetika

1. Kromosom, Gen, dan DNA

Kromosom adalah suatu struktur makromolekul yang tersusun dari DNA dan molekul lain di mana informasi genetik tersimpan sel (Gambar 125). Kromosom terdiri atas dua bagian, yaitu sentromer yang merupakan pusat kromosom berbentuk bulat dan lengan kromosom (arm) yang mengandung kromonema & gen berjumlah dua buah (sepasang). Sifat-sifat kromosom adalah: (a). Hanya terlihat pada waktu sel membelah. (b). Mempunyai ukuran panjang antara 0,2 – 40 m (mikron). (c). Kromosom pada sel prokariotik hanya memiliki satu kromosom dan tidak terletak di dalam inti sel. (d). Kromosom sel eukariotik, jumlahnya bervariasi menurut jenis organisme dan terdapat di dalam nukleus. (e). Umumnya memiliki susunan kimia yang terdiri dari protein, DNA, dan RNA. (f). Protein terdiri dari histon dan nonhiston. (g). Memiliki beberapa enzim yang terlibat dalam sintesis DNA dan RNA.



Gambar 53. Hubungan DNA dengan Kromosom
Sumber : Campbell, et al 2006

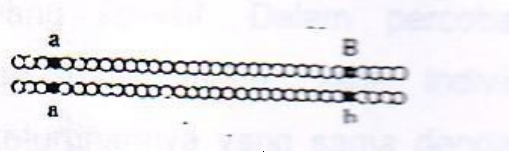
Gen merupakan unit hereditas suatu organisme hidup, dan tersimpan dalam kedudukan tertentu pada kromosom. Gen ini berupa kode dalam material genetik

organisme, yang kita kenal sebagai molekul DNA, atau RNA pada beberapa virus. Ekspresi gen dipengaruhi oleh lingkungan internal atau eksternal seperti perkembangan fisik atau perilaku dari organisme itu. Gen berupa daerah urutan basa nukleotida baik yang mengkode suatu informasi genetik (ekson) dan juga daerah yang tidak mengkode informasi genetik (intron). Hal ini penting untuk pembentukan suatu protein yang fungsinya diperlukan di tingkat sel, jaringan, organ atau organisme secara keseluruhan.

Kromosom secara sederhana dapat diibaratkan dengan untaian manik-manik. Untaian manik-manik diibaratkan kromosom, dengan manik-manik sebagai gen. Untaian manik-manik yang serupa dapat menjadi pasangannya yang homolog (Tabel 1). Gen-gen pada posisi yang sama (lokus) di sepasang kromosom yang homolog tersebut menentukan sifat makhluk hidup.

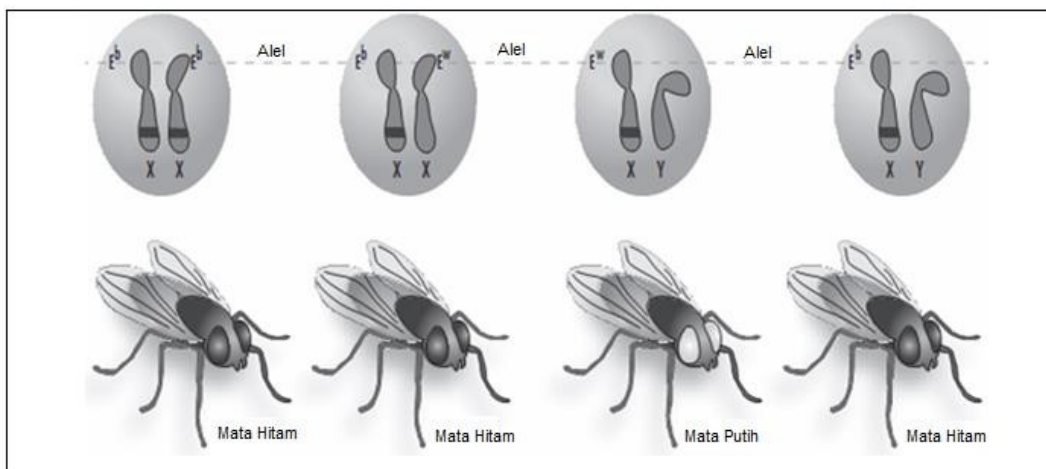
Gen yang dominan (diberi simbol dengan huruf kapital) selalu muncul sebagai sifat yang nampak. Gen yang resesif (diberi simbol dengan huruf kecil) hanya bisa muncul sebagai sifat yang nampak bila berpasangan dengan gen yang resesif lagi. Jadi, genotip AA atau Aa akan muncul sebagai fenotip A. Sedangkan gen a hanya akan muncul sebagai fenotip a bila genotipnya aa. Organisme yang mempunyai dua gen yang sama pada satu lokus (AA atau aa) disebut homozigot, sedangkan yang mempunyai pasangan gen alternatif (Aa) disebut heterozigot. Gen alternatif (A atau a) disebut alel.

Tabel 3 Beberapa karakteristik pasangan kromosom homolog

<i>Diagram kromosom</i>		
<i>Genotip</i>	<i>aa</i> <i>Homozigot</i>	<i>Bb</i> <i>Heterozigot</i>
<i>Status gen</i>	<i>Resesif</i>	<i>B = dominan</i> <i>b = resesif</i>
<i>Fenotip</i>	<i>a</i>	<i>B</i>

Sebuah alel adalah salah satu dari dua atau lebih bentuk-bentuk alternatif sebuah gen yang dapat berada pada satu lokus. Sebuah alel adalah salah satu

bentuk varian gen pada lokus tertentu, atau lokasi, pada suatu kromosom. Alel berbeda menghasilkan variasi dalam pewarisan sifat seperti warna rambut, warna mata atau golongan darah. Seperti terlihat pada gambar 126 yang menggambarkan adanya varian gen untuk warna mata pada *Drosophila* sp.



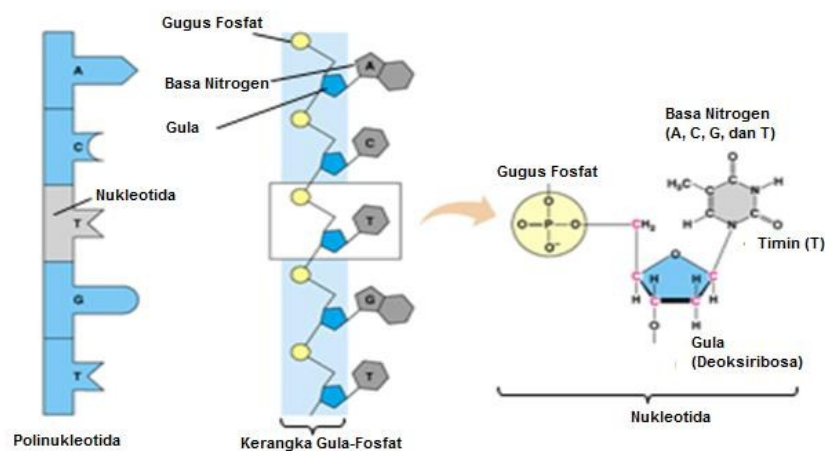
Gambar 54. Alel warna mata pada *Drosophila* sp.
Sumber: Campbell, et al, 2009

2. DNA dan RNA

DNA adalah suatu polimer yang dibangun dari empat jenis monomer yang berbeda yang dinamakan dengan nukleotida. Informasi yang dimiliki gen diwariskan dalam bentuk urutan nukleotida spesifik masing-masing gen. DNA (deoxyribo-nucleic acid, asam deoksiribo-nukleat) merupakan persenyawaan kimia yang paling penting pada makhluk hidup, yang membawa keterangan genetik dari sel khususnya atau dari makhluk hidup dalam keseluruhannya dari satu generasi ke generasi berikutnya. (Suryo, 2004:57). DNA merupakan suatu polimer nukleotida berupa rantai ganda yang berpilin (*double heliks*).

Molekul nukleotida terbentuk dari gula ribosa/deoksiribosa, basa nitrogen, dan gugus fosfat (gambar 127). Basa nitrogen terdiri atas purin (Adenin/A dan Guanin/G) dan Pirimidin (Sitosin/C dan Timin/T). A selalu berpasangan dengan

T, C selalu berpasangan dengan G. Nukleotida diibaratkan sebuah tangga dimana: “Anak tangganya” adalah susunan basa nitrogen (A – T dan C – G) dan Kedua “ibutangganya” adalah gula ribose/deoksiribosa. Model DNA pertama kali dibuat pada tahun 1953 oleh James D. Watson dari Amerika Serikat dan Francis Crick dari Inggris, seperti terlihat pada gambar 127 di bawah.



Gambar 55. Nukleotida
Sumber: Campbell, et al, 2009

DNA mempunyai fungsi sebagai berikut: (a) Menyampaikan informasi genetik kepada generasi berikutnya, karena DNA mampu melakukan proses replikasi. (b) sebagai cetakan (template) untuk kode asam amino pada DNA/kodon. (c) Sebagai pengatur seluruh metabolisme sel.

3. Replikasi DNA

Replikasi DNA adalah suatu tahapan penggandaan DNA yang terjadi pada saat sebelum pembelahan sel (interfase tahap sintesis DNA). Replikasi dilakukan dalam upaya membentuk DNA yang sama pada sel hasil pembelahannya. Dalam proses replikasi DNA diperlukan enzim helikase, DNA polimerase, ligase, ATP, GTP, CTP dan TTP. Enzim helikase berfungsi sebagai pembuka rantai ganda heliks. Enzim DNA polimerase akan membentuk DNA baru dari satu rantai tunggal DNA. Enzim DNA ligase berperan dalam melekatkan setiap fragmen

Okazaki yang merupakan rantai pasangan semula yang tidak berhubungan menjadi satu rantai yang utuh. Replikasi diawali dengan sintesis RNA primer. Arah replikasi 5'---- 3'

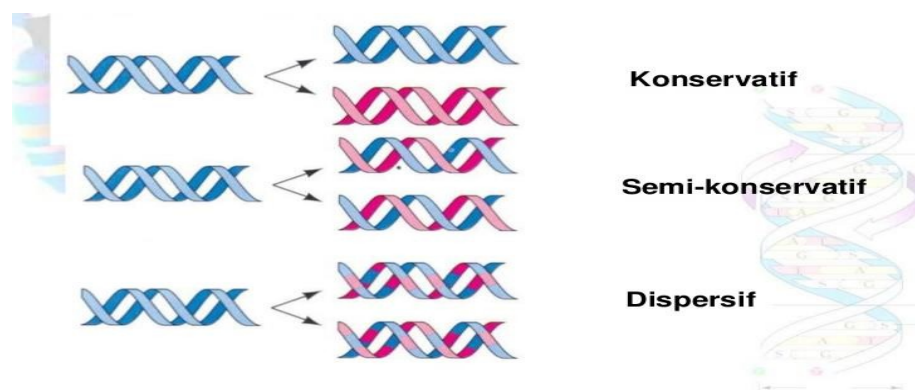
Beberapa model replikasi DNA, yaitu

a. Teori konservatif: Pita DNA rangkap heliks tidak berpisah, langsung menjadi cetakan bagi pita DNA baru. Akhirnya terbentuk dua pita rangkap heliks yang sama seperti asalnya .

b. Teori semi konservatif: Pita DNA rangkap heliks memisahkan diri menjadi dua pita tunggal yang berperan sebagai pola cetakan. Setiap pita lama membentuk pita baru pasangannya, akhirnya terbentuk dua pita rangkap heliks yang sama seperti asalnya.

c. Teori dispersive: Pita DNA heliks rangkap terputus-putus atas beberapa potongan. Setiap potongan berpola sebagai pola cetakan, membentuk DNA baru pasangannya. Akhirnya terbentuk pita rangkap heliks yang sama seperti asalnya.

Penjelasan tentang model replikasi tersebut dapat dilihat pada gambar 128 berikut ini.

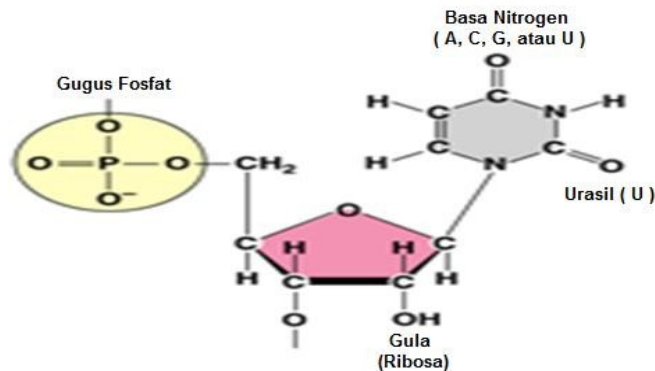


Gambar 56. Replikasi DNA
Sumber: Campbell et al, 2004

4. RNA

RNA merupakan polinukleotida, namun ukurannya jauh lebih pendek dari polinukleotida penyusun DNA (Gambar 129). RNA hanya terdiri dari satu rantai. Gula pentosa yang menyusun RNA adalah gula ribosa. Basa nitrogen yang

menyusun RNA adalah: a. Purin yang terdiri dari adenin (A) dan guanin (G), b. Pirimidin yang terdiri dari sitosin (C) dan urasil (U) RNA dibentuk oleh DNA di dalam inti sel.



Gambar 57. Nukleotida RNA
Sumber : Campbel et al.,2004

a) Macam-Macam RNA

1) RNA messenger (RNA duta) berfungsi membawa informasi genetik dari DNA berupa pesan dari inti sel ke ribosom di sitoplasma. Pesan pesan ini berupa triplet basa nitrogen yang ada pada RNA duta yang disebut kodon. Kodon pada RNA duta merupakan komplemen dari kodogen, yaitu urutan basa-basa nitrogen/nukleotida pada DNA yang dipakai sebagai pola cetakan. Peristiwa pembentukan RNA duta oleh DNA di dalam inti sel, disebut transkripsi. Contoh:

Kodogen (DNA) = ACG TGG ATA CCT

Kodon (triplet basa RNA d) = UGC ACC UAU GGA

2) RNA transfer (RNA pembawa asam amino dalam bentuk aminoasil tRNA). RNA pembawa berfungsi mengenali kodon dan menerjemahkan menjadi asam amino di ribosom. Penerjemahan kode pada mRNA oleh tRNA dikenal dengan nama translasi. Urutan basa nitrogen pada RNA transfer disebut antikodon. Bentuk RNA transfer seperti daun semanggi dengan 4 ujung yang penting, yaitu: 1) Ujung pengenal kodon yang berupa triplet basa yang disebut

antikodon. 2) Ujung perangkai asam amino yang berfungsi mengikat asam amino. 3) Ujung pengenalan enzim yang membantu mengikat asam amino. 4) Ujung pengenalan ribosom. Contoh: Apabila kodon dalam RNA duta mempunyai urutan UGC ACC UAU GGA maka antikodon yang sesuai pada RNA transfer adalah ACG UGG AUA CCU.

3) Ribosom RNA (RNAr) berfungsi sebagai tempat pembentukan protein. Ribosom terdiri dari 2 sub unit, yaitu: 1) Sub unit kecil yang berperan dalam mengikat RNA duta. 2) Sub unit besar yang berperan untuk mengikat RNA transfer yang sesuai.

5. Sintesis Protein

Sintesis protein merupakan suatu proses yang kompleks, termasuk di dalamnya penerjemahan kode-kode pada RNA menjadi polipeptida. Sintesis protein melibatkan DNA, RNA, ribosom, asam amino, dan enzim. Sintesis protein membutuhkan bahan dasar asam amino, dan berlangsung di dalam inti sel dan ribosom (sitoplasma).

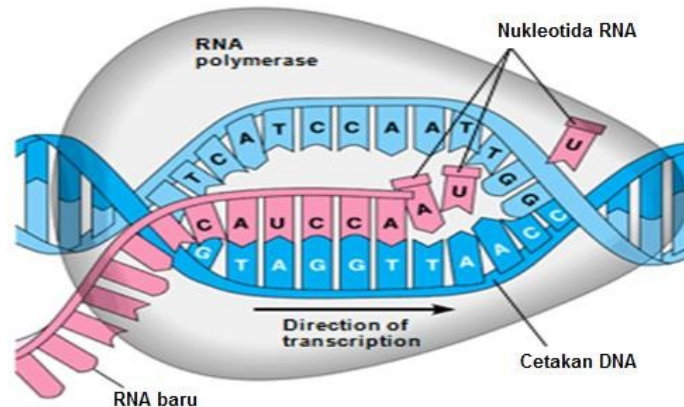
Tahap-tahap sintesis protein dibagi menjadi 2 yaitu: Transkripsi dan Translasi

a. Transkripsi

- 1) Berlangsung dalam inti sel.
- 2) Dimulai dengan membukanya rantai DNA heliks ganda membentuk gelembung transkripsi. Dengan demikian RNA polimerase berikatan dengan DNA.
- 3) Pita DNA yang berfungsi sebagai pencetakan RNA disebut pita template atau antisense dan pita DNA yang tidak mencetak RNA disebut dengan pita sense.
- 4) Pita RNA dibentuk sepanjang pita DNA pencetak (template) dengan urutan basa nitrogennya komplementer dengan basa nitrogen yang ada pada pita cetakan DNA.
- 5) Pita RNA yang telah selesai menerima pesan genetik dari pita DNA pencetak segera meninggalkan inti nukleus menuju ke ribosom, tempat sintesis protein dalam sitoplasma. Pita RNA menempatkan diri pada leher ribosom.

6) RNA yang ada dalam sitoplasma bersiap-siap untuk berperan dalam proses translasi (sintesis protein).

Proses transkripsi lebih jelas dapat dilihat pada gambar 130 berikut ini.



Gambar 58. Proses Transkripsi
Sumber: Campbell et al., 2009

b. Translasi

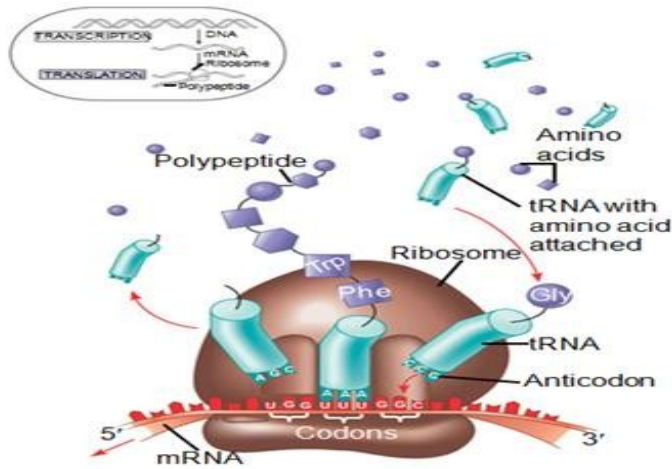
1) RNAd dan RNAt setelah sampai di ribosom selanjutnya tiga basa nitrogen pada antikodon RNAt berpasangan dengan tiga basa nitrogen pada kodon RNAd. Misalnya AUG pada kodon RNAd berpasangan dengan UAC pada antikodon RNAt, sehingga asam amino diikat oleh RNAt adalah metionin. Dengan demikian nama asam amino merupakan terjemahan dari basa-basa nitrogen yang ada pada RNAd.

2) Ribosom dengan RNAd bergerak satu kodon.

3) Sebuah asam amino ditambahkan pada rantai polipeptida.

4) Asam amino yang pertama (metionin) segera lepas dari RNAt kembali ke sitoplasma untuk mengulang fungsinya dengan cara yang sama. RNAt berikutnya datang untuk berpasangan dengan kodon RNAd berikutnya.

Proses keseluruhan ini berkesinambungan sampai terbentuk polipeptida tertentu yang terdiri dari asam amino dengan urutan basa nitrogen tertentu (Gambar 59).



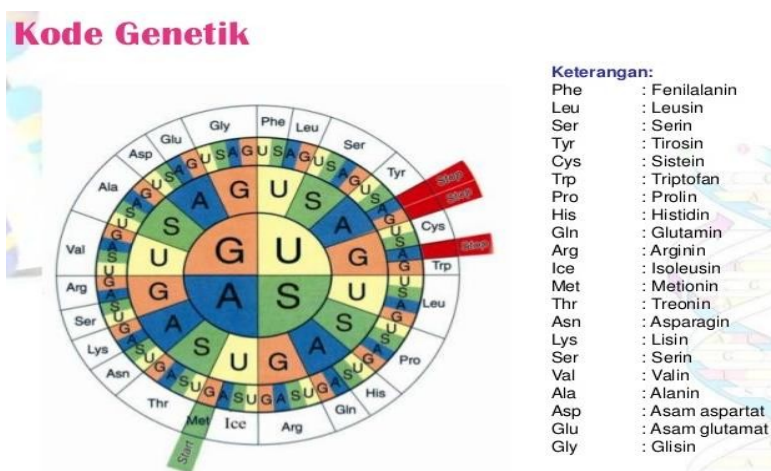
Gambar 59. Proses Translasi
Sumber: Campbell et al., 2009

6. Kode Genetik

Kode genetik, yaitu instruksi berupa kode-kode yang menentukan macam protein yang akan dibuat (Gambar 132). Instruksi melalui kode genetik berupa kodon pada RNA tersebut ditranskripsi dari DNA dengan bantuan RNA polimerase.

Ciri-ciri kodon menurut Nirenberg, dkk (1961), yaitu:

- Terdiri dari triplet, artinya 3 basa membentuk kodon
- Non overlapping, artinya susunan 3 basa pada kodon tidak dibaca ulang sebagai kodon berikutnya (tumpang tindih).
- Degenerate, artinya 1 asam amino mempunyai kodon lebih dari satu.
- Universal, artinya kode yang sama berlaku untuk semua makhluk hidup.



Gambar 60. Kode Gentika
(Sumber: Campbell et all, 2009)

Ciri khas protein ditentukan oleh jumlah asam amino, macam, dan urutan asam amino yang membangunnya. Umumnya terdapat 20 macam asam amino di alam yang akan membentuk protein sebagai kodon yang tersusun dari 4 macam basa nitrogen berjumlah 64. Dengan demikian terdapat kodon-kodon sinonim (degenerate), artinya satu asam amino dikode lebih dari satu kodon.

2. Pewarisan Sifat

1. Hukum Mendel

Johann Mendel lahir tanggal 22 Juli 1822 di kota kecil Heinzendorf di Silesia, Austria. (Sekarang kota itu bernama Hranice wilayah Republik Ceko.) Johann Gregor Mendel adalah orang yang sampai kini dianggap sebagai peletak dasar ilmu keturunan atau genetika. Semasa hidupnya, beliau senang melakukan percobaan di kebunnya untuk menyelidiki bagaimana sifat-sifat tanaman induk diturunkan kepada keturunannya. Hasil percobaannya diumumkan pada tahun 1865, dan sejak tahun itu ilmu tentang keturunan tumbuh dengan teori-teori yang lebih ilmiah.



Gambar 61. Gregor Mendel

Eksperimen Mendel dimulai saat dia berada di biara Brunn didorong oleh keingintahuannya tentang suatu ciri tumbuhan diturunkan dari induk

keturunannya. Jika misteri ini dapat dipecahkan, petani dapat menanam hibrida dengan hasil yang lebih besar. Prosedur Mendel merupakan langkah yang cemerlang dibanding prosedur yang dilakukan waktu itu. Mendel sangat memperhitungkan sifat atau karakter dari keturunan dan keturunan tersebut diteliti sebagai satu kelompok, bukan sejumlah keturunan yang istimewa.

















Gambar 62. Proses Penyilangan
Sumber: Campbell, et al. 2009

Dia juga memisahkan berbagai macam ciri dan meneliti satu jenis ciri saja pada waktu tertentu, tidak memusatkan perhatian pada tumbuhan secara keseluruhan. Dalam eksperimennya, Mendel memilih tumbuhan biasa, kacang polong,

sedangkan para peneliti lain umumnya lebih suka meneliti tumbuhan langka. Seperti pada gambar 4, Mendell melakukan penyilangan terhadap kacang polong. Dari berbagai hasil penelitiannya, Mendell mengidentifikasi tujuh ciri berbeda yang kemudian dia teliti seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 4 Hasil penyilangan yang dilakukan oleh Mendel

Character	Dominant Trait	x	Recessive Trait	F ₂ Generation Dominant:Recessive	Ratio
Flower color	Purple 	x	White 	705:224	3.15:1
Flower position	Axial 	x	Terminal 	651:207	3.14:1
Seed color	Yellow 	x	Green 	6,022:2,001	3.01:1
Seed shape	Round 	x	Wrinkled 	5,474:1,850	2.96:1
Pod shape	Inflated 	x	Constricted 	882:299	2.95:1
Pod color	Green 	x	Yellow 	428:152	2.82:1
Stem length	Tall 	x	Dwarf 	787:277	2.84:1

Mendel menyilangkan tumbuhan tinggi dengan tumbuhan pendek dengan menaruh tepung sari dari yang tinggi pada bunga pohon yang pendek, demikian sebaliknya. Mendel mengharapkan bahwa semua keturunan generasi pertama hasil persilangan itu akan berupa pohon berukuran sedang atau separuh tinggi dan separuh pendek. Namun ternyata, semua keturunan generasi pertama berukuran tinggi.

Rupanya sifat pendek telah hilang sama sekali. Lalu Mendel membiarkan

keturunan generasi pertama itu berkembang biak sendiri menghasilkan keturunan generasi kedua. Kali ini, tiga perempat berupa tumbuhan tinggi dan seperempat tumbuhan pendek. Ciri-ciri yang tadinya hilang muncul kembali. Dia menerapkan prosedur yang sama pada enam ciri lain. Dalam setiap kasus, satu dari ciri-ciri yang berlawanan hilang dalam keturunan generasi pertama dan muncul kembali dalam seperempat keturunan generasi kedua.

Dari percobaan tersebut, Mendell melahirkan hukum mengenai pewarisan sifat yang dikenal dengan Hukum Mendel. Hukum ini terdiri dari dua bagian:

1. Hukum pemisahan (*segregation*) dari Mendel, juga dikenal sebagai **Hukum Pertama Mendel**,
2. Hukum berpasangan secara bebas (*independent assortment*) dari Mendel, juga dikenal sebagai **Hukum Kedua Mendel**.

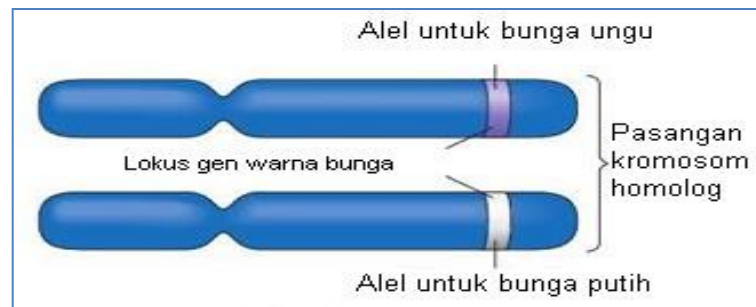
3. Hukum Mendel

a. Hukum Mendel Pertama

Mendel menarik beberapa kesimpulan dari hasil penelitiannya. Dia menyatakan bahwa setiap ciri dikendalikan oleh dua macam informasi, satu dari sel jantan (tepung sari) dan satu dari sel betina (indung telur di dalam bunga). Kedua informasi ini (kelak disebut pembawa sifat keturunan atau gen) menentukan ciri-ciri yang akan muncul pada keturunan. Sekarang, konsep ini disebut Hukum Mendel Pertama yaitu Hukum Segregasi Bebas. Hukum segregasi bebas menyatakan bahwa pada pembentukan gamet, kedua gen yang merupakan pasangan alel itu akan memisah sehingga tiap-tiap gamet menerima satu gen dari alelnya.

Secara garis besar, hukum ini mencakup tiga pokok:

- 1) Gen memiliki bentuk-bentuk alternatif yang mengatur variasi pada karakter yang sama. Ini adalah konsep mengenai alel.
- 2) Setiap individu diploid ($2n$) memiliki sepasang gen, satu dari induk jantan dan satu dari induk betina.
- 3) Jika sepasang gen ini merupakan dua alel yang berbeda, alel dominan akan terekspresikan. Alel resesif yang tidak terekspresikan, tetap akan diwariskan pada gamet yang dibentuk.

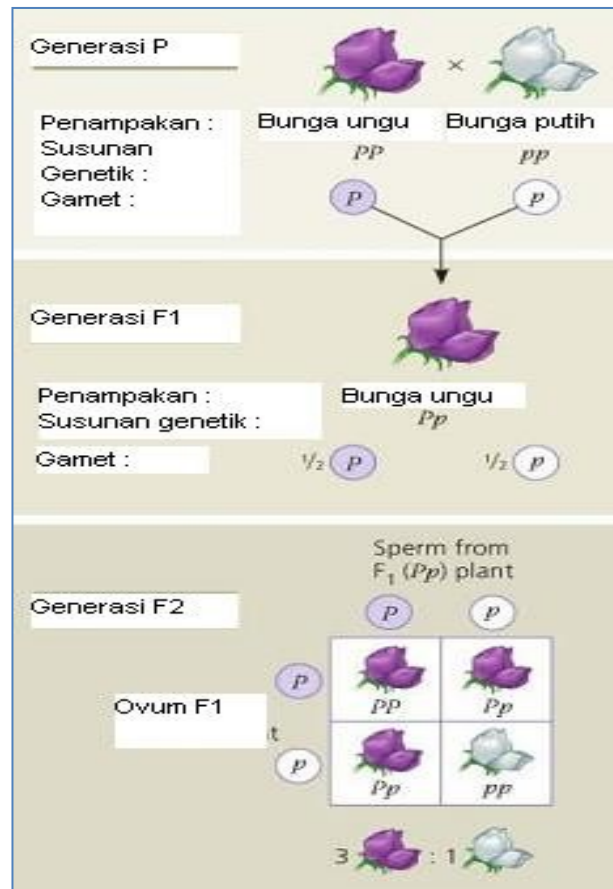


Gambar 63. Alel pada warna bunga.

Alel untuk warna bunga berada pada lokus gen yang sama pada pasangan kromosom homolog.

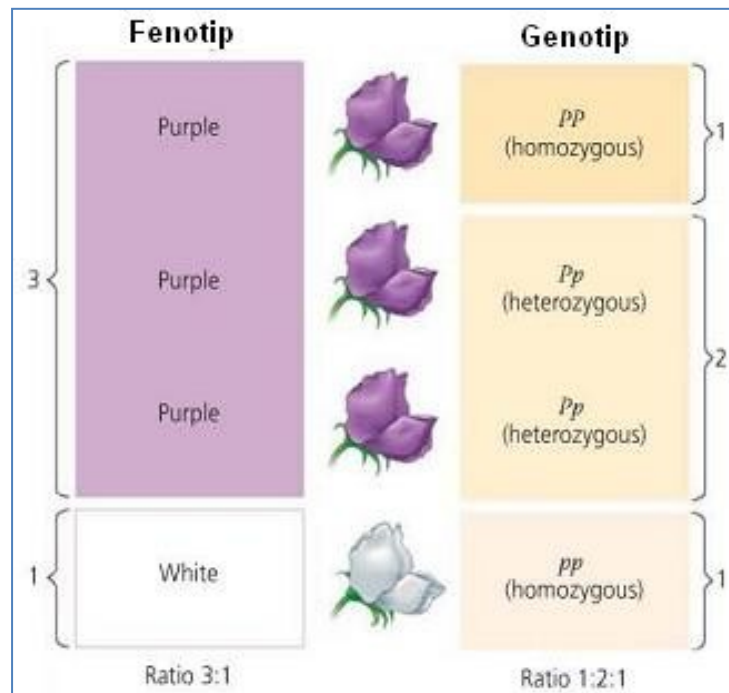
Untuk setiap ciri yang diteliti oleh Mendel dalam kacang polong, ada satu ciri yang dominan sedangkan lainnya resesif. Induk galur murni dengan ciri dominan mempunyai sepasang gen dominan (PP) dan dapat memberi hanya satu gen dominan (P) kepada keturunannya. Induk galur murni dengan ciri yang resesif mempunyai sepasang gen resesif (pp) dan dapat memberi hanya satu gen resesif (p) kepada keturunannya. Maka keturunan generasi pertama menerima satu gen dominan dan satu gen resesif (Pp) dan menunjukkan ciri-ciri gen dominan. Bila keturunan ini berkembang biak sendiri menghasilkan keturunan generasi kedua, sel-sel jantan dan betina masing-masing dapat mengandung satu gen dominan (P) atau gen resesif (p). Oleh karenanya, ada empat kombinasi yang mungkin: PP, Pp, pP dan pp. Tiga kombinasi yang pertama menghasilkan tumbuhan dengan sifat dominan, sedangkan kombinasi terakhir menghasilkan satu tumbuhan dengan sifat resesif.

Percobaan Mendel yang dipaparkan adalah satu contoh persilangan monohybrid (gambar 136). Hasil dari percobaan ini menunjukkan sifat warna ungu dominan terhadap sifat warna putih. Oleh karena itu, simbol sifat ini dilambangkan dengan P (huruf pertama dari purple) untuk yang dominan dan p untuk yang resesif. Dalam percobaan ini, Mendel menggunakan individu dari galur murni, yaitu individu yang selalu menurunkan sifat kepada keturunannya yang sama dengan sifat induknya. Sifat ini dimungkinkan jika individu itu homozigot. Ketika pembentukan gamet (sel kelamin), kromosom terpisah dari pasangannya, sehingga tiap gamet hanya memiliki setengah dari jumlah kromosom yang dimiliki individu.



Gambar 64. Persilangan Monohibrid
Sumber : Campbell, et al. 2009

Dengan demikian setiap gamet memperoleh gen separuh dari jumlah yang dimiliki individu. Jadi, setiap gamet memiliki satu lambang, yaitu P atau p. Oleh karena itu genotip semua keturunan pertama (F1) adalah Pp sehingga sifatnya yang nampak (terekspresikan) adalah warna ungu. Untuk memperoleh keturunan kedua (F2), dilakukan perkawinan sesama keturunan pertama (F1). Genotip dari semua keturunan pertama adalah Pp, sehingga genotip pada masing-masing gamet (♂ dan ♀) adalah P dan p. Gamet ini akan menghasilkan keturunan kedua (F2) dengan genotip PP (25%), Pp (50%), dan pp (25%) dan fenotip F2 adalah warna bunga ungu (75%) dan putih (25%) seperti yang terlihat pada gambar 137 berikut ini.



Gambar 65. Rasio Genotip dan Fenotip pada Persilangan Monohibrid
Sumber : Campbell, et al. 2009

b. Hukum Mendel Kedua

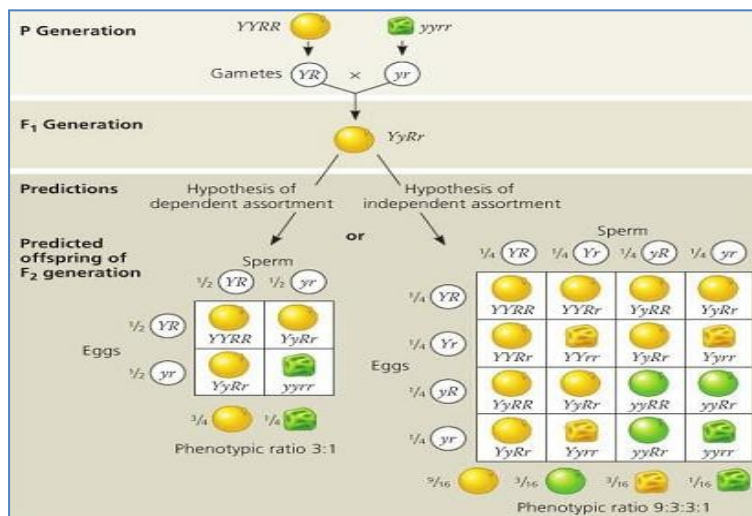
Kemudian Mendel meneliti dua ciri sekaligus, yakni bentuk biji (bulat atau keriput) dan warna biji (kuning atau hijau). Dia menyilang tumbuhan yang selalu menunjukkan ciri-ciri dominan (bentuk bundar dan warna kuning) dengan tumbuhan berciri terpendam (bentuk keriput dan warna hijau). Sekali lagi, ciri terpendam tidak muncul dalam keturunan generasi pertama. Jadi, semua tumbuhan generasi pertama mempunyai benih kuning bulat. Gambar 2.7 menunjukkan bahwa ada 16 kombinasi gen pada keturunan ke dua (F_2). Dari 16 kombinasi ini, bulat kuning ada 9, bulat hijau ada 3, kisut kuning ada 3, dan kisut hijau ada 1. Dengan demikian perbandingan kuning : bulat hijau : kisut kuning : kisut hijau adalah 9 : 3 : 3 : 1. Perbandingan ini akan terpenuhi pada pembastaran dihibrid jika dua sifat tanda beda dalam keadaan dominan penuh dan kedua gen tersebut tidak terpaut satu sama lain.

Kacang polong yang semuanya bulat dan kuning pada turunan pertama menunjukkan bahwa sifat bulat dominan terhadap kisut dan kuning dominan

terhadap hijau. Jadi kacang polong yang berbiji bulat kuning dapat dilambangkan dengan YYRR dan yang kisut hijau dengan yyrr.

Mendel mengecek hasil ini dengan kombinasi dua ciri lain. Perbandingan yang sama muncul lagi. Perbandingan 9 : 3 : 3 : 1 menunjukkan bahwa kedua ciri tidak saling tergantung, sebab perbandingan 3 : 1 untuk satu ciri bertahan dalam setiap subkelompok ciri yang lain, dan sebaliknya. Dalam pembentukan gamet, gen-gen membentuk kombinasi secara bebas. Hal ini menunjukkan bahwa sepasang gen tidak dipengaruhi oleh pasangan gen lainnya. Peristiwa ini biasa disebut hukum Mendel II atau hukum berpasangan secara bebas.

Hukum kedua Mendel menyatakan bahwa bila dua individu mempunyai dua pasang atau lebih sifat, maka diturunkannya sepasang sifat secara bebas, tidak bergantung pada pasangan sifat yang lain. Dengan kata lain, alel dengan gen sifat yang berbeda tidak saling mempengaruhi. Hal ini menjelaskan bahwa gen yang menentukan seperti tinggi tanaman dengan warna bunga suatu tanaman, tidak saling mempengaruhi. Eksperimen Mendel (gambar 138) menunjukkan bahwa ketika tanaman induk membentuk sel-sel reproduksi jantan dan betina, semua kombinasi bahan genetik dapat muncul dalam keturunannya, dan selalu dalam proporsi yang sama dalam setiap generasi. Informasi genetik selalu ada meskipun ciri tertentu tidak tampak di dalam beberapa generasi karena didominasi oleh gen yang lebih kuat. Dalam generasi kemudian, bila ciri dominan tidak ada, ciri resesif itu akan muncul lagi.



Gambar 66. Persilangan Dihibrid
 Sumber: Campbell, et al. 2009

1. Polihybrid

Polihybrid adalah persilangan dua individu yang sejenis dengan tiga sifat beda atau lebih. Apakah prinsip-prinsip Mendel juga berlaku pada polihybrid? Pada dasarnya polihybrid sama dengan dihibrid. Sebagai contoh, persilangan individu dengan tiga sifat beda, yang dinyatakan dengan AABbCC dominan terhadap aabbcc. Keturunan F1 memiliki genotip yang sama yaitu AaBbCc. Kemungkinan kombinasi gen pada gamet-gamet yang dihasilkannya adalah: ABC, ABc, Abc, abc, aBC, abC, AbC, abc. Jadi diperoleh 8 macam kombinasi gen pada gamet-gamet. Dengan demikian, jika gamet-gamet ini mengadakan persilangan di antara sesamanya maka akan dihasilkan 82 kombinasi gen pada F2, yaitu 64 macam kombinasi.

Berapa macam kombinasi gen pada gamet-gamet yang dihasilkan F1, dan berapa jumlah kombinasi gen yang terjadi pada F2 jika terjadi persilangan antara sesama F1 secara matematik dapat kita ramalkan sebagai berikut. Jumlah sifat beda dinyatakan dengan angka pangkat dari bilangan pokok 2. Misalnya, macam kombinasi gen pada gamet-gamet yang dihasilkan F1 pada 3 sifat beda adalah 23 yaitu 8 macam kombinasi gen. Dengan demikian kombinasi gen pada F2 hasil persilangan antara sesama F1 adalah 82 yaitu 64 kombinasi. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan kemungkinan kombinasi gen yang terjadi pada gamet-gamet yang dihasilkan F1 dan kombinasi gen (genotip) serta fenotip pada F2'

Tabel 5 Hubungan antara jumlah sifat beda dengan jumlah kombinasi gen pada gamet yang dihasilkan F₁, genotip dan fenotip F₂

Jumlah sifat beda	Jumlah kombinasi gen pada gamet F ₁	Kemungkinan terjadinya genotif F ₂	Kemungkinan terjadinya fenotip F ₂	Pemisahan fenotip
1	$2^1 = 2$	$3^1 = 3$	2	3 : 1
2	$2^2 = 4$	$3^2 = 9$	4	
3	$2^3 = 8$	$3^3 = 27$	8	9 : 3 : 3 : 1
4	$2^4 = 16$	$3^4 = 81$	16	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 81 : 27 : 27 : 27 : 27 : 27 : 27 : 9 : 9
N	2^n	3^n	2^n	: 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1

Untuk memudahkan pemisahan fenotip, berikut ini diberikan contoh persilangan pentahibrid dengan menggunakan segi tiga pascal dalam menentukan perbandingan fenotip F2.

Segi tiga pascal

1						
		1	2	1		
		1	3	3	1	
		1	4	6	4	1
1	5	10	10	5	1	

2. Pentahibrid

Kemungkinan perbandingan fenotip F2 adalah:

$$\frac{3n}{1} : \frac{3^{n-1}}{5} : \frac{3^{n-2}}{10} : \frac{3^{n-3}}{10} : \frac{3^{n-4}}{5} : \frac{3^{n-5}}{1}$$

Jumlah sifat beda = n = 5

Jadi kemungkinan perbandingan fenotip F2 adalah:

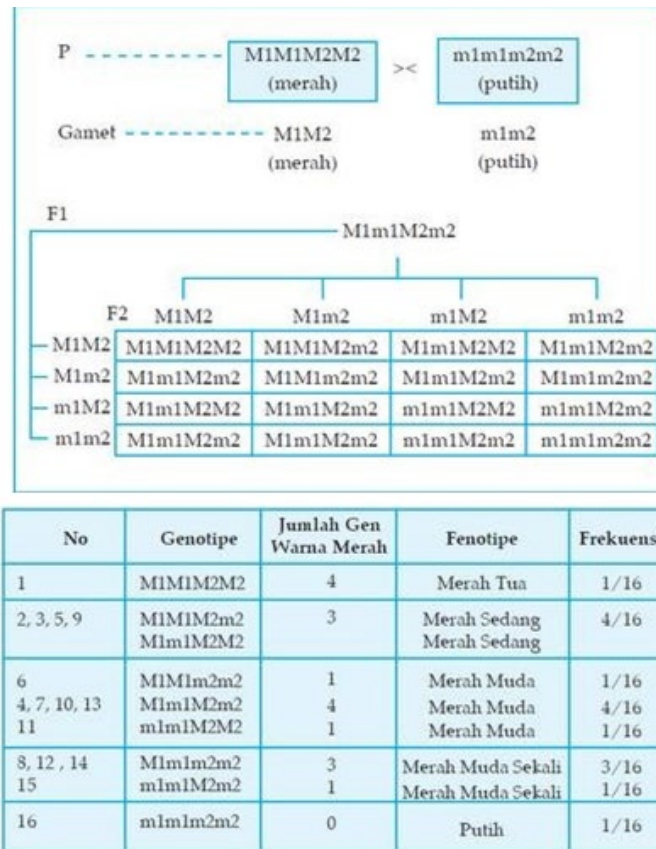
$$\begin{array}{cccccc}
 3^5 & : & 3^{5-1} & : & 3^{5-2} & : & 3^{5-3} & : & 3^{5-4} & : & 3^{5-5} \\
 & & & & = & & & & & & \\
 1 & & 5 & & 10 & & 10 & & 5 & & 1 \\
 \\
 3^5 & : & 3^4 & : & 3^3 & : & 3^2 & : & 3^1 & : & 3^0 \\
 \hline
 & = & & & & & & & & & \\
 1 & & 5 & & 10 & & 10 & & 5 & & 1 \\
 \underline{243} & : & \underline{81} & : & \underline{27} & : & \underline{9} & : & \underline{3} & : & \underline{1} \\
 & = & & & & & & & & & \\
 1 & & 5 & & 10 & & 10 & & 5 & & 1
 \end{array}$$

a. Polimeri

Sifat yang muncul pada pembastaran heterozigot dengan sifat beda yang berdiri sendiri-sendiri tetapi mempengaruhi karakter dan bagian organ tubuh yang sama dari suatu organisme disebut polimeri.

Pada salah satu percobaannya, Nelson Ehle, menyilangkan gandum berbiji merah dengan gandum berbiji putih, fenotipe F1 semua berbiji merah tetapi tidak semerah biji induknya (Gambar 139). Pada kasus ini, seolah-olah terjadi peristiwa dominan tidak penuh, sedangkan pada F2 diperoleh keturunan dengan ratio fenotipe 15 merah dan 1 putih adalah berasal dari penggabungan $(9+3+3):1$, berwarna merah ada 4 variasi yaitu merah tua, merah sedang, merah muda, dan merah muda sekali, sedangkan berwarna putih hanya ada 1 variasi, maka percobaan ini dikatakan bahwa pembastaran tersebut adalah dihibrida dan dua pasang alel yang berlainan tadi sama-sama mempengaruhi sifat yang sama yaitu warna bunga.

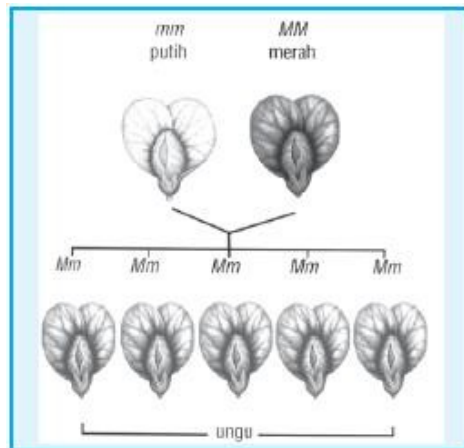
Apabila gen yang menimbulkan pigmen merah diberi simbol M1 dan M2, alel yang mengakibatkan tidak terbentuknya warna diberi simbol m1 dan m2, maka dapat digambarkan dalam diagram persilangan sebagai berikut. Perhatikan peristiwa polimeri pada persilangan antara gandum merah dan gandum putih



Gambar 67. Persilangan Polimeri

b. Kriptomeri

Kriptomeri adalah gen dominan yang seolah-olah tersembunyi apabila berdiri sendiri-sendiri dan pengaruhnya baru tampak apabila bersama-sama dengan gen dominan lainnya. Correns pernah menyilangkan tumbuhan *Linaria maroccana* berbunga merah galur murni dengan yang berbunga putih juga galur murni (Gambar 140). Diperoleh F1 semua berbunga ungu, sedangkan F2 terdiri atas tanaman *Linaria maroccana* berbunga ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4.



Gambar 68. Kriptomeri

Berdasarkan penyelidikan terhadap plasma sel bunga *Linaria*, ternyata warna merah disebabkan oleh adanya pigmen antosianin dalam lingkungan plasma sel yang bersifat asam, sedangkan dalam lingkungan basa akan memberikan warna ungu. Tetapi apabila dalam plasma sel tidak terdapat antosianin, dalam lingkungan asam atau basa tetap akan membentuk warna putih.

Apabila:

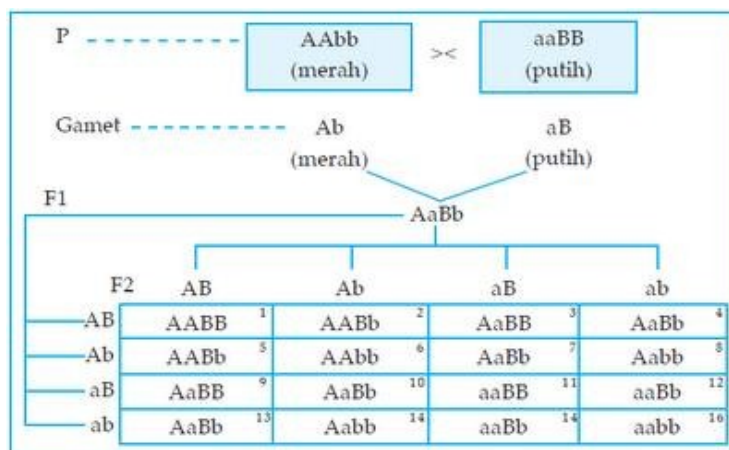
A = ada bahan dasar pigmen antosianin,

a = tidak ada bahan dasar pigmen antosianin,

B = reaksi plasma sel bersifat basa, dan b = reaksi plasma sel bersifat asam.

b = reaksi plasma sel bersifat asam

Gen A dominan terhadap a, dan gen B dominan terhadap b, sehingga diagram persilangannya dapat digambarkan, seperti pada diagram berikut. Perhatikan diagram peristiwa kriptomeri pada *Linaria maroccana* yang menghasilkan kombinasi ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4.



Individu genotipe F2 mempunyai:

- 1) A.B (antosianin dalam lingkungan basa) warna bunganya ungu sebanyak 9 kombinasi.
- 2) A.bb (antosianin dalam lingkungan asam) warna bunganya merah sebanyak 3 kombinasi.
- 3) aaB. dan aa bb (tidak mengandung antosianin) warna bunganya putih sebanyak 4 kombinasi.

c. Epistasis dan Hipostasis

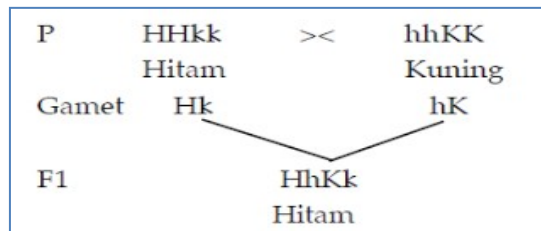
Epistasis dan hipostasis adalah salah satu bentuk interaksi antara gen. Pada peristiwa ini suatu gen akan menutupi gen lain yang bukan alelnya. Gen yang menutup gen lainnya disebut epistasis dan gen yang tertutup itu disebut hipostasis.

Peristiwa ini terjadi baik pada tumbuhan, hewan, maupun manusia. Pada tumbuhan, peristiwa epistasis dan hipostasis dijumpai pada warna kulit gandum dan warna kulit labu squash, sedangkan pada hewan dapat dijumpai bulu mencit.

Pada manusia, peristiwa tersebut juga dapat dijumpai misalnya pada warna mata.

Nelson Ehle mengadakan percobaan persilangan dengan objek tanaman gandum. Gandum berkulit biji hitam disilangkan dengan gandum berkulit putih kuning. Hasilnya (F1) 100% berkulit biji hitam. Pada F2 diharapkan akan dihasilkan keturunan dengan fenotipe 75% hitam dan 25% kuning, tetapi ternyata tidak demikian, hasil yang diperoleh mempunyai perbandingan sebagai berikut 12 hitam : 3 kuning : 1 putih. Persilangan ini mirip prinsip Mendel yaitu $(9 + 3) : 3 : 1$.

Setelah dianalisis, ternyata gen yang menimbulkan pigmentasi hitam dan kuning berdiri sendiri-sendiri dan keduanya merupakan faktor dominan terhadap faktor putih. Jadi, gen H (hitam) dominan terhadap h (putih) gen K (kuning) dominan terhadap k (putih). Perhatikan diagram persilangan antara gandum berkulit biji hitam HHkk dengan gandum berkulit biji kuning hhKK berikut!



Genotipe F1 Hhkk fenotipenya adalah hitam. Ini menunjukkan bahwa faktor H menutup faktor K, faktor H disebut epistasis dan faktor K disebut hipostasis. Jika F1 mengadakan meiosis akan menghasilkan gamet Hk, Hk, hK, dan hk, sehingga kemungkinan kombinasi F2 adalah seperti diagram berikut.

Peristiwa hipostasis dan epistasis menghasilkan kombinasi yaitu hitam : kuning : putih = 12 : 3 : 1.

	HK	Hk	hK	hk
HK	HHKK ¹	HHKk ²	HhKK ³	HhKk ⁴
Hk	HHKk ⁵	HHkk ⁶	HhKk ⁷	Hhkk ⁸
hK	HhKK ⁹	HhKk ¹⁰	hhKK ¹¹	hhKk ¹²
hk	HhKk ¹³	Hhkk ¹⁴	hhKk ¹⁴	hhkk ¹⁶

Keterangan:

Semua kombinasi yang mengandung H, fenotipenya adalah hitam. Kombinasi yang mengandung faktor dominan K hanya menampakkan warna kuning jika bersama faktor H. Kemungkinan kombinasi 1/16 adalah kombinasi dua faktor resesif dari kedua pasangan alel hhkk. Individu ini tidak mengandung faktor dominan dan menampakkan warna putih. Ini adalah jenis homozigot baru yang hanya mungkin timbul dari persilangan dihibrid.

d. Komplementer

Salah satu tipe interaksi gen-gen pada organisme adalah saling mendukung munculnya suatu fenotipe atau sifat. W. Bateson dan R.C. Punnet yang bekerja pada bunga *Lathyrus adoratus* menemukan kenyataan ini.

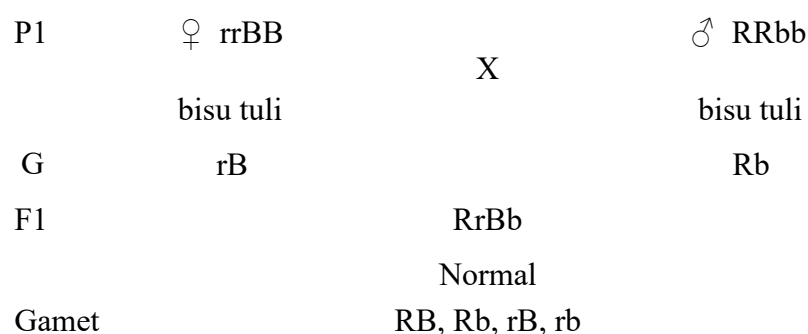
Mereka melakukan persilangan sesama bunga putih dan menghasilkan keturunan F2 bunga berwarna ungu seluruhnya. Pada persilangan bunga-bunga berwarna ungu F2, ternyata dihasilkan bunga dengan warna putih dalam jumlah yang

banyak dan berbeda dengan perkiraan sebelumnya, baik hukum Mendel atau sifat kriptomeri.

Penelitian lebih lanjut yang dilakukan oleh keduanya mengungkapkan ada dua gen yang berinteraksi memengaruhi warna bunga, yakni gen yang mengontrol munculnya bahan pigmen (C) dan gen yang mengaktifkan bahan tersebut (P). Jika keduanya tidak hadir bersamaan, tentu tidak saling melengkapi antara sifat satu dengan yang lainnya dan menghasilkan bunga dengan warna putih (tidak berpigmen). Apabila tidak ada bahan pigmen, tentu tidak akan muncul warna, meskipun ada bahan pengaktif pigmennya.

Begitupun sebaliknya, apabila tidak ada pengaktif pigmen maka pigmen yang telah ada tidak akan dimunculkan dan tetap menghasilkan bunga tanpa pigmen (berwarna putih). Persilangan yang dilakukan oleh Bateson dan Punnet dapat diamati pada diagram berikut ini.

Sifat yang dihasilkan oleh interaksi gen yang saling melengkapi dan bekerja sama ini dinamakan dengan komplementer. Ketidakhadiran sifat dominan pada suatu pasangan gen tidak akan memunculkan sifat fenotipe dan hanya akan muncul apabila hadir bersama - sama dalam pasangan gen dominannya.



HO O ₃	RB	Rb	rB	rb
RB	RRBB normal	RRBb normal	RrBB normal	RrBb normal
Rb	RRBb normal	RRbb bisu tuli	RrBb normal	Rrbb bisu tuli
rB	RrBB normal	RrBb normal	rrBB bisu tuli	rrBb bisu tuli

Co	rb	RrBb	Rrbb	rrBb	rrbb
nto		normal	bisu tuli	bisu tuli	bisu tuli

h: Perkawinan pria bisu tuli dengan wanita bisa tulis.

Perbandingan fenotip F₂: normal : bisu tuli = 9 : 7

D. Rangkuman

Setiap individu mempunyai sifat yang beragam. Sifat ini diturunkan dari induk ke keturunannya melalui perkawinan/persilangan. Sifat ini dibentuk oleh faktor pembawa sifat keturunan yang disebut gen. Gen terletak dalam inti sel, yaitu pada kromosom. Gen baru ditemukan oleh Crick dan Watson pada tahun 1953. Gen, kromosom dan DNA merupakan materi genetik, yang berkaitan dengan proses pewarisan sifat.

Sintesis protein merupakan suatu proses yang kompleks, termasuk di dalamnya penerjemahan kode-kode pada RNA menjadi polipeptida. Sintesis protein melibatkan DNA, RNA, ribosom, asam amino, dan enzim. Sintesis protein terdiri dari dua tahap yaitu transkripsi dan translasi.

Mendel melakukan persilangan dua individu dengan satu sifat beda (monohibrid), yaitu kacang polong berbiji bulat (BB) dengan kacang polong berbiji kisut (bb). Biji bulat atau kisut yang tampak pada biji kacang polong disebut fenotip, sedangkan susunan gennya disebut genotip (misalnya BB dan bb). Individu yang mempunyai fenotip sama, belum tentu mempunyai genotip sama, tetapi individu yang mempunyai genotip sama dapat dipastikan mempunyai fenotip yang sama. Persilangan dua individu tidak terbatas dengan satu sifat beda (monohibrid), tetapi dapat juga persilangan dengan dua sifat beda (dihibrid), tiga sifat beda (trihibrid), empat sifat beda (tetrahibrid) atau banyak sifat beda (polihibrid).

Pembelajaran 5: Respon Fisiologi Makhluk Hidup

Sumber: Modul PPG (Pendidikan Profesi Guru)
Modul 3, Kegiatan Belajar 4. Respon Fisiologi Makhluk Hidup
Penulis: Dr Martina Restuati, M. Si, dkk

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi ini diharapkan peserta menguasai kompetensi sebagai berikut :

1. Memahami jenis-jenis gerak pada tumbuhan.
2. Memahami respon fisiologi pada hewan.
3. Memahami system imun.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Respon Fisiologi Makhluk Hidup berikut ini.

1. Menjelaskan jenis-jenis gerak pada tumbuhan.
2. Menjelaskan respon fisiologi pada hewan.
3. Menjelaskan sistem imun.

C. Uraian Materi

1. Jenis-jenis Gerak pada Tumbuhan

Beberapa gerak yang dilakukan oleh tumbuhan, dihasilkan sebagai respon tumbuhan terhadap sejumlah rangsangan dari dalam atau dari lingkungannya. Gerak pada tumbuhan paling banyak berorientasi pada cahaya dan gravitasi. Berdasarkan atas penyebab timbulnya gerak, dapat dibedakan antara gerak tumbuh dan gerak turgor. Gerak tumbuh adalah gerak yang ditimbulkan oleh adanya pertumbuhan, sehingga menimbulkan perubahan elastis atau *irreversible*. Gerak turgor adalah-gerak yang timbul karena terjadi perubahan

turgor pada sel-sel tertentu, dan sifatnya elastis atau *reversible*.

Berdasarkan asal rangsangannya, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi tiga, yaitu: *gerak Higroskopis*, *gerak etionom*, dan *gerak endonom* (autonom). Gerak Higroskopis disebabkan oleh perbedaan kadar air. Gerak etionom merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari luar. Sedangkan gerak endonom (autonom) merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari dalam atau dari tumbuhan itu sendiri.

a. Gerak Higroskopis

Gerakan ini disebabkan oleh perbedaan kadar air. Sel-sel tumbuhan mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menerima dan melepaskan airnya. Jika lingkungan dalam keadaan kering, sel-sel yang lebih cepat melepaskan air akan berkerut, sementara sel-sel yang lainnya relatif tetap. Akibatnya, akan terjadi tarik menarik antara bagian yang kekurangan air dan bagian yang normal. Kekuatan tarik menarik ini akan menentukan arah gerak tumbuhan. Contohnya pada peristiwa pecahnya annulus pada sporangium paku. Annulus merupakan kumpulan sel berdinding tebal disekitar sporangium paku yang berfungsi untuk melepaskan spora. Gerak higroskopis juga ditunjukkan oleh pecahnya kulit buah polong-polongan (Gambar 69).



Gambar 69. Gerak higroskopis pada lamtoro

b. Gerak Etionom

Berdasarkan hubungan antara arah respon gerakan dengan asal rangsangan, gerak etionom dapat dibedakan menjadi: *gerak tropisme*, *gerak nasti*, dan *gerak taksis*.

c. Gerak Tropisme

Tropisme adalah gerak bagian tumbuhan yang arah geraknya dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan. Bagian yang bergerak itu misalnya cabang, daun, kuncup bunga atau sulur. Gerak tropisme dapat dibedakan menjadi tropisme positif apabila gerak itu menuju sumber rangsangan dan tropisme negatif apabila gerak itu menjauhi sumber rangsangan. Ditinjau dari macam sumber rangsangannya, tropisme dapat dibedakan lagi menjadi fototropisme, geotropisme, hidrotropisme, kemotropisme, tigmotropisme dan gravitropisme.

1. Fototropisme

Fototropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan cahaya (Gambar 70). Gerak bagian tumbuhan yang menuju ke arah cahaya disebut fototropisme positif. Misalnya gerak ujung batang tumbuhan membelok ke arah datangnya cahaya.

Telaah mengenai mekanisme fototropisme dimulai oleh percobaan yang dilakukan oleh Charles Darwin dan putranya Francis. Percobaan dilakukan dengan menghilangkan ujung pucuk batang, dan didapatkan hasil bahwa fototropisme tidak terjadi disebabkan hilangnya pucuk tersebut. Begitu pula ketika ujung pucuk di lapihi bahan yang tidak dapat ditembus cahaya. Namun, fototropisme tetap terjadi Ketika seluruh bagian tumbuhan dikuburkan ke dalam pasir hitam halus dan hanya ujung pucuk yang berada di luar, yang menyebabkan membeloknya batang. Dari percobaan ini dijelaskan bahwa, rangsangan (cahaya) terdeteksi pada suatu tempat (ujung pucuk) dan responnya (pelengkungan) dilaksanakan di tempat lain daerah perpanjangan).



Gambar 70. Gerak fototropisme tumbuhan

Mekanisme fototropisme dijelaskan dari percobaan yang dilakukan oleh Boysen dan Jensen dan disempurnakan dengan penemuan tentang auksin oleh RW. Went. Auksin memiliki peran penting dalam pembelokan batang ke arah cahaya. Auksin merupakan zat pengatur tumbuh kimiawi yang berperan dalam pertumbuhan sel dan pertambahan sel. Auksin berada pada ujung pucuk, sehingga ketika cahaya berada di atas tumbuhan, akan terjadi distribusi auksin dari pucuk ke daerah pemanjangan secara vertikal. Namun ketika cahaya diberikan dari salah satu sisi batang, menyebabkan distribusi auksin secara lateral (asimetrik) dari sisi yang mendapatkan cahaya ke sisi yang gelap. Bagian tumbuhan yang tidak disinari mendapatkan konsentrasi auksin yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan sisi batang yang pada daerah gelap akan mengalami pertumbuhan sel lebih cepat, sehingga batang seperti berbelok ke arah datangnya cahaya. Bagian tumbuhan yang tidak disinari mendapatkan konsentrasi auksin yang lebih tinggi.

Diperkirakan distribusi auksin yang asimetrik, disebabkan oleh gabungan tiga mekanisme yang berbeda, yaitu:

- Terjadinya perusakan auksin oleh cahaya (*photodestruction*) pada bagian koleoptil yang terkena cahaya.
- Meningkatnya sintesis auksin pada bagian koleoptil yang gelap
- Adanya angkutan auksin secara lateral dari bagian yang terkena cahaya menuju ke bagian yang gelap.

2. Gravitropisme/Geotropisme

Geotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena pengaruh gravitasi bumi. Jika arah geraknya menuju rangsang disebut geotropisme positif, misalnya gerakan akar menuju tanah. Jika arah geraknya menjauhi rangsang disebut geotropisme negatif, misalnya gerak tumbuh batang menjauhi tanah.

Akar selalu tumbuh ke arah bawah akibat rangsangan gaya tarik bumi (gaya gravitasi). Karena gerak akar diakibatkan oleh rangsangan gaya tarik bumi (gravitasi) dan arah gerak menuju arah datangnya rangsangan, maka gerak tumbuh akar disebut geotropisme positif. Sebaliknya gerak organ tumbuhan lain

yang menjauhi pusat bumi disebut geotropisme negatif. Contoh lain dari geotropisme adalah gerak tumbuh pada bunga kacang. Pada waktu bunga mekar gerakannya menjauhi pusat bumi, maka termasuk geotropisme negatif. Tetapi setelah terjadi pembuahan, gerak bunga kemudian ke bawah menuju tanah ke pusat bumi dan berkembang terus menjadi buah kacang tanah. Dengan demikian, terjadi perubahan gerak tumbuh pada bunga kacang tanah. Sebelum pembuahan adalah geotropisme negatif dan setelah pembuahan adalah geotropisme positif. Pertumbuhan bunga ini dipengaruhi oleh peranan hormon pertumbuhan.

Apabila suatu tumbuhan (*caleoptile*) diletakan secara horizontal, maka akumulasi auksin akan berada di bagian bawah. Hal ini menunjukkan adanya transportasi auksin ke arah bawah sebagai akibat dari pengaruh geotropisme. Untuk membuktikan pengaruh geotropisme terhadap akumulasi auksin, telah dibuktikan oleh Dolk pada tahun, 1936 (dalam Wareing dan Phillips 1970). Dari hasil eksperimennya diperoleh petunjuk bahwa auksin yang terkumpul di bagian bawah memperlihatkan lebih banyak dibanding dengan bagian atas. Sel-sel tumbuhan terdiri dari berbagai komponen bahan cair dan bahan padat. Dengan adanya gravitasi maka letak bahan yang bersifat cair akan berada di atas. Sedangkan bahan yang bersifat padat berada di bagian bawah. Bahan-bahan yang dipengaruhi gravitasi dinamakan statolith (misalnya pati) dan sel yang terpengaruh oleh gravitasi dinamakan statocyste (termasuk statolith).

Pengaruh gravitasi diterima oleh tudung akar maupun pucuk batang. Namun penerimaan rangsangan gravitasi oleh ujung akar dan ujung batang tidak sama. Suatu rangsangan gravitasi diterima oleh sel yang mengandung statolit disebut statosit. Statolit adalah badan-badan kecil dengan berat jenis tinggi, yang mengendap ke dasar sel. Badan-badan yang mengendap pada sitoplasma meliputi inti sel, diktiosom, mitokondria dan butir-butir pati (amiloplas). Di antara badan-badan sel menunjukkan bahwa amiloplas merupakan statolit di dalam sel yang menerima rangsangan gravitasi.

Pada Percobaan R Went dan N. Cholodny menjelaskan adanya pembelokan pucuk ke arah atas di sebabkan distribusi auksin yang asimetris (tidak merata) pada tanaman dalam posisi horizontal. Pengaruh gravitasi menyebabkan konsentrasi auksin bagian bawah menjadi bertambah. Peningkatan kadar auksin

akan merangsang pertumbuhan lebih cepat, sehingga pucuk akan membelok ke atas. Begitupun pada akar yang memiliki asam absisat (ABA) pada tudung akar. Akibat pengaruh gravitasi menyebabkan akumulasi ABA lebih banyak pada bagian bawah, sehingga meningkatkan penghambatan pertumbuhan. Akibatnya bagian sebelah atas yang ABA lebih sedikit, akan tumbuh lebih cepat dan akar akan membelok ke bawah.

3. Hidrotropisme

Hidrotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan air. Jika gerakan itu mendekati air maka disebut hidrotropisme positif. Misalnya, akar tumbuhan tumbuh bergerak menuju tempat yang banyak airnya di tanah. Jika tumbuhan tumbuh menjauhi air disebut hidrotropisme negatif. Misal gerak pucuk batang tumbuhan yang tumbuh ke atas air. Respon tumbuhan ditentukan oleh stimulus gradient atau konsentrasi air (kelembaban). Kelembaban menyebabkan membeloknya akar ke daerah yang mengandung air dengan konsentrasi yang lebih besar.

4. Kemotropisme

Kemotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan zat kimia. Jika gerakannya mendekati zat kimia tertentu disebut kemotropisme positif. Misalnya gerak akar menuju zat di dalam tanah. Jika gerakannya menjauhi zat kimia tertentu disebut kemotropisme negatif. Contohnya gerak akar menjauhi racun.

5. Tigmotropisme

Tigmotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena adanya rangsangan sentuhan satu sisi atau persinggungan. Contoh: gerak membelit ujung batang atau sulur dari cucurbitaceae dan passiflora. Contoh tanaman yang bersulur adalah ercis, anggur, markisa, semangka dan mentimun.

Sulur akan terus tumbuh memanjang mencari struktur pendukung untuk mengokohkan tegaknya tanaman tersebut. Sulur sangat sensitif terhadap sentuhan. Terjadinya kontak antara sulur dengan suatu benda akan merangsang sulur tersebut tumbuh membengkok ke arah benda yang tersentuh tadi, disebabkan terjadi perbedaan kecepatan pertumbuhan karena di duga sel-sel yang terkena kontak sentuhan akan memproduksi ABA yang menghambat pertumbuhan sedangkan sisi yang berlawanan menghasilkan auksin sehingga pertumbuhannya menjadi lebih cepat. Akibatnya sulur membelok dan melilit sumber sentuhan. Respon sulur sebagian melibatkan perubahan turgor. Diduga

telah terjadi perubahan kandungan ATP dan fosfat anorganik yang cepat akibat rangsangan sentuhan pada sulur.

d. Gerak Nasti

Gerak nasti adalah gerak tumbuhan yang arahnya tidak dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan, tetapi ditentukan oleh tumbuhan itu sendiri, misalnya karena perubahan tekanan turgor.

1) Fotonasti

Fotonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsangan cahaya. Misalnya, gerakan mekarnya bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*) di sore hari (Gambar 71).



Gambar 71. Bunga *Mirabilis jalapa*

2) Niktinasti

Niktinasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh suasana gelap, sehingga disebut juga gerak tidur. Misalnya, pada malam hari daun-daun tumbuhan polong-polongan akan menutup dan akan membuka keesokan harinya ketika matahari terbit (Gambar 72).

A.W.Galston dan kawan-kawan mendeteksi adanya perpindahan ion kalium dari bagian atas ke bagian bawah pulvinus dan sebaliknya. Perpindahan ion kalium telah menyebabkan perubahan potensial osmotik yang besar pada sel-sel motor yang mengakibatkan daun bergerak ke atas atau ke bawah. Diduga auksin terlibat dalam kegiatan ini. IAA yang diproduksi pada siang hari terutama diangkut ke bagian bawah petiol. Ion kalium akan bergerak ke arah di mana

memiliki kandungan IAA lebih tinggi, air masuk ke bagian bawah pulvinus dan daun bangun. Angkutan auksin berkurang pada malam hari, terjadi reaksi sebaliknya. Auksin yang diberikan ke bagian atas atau bagian bawah pulvinus akan menyebabkan tidur dan bangunnya daun secara berturut-turut. Sejumlah sel di pulvinus yang menggebu saat membuka disebut ekstensor, sedangkan sel yang mengerut dinamakan fleksor. Gerak ini terjadi pada tumbuhan polong-polongan.



Gambar 72. Niktinasti pada daun Turi (*Sesbania grandiflora*)

3) Tigmonasti atau Seismonasti

Tigmonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsang sentuhan atau getaran. Contoh gerak menutupnya daun putri malu (*Mimosa pudica*) jika disentuh (Gambar 95). Jika hanya satu anak daun dirangsang dengan sentuhan, rangsangan itu diteruskan ke seluruh tubuh tumbuhan sehingga anak daun lain ikut mengatup. Tumbuhan ini memberikan respon sangat cepat yaitu sekitar 0,1 detik setelah rangsangan diberikan, dan penyebaran reaksi terhadap rangsangan ini ke bagian atas dan bawah tumbuhan berjalan antara 40-50 cm/detik. Jika ujung daun putri malu disentuh maka akan terjadi aliran air yang menjauhi daerah sentuhan. Adanya aliran air ini menyebabkan kadar air di daerah sentuhan berkurang, sehingga tekanan turgomnya mengecil. Akibatnya daun putri malu akan menutup dan tampak seperti layu. Lamanya waktu menutup tergantung pada suhu dan keras halusny getaran.

Jika hanya satu anak daun dirangsang, rangsangan itu diteruskan ke seluruh tumbuhan, sehingga anak daun lain ikut mengatup. Kegunaan respon ini diduga

bahwa pelipatan anak daun akan mengagetkan dan mengusir serangga sebelum mereka sempat memakan daunnya. Pelipatan terjadi karena air diangkut keluar dari sel motor pada pulvinus, kejadian yang berhubungan dengan keluarnya K^+ . Penyebaran isyarat Mimosa telah bertahun-tahun diteliti, terbukti ada dua macam mekanisme, elektrik dan kimiawi. Potensial kerja disebabkan oleh aliran sejumlah ion tertentu melintasi sel parenkim (yang dihubungkan oleh plasmodesmata) xylem dan floem, dengan kecepatan sampai sekitar 2 cm s^{-1} . Potensial ketja tidak akan melewati pulvinus dari satu anak daun ke anak daun lainnya, kecuali bila respon kimiawi juga terlibat sehingga hanya beberapa anak daun saja yang terlipat. Hal ini disebabkan oleh suatu bahan yang bergerak melalui pembuluh xylem bersamaan dengan aliran transpirasi. Bahan aktif ini dikenal sebagai turgorin.

4) Termonasti

Termonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsangan suhu, seperti mekarnya bunga tulip. Bunga-bunga tersebut mekar jika mengalami kenaikan suhu dan akan menutup kembali jika suhu turun.



Gambar 73. Tigmonasti pada *Mimosa pudica* (kiri), termonasti pada bunga tulip (kanan)

5) Haptonasti

Haptonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh sentuhan serangga. Contohnya pada tumbuhan *Dionaea* (sejenis tumbuhan perangkap lalat). Bila ada lalat yang menyentuh bagian dalam daun, daun akan segera menutup

sehingga alat akan terperangkap di antara kedua belahan daun. Cara kerja perangkap ini karena adanya "*nerve-like signal*" atau rambut epidermis-sensori yang dapat menimbulkan potensial kerja pada perangkap. Potensial kerja bergerak dari rambut itu ke jaringan daun bercuping rangkap dan mengakibatkan cuping tersebut mengatup dengan cepat dalam waktu kira-kira setengah detik. Tumbuhan tersebut memerangkap serangga, yang kemudian dicerna oleh enzim yang dikeluarkan daun untuk menghasilkan nitrogen dan fosfat bagi tumbuhan.

6) Nasti Kompleks

Merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh beberapa faktor sekaligus, seperti karbon dioksida, pH, suhu dan kadar kalsium. Contohnya: gerak membuka dan menutupnya stomata pada daun.

e. Gerak Taksis

Taksis adalah gerak seluruh tubuh atau bagian dari tubuh tumbuhan yang berpindah tempat dan arah perpindahannya dipengaruhi rangsangan. Gerakan yang arahnya mendekati sumber rangsangan disebut taksis positif dan yang menjauhi sumber rangsangan disebut taksis negatif. Umumnya terjadi pada tumbuhan tingkat rendah.

(a) Kemotaksis

Kemotaksis merupakan gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan zat kimia. Contohnya : gerak gamet jantan berflagela (spermatozoid) yang dihasilkan oleh anteridium lumut ke arah gamet betina (sel telur) di dalam arkegonium. Spermatozoid bergerak karena tertarik oleh sukrosa atau asam malat. Pergerakan ini terjadi karena adanya zat kimia pada sel gamet betina.

(b) Fototaksis

Fototaksis merupakan gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan berupa cahaya. Contohnya pada ganggang hijau yang langsung menuju cahaya yang intensitasnya sedang. Tetapi bila intensitas cahaya meningkat, maka akan tercapai batas tertentu dan ganggang hijau tiba-tiba akan berbalik arah dan berenang menjauhi cahaya. Sehingga terjadi perubahan yang semula gerak fototaksis positif menjadi fototaksis negatif.

f. Gerak Endonom (autonom)

Gerak endonom adalah gerak yang belum/tidak diketahui sebabnya. Oleh karena itu diduga disebabkan oleh rangsangan yang berasal dari dalam tubuh tumbuhan itu sendiri. Dengan kata lain, gerak autonom adalah gerak yang tidak disebabkan oleh rangsangan dari luar. Misalnya pada aliran plasma sel.

2. Respon Fisiologi pada Hewan

Perilaku adalah tindakan atau aksi yang mengubah hubungan antara organisme dan lingkungannya. Perilaku dapat terjadi akibat stimulus dari luar. Reseptor diperlukan untuk mendekati stimulus, saraf diperlukan untuk mengkoordinasikan respon dan efektor untuk melaksanakan aksi. Perilaku dapat juga terjadi karena adanya stimulus dari dalam, misalnya rasa lapar, memberikan motivasi akan aksi yang akan diambil bila makanan benar-benar terlihat atau tercium.

Umumnya perilaku suatu organisme merupakan gabungan stimulus dari dalam dan luar.

1. Perilaku Sederhana dan Kompleks

Perilaku sederhana memiliki sifat yang sama dengan perilaku bawaan merupakan perilaku yang dihasilkan oleh gen dan faktor-faktor lingkungan. Perilaku memperlihatkan suatu kisaran variasi fenotip (norma reaksi) yang bergantung pada lingkungan, dimana genotype itu diekspresikan. Faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi perilaku adalah semua kondisi dimana gen yang mendasari perilaku itu diekspresikan. Hal ini meliputi lingkungan kimiawi di dalam sel dan juga semua kondisi hormonal, kondisi kimiawi dan fisik yang dialami oleh seekor hewan yang sedang berkembang di dalam sebuah sel telur atau di dalam rahim. Perilaku kompleks merupakan perilaku yang dilakukan karena adanya keinginan individu untuk melindungi diri dari lingkungan hidup yang tidak sesuai.

2. Perilaku Yang Dipelajari, *Habitus*, *Imprinting*, *Learning*, dan *Spiritual Learning* Perilaku Belajar (*Learning Behavior*).

Merupakan perilaku hasil belajar berdasarkan pengalaman yang didapat selama hidupnya. Ciri-cirinya: Adaptif terhadap lingkungan diperoleh dari pengalaman

diturunkan dalam skala waktu evolusi. Contoh :

- a. *Imprinting* (perekaman): merupakan pola perilaku belajar sederhana, terutama pada aves & mammalia berupa pembelajaran yang didapatkan hewan setelah dilahirkan atau menetas dalam masa kritis. contoh: perilaku anak itik yang abru menetas yang mengikuti objek yang dijumpainya selama masa kritis, \pm 36 jam.
- b. *Habituation* (pembiasaan): merupakan respon membiasakan perilaku yang dihasilkan dari pengalaman awal, contoh: anak burung membiasakan otot-ototnya agar bisa terbang.
- c. *Cassical conditioning*: merupakan mengkondisikan respon otomatis dan menciptakan asosiasi antara pengalaman yang telah dimiliki dengan pengalaman baru, contoh: beruang menunggu ikan salmon).
- d. *Instrumental conditioning*: merupakan penggunaan alat dalam merespon stimulus, melibatkan motivasi intrinsik. Contoh: kera pemakan serangga menggunakan ranting untuk menangkap semut.
- e. *Trial and Error*: merupakan memilih stimulus yang sesuai kebutuhan, hewan mampu mengenali karakteristik stimulus dan lingkungan. Contoh: pemilihan labirin yang berisi makanan oleh tikus.
- f. *Reasoning*: merupakan perilaku dengan penalaran terlebih dahulu, contoh: pada manusia.

3. Perilaku Bawaan, Taksis, Refleks, dan Insting.

Bentuk perilaku dapat dibedakan menjadi:

(a) Perilaku bawaan

Perilaku bawaan merupakan perilaku yang dihasilkan oleh gen dan faktor-faktor lingkungan. Perilaku memperlihatkan suatu kisaran variasi fenotip (norma reaksi) yang bergantung pada lingkungan, dimana genotype itu diekspresikan. Factor-faktor lingkungan yang mempengaruhi perilaku adalah semua kondisi dimana gen yang mendasari perilaku itu diekspresikan. Hal ini meliputi lingkungan kimiawi di dalam sel dan juga semua kondisi hormonal, kondisi kimiawi dan fisik yang dialami oleh seekor hewan yang sedang berkembang di dalam sebuah sel telur atau di dalam rahim.

(b) Taksis

Taksis merupakan reaksi terhadap stimulus dengan bergerak secara otomatis langsung mendekati atau menjauh dari atau pada suatu tertentu terhadapnya.

(c) Refleks

Refleks merupakan respon bawaan paling sederhana yang dijumpai pada hewan yang mempunyai system saraf. Refleks adalah respon otomatis dari sebagian tubuh terhadap suatu stimulus. Respon terbawa sejak lahir artinya sifatnya ditentukan oleh pola reseptor saraf dan efektor yang diwariskan. Refleks rentan akan pemberian mekanisme pengendalian yang teratur dengan baik yang mengarahkan kontraksi refleks otot, menghambat kontraksi otot-otot antagonis dan terus-menerus memonitor keberhasilan yang dengannya perintah-perintah dari otak diteruskan, dan dengan cepat serta otomatis membuat setiap penyesuaian sebagai pengganti yang perlu.

(d) Naluri (Insting)

Naluri merupakan pola perilaku kompleks yang sebagaimana refleks, merupakan bawaan, bersifat agak tidak fleksibel dan mempunyai nilai bagi hewan untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Naluri lebih rumit dibandingkan dengan refleks dan dapat melibatkan serangkaian aksi. Pelepasan Perilaku naluriah. Sekali tubuh siap di bagian dalam untuk tipe perilaku naluriah tertentu, maka diperlukan stimulus luar untuk mengawali respon. Isyarat yang memicu aksi naluriah disebut pelepasan. Begitu respon tertentu dilepaskan, biasanya langsung selesai walaupun stimulus efektif segera diadakan.

4. Perilaku terajar

Perilaku terajar adalah perilaku yang lebih kurang diperoleh atau dimodifikasikan permanen sebagai akibat dari pengalaman individu.

(a) Kebiasaan, merupakan perilaku hampir semua hewan mampu belajar untuk tidak bereaksi terhadap stimulus berulang yang telah dibuktikan tidak merugikan. Fenomena ini dikenal sebagai kebiasaan/habitulasi dan merupakan suatu contoh belajar sejati.

- (b) Keterpatria/tanggap tiru imprinting, merupakan pembelajaran yang terbatas pada suatu waktu tertentu dalam kehidupan seekor hewan dan pada umumnya tidak balik/*irreversible*. Ikatan antara induk dan anak pada spesies yang merawat anak merupakan suatu bagian kritis dalam siklus reproduksi. Jika itu gagal, induk tidak akan memelihara anaknya. Hasilnya adalah kematian keturunannya dan hilangnya kelestarian reproduksi bagi induk tersebut.
- (c) Respon yang diperlazimkan, merupakan perilaku terajar yang paling sederhana, yang pada dasarnya adalah respon sebagai hasil pengalaman. Disebabkan oleh suatu stimulus yang berbeda dengan yang semula memicunya. Pelaziman terjadi paling cepat bila stimulus yang bukan diperlazimkan dan stimulus yang diperlazimkan sering diberikan bersama sama, tidak ada pengalihan perhatian dan diberikan semacam hadiah/imbalan untuk penampilan/prestasi yang berhasil terhadap respon masyarakat tadi.
- (d) Pelaziman instrumental, merupakan prinsip pelaziman dapat dipakai melatih hewan melakukan tugas yang bukan pembawaan lahir. Dalam hal ini hewan ditempatkan pada suatu keadaan sehingga dapat bergerak bebas dan melakukan sejumlah kegiatan perilaku yang berlain-lain.

3. Sistem Imun

Pernahkah Anda demam atau flu? Apakah Anda menyadari bahwa naiknya suhu tubuh kita tersebut adalah suatu mekanisme dari sistem pertahanan tubuh kita. Selain itu, apakah Anda pernah bersin? Bersin merupakan salah satu mekanisme pertahanan tubuh kita. Jika terdapat benda asing masuk ke tubuh kita, benda asing tersebut akan dikeluarkan melalui bersin. Kekebalan tubuh mampu melindungi tubuh dari serangan bakteri, virus, dan berbagai macam penyakit.

Penyakit dapat berdatangan dari segala tempat, bahkan dari udara yang Anda hirup dan benda-benda yang Anda sentuh. Akan tetapi, sering kali Anda tidak menyadari adanya peperangan di dalam tubuh Anda. Hal itu karena sistem pertahanan tubuh Anda sangat efektif sehingga Anda tidak langsung sakit jika ada kuman yang masuk. Bisa Anda perhatikan ada orang yang mudah sakit, ada

pula orang yang jarang sakit. Hal ini ada kaitannya dengan sistem pertahanan yang dimiliki seseorang.

Tubuh kita sangat rentan terkena penyakit. Penyakit dapat mengganggu kita dalam bekerja atau bahkan bisa memperpendek umur kita. Maka dari itu, kita butuh sistem kekebalan tubuh untuk menjaga tubuh kita dari berbagai bakteri atau virus yang merugikan. Sistem kekebalan atau imunitas adalah suatu sistem pertahanan yang digunakan untuk melindungi tubuh dari infeksi penyakit atau kuman. Zat-zat yang merangsang timbulnya reaksi kekebalan tubuh disebut **antigen**. Penyakit atau kuman ini berupa protein asing yang berbeda dari protein tubuh kita. Karena dianggap sesuatu yang asing, maka antigen ini harus disingkirkan, dinetralkan, atau dihancurkan. Reaksi kekebalan tubuh yang normal dapat mengenali antigen, mengerahkan kekuatan untuk bertahan melawan antigen tersebut, dan menyerangnya. Yang bertugas melakukan ini salah satunya adalah sistem pertahanan tubuh yang dikenal dengan **antibodi**.

A. Pengertian Sistem Pertahanan Tubuh

Sistem pertahanan tubuh (sistem imunitas) adalah sistem pertahanan yang berperan dalam mengenal, menghancurkan, serta menetralkan benda-benda asing atau sel-sel abnormal yang berpotensi merugikan bagi tubuh. Sistem pertahanan tubuh atau sistem imunitas merupakan sistem perlindungan pengaruh luar biologis yang dilakukan oleh sel dan organ khusus pada suatu organisme. Jika sistem pertahanan tubuh bekerja dengan benar, sistem ini akan melindungi tubuh terhadap infeksi bakteri dan virus, serta menghancurkan sel kanker dan zat asing lain dalam tubuh. Jika sistem pertahanan tubuh melemah, kemampuannya melindungi tubuh juga berkurang, sehingga menyebabkan patogen, termasuk virus yang menyebabkan demam dan flu, dapat berkembang dalam tubuh. Sistem kekebalan juga memberikan pengawasan terhadap sel tumor, dan terhambatnya sistem ini juga telah dilaporkan meningkatkan resiko terkena beberapa jenis kanker. Kemampuan bagi tubuh untuk menahan atau menghilangkan benda asing serta sel-sel abnormal disebut imunitas (kekebalan).

1. Fungsi Sistem Pertahanan Tubuh

Fungsi dari sistem imunitas atau kekebalan tubuh adalah untuk mempertahankan tubuh terhadap patogen dan lainnya. Hal ini terjadi terutama melalui tindakan sel darah putih. Fagosit menghancurkan sel-sel non-pribumi dan organisme, sedangkan limfosit belajar dari infeksi dan memungkinkan tubuh untuk melawan infeksi berulang lebih mudah. Banyak gejala penyakit yang penderita mengasosiasikan dengan virus tertentu atau infeksi bakteri. Pada kenyataannya, sistem kekebalan tubuh sendiri mencoba untuk membersihkan sistem dari penyusup. Sebagai contoh, ketika tubuh mendeteksi rhinovirus flu, memicu membran untuk menghasilkan kelebihan lendir untuk mencegah penyusup lebih lanjut dan untuk membersihkan mereka yang sudah dalam tubuh. Peningkatan suhu tubuh membantu untuk merusak serangan mikroorganisme, dan respon batuk meningkat membantu untuk membersihkan paru-paru.

Sistem kekebalan tubuh juga dapat menjadi penghalang, dalam beberapa kasus. Beberapa penyakit dan alergi disebabkan oleh sistem kekebalan tubuh yang terlalu aktif, menargetkan sel-sel tubuh sendiri atau penyusup yang relatif tidak berbahaya bukan patogen potensial. Alergi adalah kegagalan fungsi imunitas atau kekebalan tubuh dimana seseorang mengalami sensitifitas berlebihan terhadap suatu bahan atau zat. Nah, munculnya penyakit alergi ini ada kaitannya dengan sistem pertahanan tubuh. Jadi, apa sebenarnya fungsi dari sistem pertahanan tubuh itu?

Sistem pertahanan tubuh memiliki beberapa fungsi, yaitu :

- Mempertahankan tubuh dari patogen invasif (dapat masuk ke dalam sel inang), misalnya virus dan bakteri.
- Melindungi tubuh terhadap suatu agen dari lingkungan eksternal yang berasal dari tumbuhan dan hewan (makanan tertentu, serbuk sari, rambut hewan, dll) serta zat kimia (obat-obatan dan polutan).
- Menyingirkan sel-sel yang sudah rusak akibat suatu penyakit atau cedera, sehingga memudahkan penyembuhan luka dan perbaikan jaringan.
- Mengenali dan menghancurkan sel abnormal (mutan) seperti kanker.

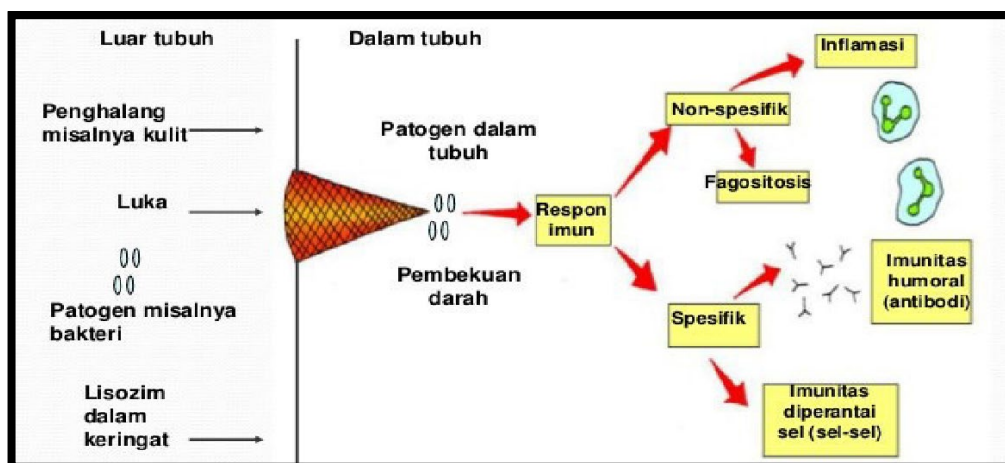
Namun, sistem pertahanan tubuh atau imunitas dapat melakukan respons imunitas yang tidak pada tempatnya, sehingga terjadi alergi atau penyakit

autoimun. Penyakit autoimun adalah penyakit yang timbul ketika tubuh membentuk antibodi yang melawan sel miliknya.

2. Mekanisme Pertahanan Tubuh

Di dalam tubuh Anda ada mekanisme perlindungan yang luar biasa yang disebut sistem kekebalan tubuh atau imunitas. Hal ini dirancang untuk membela Anda terhadap jutaan bakteri, mikroba, virus, racun dan parasit yang akan senang untuk menyerang sistem kekebalan tubuh. Tubuh Anda, yang terdiri dari sel-sel khusus, protein, jaringan, dan organ, membela orang terhadap kuman dan mikroorganisme setiap hari. Dalam kebanyakan kasus, sistem kekebalan tubuh melakukan pekerjaan yang besar menjaga orang sehat dan mencegah infeksi.

Tapi kadang-kadang masalah dengan sistem kekebalan tubuh dapat menyebabkan penyakit dan infeksi. Salah satu penyakit yang, autoimun, disebabkan ketika ketika sel-sel di dalam tubuh Anda menyerang satu sama lain. Ketika tubuh Anda melawan penyakit menggunakan sel-sel darah putih untuk menyerang penyakit. Bagian ini di dalam tubuh adalah salah satu yang paling penting untuk menjaga tubuh Anda sehat dan bugar.



Gambar 74. Bagan Mekanisme Pertahanan Tubuh
Sumber: <http://Fiskadiana.blogspot.co.id>. 2015

Mekanisme pertahanan tubuh terjadi karena masuknya patogen atau antigen ke dalam tubuh dan tubuh akan melakukan respon meliputi produksi sel-sel atau zat kimia yang berfungsi untuk mempertahankan tubuh melawan pathogen. Tubuh

manusia memiliki dua macam respon atau mekanisme pertahanan tubuh, yaitu *pertahanan nonspesifik* (alamiah) dan *pertahanan spesifik* (adaptif).

Tabel 6 Mekanisme pertahanan tubuh nonspesifik dan spesifik

Pertahanan Tubuh Nonspesifik		Pertahanan Tubuh Spesifik
Pertahanan Pertama	Pertahanan Kedua	Pertahanan Ketiga
<ul style="list-style-type: none">- Kulit- Membran mukosa- Cairan sekresi dari kulit dan membran mukosa.	<ul style="list-style-type: none">- Inflamasi- Sel-sel fagosit- Protein antimikrobia	<ul style="list-style-type: none">- Limfosit- Antibodi

A. Pertahanan Nonspesifik (Alamiah)

Pertahanan nonspesifik merupakan imunitas bawaan sejak lahir, berupa komponen normal tubuh yang selalu di temukan pada individu sehat, dan siap mencegah serta menyingkirkan dengan cepat antigen yang masuk kedalam tubuh. Pertahanan ini disebut nonspesifik karena tidak ditujukan untuk melawan antigen tertentu, tetapi dapat memberi respon langsung terhadap berbagai antigen untuk melindungi tubuh.

Mekanisme pertahanan nonspesifik disebut juga komponen nonadaptif atau *innate*, atau imunitas alamiah, artinya mekanisme pertahanan yang tidak ditujukan hanya untuk satu jenis antigen, tetapi untuk berbagai macam antigen. Imunitas alamiah sudah ada sejak bayi lahir dan terdiri atas berbagai macam elemen non spesifik. Jadi bukan merupakan pertahanan khusus untuk antigen tertentu.

Pertahanan tubuh tidak spesifik terdiri atas pertahanan eksternal dan pertahanan internal. Pertahanan eksternal merupakan pertahanan tubuh sebelum mikroorganisme atau zat asing memasuki jaringan tubuh. Pertahanan internal merupakan pertahanan tubuh yang terjadi di dalam jaringan tubuh setelah mikroorganisme atau zat asing masuk ke dalam tubuh.

1. Pertahanan Tubuh Nonspesifik Eksternal

Pertahanan tubuh nonspesifik eksternal meliputi pertahanan fisik, mekanis, dan kimia terhadap agen infeksi.

a. Kulit

Kulit ditutupi sel-sel epitel yang sangat rapat. Kulit yang normal tidak dapat ditembus oleh bakteri dan virus. Mikroorganisme hanya dapat masuk melalui kulit jika sudah terluka. Kulit memiliki kondisi sedikit asam dengan pH 5 dan temperatur kurang dari 37°C. Kondisi menyulitkan bakteri dan virus untuk dapat tetap hidup di permukaan kulit. Selain itu, lapisan sel-sel yang mati membuat permukaan kulit selalu berganti sehingga bakteri yang berada di permukaan kulit tersebut juga selalu terbuang dengan sel yang mati.

Kulit yang sehat dan utuh, menjadi garis pertahanan pertama terhadap antigen (Gambar 97). Sebaliknya, kulit yang rusak atau hilang (misalnya akibat luka bakar), akan meningkatkan resiko infeksi. Luka kecil jarang menyebabkan infeksi yang parah, karena luka kecil dapat diatasi oleh respons imunitas kulit.



Gambar 75. Kulit sebagai pertahanan tubuh

Sumber: <http://sourceflame.blogspot.co.id/2011/07/keajaiban-sistem-pertahanan-tubuh.html>

b. Membran Mukosa

Membran mukosa yang melapisi permukaan bagian dalam tubuh, mengekskresikan mukus sehingga dapat menarangkap antigen, serta menutup jalan masuk ke sel epitel. Contohnya, partikel yang besar dalam saluran pernafasan akan dikeluarkan saat bersin dan batuk. Partikel kecil dan mikroorganisme yang mungkin lolos dari pertahanan mukus akan ditangkap oleh silia sel epitel untuk dikeluarkan atau ditelan bersama mukus ke dalam saluran pencernaan.

c. Cairan tubuh yang mengandung zat kimia antimikroba

Zat kimia tersebut membentuk lingkungan yang buruk bagi beberapa mikroorganisme. Contohnya, lisozim yang terkandung dalam keringat, ludah, air mata, dan air susu ibu (ASI), dapat menghancurkan lapisan peptidoglikan dinding sel bakteri. Laktooksidase dan asam neuraminat dalam ASI dapat menghancurkan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus sp.* Zat antimikroba lainnya adalah HCl dalam lambung, enzim proteolitik, empedu dalam usus halus, serta keasaman cairan vagina.

d. Pembilasan oleh air mata, saliva dan urine, berperan dalam perlindungan terhadap infeksi

2. Pertahanan Tubuh Nonspesifik Internal

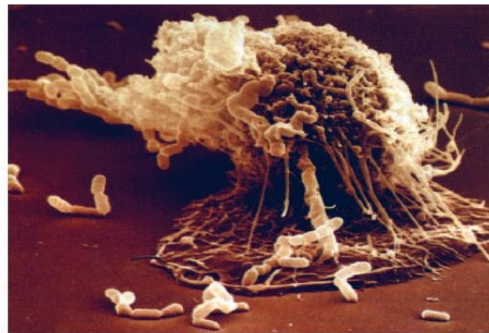
Tidak semua mikroorganisme atau mikroba asing dapat ditahan oleh kulit ataupun lapisan mukosa sehingga mereka dapat lolos masuk ke dalam tubuh. Selanjutnya, mikroba asing tersebut akan bertemu dengan pertahanan tubuh tidak spesifik internal yang terdiri dari aksi fagositosis, respon peradangan dan senyawa antimikroba.

a. Fagositosis

Fagositosis merupakan garis pertahanan ke-2 bagi tubuh terhadap agen infeksi. Fagositosis meliputi proses penelanan dan pencernaan mikroorganisme dan toksin yang berhasil masuk ke dalam tubuh. Proses ini dilakukan oleh **neutrofil** dan **makrofag** (derivate monosit). Neutrofil dan makrofag bergerak ke seluruh jaringan secara kemotaksis, yang dipengaruhi oleh zat kimia. Kenaikan

permeabilitas kapiler darah menyebabkan neutrofil berpindah dari darah ke cairan luar sel. Neutrofil ini akan menyerang bakteri yang menginfeksi sel. Selanjutnya, neutrofil dan monosit berkumpul di tempat yang terluka dan mendesak hingga menembus dinding kapiler. Setelah itu, neutrofil mulai memakan bakteri dan monosit berubah menjadi makrofag (sel yang berukuran besar). Makrofag berfungsi fagositosis dan merangsang pembentukan jenis sel darah putih yang lain.

Makrofag disebut juga *big eaters* karena berukuran besar, mempunyai bentuk tidak beraturan, dan membunuh bakteri dengan cara memakannya. Anda dapat mengingat kembali cara makan amoeba, seperti itulah cara makrofag memakan bakteri. Makrofag yang memakan bakteri dapat dilihat pada Gambar 98.



Gambar 76. Makrofag yang Memakan Bakteri
Sumber: <https://www.google.co.id/search>

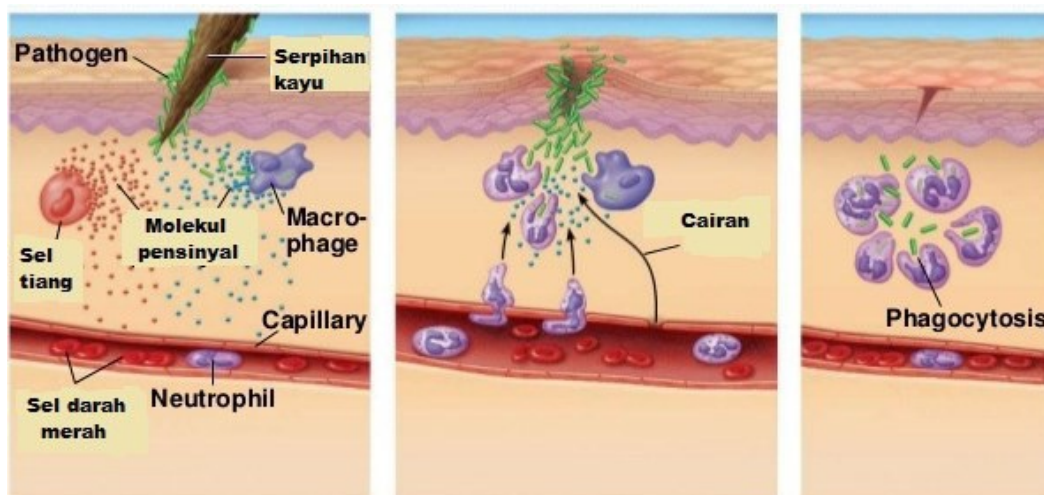
Bakteri yang berada di dalam makrofag kemudian dihancurkan dengan enzim lisosom. Makrofag ini juga bertugas untuk mengatasi infeksi virus dan partikel debu yang berada di dalam paru-paru. Sebenarnya di dalam tubuh keberadaan makrofag ini sedikit, tetapi memiliki peran sangat penting. Setelah infeksi tertanggulangi, beberapa neutrofil akhirnya mati seiring dengan matinya jaringan sel dan bakteri. Setelah ini sel-sel yang masih hidup membentuk nanah. Terbentuknya nanah ini merupakan indikator bahwa infeksi telah sembuh. Jadi reaksi inflamatori ini sebagai sinyal adanya bahaya dan sebagai perintah agar sel darah putih memakan bakteri yang menginfeksi tubuh. Selain sel monosit yang berubah menjadi makrofag juga terdapat sel neutrofil yang akan membunuh bakteri (mikroorganisme asing lainnya).

b. Inflamasi

Inflamasi adalah reaksi lokal jaringan terhadap infeksi atau cedera. Penyebabnya antara lain terbakar, toksin, produk bakteri, gigitan serangga, atau pukulan keras. Inflamasi dapat bersifat akut (jangka pendek) atau kronik (berlangsung lama). Tanda-tanda lokal respons inflamasi, yaitu kemerahan, panas, pembengkakan, nyeri, atau kehilangan fungsi. Efek inflamasi menyebabkan demam (suhu tubuh tinggi abnormal) hingga infeksi teratasi, dan leukositosis (peningkatan jumlah leukosit dalam darah) karena produksi leukosit dalam sumsum tulang meningkat.

Tujuan akhir inflamasi adalah membawa fagosit dan protein plasma ke jaringan yang terinfeksi/rusak untuk mengisolasi, menghancurkan, menginaktifkan agen penyerang, membersihkan debris (sel-sel yang rusak atau mati), serta mempersiapkan proses penyembuhan dan perbaikan jaringan.

Jika mikroba telah merusak jaringan, sel-sel jaringan yang telah rusak tersebut kemudian akan mengirimkan sinyal. Sinyal yang diberikan oleh sel terinfeksi akan ditangkap oleh sel darah putih jenis basofil yang kemudian akan melepaskan histamin ke jaringan. Histamin menyebabkan pembuluh darah prakapiler sekitar jaringan membesar, sedangkan pembuluh vena mengecil. Dengan keadaan demikian jaringan mengalami pembengkakan atau peradangan. Mekanisme peradangan dan perbaikan jaringan dapat dilihat pada gambar 77 berikut.



Gambar 77. Mekanisme pertahanan tubuh dengan respon inflamatori
Sumber: Campbell, N.A & Reece, J.B. 2010)

Berdasarkan gambar diatas mekanisme pertahanan tubuh secara inflamasi dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Jaringan mengalami luka dan merangsang pengeluaran histamin.
2. Histamin menyebabkan terjadinya pelebaran pembuluh darah serta peningkatan aliran darah yang menyebabkan permeabilitas pembuluh darah meningkat, hal ini menyebabkan perpindahan sel-sel fagosit (neutrofil, monosit, dan eosinofil)
3. Sel-sel fagosit kemudian memakan patogen.

Setelah infeksi tertanggulangi, neutrofil dan sel-sel fagosit akan mati seiring dengan matinya sel-sel tubuh dan patogen. Sel-sel fagosit yang hidup atau mati serta sel-sel tubuh yang rusak akan membentuk nanah. Inflamasi mencegah infeksi ke jaringan lain serta mempercepat proses penyembuhan.

Peradangan jaringan meningkatkan permeabilitas kapiler dan meningkatkan migrasi sel-sel fagositosis dari kapiler darah ke jaringan. Jaringan yang meradang juga melepaskan senyawa kemokin yang merupakan sinyal kimiawi untuk merangsang sel fagositosis mendatangi jaringan. Dengan masuknya sel-sel fagositosis ke jaringan yang meradang maka proses perbaikan dimulai. Sel-sel fagositosis segera akan menelan semua sel mikroba dan juga membersihkan jaringan tersebut dari senyawa yang berbahaya.

Peradangan juga mengakibatkan demam karena sel-sel leukosit melepaskan senyawa pirogen. Senyawa ini akan merangsang tubuh untuk menaikkan suhu dengan demikian meningkatkan pertahanan tubuh, menghambat pertumbuhan beberapa jenis mikroba, memudahkan fagositosis, mempercepat reaksi tubuh, dan mempercepat perbaikan jaringan.

c. Zat Antimikroba Nonspesifik

Zat antimikroba nonspesifik ini dapat bekerja tanpa adanya interaksi antigen dan antibodi sebagai pemicu:

- Interferon (IFN), protein antivirus yang dapat disintesis oleh sebagian besar sel tubuh sebagai respons terhadap infeksi virus, stimulasi imunitas, dan stimulus kimia. Interferon berfungsi menghalangi multiplikasi virus. Contohnya, IFN- α (diproduksi oleh leukosit yang terinfeksi virus) dan IFN- β (diproduksi oleh fibroblas yang terinfeksi virus).

- Komplemen, beberapa jenis protein plasma yang tidak aktif, tetapi dapat diaktifkan oleh berbagai bahan dari antigen, seperti liposakarida bakteri. Aktivasi komplemen bertujuan untuk menghancurkan mikroorganisme atau antigen asing, tetapi terkadang menimbulkan kerusakan jaringan tubuh sendiri.

3. Respon Tubuh Terhadap Sistem Pertahanan Tubuh Nonspesifik

Infeksi mikroba patogen direspons oleh tubuh dengan reaksi peradangan (inflamasi) dan demam. Radang merupakan reaksi tubuh terhadap kerusakan sel-sel tubuh yang disebabkan oleh infeksi, zat-zat kimia, ataupun gangguan fisik lainnya, seperti benturan dan panas. Gejala radang dapat berupa sakit, panas bengkak, kulit memerah dan gangguan fungsi dari daerah yang terkena radang. Bisul, bengkak, dan gatal merupakan beberapa bentuk peradangan.

Demam merupakan salah satu respons tubuh terhadap radang. Ketika demam, suhu tubuh akan naik melebihi suhu tubuh normal. Bakteri, virus, sel-sel kanker, dan sel-sel yang mati menghasilkan zat yang disebut *pyrogenexogen*. Zat tersebut merangsang makrofag dan monosit mengeluarkan zat *pyrogen-endogen* yang merangsang hipotalamus menaikkan suhu tubuh sehingga timbul perasaan dingin, menggigil, dan suhu tubuh yang meningkat.

Suhu tubuh yang tinggi menguntungkan karena bakteri dan virus akan lemah sehingga mati pada suhu yang tinggi. Metabolisme, reaksi kimia, dan sel-sel darah putih akan lebih aktif dan cepat sehingga mempercepat penyembuhan. Namun, terhadap efek lain dari naiknya suhu tubuh ini seperti sakit kepala, pusing, lesu, kejang, dan kerusakan otak permanen yang membahayakan tubuh dapat terjadi akibat kenaikan suhu tubuh.

B. Pertahanan Spesifik

Bila pertahanan non spesifik belum dapat mengatasi invasi mikroorganisme maka imunitas spesifik akan terangsang. **Mekanisme pertahanan spesifik** adalah mekanisme pertahanan yang diperankan oleh sel limfosit, dengan atau tanpa bantuan komponen sistem imun lainnya seperti sel makrofag dan komplemen.

Pertahanan spesifik merupakan sistem kompleks yang memberikan respons

imun terhadap antigen yang spesifik. Antigen spesifik contohnya bakteri, virus, toksin atau zat lain yang dianggap asing. Pertahanan spesifik mampu mengenal benda asing bagi dirinya dan memiliki memori (kemampuan mengingat kembali) terhadap kontak sebelumnya dengan suatu agen tertentu. Benda asing yang pertama kali terpajan dalam tubuh segera dikenaldan menimbulkan sensitisasi (kontak pertama kali), sehingga jika antigen yang sama masuk kedalam tubuh untukkeduakalinya. Maka akan segera dikenal dan dihancurkan lebih cepat.

Pertahanan spesifik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu **imunitas yang diperantarai antibodi** dan **imunitas yang diperantarai oleh sel**. Imunitas yang diperantarai oleh antibodi disebut **imunitas humoral** yang melibatkan pembentukan antibodi oleh selplasma (turunan limfosit B), sementara itu, imunitas seluler melibatkan pembentukan limfosit T aktif yang secara langsung menyerang antigen.

1. Komponen Respon Imunitas Spesifik

Respons imunitas spesifik melibatkan dua komponen yaitu antigen dan antibodi.

a) Antigen

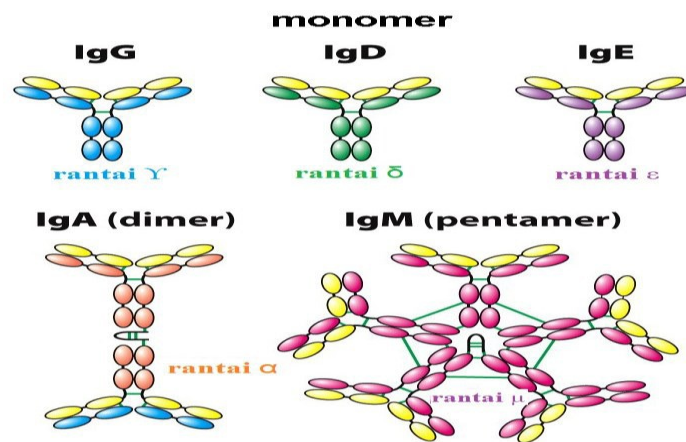
Antigen merupakan substansi asing yang masuk ke dalam tubuh dan berfungsi merangsang respons imunitas terutama dalam menghasilkan antibodi. Antigen meliputi molekul yang dimiliki virus, bakteri, fungi, protozoa, dan cacing parasit. Apabila antigen tersebut masuk ke dalam tubuh, secara otomatis tubuh meningkatkan system pertahanannya. Pada umumnya antigen berupa zat dengan berat molekul besar dan kompleks, seperti protein dan polisakarida. Permukaan bakteri mengandung banyak protein dan polisakaria yang bersifat antigen, sehingga antigen dapat berupa bakteri, virus, protein, karbohidrat, sel-sel kanker atau racun. Antigen memiliki bagian-bagian sebagai berikut:

- **Determinan antigen (epitop)**, bagian antigen yang dapat membangkitkan respons imunitas (dapat menginduksi pembentukan antibodi). Suatu antigen dapat memiliki dua atau lebih molekul determinan antigen.
- **Hapten**, molekul kecil yang jika sendirian tidak dapat menginduksi produksi antibodi. Namun, hapten akan bersifat imunogenik (mampu menginduksi produksi antibodi) jika bergabung dengan carrier yang bermolekul besar. Contohnya, penisilin akan memicu respons imunitas jika bergabung dengan protein serum.

b) Antibodi

Antibodi merupakan sistem pertahanan yang dilakukan untuk merespon keberadaan suatu antigen atau melawan serangan-serangan dari organisme dan substansi asing dan kemudian akan bereaksi dengan antigen tersebut dengan cara dengan memproduksi suatu zat sejenis protein atau polisakarid. Antibodi tersusun atas protein plasma. Pada umumnya, antibodi terletak dan melekat pada permukaan sel. Namun, apabila tidak melekat, antibodi berada dalam darah dan dalam sekresi jaringan eksokrin. Awalnya, antibodi ditemukan pada serum darah, yakni cairan darah yang dipisahkan dari sel-selnya. Oleh karena itu, banyak penyakit yang dapat didiagnosis dengan keberadaan antibodi khusus dalam serum. Antibodi merupakan protein plasma yang disebut **Imunoglobulin (Ig)**. Terdapat 5 macam Imunoglobulin didalam tubuh (Gambar 100), yaitu :

- **Imunoglobulin A (IgA)**, berfungsi untuk melawan mikroorganisme yang masuk ke dalam tubuh. IgA berjumlah sekitar 15% dari semua antibodi dalam serum darah serta dapat ditemukan dalam zat eksresi seperti keringat, ludah, air mata, ASI, pernafasan dan sekresi usus.
- **Imunoglobulin D (IgD)**, berfungsi membantu memicu respon imunitas . IgD banyak ditemukan dalam limfosit B. IgD dalam serum darah dan limfa berjumlah relative sedikit.
- **Imunoglobulin E (IgE)**, terikat pada reseptor sel mast dan basofil. IgE menyebabkan pelepasan histamine dan mediator kimia lainnya. IgE dapat ditemukan dalam darah dengan konsentrasi yang rendah. Namun, kadarnya akan meningkat selama reaksi alergi dan pada penyakit parasitik tertentu.
- **Imunoglobulin G (IgG)**, berjumlah paling banyak 80% dari keseluruhan antibodi yang bersirkulasi. IgG dapat menembus plasenta dan memberikan imunitas pada bayi yang baru lahir.
- **Imunoglobulin M (IgM)**, antibodi yang pertama kali tiba dilokasi infeksi. IgM menetap didalam pembuluh darah dan tidak masuk ke jaringan. IgM berumur relative pendek dan berfungsi mengaktivasi komplemen dan memperbanyak fagositosis. Untuk melihat bentuk dari ke lima tipe Imunoglobulin, kalian bisa perhatikan gambar 78 dibawah ini!



Gambar 78. Bentuk Immunoglobulin

Sumber: <https://www.dictio.id/t/apa-fungsi-antibodi/6330>

Tabel 7 Macam antibodi dan fungsinya

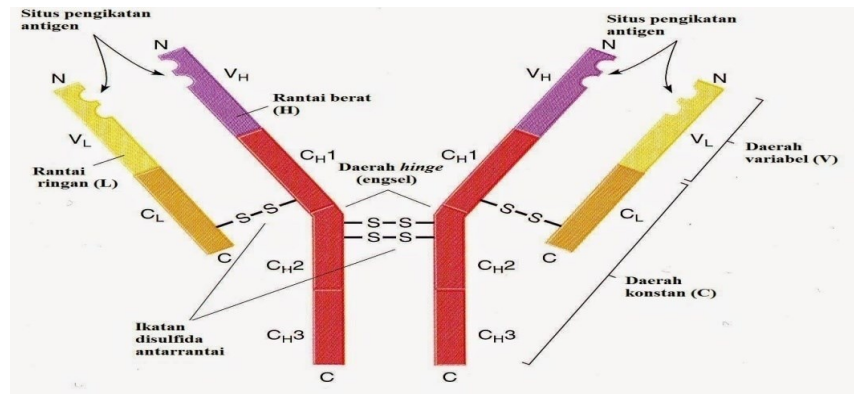
Macam antibodi	Fungsi
IGM	Aglutinası, mengaktifkan protein komplemen, merangsang fagositosis mikroba oleh makrofaga.
IgG	Mengaktifkan protein komplemen dan makrofaga, memelihara janin (fetus) dari serangan penyakit.
IgA	Mengikat mikroba (pada daerah permukaan saluran pernapasan dan saluran makanan), mencegah mikroba masuk ke tubuh, mengeluarkan mikroba dari dalam tubuh bersama nukleus dan sekresi lainnya.
IgE	Proteksi terhadap serangan parasit dan bersama IgG mengikat serta mengusir antigen alergi.
IgD	Mengaktifkan sel B.

1. Struktur Antibodi

Pada umumnya, molekul antibodi berbentuk seperti huruf Y (Gambar 101), yang terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut.

- Dua rantai berat dan dua rantai ringan yang dihubungkan oleh jembatan disulfida.
- Daerah variabel (V) antarmolekul memiliki rangkaian asam amino yang berbeda dan membentuk suatu reseptor untuk antigen spesifik.

- Daerah konstan (C) menstabilkan sisi pengikat antigen.
- Daerah *hinge* (engsel) memungkinkan kedua lengan Y dapat membuka atau menutup untuk mengakomodasi pengikat terhadap dua determinan antigen yang terpisah pada jarak tertentu seperti yang ditemukan pada permukaan bakteri.



Gambar 79. Struktur Antibodi

Sumber: <https://mtspantar.files.wordpress.com/2017/05/0901a-3.jpg>

2. Interaksi Antibodi dan Antigen

Cara kerja antibodi dalam mengikat antigen ada empat macam (Gambar 102). Prinsipnya adalah terjadi pengikatan antigen oleh antibodi, yang selanjutnya antigen yang telah diikat antibodi akan dimakan oleh sel makrofag. Berikut ini adalah cara pengikatan antigen oleh antibodi.

a. Fiksasi komplemen (aktivitas sistem komplemen)

Fiksasi komplemen yaitu aktivasi sistem komplemen oleh kompleks antigen-antibodi. Pada saat terjadi infeksi, protein pertama dalam rangkaian protein komplemen diaktifkan, selanjutnya memicu serangkaian aktivasi protein komplemen berikutnya (jalur berantai atau *cascade*). Hasil dari rangkaian reaksi komplemen tersebut menyebabkan lisisnya banyak jenis virus dan sel-sel patogen. Penghancuran sel-sel patogen oleh komplemen yang dipicu oleh pengikatan antibodi-antigen disebut **jalur klasik**. Efek dari fiksasi komplemen, yaitu sebagai berikut:

- **Opsonisasi.** Partikel antigen diselubungi antibodi atau komponen-komplemen yang dapat meningkatkan pertautan makrofag ke mikroorganisme sehingga memfasilitasi dan meningkatkan fagositosis.

- **Sitolisis.** Kombinasi dari faktor-faktor komplemen dapat menghancurkan lapisan polisakarida dinding sel patogen sehingga terbentuk lubang-lubang pada membran sel, yang menyebabkan lisozim dapat masuk, sitoplasma keluar, dan sel patogen akan hancur (lisis).
- **Inflamasi.** Produk komplemen berkontribusi dalam inflamasi akut melalui aktivasi sel tiang, basofil, dan trombosit darah.

b. Netralisasi

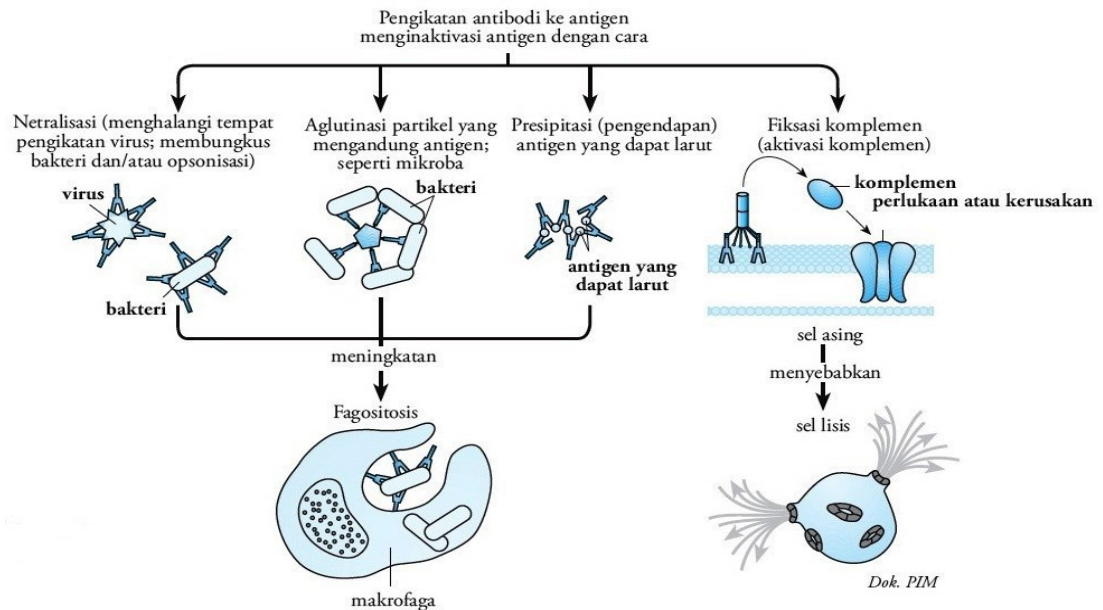
Antibodi menonaktifkan antigen dengan cara memblok bagian tertentu antigen. Antibodi juga menetralkan virus dengan cara mengikat bagian tertentu virus pada sel inang. Dengan terjadinya netralisasi maka efek merugikan dari antigen atau toksik dari patogen dapat dikurangi.

c. Aglutinasi (Penggumpalan)

Penggumpalan partikel-partikel antigen dapat dilakukan karena struktur antibodi yang memungkinkan untuk melakukan pengikatan lebih dari satu antigen. Molekul antibodi memiliki sedikitnya dua tempat pengikatan antigen yang dapat bergabung dengan antigen- antigen yang berdekatan. Gumpalan atau kumpulan bakteri akan memudahkan sel fagositik (makrofag) untuk menangkap dan memakan bakteri secara cepat.

d. Presipitasi (Pengendapan)

Prinsip pengendapan hampir sama dengan penggumpalan, tetapi pada pengendapan antigen yang dituju berupa antigen yang larut. Pengikatan antigen-antigen tersebut membuatnya dapat diendapkan, sehingga sel-sel makrofag mudah dalam menangkapnya.



Gambar 80. Mekanisme Pengikatan antibodi ke antigen

Sumber: <http://www.nafiun.com/2012/12/pembentukan-antigen-dan-antibodi-mekanisme-proses.html>

Sel-sel yang Terlibat dalam Respons Imunitas

Terdapat empat jenis sel yang berperan penting dalam imunitas, yaitu sel B (Limfosit B, sel T (limfosit T), makrofaga dan sel pembunuh alami (NK=*Natural Killer*).

1. Sel B (limfosit B, B = *bone marrow*)

Limfosit yang berfungsi membentuk antibodi untuk melawan antigen.

- Sel B matang terdapat pada organ limfa seperti limfa, nodus limfa, tonsil dan bercak peyer saluran pencernaan. Saat sel B teraktivasi oleh antigen, sel B akan terdiferensiasi menjadi **sel plasma**, selanjutnya sel plasma memproduksi molekul antibodi.
- Sel memori B adalah sel yang berasal dari pecahan limfosit B yang teraktivasi dan tidak terdiferensiasi. Sel memori B menetap pada jaringan limfoid dan berfungsi dalam **respons imunitas sekunder** (merespon antigen perangsang pada perjalanan selanjutnya).

2. Sel T (limfosit T, T=Timus)

Sel darah putih limfosit yang mampu mengenali dan membedakan jenis antigen atau pathogen spesifik. Jika terdapat antigen, maka sejumlah sel T teraktivasi menjadi sel memori yang mampu berproliferasi dengan cepat untuk melawan infeksi yang mungkin terulang kembali. Sel T tidak memproduksi antibodi.

- Sel T memproduksi **limfokin** (zat aktif imunologis), yang berfungsi untuk membantu limfosit B mengenali antigen dan meningkatkan aktivasi makrofag memfagosit antigen.
- Saat pengenalan antigen asing, sel T berdiferensiasi menjadi **sel T memori** dan sel **T efektor**. sel T efektor ada tiga jenis, yaitu :
 - a) Sel T sitotoksik** (sel T pembunuh, CTL= *cytotoxic T lymphocytes*), untuk mengenali dan menghancurkan sel yang memperlihatkan antigen asing pada permukaannya. Sel ini juga dapat mengenali antigen **MHC (major histocompatibility complex) kelas I** yang dapat ditemukan pada semua permukaan sel berinti.
 - b) Sel T penolong** (helper), tidak berperan langsung dalam pembunuhan sel, tetapi berfungsi mengenali antigen **MHC kelas II** yang menelan antigen asing, seperti sel B dan makrofag.
 - c) Sel T supresor**, setelah diaktivasi oleh sel T penolong akan menelan sel B dan sel T.

3. Makrofag (*macros* = pemakan besar)

Makrofag merupakan sel fagosit besar dalam jaringan, berasal dari perkembangan sel darah putih monosit yang diproduksi di sumsum tulang belakang dan berfungsi menelan antigen atau bakteri untuk dihancurkan secara enzimatik. Makrofag mencerna antigen untuk menghasilkan fragmen determinan antigen, selanjutnya meletakkan fragmen tersebut pada permukaan selnya sehingga terjadi kontak dengan limfosit T dan mengaktifkan limfosit B.

4. Sel Pembunuh Alami (NK = *natural killer*)

Sel pembunuh alami merupakan sekumpulan limfosit non T dan non B yang bersifat sitotoksik. Sel ini tidak perlu berinteraksi dengan antigen atau limfosit untuk menghancurkan sel tertentu. Sel ini berperan untuk menghancurkan sel-sel kanker pada lokasi primer (metastatis), virus, jamur dan parasit lainnya.

Tabel 8 Perbedaan Pertahanan Nonspesifik (Alamiah) Dengan Pertahanan Spesifik

No.	Objek Pembeda	Pertahanan Nonspesifi	Pertahanan Spesifik
1.	Mekanisme kerja	Cepat	Lebih lambat
2.	Waktu respons	Menit hingga jam, selalu siap	Dalam hitungan hari, tidak siap sampai
3.	Pajanan (kontak dengan antigen)perlu	Tidak	Harus ada pajanan sebelumnya
4.	Respons memori	Tidak ada	Memori menetap, respons lebih baik pada infeksi serupa berikutnya
5.	Resistensi	Tidak berubah oleh infeksi	Membaik oleh infeksi berulang (memori)
6.	Sasaran reaksi	Pada umumnya efektif terhadap semua	Spesifik
7.	Protein darah	Komplemen	Limfosit
8.	Komponen cairan darah	Banyak peptid e antimikroba	Antibodi

D. Rangkuman

- Gerak pada tumbuhan dihasilkan sebagai respon tumbuhan terhadap sejumlah rangsangan dari dalam atau dari lingkungannya,
- Berdasarkan arah rangsangannya, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi tiga, yaitu: gerak Higroskopis, gerak etionom, dan gerak endonom (autonom).
- Gerak Higroskopis disebabkan oleh perbedaan kadar air. Gerak etionom merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari luar. Sedangkan gerak endonom (autonom) merupakan

reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari dalam atau dari tumbuhan itu sendiri.

- Jenis perilaku yang terdapat pada hewan ada dua macam, yaitu: perilaku bawaan (Innate Behaviour) merupakan perilaku yang dikendalikan secara genetik. Perilaku hasil pembelajaran (Learned Behaviour) merupakan perilaku hasil pembelajaran berdasarkan pengalaman yang didapatkan organisme dan menghasilkan perubahan perilaku. Adapun jenis-jenis dari perilaku bawaan yaitu taksis, refleksi, dan naluri. Jenis-jenis perilaku hasil pembelajaran meliputi imprinting, habituation, classical conditioning, instrumental conditioning, trial and error, reasoning.
- Sistem pertahanan tubuh (sistem imunitas) adalah sistem pertahanan yang berperan dalam mengenal, menghancurkan, serta menetralkan benda-benda asing atau sel-sel abnormal yang berpotensi merugikan bagi tubuh. Sistem pertahanan tubuh atau sistem imunitas merupakan sistem perlindungan pengaruh luar biologis yang dilakukan oleh sel dan organ khusus pada suatu organisme.
- Kemampuan bagi tubuh untuk menahan atau menghilangkan benda asing serta sel-sel abnormal disebut imunitas (kekebalan).
- Mekanisme pertahanan tubuh terjadi karena masuknya patogen atau antigen ke dalam tubuh dan tubuh akan melakukan respon meliputi produksi sel-sel atau zat kimia yang berfungsi untuk mempertahankan tubuh melawan pathogen
- Tubuh manusia memiliki dua macam respon atau mekanisme pertahanan tubuh, yaitu pertahanan nonspesifik (alamiah) dan pertahanan spesifik (adaktif).
- Pertahanan tubuh tidak spesifik terdiri atas pertahanan eksternal dan pertahanan internal. Pertahanan eksternal merupakan pertahanan tubuh sebelum mikroorganisme atau zat asing memasuki jaringan tubuh. Contohnya kulit dan membrane mukosa pada beberapa organ.
- Pertahanan internal merupakan pertahanan tubuh yang terjadi di dalam jaringan tubuh setelah mikroorganisme atau zat asing masuk ke dalam tubuh. Contohnya fagositosis dan respon peradangan.
- Pertahanan spesifik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu imunitas yang diperantarai antibodi dan imunitas yang diperantarai oleh sel. Imunitas

yang diperantarai oleh antibodi disebut imunitas humoral yang melibatkan pembentukan antibodi oleh selplasma (turunan limfosit B), sementara itu, imunitas seluler melibatkan pembentukan limfosit T aktif yang secara langsung menyerang antigen.

Pembelajaran 6: Pertumbuhan dan Perkembangan Makhluk Hidup

Sumber: Modul PPG (Pendidikan Profesi Guru)
Modul 3, Kegiatan Belajar 3. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan
Perkembangan
Penulis: Dr Martina Restuati, M. Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan, kompetensi yang diharapkan dikuasai peserta adalah:

1. Memahami faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.
2. Memahami faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hewan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan berikut ini.

1. Menjelaskan faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.
2. Menjelaskan faktor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.
3. Menjelaskan faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hewan.
4. Menjelaskan faktor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hewan.

C. Uraian Materi

1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tanaman

Sama halnya dengan semua organisme, pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan diatur oleh kombinasi faktor genetik dan pengaruh lingkungan. Hal ini berkenaan dengan karakteristik tumbuhan yaitu: 1) memiliki kemampuan merespon sejumlah sinyal dari lingkungan seperti fotoperiode, perubahan suhu, dan kelembaban; 2) memproduksi zat kimia pengatur tumbuh tumbuhan (hormon) sebagai mediator sinyal dari lingkungan; 3) memiliki kode gen enzim yang mengkatalis reaksi kimia untuk pertumbuhan dan perkembangan.

a) Faktor Dalam (Internal)

Faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan mencakup faktor genetik, epigenetik dan zat pengatur tumbuh.

1. Faktor genetik

Setiap tumbuhan terdiri dari miliaran sel. Dalam setiap sel terdapat satu set lengkap semua gen yang membentuk kode instruksi untuk suatu organisme. Kode gen tersebut berperan dalam menentukan fungsi dan sifat dari tumbuhan. Sebagai contoh, penemuan penting dari para ilmuwan tentang gen pada tumbuhan adalah gen yang terlibat dalam pembungaan pada tanaman.

Gen merupakan unit pewarisan sifat bagi organisme hidup. Bentuk fisiknya adalah urutan DNA penyandi protein, polipeptida atau seuntai DNA yang memiliki fungsi bagi organisme yang memilikinya. Pembahasan lebih dalam tentang gen akan Anda dapatkan pada modul 5. Gen merupakan faktor internal yang paling mendasar karena setiap makhluk hidup tentu saja memiliki gen yang berbeda. Sebagaimana telah Anda pelajari pada modul 1, keanekaragaman gen menghasilkan variasi seluruh sifat dari morfologi hingga seluruh proses fisiologi. Perbedaan variasi pengendali dasar sifat tumbuhan ini tentu mempengaruhi bagaimana pertumbuhan dan perkembangan suatu organisme.

2. Epigenetik

Penelitian pada sel menunjukkan, tidak hanya gen yang mempengaruhi ciri-ciri dan fungsi dari suatu organisme, tetapi juga “Epigenetik” atau faktor non-gen. Faktor-faktor epigenetik adalah suatu fitur dalam sel yang dapat diwariskan

ketika sel membelah tetapi mereka tidak merubah gen itu sendiri. Namun faktor epigenetik dapat memodifikasi perilaku gen. Faktor epigenetik memiliki peran penting dalam perkembangan tumbuhan. Epigenetik merupakan dasar untuk mengungkap seluk-beluk tentang bagaimana gen dan organisme bekerja. Faktor epigenetik yang dapat mempengaruhi perilaku gen meliputi: 1) Struktur kromatin “bagaimana posisi atau susunan DNA dalam kromatin”; 2) Metilasi DNA “mengubah gen off – on”; 3) Small RNA - terbuat dari DNA dan bisa mempengaruhi perilaku gen melalui berbagai cara.

3. Zat Pengatur Tumbuh (Hormon)

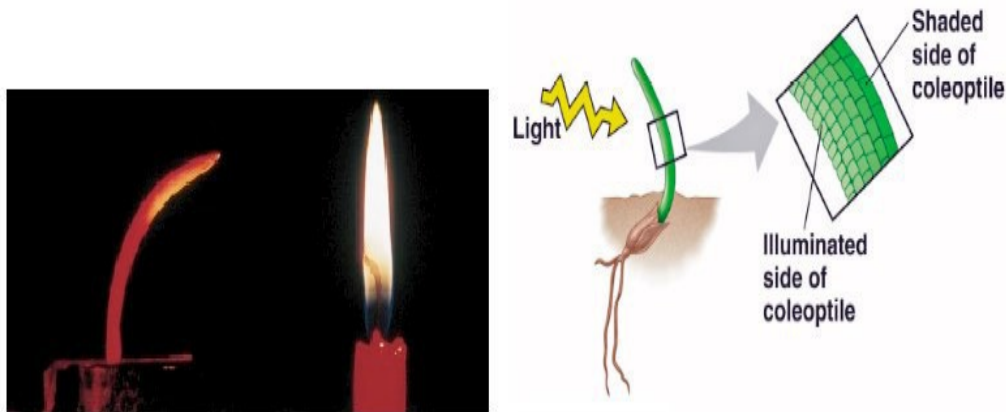
Telah Anda ketahui bahwa hormon merupakan zat kimia yang diproduksi oleh tumbuhan yang berperan dalam pola pertumbuhan dan pemeliharaan tumbuhan. Zat pengatur pertumbuhan mengendalikan kegiatan dengan mengirimkan sinyal kimia ke sel untuk melakukan sesuatu atau untuk tidak melakukan sesuatu, termasuk mengaktifkan gen yang mengkode enzim tertentu atau justru menghalangi transkripsi gen.

Pada kebanyakan kasus, hormon tumbuhan memiliki efek pada tumbuhan tergantung pada lokasi dan konsentrasi relatif hormon terhadap hormon lain dalam jaringan. Hormon tumbuhan bekerja dalam hubungannya dengan satu sama lain, dan memiliki efek yang saling mempengaruhi. Hormon juga bekerja karena ada pengaruh lingkungan (Taiz & Zeiger, 2006). Hormon tumbuhan, seperti halnya pada hewan, bekerja dalam konsentrasi yang sangat kecil. Akan tetapi tidak seperti hormon hewan yang bekerja sangat spesifik, satu jenis hormon tumbuhan dapat menghasilkan efek yang berbeda. Hormon-hormon tumbuhan yang telah dikenal pada saat ini meliputi auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, kalin, etilen, dan asam traumalin.

1. Auksin

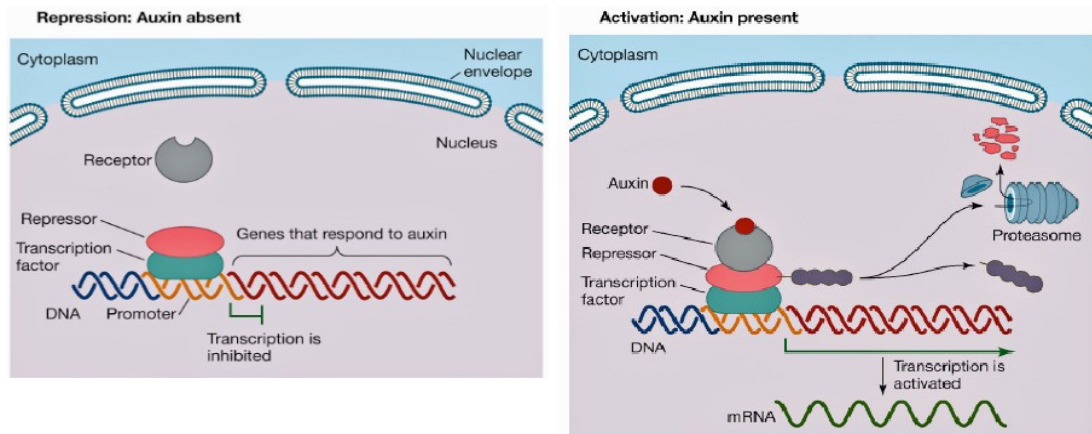
Hormon ini ditemukan pada titik tumbuh batang dan selubung daun pertama tanaman monokotil yang disebut koleoptil, ujung akar, serta jaringan yang masih bersifat meristematis. Konsep sinyal kimia pada tumbuhan dikemukakan pada tahun 1880 oleh Charles Darwin dan putranya Francis yang melihat fenomena fototropisme pada rumput. Tunas tumbuhan yang bersifat fototropis positif, ketika kecambah diterangi dari samping, tunas akan membelok ke arah cahaya. Menariknya, dalam penelitian mereka menemukan, jika koleoptil dari kecambah

gandum dihapus, tumbuhan tidak lagi melengkung menuju cahaya. Mereka melakukan sejumlah eksperimen dan menemukan bahwa suatu bahan kimia yang terletak di koleoptil berpindah ke daerah elongasi dan terjadi perbedaan pemanjangan dengan sel yang jauh dari sumber cahaya (Gambar 81).



Gambar 81. Pembengkokan arah pertumbuhan menuju cahaya (fototropisme) dipengaruhi oleh auksin. (sumber: Taiz & Zeiger, 2006)

Ditinjau secara kimia, auksin adalah asam indolasetat (IAA), yang disintesis dari indole atau triptofan, meskipun ada sejumlah auksin sintetik. Auksin memicu pertumbuhan pada konsentrasi 10^{-3} hingga 10^{-8} molar (Taiz & Zeiger, 2006). Gen-gen yang mengontrol aktifitas sel secara normal dikontrol oleh auksin (Gambar 90). Auksin berikatan dengan represor, yang mengaktifkan ubiquitin dan membentuk kompleks auksin-represor, selanjutnya kompleks dibawa ke proteasome dan mengalami degradasi. Setelah represor dihapus, terbentuk gen transkripsi untuk aktifitas tertentu sesuai yang diharapkan.



Gambar 82. Mekanisme auksin mempengaruhi gen (sumber: Taiz & Zeiger, 2006)

Auksin berperan dalam berbagai macam kegiatan tumbuhan diantaranya adalah:

1. Auksin memicu pemanjangan dan pembesaran sel.

Auksin berperan dalam mengaktifasi enzim yang melonggarkan ikatan serabut selulosa dinding sel sehingga sel dapat memanjang.

2. Dominansi apikal

Auksin diproduksi pada tunas apikal cenderung menghambat aktivasi tunas pada batang yang lebih rendah. Hal ini dikenal sebagai dominansi apikal. Auksin merangsang sintesis strigolaktone, hormon yang menekan pertumbuhan tunas lateral. Efek ini berkurang sesuai dengan jarak sel dari tunas pucuk.

3. Auksin terlibat dalam respon tropisme.

Fototropisme dan geotropisme, mempengaruhi hasil dari perpanjangan yang tidak sama yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi auksin dalam pemanjangan sel.

4. Auksin merangsang pertumbuhan sekunder.

Auksin menstimulasi sel kambium untuk membelah dan xilem sekunder agar terdiferensiasi. Selain itu penutupan luka jaringan diketahui dipicu oleh auksin ketika ada bagian ikatan pembuluh yang rusak.

5. Pembentukan akar adventif dan lateral

Auksin merangsang pembentukan akar yang tumbuh dari batang atau daun pada banyak spesies.

2. Giberelin

Giberelin pertama kali ditemukan di Jepang pada 1930 dari kajian terhadap tanaman padi yang sakit. Padi yang terserang jamur *Gibberella fujikuroi* tersebut tumbuh terlalu tinggi. Para ilmuwan Jepang mengisolasi zat dari biakan jamur tersebut. Zat ini dinamakan giberelin. Bentuk-bentuk giberelin diantaranya adalah GA3, GA1, GA4, GA5, GA19, GA20, GA37, dan GA38. Giberelin diproduksi oleh jamur dan tumbuhan tinggi. Giberelin disintesis di hampir semua bagian tanaman, seperti biji, daunmuda, dan akar.

Giberelin seperti halnya auksin memegang peranan penting dalam pertumbuhan batang menjadi terlalu panjang. Sebaris jagung kerdil dapat dibuat supaya tumbuh seperti jagung biasa dengan memberinya giberelin berkali-kali. Anehnya, pertumbuhan jagung biasa tidak dapat ditingkatkan dengan giberelin. Giberelin memiliki beberapa peranan, antara lain:

1. Memacu perpanjangan secara abnormal batang utuh.
2. Perkecambahan biji dan mobilisasi cadangan makanan dari endosperma untuk pertumbuhan embrio.
3. Perkembangan bunga dan buah.
4. Menghilangkan sifat kerdil secara genetik pada tumbuhan.
5. Merangsang pembelahan dan pemanjangan sel

3. Sitokinin

Sitokinin merupakan hormon tumbuh yang terdapat pada tubuh tumbuhan. Sitokinin dibentuk pada sistem perakaran. Kinetin merupakan sitokinin sintetik yang pertama ditemukan oleh Carlos Miller pada ikan kering. Setelah itu ditemukan senyawa sitokinin yang lain dalam endosperma cair jagung, yaitu zeatin. Sitokinin sintetik lainnya adalah BAP (6-benzilaminopurin) dan 2-ip.

Fungsi sitokinin adalah sebagai berikut:

1. Merangsang proses pembelahan sel.
2. Menunda pengguguran daun, bunga, dan buah.
3. Mempengaruhi pertumbuhan tunas dan akar.
4. Meningkatkan daya resistensi terhadap pengaruh yang merugikan, seperti suhu yang rendah, infeksi virus, pembunuh gulma dan radiasi.
5. Menghambat menguningnya daun dengan jalan membuat kandungan protein dan klorofil yang seimbang dalam daun (senescens).

4. Gas etilen

Tumbuh-tumbuhan menghasilkan gas etilen untuk merespons terhadap adanya stres (tekanan), seperti kekeringan, kebanjiran, tekanan kimia, luka dan infeksi. Etilen juga dihasilkan pada saat pemasakan buah atau untuk merespons terhadap peningkatan kadar auksin yang terlalu tinggi. Secara komersial, etilen dimanfaatkan untuk mempercepat pematangan buah.

Gas etilen juga menyebabkan pertumbuhan batang menjadi tebal dan kokoh. Di samping itu, bersama hormon lain akan menimbulkan reaksi yang karakteristik. Bersama auksin, gas etilen dapat memacu perbungaan mangga dan nanas. Bersama giberelin, gas etilen dapat mengatur perbandingan bunga jantan dan bunga betina pada tumbuhan berumah satu.

5. Asam absisat (ABA)

Hormon asam absisat (Abscisic acid) adalah hormon yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (inhibitor) yaitu bekerja berlawanan dengan hormon auksin dan giberelin dengan jalan mengurangi atau memperlambat kecepatan pembelahan dan pembesaran sel. Hormon asam absisat pertama kali ditemukan pada tahun 1960 dari sekelompok peneliti yaitu Davies dan kawan-kawan yang mempelajari perubahan pada senyawa kimia yang menyebabkan terjadinya dormansi pada kuncup, dan perubahan kimia saat daun-daun gugur. Hormon ini berfungsi untuk:

1. Mempertahankan masa dormansi, sehingga menghambat perkecambahan biji.
2. Mempertahankan diri jika tumbuhan berada pada lingkungan yang tidak sesuai antara lain saat kekurangan air, tanahnya bergaram, dan suhu dingin atau suhu panas.
3. Merangsang penutupan mulut daun (stomata) sehingga mengurangi penguapan.
4. Berperan dalam pembentukan zona absisi, sehingga menyebabkan pengguguran daun, bunga, dan buah.

Asam absisat akan aktif pada saat tumbuhan berada pada kondisi yang kurang baik, seperti pada musim dingin, musim kering, dan musim gugur. Mengapa asam absisat justru berperan pada saat tanaman berada dalam kondisi yang kurang baik? Pada saat tumbuhan mengalami kondisi yang kurang baik,

misalnya ketika kekurangan air di musim kering, maka tumbuhan tersebut mengalami dormansi yaitu daun-daunnya akan digugurkan dan yang tertinggal adalah tunas-tunasnya. Dalam keadaan demikian asam absisat terkumpul/terakumulasi pada tunas yang terletak pada sel penutup stomata, hal ini menyebabkan stomata menutup, sehingga penguapan air berkurang dan keseimbangan air di dalam tubuh tumbuhan terpelihara sehingga pertumbuhan tunasnya terhambat yang disebabkan melambatnya kecepatan pembelahan dan pembesaran sel-sel tunasnya.

6. Kalin

Kalin adalah hormon yang dapat merangsang pembentukan organ tubuh. Berdasarkan organ tumbuhan yang dibentuk, kalin dibedakan menjadi: (a) Kaulokalin, adalah hormon yang memiliki fungsi dalam merangsang proses pembentukan batang. (b) Rizokalin, adalah hormon yang berfungsi dalam merangsang pembentukan akar. (c) Filokalin, adalah hormon yang berfungsi merangsang dalam pembentukan daun. (d) Antokalin, adalah hormon yang merangsang pembentukan bunga.

7. Asam traumalin

Tanaman mampu memperbaiki kerusakan atau luka yang terjadi pada tubuhnya. Kemampuan tersebut dinamakan regenerasi (restitusi) yang dipengaruhi oleh hormon luka (asam traumalin). Hormon asam traumalin pertama kali dipelajari oleh Haberland dimana pada percobaan yang dilakukan dari jaringan tanaman yang dilukai lalu dicuci bersih, ternyata bekas bidang luka tidak membentuk jaringan baru, sedangkan pada jaringan luka yang dibiarkan terbentuk jaringan baru di dekat luka.

Peristiwa penutupan luka ini hanya terjadi pada tumbuhan dikotil. Pada tumbuhan monokotil tidak terjadi penutupan luka jika batang tumbuhan terluka. Coba perhatikan batang pohon kelapa yang sengaja dilukai saat membuat panjatan sebagai pegangan kaki, jaringan yang terluka tidak pernah tertutup kembali.

b) Faktor Luar (Eksternal)

Pernahkah Anda berpikir, mengapa petani-petani melakukan pengolahan tanah, merawat tanaman dengan pemupukan, pengairan, mencabuti tanaman gulma dan penyemprotan hama/penyakit? Kegiatan tersebut dilakukan agar tanaman itu dapat tumbuh dengan subur, sehingga dapat memberikan hasil yang optimal. Perlu Anda ketahui bahwa suatu tanaman dalam proses pertumbuhannya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal.

Faktor eksternal merupakan sesuatu yang mempengaruhi pertumbuhan dan sumbernya berasal dari lingkungan. Faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, antara lain sebagai berikut.

1. Nutrisi

Ilmu nutrisi tanaman telah diterapkan sejak 160 tahun yang lalu berdasar eksperimen klasik Liebig, Lauwes, dan Gilbert. Ada banyak unsur yang diperlukan oleh tumbuhan. Seperti halnya makhluk hidup yang lain, tumbuhan memerlukan nutrisi atau makanan untuk hidupnya. Tumbuhan hijau mengambil nutrisi dari udara, air, dan dari dalam media tumbuhnya. Misalnya dari dalam tanah, nutrisi diambil dalam bentuk ion. Unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang banyak disebut unsur makro (makronutrien) dan yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit disebut unsur mikro (mikronutrien). Sumber-sumber nutrisi bagi tumbuhan berupa zat-zat organik dan zat-zat anorganik. Perbaikan kesuburan tanah secara alami dengan pemupukan, baik menggunakan pupuk alami maupun pupuk buatan banyak dilakukan oleh para petani.

Disamping penambahan zat-zat organik dan zat-zat anorganik, nutrisi yang ada dalam tanah berasal dari hasil pelapukan mineral anorganik dan hasil biodegradasi bahan organik. Unsur-unsur yang telah tersedia dalam media tanam (misalnya tanah) tidak segera dapat dipergunakan oleh tumbuhan apabila faktor-faktor lain tidak terpenuhi, misalnya adanya mikroba dalam tanah. Unsur makro terdiri dari: C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen), S (sulfur), P (fosfor), K (kalium), Mg (magnesium), dan Ca (kalsium). Unsur mikro terdiri dari: Cl (klor), Fe (besi), B (boron), Mn (mangan), Zn (seng), Co (koper), dan Mo (molibdeum). Tumbuhan yang kekurangan nutrisi padamedia tanamnya akan mengalami defisiensi. Apabila hal ini terjadi, maka pertumbuhan dan perkembangannya tidak sempurna.

Tabel 9 Fungsi nutrisi pada tumbuhan dan penyakit akibat kekurangan unsur makro

Unsur Makro	Fungsi	Penyakit Akibat
Karbon (C) Oksigen (O) Hidrogen (H)	Bahan dasar untuk fotosintesis	Pertumbuhan terhambat, metabolisme terhambat, dan tumbuhan akan mati
Nitrogen (N)	Komponen protein, asam nukleat, koenzim, dan klorofil	Pertumbuhan terhambat, daun yang muda berwarna hijau pucat, dan daun-daun yang tua berwarna kuning serta gugur (penyakit ini disebut klorosis)
Sulfur (S)	Komponen sebagian kecil asam amino	Daun berwarna hijau pucat atau terhambat kekuningan dan pertumbuhan
Kalium (K)	Mengaktifkan enzim, mengatur keseimbangan kelarutan air, dan mempengaruhi osmosis	Pertumbuhan lambat, daun-daun yang tua menggulung, terdapat bercak-bercak, tepi daun hangus, dan tumbuhan menjadi lemah/mudah roboh
Kalsium (Ca)	Mengatur beberapa fungsi sel dan menguatkan dinding sel	Daun-daun tidak terbentuk, tunas ujung mati dan pertumbuhan akar terhambat
Fosfor (P)	Komponen asam nukleat, fosfolipid, dan ATP	Berkas pembuluh berwarna keunguan, pertumbuhan terhambat, buah dan biji yang dihasilkan lebih sedikit
Magnesium (Mg)	Komponen klorofil dan mengaktifkan beberapa enzim	Klorosis dan daun-daun berguguran, pembelahan sel terganggu

Tabel 10 Fungsi nutrisi pada tumbuhan dan penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan unsur mikro

Unsur Makro	Fungsi	Penyakit Akibat
Klor (Cl)	Mengatur pertumbuhan akar dan batang, serta mengatur fotolisis	Layu, klorosis, dan beberapa daun mati
Besi (Fe)	Mengatur sintesis protein dan transpor elektron	Klorosis, dan terbentuk jalur-jalur berwarna kuning serta hijau pada
Boron (B)	Mengatur perkecambahan, pembungaan, pembuahan, pembelahan sel, dan metabolisme nitrogen	Pertumbuhan tunas terhenti, cabang-cabang lateral mati, daun menebal dan keriting serta menjadi rapuh
Mangan (Mn)	Sintesis klorofil dan pengaktifan koenzim	Berkas pembuluh berwarna gelap, tetapi warna daun memutih dan
Seng (Zn)	Mengatur pembentukan auksin, kloroplas, dan amilum, serta komponen enzim	Klorosis, daun berwarna merah tua dan akar abnormal
Tembaga (Cu)	Komponen beberapa enzim	Klorosis, bintik-bintik pada daun yang sudah mati, dan pertumbuhan terhambat
Molibdenum (Mo)	Bagian dari enzim yang digunakan dalam metabolisme nitrogen	Daun hijau pucat dan menggulung

2. Air

Air diperlukan tumbuhan dalam berbagai proses fisiologis. Tanpa air yang cukup tumbuhan akan mengalami banyak gangguan. Fungsi air bagi tumbuhan adalah sebagai berikut.

- Pelarut zat-zat yang diperlukan oleh tumbuhan.
- Bahan dasar untuk reaksi biokimia.
- Sebagai medium berlangsungnya reaksi metabolisme.
- Menjaga tekanan turgor dinding sel dan agar tidak kekeringan.
- Berperan dalam proses transportasi unsur hara dari tanah ke daun.

- Mengedarkan hasil fotosintesis keseluruh bagian tumbuhan.
- Untuk proses transpirasi (penguapan) dan fotosintesis

Jika kekurangan air, tumbuhan akan layu karena terjadi penurunan tekanan turgor pada sel-selnya. Air merupakan faktor eksternal yang juga sangat diperlukan dalam perkecambahan biji. Air digunakan saat masa perkecambahan untuk mengaktifkan enzim-enzim dalam biji. Ketiadaan air dapat menyebabkan perkecambahan biji tertunda (dormansi). Beberapa tumbuhan seperti Kaktus, melakukan adaptasi untuk mengatasi keterbatasan air. Kaktus yang ada di daerah gurun memiliki lapisan lilin untuk mencegah penguapan air terlalu cepat. Lapisan tersebut merupakan modifikasi dari jaringan epidermis. Anda sudah mempelajari modifikasi jaringan epidermis bukan? Coba ingat kembali.

3. Cahaya

Kualitas, intensitas, dan lamanya radiasi yang mengenai tumbuhan mempunyai pengaruh yang besar terhadap berbagai proses fisiologi tumbuhan. Cahaya mempengaruhi pembentukan klorofil, fotosintesis, fototropisme, dan fotoperiodisme. Efek cahaya meningkatkan kerja enzim untuk memproduksi zat metabolik untuk pembentukan klorofil. Sedangkan, pada proses fotosintesis, intensitas cahaya mempengaruhi laju fotosintesis saat berlangsung reaksi terang. Jadi cahaya secara tidak langsung mengendalikan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, karena hasil fotosintesis berupa karbohidrat digunakan untuk pembentukan organ-organ tumbuhan.

Cahaya matahari juga dapat memicu pembentukan pigmen antosianin dan flavonoid yang memberikan warna pada bunga dan buah. Cobalah perhatikan dan bandingkan warna buah-buahan di pohon yang terkena cahaya matahari langsung dengan buah-buahan yang tersembunyi di balik daun-daunnya. Buah-buahan tersebut memiliki derajat warna yang berbeda.

Perkembangan struktur tumbuhan juga dipengaruhi oleh cahaya (fotomorfogenesis). Efek fotomorfogenesis ini dapat dengan mudah diketahui dengan cara membandingkan kecambah yang tumbuh di tempat terang dengan kecambah dari tempat gelap. Kecambah yang tumbuh di tempat gelap akan mengalami etiolasi (pertumbuhan tumbuhan yang lebih cepat jika berada di tempat yang gelap), kecambah tampak pucat dan lemah karena produksi klorofil terhambat oleh kurangnya cahaya. Sedangkan, pada kecambah yang tumbuh di

tempat terang, daun lebih berwarna hijau, tetapi batang menjadi lebih pendek karena aktifitas hormon pertumbuhan auksin terhambat oleh adanya cahaya. Bagaimana cara mengatur posisi tanaman yang tumbuh di dalam rumah? Tanaman yang tumbuh di dalam rumah sebaiknya diubah-ubah posisinya agar mendapatkan cahaya yang merata dan dapat tumbuh lurus ke atas.

Fotoperiodisme

Interval penyinaran sehari-hari terhadap tumbuhan mempengaruhi proses pembungaan. Lama siang hari di daerah tropis kira-kira 12 jam. Sedangkan, di daerah yang memiliki empat musim dapat mencapai 16 - 20 jam. Respon tumbuhan yang diatur oleh panjangnya hari ini disebut fotoperiodisme. Fotoperiodisme dipengaruhi oleh fitokrom (pigmen penyerap cahaya). Fotoperiodisme menjelaskan mengapa pada spesies tertentu biasanya berbunga serempak. Tumbuhan yang berbunga bersamaan ini sangat menguntungkan, karena memberi kesempatan terjadinya penyerbukan silang. Berdasarkan panjang hari, tumbuhan dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

- a) Tumbuhan hari pendek, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran kurang dari 12 jam sehari. Tumbuhan hari pendek contohnya krisan, jagung, kedelai, anggrek, dan bunga matahari.
- b) Tumbuhan hari panjang, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran lebih dari 12 jam (14 - 16 jam) sehari. Tumbuhan hari panjang, contohnya kembang sepatu, bit gula, selada, dan tembakau.
- c) Tumbuhan hari sedang, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran kira-kira 12 jam sehari. Tumbuhan hari sedang contohnya kacang dan tebu.
- d) Tumbuhan hari netral, tumbuhan yang tidak responsif terhadap panjang hari untuk pembungaannya. Tumbuhan hari netral contohnya mentimun, padi, wortel liar, dan kapas.

Tumbuhan memiliki zat yang berfungsi mengontrol respon tumbuhan terhadap penyinaran yang disebut pigmen fitokrom. Pigmen ini sebenarnya adalah suatu protein yang mampu menyerap cahaya merah dan infra merah dari sinar matahari.

4. Suhu

Salah satu faktor yang mempengaruhi kerja enzim adalah suhu. Suhu yang kurang sesuai akan menyebabkan kerja enzim di dalam sel-sel kurang optimal sehingga proses metabolisme (seperti fotosintesis) akan terganggu. Suhu merupakan faktor eksternal dari lingkungan yang penting bagi tumbuhan karena suhu berhubungan dengan kemampuan tumbuhan dalam melakukan proses fotosintesis, translokasi, respirasi, dan transpirasi.

Tumbuhan memiliki suhu optimum yang ideal untuk dapat tumbuh dan berkembang. Suhu optimum merupakan suhu yang terbaik untuk pertumbuhan suatu jenis tanaman secara ideal. Selain suhu optimum, suatu tanaman juga memiliki batas suhu maksimum dan minimum yang bisa diterima olehnya. Suhu maksimum merupakan suhu paling tinggi yang memungkinkan tumbuhan masih dapat mempertahankan hidupnya. Suhu minimum merupakan suhu paling rendah yang memungkinkan tumbuhan masih dapat mempertahankan hidupnya. Sebagian besar tumbuhan memerlukan temperatur sekitar 10°C – 38°C untuk pertumbuhannya. Suhu optimum rata-rata tumbuhan adalah 40°C .

Apabila suhu lingkungan suatu tumbuhan di bawah suhu minimum, segala aktivitas fisiologi tubuhnya akan terhenti, dan ini disebut masa tidur (dormansi), keadaan ini terjadi pada beberapa tumbuhan pada musim dingin di negara-negara yang memiliki 4 musim.

5. Kelembapan

Tanah lembap sangat cocok untuk pertumbuhan, terutama saat perkecambahan biji. Hal ini karena tanah lembap menyediakan cukup air untuk mengaktifkan enzim dalam biji serta melarutkan makanan dalam jaringan. Tingkat pengaruh kelembapan udara atau tanah pada tumbuhan berbeda-beda. Ada tanaman yang membutuhkan kelembapan udara dan kelembapan tanah yang tinggi, misalnya lumut hati. Sebaliknya, ada juga tanaman yang tumbuh dengan baik pada dengan kelembapan udara dan tanah kelembapan rendah, misalnya *Aloe vera* (lidah buaya) dan beberapa jenis tanaman anggrek.

Kelembapan tanah dan kelembapan udara memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Tanah yang kaya humus mampu menyimpan air lebih banyak, sehingga tanaman tumbuh lebih baik. Tanaman yang tumbuh dengan baik menghasilkan seresah lebih banyak dan meningkatkan bahan organik

tanah. Udara mampu menyimpan air. Kadar air yang ada di udara disebut kelembaban udara. Kadar air di udara yang tinggi, berpeluang untuk menjadi awan dan hujan. Air hujan masuk ke dalam tanah dan akan disimpan dalam tanah, menjamin ketersediaan air bagi tumbuhan.

6. Ketersediaan oksigen

Oksigen diperlukan tumbuhan untuk bernapas. Tumbuhan dapat tumbuh dan berkembang dengan baik, jika kebutuhan terhadap oksigen tercukupi. Kekurangan oksigen dapat merangsang produksi hormon etilen yang menyebabkan beberapa sel dalam korteks akan mengalami penuaan dan mati. Tumbuhan yang terlalu banyak disiram air akan kekurangan oksigen karena tanah kehabisan ruang udara penyedia oksigen. Tanah yang padat dan liat mengandung sedikit oksigen sehingga perlu dicampur dengan pencangkulan secara hati-hati agar akar tumbuhan dapat bernapas. Tumbuhan yang hidup di daerah yang kekurangan oksigen (misalnya di rawa-rawa), memiliki akar napas yang banyak seperti pada tanaman bakau (*Rhizophora sp.*).

7. Gravitasi

Bila cahaya akan mempengaruhi arah pertumbuhan tunas maka pengaruh bumi akan mempengaruhi pertumbuhan akar menuju pusat bumi. Arah gerak akar yang menuju pusat bumi disebut gravitropisme. Pertumbuhan pada tumbuhan memperlihatkan respons terhadap gravitasi. Pertumbuhan akar menunjukkan respons gravitasi positif sedangkan pertumbuhan tunas menunjukkan respon gravitasi negatif. Jika tumbuhan diletakkan pada posisi miring, tunas akan tumbuh membengkok ke atas dan akar akan tumbuh membengkok ke bawah. Tumbuhan mampu mengindra gravitasi karena adanya pengendapan statolit pada titik terendah sel tudung akar. Statolit adalah plastida khusus yang mengandung butiran pati padat. Pengendapan statolit pada titik terendah sel akan menyebabkan redistribusi auksin sel-sel yang berada di atasnya dan menyebabkan pemanjangan akar sehingga akar akan membengkok ke bawah.

8. pH (derajat keasaman)

Hujan asam dapat menambah keasaman tanah. Jika keadaan tanah terlalu asam, klorofil akan rusak sehingga mengganggu proses fotosintesis. Tanah

bekas rawa-rawa dan tanah potsolik yang berwarna merah kekuningan cenderung bersifat asam. Tanah jenis ini harus dicampur dengan kapur sebelum ditanami agar keasamannya berkurang. Pada beberapa jenis tumbuhan, seperti bunga hortensia (*Hydrangea sp*), keasaman tanah berpengaruh terhadap warna bunga.

9. Sentuhan

Pada tumbuhan yang merambat, misalnya anggur dan mentimun, pada umumnya mempunyai organ pelilit berupa sulur. Sulur tersebut pada awalnya tumbuh lurus, tetapi jika menyentuh sesuatu akan tumbuh melilit benda tersebut. Sentuhan akan menghambat pertumbuhan sel-sel, sehingga terjadi perbedaan laju pertumbuhan antara sel yang terkena sentuhan dengan sel-sel yang tidak terkena sentuhan. Perbedaan laju pertumbuhan sel-sel tersebut menyebabkan sulur melilit. Suatu percobaan menunjukkan bahwa tumbuhan yang batangnya digosok dengan tongkat akan lebih pendek daripada tumbuhan yang dibiarkan.

10. Organisme parasit dan herbivora

Organisme parasit pada tumbuhan dapat berupa virus, bakteri, dan jamur. Organisme parasit tersebut mengambil sari makanan dari tumbuhan inang sehingga tumbuhan inang yang ditumpanginya akan terganggu pertumbuhan dan perkembangannya, bahkan dapat mengalami kematian. Herbivora adalah hewan pemakan tumbuh-tumbuhan, misalnya ulat, belalang, dan kumbang. Jika daun-daun muda pada tumbuhan dimakan oleh ulat, akan mengganggu proses pertumbuhannya. Namun, beberapa tumbuhan memiliki alat pertahanan diri secara fisik seperti duri-duri dan pertahanan secara kimiawi, misalnya menghasilkan zat kanavanin yang merupakan racun bagi herbivora.

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Hewan

1. Faktor Dalam (Internal)

Faktor dalam yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hewan dan manusia meliputi gen dan hormon:

a. Gen

Gen adalah substansi/materi pembawa sifat yang diturunkan dari induk. Gen mempengaruhi ciri dan sifat makhluk hidup, misalnya bentuk tubuh, tinggi tubuh, warna kulit, warna bunga, warna bulu, rasa buah, dan sebagainya. Gen juga menentukan kemampuan metabolisme makhluk hidup, sehingga mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangannya. Hewan dan manusia yang memiliki gen tumbuh yang baik akan tumbuh dan berkembang dengan cepat sesuai dengan periode pertumbuhan dan perkembangannya. Meskipun peranan gen sangat penting, faktor genetis bukan satu-satunya faktor yang menentukan pola pertumbuhan dan perkembangan, karena juga dipengaruhi oleh faktor lainnya. Misalnya ternak unggul hanya akan memproduksi secara optimal bila diberi pakan yang baik dan dipelihara di lingkungan yang sesuai.

b. Hormon

Hormon merupakan zat yang berfungsi untuk mengendalikan berbagai fungsi di dalam tubuh. Meskipun kadarnya sedikit, hormon memberikan pengaruh yang nyata dalam pengaturan berbagai proses dalam tubuh. Hormon yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada makhluk hidup beragam jenisnya.

Hormon pada hewan

Beberapa hormon pertumbuhan pada hewan adalah sebagai berikut.

1. Tiroksin, mengendalikan pertumbuhan hewan. Pada katak hormon ini merangsang dimulainya proses metamorfosis.
2. Somatomedin, mempengaruhi pertumbuhan tulang.
3. Ekdison dan juvenil, mempengaruhi perkembangan fase larva dan fase dewasa, khususnya pada hewan Invertebrata.

Hormon pada manusia

Hormon dihasilkan oleh kelenjar endokrin atau kelenjar buntu, yaitu suatu kelenjar yang tidak mempunyai saluran. Beberapa hormon pertumbuhan pada manusia antara lain sebagai berikut.

1. Hormon tiroksin, dihasilkan oleh kelenjar gondok/ tiroid. Hormon ini memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, dan metabolisme karbohidrat

dalam tubuh. Kekurangan hormon ini dapat mengakibatkan mixoedema yaitu kegemukan.

2. Hormon pertumbuhan (Growth hormon – GH). Hormon ini dihasilkan oleh hipofisis bagian depan. Hormon ini disebut juga hormon somatotropin (STH). Peranannya adalah memengaruhi kecepatan pertumbuhan seseorang. Seorang anak tidak akan tumbuh dengan normal jika kekurangan hormon pertumbuhan. Pada masa pertumbuhan, kelebihan hormon ini akan mengakibatkan pertumbuhan raksasa (gigantisme), sebaliknya jika kekurangan akan menyebabkan kerdil (kretinisme). Jika kelebihan hormon terjadi setelah dewasa, akan menyebabkan membesarnya bagian tubuh tertentu, seperti pada hidung atau telinga. Kelainan ini disebut akromegali.
3. Hormon testosteron, mengatur perkembangan organ reproduksi dan munculnya tanda-tanda kelamin sekunder pada pria.
4. Hormon estrogen/progesteron, mengatur perkembangan organ reproduksi dan munculnya tandatanda kelamin sekunder pada wanita.

2. Faktor Luar (Eksternal)

Faktor luar yang mempengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup berasal dari faktor lingkungan. Beberapa faktor lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup adalah sebagai berikut.

a. Makanan atau Nutrisi

Makanan merupakan bahan baku dan sumber energi dalam proses metabolisme tubuh. Kualitas dan kuantitas makanan akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Karena sedang dalam masa pertumbuhan, kamu harus cukup makan makanan yang bergizi untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tubuhmu. Zat gizi yang diperlukan manusia dan hewan adalah karbohidrat, protein, lemak, vitamin, dan mineral. Semua zat ini diperoleh dari makanan.

b. Suhu

Semua makhluk hidup membutuhkan suhu yang sesuai untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangannya. Suhu ini disebut suhu optimum, misalnya suhu tubuh manusia yang normal adalah sekitar 37°C. Pada suhu optimum,

semua makhluk hidup dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Hewan dan manusia memiliki kemampuan untuk bertahan hidup dalam kisaran suhu lingkungan tertentu.

c. Air dan Kelembapan

Air dan kelembapan merupakan faktor penting untuk pertumbuhan dan perkembangan. Air sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup. Tanpa air, makhluk hidup tidak dapat bertahan hidup. Air merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia di dalam tubuh. Tanpa air, reaksi kimia di dalam sel tidak dapat berlangsung, sehingga dapat mengakibatkan kematian. Kelembapan adalah banyaknya kandungan uap air dalam udara atau tanah. Tanah yang lembab berpengaruh baik terhadap pertumbuhan tumbuhan. Kondisi yang lembab banyak air yang dapat diserap oleh tumbuhan dan lebih sedikit penguapan. Kondisi ini sangat mempengaruhi sekali terhadap pemanjangan sel. Kelembapan juga penting untuk mempertahankan stabilitas bentuk sel.

d. Aktivitas Tubuh

Pertumbuhan hewan dan manusia juga dipengaruhi oleh aktivitas tubuh. Contohnya, otot yang dilatih dapat tumbuh menjadi besar dan kuat. Sedangkan otot yang tidak pernah dilatih lebih kecil dan kurang kuat. Olahraga secara teratur juga dapat meningkatkan pertumbuhan badan, karena kegiatan atau aktivitas tubuh lainnya dapat melancarkan peredaran darah dan metabolisme dalam tubuh. Dengan demikian, aktivitas tubuh akan mempengaruhi kesehatan dan mempengaruhi pada pertumbuhan.

e. Oksigen

Oksigen merupakan gas sangat penting bagi kehidupan. Makhluk hidup bernapas untuk mendapatkan oksigen. Oksigen diperlukan dalam proses oksidasi biologi untuk menghasilkan energi. Energi digunakan untuk menjalankan semua aktivitas tubuh termasuk pertumbuhan. Kandungan Oksigen yang terlalu larut dalam air juga mempengaruhi kehidupan hewan-hewan air. Oksigen yang diperlukan sebagai bahan utama penghasil energi berdifusi melalui insang bersama aliran air. Kandungan Oksigen yang terlalu rendah dapat menyebabkan nafsu makan berkurang sehingga pertumbuhannya akan terhambat.

D. Rangkuman

- Faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan adalah faktor genetik (gen) dan hormon. Hormon yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman disebut fitohormon, antara lain auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, dan etilen.
- Faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan pada tumbuhan, antara lain nutrisi, cahaya, suhu, kelembapan, dan aerasi.
- Faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada hewan serta manusia adalah gen dan hormon. Hormon yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada hewan, antara lain tiroksin, somatomedin, ekdison, dan juvenil. Hormon yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada manusia, antara lain tiroksin, somatotropin, testosteron, estrogen, dan progesterone.

Pembelajaran 7: Ekosistem

Sumber: Modul PKB (Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan) Biologi SMA
Kelompok Kompetensi A, Bab Ekosistem
Penulis: Zaenal Arifin, M. Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari uraian materi dalam modul ini, kompetensi yang diharapkan dikuasai oleh peserta adalah :

1. Mendeskripsikan dan menerapkan konsep-konsep ekosistem.
2. Menggunakan dan menerapkan kegiatan dan sikap ilmiah pada pembelajaran ekosistem.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru pembelajar dapat menunjukkan beberapa indikator, yaitu:

1. Menyebutkan jenis komponen ekosistem
2. Menguraikan pola interaksi dalam ekosistem
3. Menyusun rantai makanan dan jarring-jaring makanan dalam ekosistem
4. Menjelaskan siklus biogeokimia dalam ekosistem
5. Mengenal suksesi ekosistem
6. Menjelaskan upaya manusia dalam pemeliharaan ekosistem.

C. Uraian Materi

Ekosistem meliputi semua organisme dalam suatu daerah tertentu dan faktor-faktor abiotik yang berinteraksi dengannya, atau suatu komunitas dengan lingkungan fisiknya (Campbell, 2004). Ekosistem dapat dipahami dan dipelajari dalam berbagai ukuran, asalkan ada komponen pokok (biotik dan abiotik) yang

bekerja bersamaan untuk mencapai semacam kemantapan fungsional. Memang kebanyakan ekosistem tidak pernah dapat ditentukan benar batasan-batasannya. Reiners (1986), dalam Stilling (1992), berpendapat bahwa untuk alasan ini dan yang lainnya ekosistem hendaknya paling sedikit merupakan suatu tingkat organisasi ekologi. Ia menyarankan tentang kekurangan suatu sistem yang logis dari prinsip-prinsip yang berhubungan dan suatu pemahaman yang baik serta keluasan fokus yang diterima. Keuntungan yang paling besar dari ekologi ekosistem adalah aliran energi dan siklus nutrien, dimana komunitas dan populasi dapat diperbandingkan satu sama lain dan di dalam tingkatan trofik tertentu.

Makhluk hidup dalam kehidupannya akan melakukan hubungan timbal balik dengan segala sesuatu di lingkungan sekitarnya. Lingkungan tempat hidup makhluk hidup ini juga disebut habitat. Ada berbagai macam habitat tetapi pada dasarnya hanya dua, yaitu habitat akuatik (sungai, danau, dan laut), serta habitat terestrial atau daratan.

Hubungan timbal balik atau interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya terjadi karena makhluk hidup mengambil sesuatu dari lingkungan. Misalnya, makanan, minuman, tempat membuat sarang, dan sebagainya. Sementara organisme juga memberikan atau menempatkan, sesuatu kepada lingkungannya. Apa saja yang diberikan makhluk hidup tersebut terhadap lingkungannya? Makhluk hidup ini selanjutnya kita sebut organisme. Organisme akan mengeluarkan sisa-sisa pencernaan dan lain-lain ke lingkungannya. Ada juga organisme yang mengeluarkan gas ke lingkungannya.

Setiap organisme hidup (biotik) di lingkungan atau di suatu daerah berinteraksi dengan faktor-faktor fisik dan kimia yang biasa disebut faktor biotik (yang tidak hidup). Faktor biotik dengan abiotik saling mempengaruhi atau saling mengadakan pertukaran material yang merupakan suatu sistem. Disebut sistem karena penyebaran organisme hidup di dalam lingkungan tidak terjadi secara acak, menunjukkan suatu "keteraturan" sesuai dengan kebutuhan hidupnya. Setiap sistem yang demikian disebut ekosistem. Jadi komunitas dengan lingkungan fisiknya membentuk ekosistem.

1. Komponen Ekosistem

Ekosistem merupakan suatu kesatuan dinamis yang terdiri atas komunitas berbagai spesies yang berinteraksi dengan lingkungannya baik biotik maupun abiotik.

a. Faktor Biotik

Merupakan bagian hidup dari lingkungan, termasuk semua organisme yang dapat berinteraksi satu sama lain. Makhluk hidup sebagai komponen biotik terdiri dari individu, populasi dan komunitas.

1) Individu

Bila kita mengamati organisme satu persatu sebagai individu, maka individu ini dapat kita lihat, dihitung, diukur, dipakai percobaan. Kadang-kadang organisme itu berkelompok menjadi satu sehingga keseluruhannya terlihat sebagai individu. Misalnya binatang karang, rumpun bambu dan lain-lain.

2) Populasi

Populasi adalah kumpulan individu yang hidup di suatu tempat pada suatu waktu tertentu. Spesies adalah kelompok organisme yang mampu berbiak silang sesamanya dan menghasilkan keturunan yang fertil (pada kondisi alami). Populasi berhubungan dengan jenis individu, waktu dan tempat. Kepadatan populasi artinya individu-individu dihubungkan dengan ruang yang ditempati, Misalnya, di kelas A 40 orang, dikatakan kepadatan populasi 40 orang tiap kelas.

3) Komunitas

Kelompok organisme yang hidup bersama-sama terdiri dari bermacam-macam populasi disebut komunitas. Suatu komunitas biotik terdiri dari tumbuh-tumbuhan, hewan dan manusia.

Setiap makhluk hidup mempunyai fungsi dan tugas yang berbeda dalam lingkungannya. Secara garis besar jabatan atau fungsi organisme dalam suatu komunitas dibedakan menjadi 4 kelompok, yaitu *produsen*, *konsumen*, *pengurai*, dan *detritivor*.

Produsen atau penghasil terdiri atas organisme autotrof, yaitu organisme yang dapat mensintesis (membuat) makanan sendiri. Organisme autotrof menyusun senyawa organik dari senyawa anorganik melalui fotosintesis atau kemosintesis.

Organisme autotrof biasanya adalah tumbuhan berklorofil, beberapa jenis bakteri dan ganggang biru.

Konsumen atau pemakai terdiri atas organisme heterotrof, yaitu organisme yang menggunakan senyawa organik yang dihasilkan oleh produsen. Termasuk ke dalam konsumen adalah hewan dan manusia.

Pengurai disebut juga perombak atau dekomposer, adalah organisme heterotrof yang menguraikan produsen dan konsumen yang sudah mati. Dalam penguraiannya materi organik yang kompleks akan diubah menjadi materi yang lebih sederhana dan akhirnya menjadi mineral-mineral yang dimanfaatkan kembali oleh produsen. Pengurai umumnya berupa mikroorganisme seperti bakteri dan jamur.

Selain pengurai ada kelompok mikroorganisme yang termasuk detritivor. **Detritivor** adalah organisme yang memakan bahan organik (sampah-serasah) menjadi partikel-partikel yang lebih kecil (detritus), misalnya cacing tanah, serangga tanah, siput, keluwing dan teripang.

b. **Faktor Abiotik**

Abiotik merupakan komponen fisik atau bagian yang tidak hidup dari lingkungan. Kemampuan organisme untuk hidup dan berkembang biak tergantung pada faktor fisika dan kimia lingkungannya. Misalnya air, tanah, suhu, cahaya, udara, tekanan udara, topografi, tekanan udara.

1) Air

Air diperlukan oleh tumbuhan untuk fotosintesis. Selain itu, juga air berguna untuk melarutkan mineral dalam tanah sehingga mudah diserap oleh akar tumbuhan, dan menjaga kesegaran tumbuhan. Bagi hewan darat air berguna untuk minum, bagi hewan air untuk melarutkan oksigen. Sebagian besar tubuh makhluk hidup terdiri dari air dan setiap hari membutuhkan air. sedang air berfungsi: a) sebagai pelarut zat yang diperlukan tubuh, b) sebagai alat transpor zat dalam tubuh, c) mengatur suhu tubuh, d) tempat bereaksinya zat dalam tubuh.

2) Tanah

Tanah selain berfungsi sebagai tempat berpijaknya makhluk hidup juga bertindak sebagai substrat atau tempat hidup organisme. Tanah juga menyediakan kebutuhan makhluk hidup seperti unsur hara dan mineral. Suatu jenis individu mungkin tidak cocok hidup di sembarang tanah, sebab tanah yang berbeda

mungkin memiliki pH yang berbeda, kelembapan yang berbeda maupun tingkat kesuburan yang berbeda.

3) Suhu

Makhluk hidup dapat hidup dengan suhu tertentu, yaitu:

- a) Suhu maksimum: suhu yg paling tinggi yang masih memungkinkan untuk hidup.
- b) Suhu optimum: suhu yang paling baik untuk hidup.
- c) Suhu minimum: suhu yg paling rendah yg masih memungkinkan untuk hidup.

4) Cahaya

Cahaya matahari, merupakan sumber energi di bumi. Semua makhluk hidup baik langsung maupun tak langsung energinya berasal dari matahari. Cahaya matahari merupakan komponen abiotik yang berfungsi sebagai energi primer bagi ekosistem. Sebagai sumber energi utama, cahaya penting untuk proses fotosintesis.

5) Udara

Komponen udara yang terpenting adalah O₂ (Oksigen) untuk proses pembakaran zat dalam tubuh, sedangkan CO₂ (karbon dioksida) bahan mentah dalam proses asimilasi.

6) Tekanan udara

Faktor ini tidak berpengaruh secara langsung pada makhluk hidup, karena makhluk hidup dapat menyesuaikan diri.

7) Topografi

Topografi meliputi faktor *altitude*, yaitu ketinggian suatu tempat yang diukur dari permukaan laut dan *latitude*, yaitu letak lintang yang diukur dari garis khatulistiwa. Topografi mempunyai pengaruh yang besar terhadap penyebaran makhluk hidup yang tampak jelas pada penyebaran tumbuhan. Hal ini disebabkan adanya perbedaan topografi yang mengakibatkan intensitas cahaya, suhu, dan curah hujan berbeda-beda di setiap tempat.

8) Iklim

Iklim merupakan komponen abiotik yang terbentuk sebagai hasil interaksi berbagai komponen abiotik lainnya, seperti kelembaban udara, suhu dan curah hujan. Iklim sangat memengaruhi kesuburan tanah, tetapi kesuburan tanah tidak berpengaruh terhadap iklim.

2. Interaksi dalam ekosistem

Tuhan menciptakan alam semesta beserta hukum alam (sunnatullah) yang mengaturnya. Salah satu hukum alam adalah terjadinya hubungan yang saling mempengaruhi. Ekosistem merupakan suatu kesatuan yang lengkap, yang di dalamnya terdapat berbagai komunitas yang saling mempengaruhi (berinteraksi). Interaksi dalam ekosistem dapat terjadi antar organisme maupun antara organisme dengan lingkungannya. Hubungan antar organisme dapat bersifat saling menguntungkan, merugikan, bahkan saling berkompetisi. Pola-pola interaksi dalam ekosistem dapat berupa interaksi antar faktor biotik maupun antara faktor biotik dengan faktor abiotik, baik dalam tingkat spesies, populasi, maupun komunitas.

a. Interaksi Antara Faktor Biotik dengan Abiotik

Keberadaan faktor biotik atau organisme baik secara langsung maupun tidak langsung dipengaruhi oleh faktor abiotik. Faktor abiotik yang mempengaruhi organisme antara lain berupa kondisi tanah, kandungan unsur hara, iklim (kelembaban, suhu), kandungan air, dan topografi.

Suatu contoh yang sangat nyata, di daerah-daerah yang curah hujannya tinggi mempunyai jenis tumbuhan yang berbeda dengan daerah yang curah hujannya rendah. Hewan dan tumbuhan yang hidup di hutan berbeda dengan hewan atau tumbuhan yang hidup di padang rumput atau di gurun.

Selain itu, faktor abiotik juga dapat mempengaruhi populasi organisme. Misalnya populasi nyamuk akan meningkat sangat drastis pada musim hujan, beberapa tumbuhan akan semakin cepat bertambah populasinya pada musim hujan. Sebaliknya, pada musim kemarau beberapa tumbuhan, misalnya rumput mengalami penurunan populasi.

b. Interaksi Antar Faktor Biotik

Interaksi antar faktor biotik dapat terjadi pada tingkat individu atau spesies, populasi dan komunitas. Interaksi tersebut dapat berupa *kompetisi*, *predasi*, dan *simbiosis*.

1) Kompetisi

Kompetisi adalah bentuk hubungan antara spesies yang satu dengan yang lain jika terjadi persaingan di antara mereka. Persaingan dapat terjadi karena faktor makanan, tempat hidup, atau pasangan hidup.

Contoh:

- a) Kompetisi antara kambing, kerbau, dan sapi dalam usaha memenuhi kebutuhan makan yang berupa rumput.
- b) Kompetisi antara tanaman jagung dengan rumput dalam memenuhi unsur hara dalam tanah.

2) Simbiosis

Simbiosis adalah hubungan erat antara dua organisme dan spesies yang berbeda yang hidup bersama di suatu daerah. Simbiosis dapat digolongkan menjadi tiga sebagai berikut.

- a) Simbiosis mutualisme, jika kedua organisme mendapatkan keuntungan dari hubungan tersebut.

Contoh:

- (1) Simbiosis antara lebah dengan tanaman berbunga. Lebah mendapatkan makanan berupa nektar, sebaliknya lebah membantu penyerbukan.
- (2) Simbiosis antara tanaman Leguminosa dengan bakteri *Rhizobium radicicola*. *Rhizobium radicicola* mampu menambat oksigen bebas untuk sumber energi. Gas nitrogen akan mengalami oksidasi menjadi ion nitrat, yang dapat diserap oleh tumbuhan Leguminosa.
- (3) Simbiosis antara rayap dengan sejenis Flagellata yang hidup di dalam usus rayap. Flagellata yang hidup dalam usus rayap membantu pencernaan selulosa, dalam rangka memenuhi kebutuhan makannya.

- b) Simbiosis komensalisme, jika salah satu organisme mendapat keuntungan, sedang organisme yang lain tidak dirugikan.

Contoh:

- (1) Simbiosis antara ikan remora dengan ikan hiu. Ikan remora mendapatkan sisa-sisa makanan dan ikan hiu.
- (2) Simbiosis antara tanaman epifit dengan tumbuhan bertajuk tinggi. Tumbuhan menyediakan medium tumbuh atau tempat menempel bagi tanaman epifit.
- (3) Simbiosis antara ikan badut dengan anemon laut. Anemon laut menyediakan persembunyian atau perangkap makanan bagi ikan badut.

- c) Simbiosis parasitisme, jika salah satu organisme mendapat keuntungan, sedang organisme yang lain dirugikan. Organisme yang mendapat keuntungan dinamakan parasit, sedang yang mendapat kerugian dinamakan inang atau hospes. Organisme parasit mendapat keuntungan karena mendapat zat-zat makanan dan tubuh inang.

Contoh:

- (1) Kutu rambut pada kepala manusia (ektoparasit).
- (2) Pinjal pada kulit anjing (ektoparasit).
- (3) Cacing perut (*Ascaris lumbricoides*) dan cacing pita dalam usus manusia (endoparasit).

- d) Antibiosis

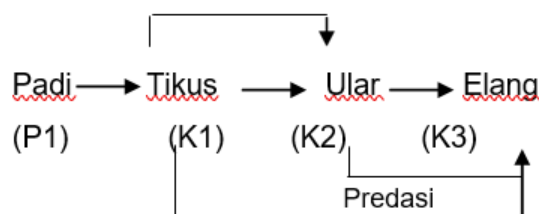
Antibiosis adalah hubungan antara dua organisme yang satu menghambat pertumbuhan organisme yang lainnya.

Contoh:

- (1) Jamur *Penicillium* menghambat pertumbuhan bakteri dengan mengeluarkan zat antibiotik penisilin.
- (2) Jamur *Aspergillus flavus* menghasilkan aflatoksin yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri.

- e) Predasi

Predasi adalah hubungan antara pemangsa (predator) dengan mangsa. Predasi dapat dilihat dengan jelas pada rantai makanan atau jaring-jaring makanan, yaitu antara konsumen I dengan konsumen II atau antara konsumen II dengan konsumen III. Organisme yang memakan organisme lain disebut predator. Perhatikan peristiwa predasi pada rantai makanan di bawah ini.



3. Pola Makan

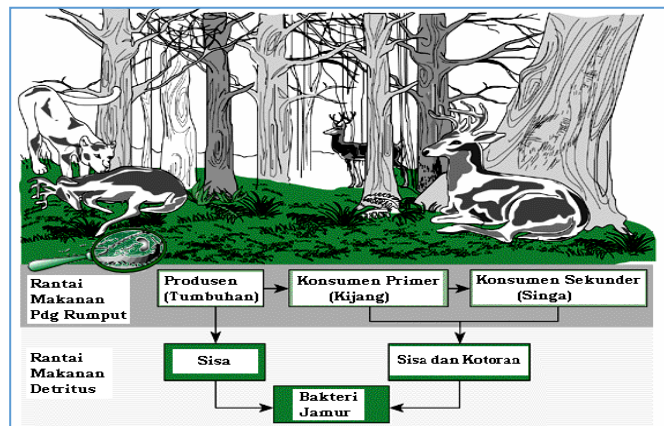
a) Rantai Makanan dan Jaring-Jaring Makanan

Selain terjadi interaksi antar faktor biotik di dalam rantai makanan terjadi pula interaksi faktor biotik-abiotik. Hubungan antar faktor biotik yang menyusun rantai makanan dengan faktor abiotik (lingkungan) dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Ketersediaan unsur hara dalam tanah sangat mempengaruhi kehidupan tumbuhan (produsen). Kelangsungan hidup secara langsung mempengaruhi kehidupan konsumen I, sebaliknya ketersediaan unsur hara dalam tanah tidak berpengaruh secara langsung terhadap konsumen. Hal yang sama dapat juga terjadi pada jaring-jaring makanan. Jaring-jaring makanan adalah sekumpulan rantai makanan yang saling berhubungan satu sama lain.

Pada hutan muda, jumlah total bahan organik makin meningkat setiap tahun dengan meningkatnya ukuran pohon. Ini pun merupakan penyimpanan, tetapi jika hutan menjadi dewasa, bahan organik akan hilang karena kematian dan kehancuran. Energi yang hilang (hancur) tersebut, jika ditambahkan dengan kehilangan karena dimakan hewan, maka jumlahnya sama dengan produk bersih tumbuhan. Dalam hal ini tidak ada pertambahan lebih lanjut dalam biomassa dari tahun ke tahun. Istilah *biomassa* digunakan untuk melukiskan seluruh bahan organik yang terdapat dalam satu ekosistem.

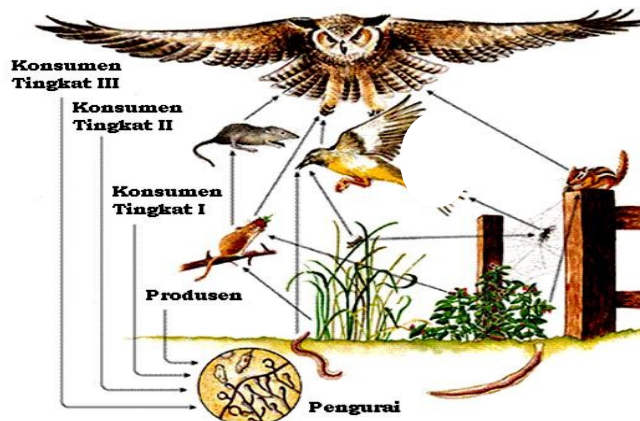
Jika sebagian biomassa suatu tumbuhan dimakan, energi itu diteruskan ke suatu heterotrof. Pada belalang misalnya, untuk tumbuh dan melaksanakan kegiatannya berkat energi yang tersimpan dalam tumbuhan yang dimakannya.

Pada gilirannya, herbivora akan menyediakan makanan untuk karnivora. Belalang tadi dapat dimakan oleh katak. Proses pemindahan energi dari makhluk ke makhluk dapat berlanjut. Katak dapat dimakan oleh ular, yang pada gilirannya ular dimakan oleh burung elang.



Gambar 83. Rantai Makanan
(Sumber : Estella Lavelin at.al. 1998. Botani Visual Resource Library. Mc.Graw Hill Co.)

Lintasan konsumsi makanan seperti di atas (Gambar 2) di sebut *Rantai Makanan*, atau *food chains* makanan berasal dari organisme autotrofik. Organisme yang langsung memakan tumbuhan disebut *herbivor* (konsumen primer), yang memakan herbivor disebut *karnivor* (konsumen sekunder), dan yang memakan konsumen sekunder disebut konsumen tersier. Setiap tingkatan organisme dalam satu rantai makanan disebut tingkatan tropik.

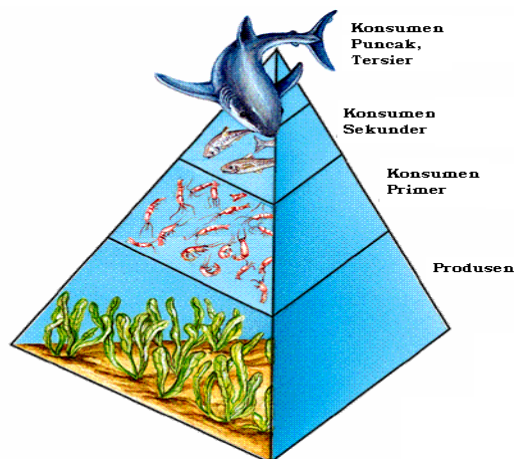


Gambar 84. Jaringan-jaring makanan
(Sumber : Estella Lavelin at.al. 1998. Botani Visual Resource Library. Mc.Graw Hill Co.)

b) Piramida Makanan

Pada ekosistem yang mantap jumlah produsen lebih besar daripada konsumen. Apabila dirinci lebih lanjut, jumlah produsen lebih besar daripada konsumen I, konsumen I lebih besar daripada konsumen II, konsumen II lebih besar daripada konsumen III, demikian seterusnya. Apabila keadaan tersebut kita gambarkan akan membentuk suatu piramida makanan, seperti terlihat pada gambar di bawah. Piramida makanan yaitu tingkatan organisasi makhluk hidup yang didasarkan atas hubungan makan memakan.

Setiap kelompok organisme di dalam piramida makanan menempati tingkat tertentu, yang disebut tingkat trofik. Produsen selalu menempati trofik I, konsumen primer menempati trofik II, konsumen sekunder menempati trofik III, demikian seterusnya. Semakin rendah tingkat trofiknya, semakin besar kandungan energi atau biomasnya.



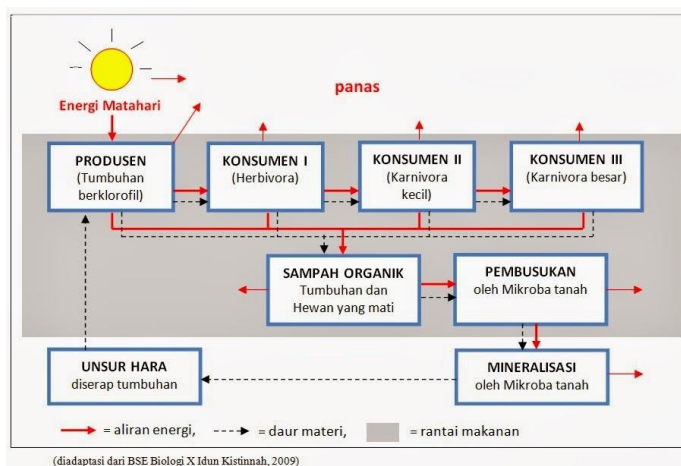
Gambar 85. Piramida Makanan
(Sumber : Estella Lavelin at.al. 1998. Botani Visual Resource Library. Mc.Graw Hill Co.)

Piramida makanan disebut juga piramida jumlah dan merupakan salah satu jenis piramida ekologi. Menurut fungsinya, piramida ekologi terbagi menjadi beberapa macam yaitu piramida jumlah, piramida energi, dan piramida biomassa.

c) Aliran Energi

Dalam suatu rantai makanan terjadi peristiwa makan dan dimakan antara produsen dan konsumen. Perhatikan lagi gambar rantai makanan di depan. Ketika tikus makan padi, terjadi perpindahan materi kimia dan padi (produsen) ke

tubuh tikus (konsumen). Demikian juga ketika tikus dimakan ular, terjadi perpindahan materi atau energi dan tikus (konsumen I) ke ular (konsumen II). Demikian seterusnya hingga materi kembali lagi ke alam, yaitu saat hewan mati dan diuraikan menjadi materi yang lebih sederhana oleh jasad pengurai. Dengan demikian, dalam peristiwa makan dan dimakan terjadi aliran energi (Gambar 5). Di alam aliran energi berjalan dan lingkungan abiotik (matahari), organisme (produsen) konsumen kembali ke alam (udara, air, dan tanah).



Gambar 86. Hubungan antara aliran energi, daur materi dan rantai makanan (sumber: Biologi BSE kelas X, 2009)

Tidak semua energi berpindah dari trofik satu ke trofik berikutnya, karena sebagian energi itu telah digunakan untuk melakukan kegiatan hidup oleh organisme dalam trofik tersebut. Jadi, energi yang diteruskan dan organisme satu (produsen) menuju organisme yang lain (konsumen) selalu lebih kecil. Apabila digambarkan, aliran energi dan trofik yang lebih rendah menuju trofik yang lebih tinggi merupakan piramida, dan disebut piramida energi.

Piramida energi merupakan piramida yang ideal untuk menunjukkan hubungan antar organisme pada tiap tingkatan trofik. Hal ini karena adanya beberapa kelebihan piramida energi, yaitu sebagai berikut:

- 9) Mempertimbangkan kecepatan produksi.
- 10) Berat dua spesies yang sama tidak berarti memiliki energi yang sama.
- 11) Dapat digunakan untuk membandingkan berbagai ekosistem.
- 12) Mementingkan kedudukan populasi dalam suatu ekosistem.
- 13) Dapat mengetahui konsumen yang paling produktif ditinjau dari sisi keluaran energi.

4. Siklus Biogeokimia

Daur biogeokimia adalah siklus yang melibatkan senyawa kimia yang berpindah tempat melalui organisme sebagai perantara kemudian senyawa ini kembali ke lingkungan fisiknya. Pembangun tubuh organisme adalah materi yang tersusun dari unsur-unsur kimia. Unsur-unsur yang ada di alam ini tidak mungkin habis karena mengalami daur ulang (siklus zat). Beberapa siklus unsur atau zat kimia yang penting antara lain *siklus nitrogen (N)*, *siklus karbon (K)*, dan *siklus air*.

a. Siklus Nitrogen

Tahapan siklus nitrogen berlangsung sebagai berikut.

- 1) Atmosfer mengandung 80% nitrogen bebas (N_2) tumbuhan dapat menyerap nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3).
- 2) Beberapa bakteri pada bintil akar Leguminosae dan beberapa ganggang dapat memfiksasi N_2 dan udara.
- 3) Halilintar juga menghasilkan bentuk senyawa N_2 dan O senyawa tersebut terbawa air hujan berupa nitrat dan nitrit.
- 4) Mikroorganisme mengurai bangkai dan kotoran menjadi amonium, bakteri denitrifikasi, dalam tanah mengurai nitrat menjadi N bebas ke udara.

Siklus Karbon

Tahapan siklus karbon berlangsung sebagai berikut.

- 1) Karbon di udara dalam bentuk CO_2 dan dapat terlarut dalam air.
- 2) Pada tumbuhan darat maupun fitoplankton di dalam air CO_2 diubah menjadi karbohidrat melalui proses fotosintesis. Dalam fotosintesis, dihasilkan pula O_2 yang dilepas ke udara.
- 3) Karbohidrat digunakan oleh konsumen untuk mendapatkan energi, Konsumen juga melakukan respirasi serta melepas CO_2 ke udara.
- 4) Bakteri dan jamur saat mengurai bangkai melepaskan CO_2 ke udara.
- 5) Penguraian oleh bakteri yang berjalan lambat dapat mengakibatkan penumpukan karbon bentuk batu bara dan minyak bumi.

b. Siklus Air

Bumi dikenal sebagai 'planet air' karena komposisi airnya yang sangat banyak dibanding planet lainnya di sistem tata surya. Akan tetapi makhluk hidup termasuk manusia tidak bisa mengonsumsi air laut yang asin. Namun kita patut

bersyukur kepada Tuhan, siklus air membantu tersedianya air tawar yang bermanfaat bagi makhluk hidup. Tahapan siklus Air berlangsung sebagai berikut.

- 1) Air di bumi dapat berupa air permukaan (rawa, danau, lautan) maupun air tanah.
- 2) Siklus air dibedakan menjadi dua yaitu siklus pendek dan panjang.
- 3) Siklus air pendek yaitu air laut menguap, uap air di udara dingin mengalami kondensasi menjadi titik-titik air dan jatuh sebagai hujan, selanjutnya kembali ke laut.
- 4) Siklus air panjang yaitu uap air yang berasal dari berbagai proses penguapan, jatuh sebagai hujan di daratan kemudian melalui sungai atau air tanah kembali ke laut.

c. Siklus Fosfor

Fungsi fosfor bagi makhluk hidup, antara lain fosfor dalam bentuk Adenosin Trifosfat (ATP) merupakan bahan bakar (energi) bagi makhluk hidup. Cadangan fosfat yang dapat larut, dapat digunakan langsung sebagai zat hara primer dalam sintesis protein oleh tumbuhan. Melalui rantai makanan fosfat dapat beralih ke tingkat tropik yang lebih tinggi. Jika organisme mati, fosfor dikembalikan ke tanah melalui proses penguraian

Kelebihan fosfat yang diekskresikan burung dan ikan dalam tinjanya juga mengembalikan fosfor ke lingkungan. *Guano* (deposit kotoran burung) juga merupakan akumulasi fosfor yang dikembalikan ke daratan.

d. Sulfur/ Belerang

Sulfur terdapat dalam bentuk sulfat anorganik. Sulfur direduksi oleh bakteri menjadi sulfida dan kadang-kadang terdapat dalam bentuk sulfur dioksida atau hidrogen sulfida. Hidrogen sulfida ini sering kali bersifat mematikan makhluk hidup di perairan, pada umumnya dihasilkan dari penguraian bahan organik yang mati. Ion sulfat kemudian diserap tumbuhan dan diubah menjadi protein. Jika jaringan tumbuhan atau binatang mati akan mengalami proses penguraian.

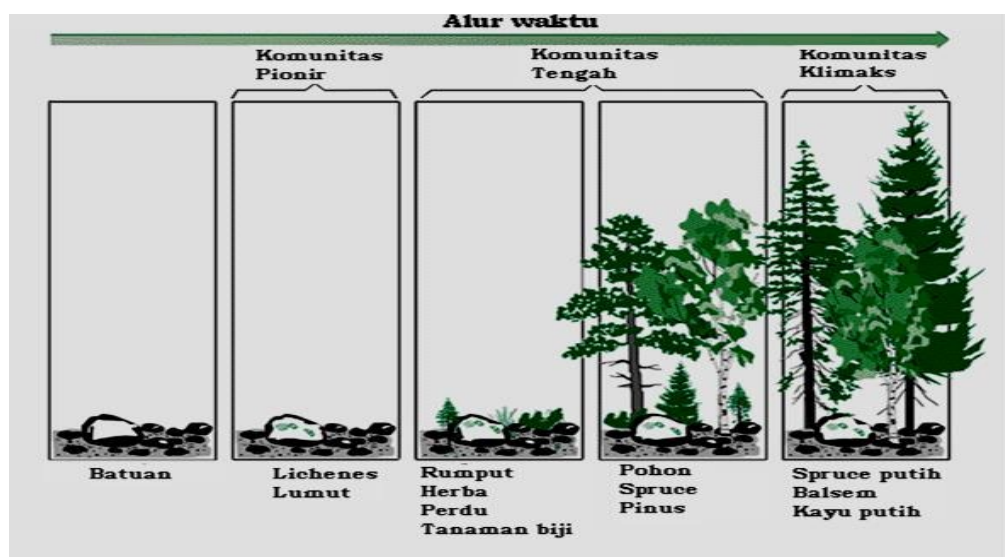
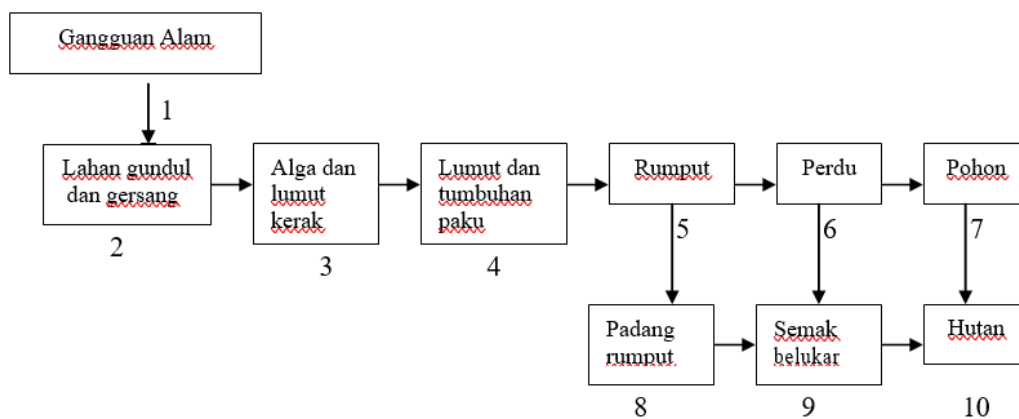
Beberapa jenis bakteri dapat mengoksidasi hidrogen sulfida menjadi sulfat kembali. Besi (Fe) dalam sedimen bereaksi dengan sulfida membentuk ferosulfida (FeS) yang mengendap.

5. Suksesi

Proses perubahan dalam komunitas yang berlangsung menuju ke satu arah secara teratur disebut *suksesi*. Suksesi terjadi akibat dari perubahan lingkungan fisik dalam komunitas. Proses suksesi berakhir dengan sebuah komunitas atau ekosistem klimaks. Dikatakan klimaks karena ekosistem tersebut sudah stabil atau tidak akan berubah lagi.

a. Faktor Internal dalam Penyebab Suksesi

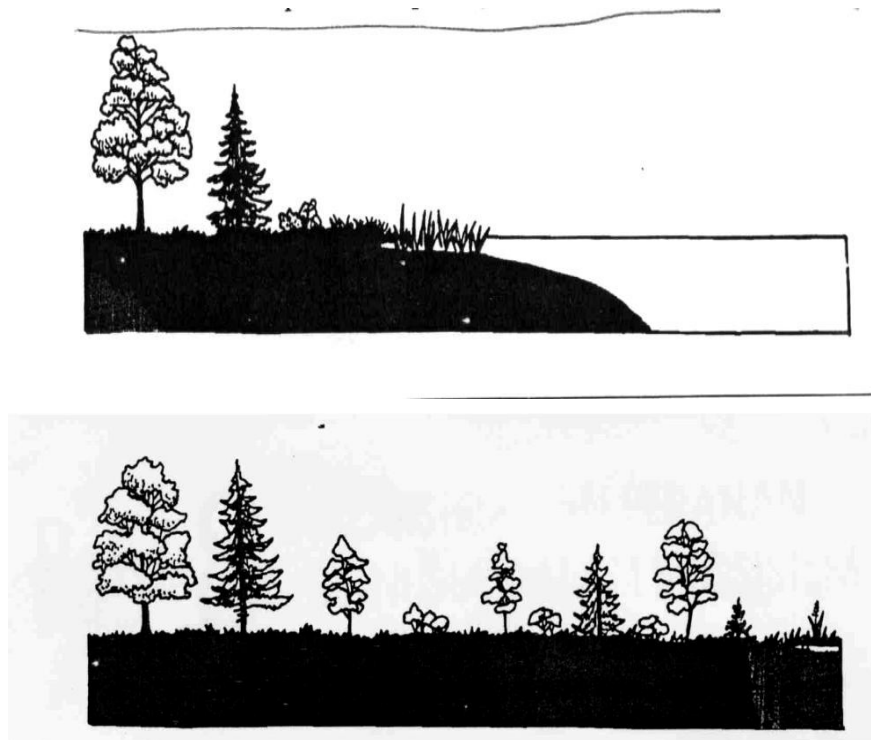
Contoh klasik untuk menggambarkan peristiwa suksesi adalah kejadian di gunung Krakatau, Jawa Barat. Pada tahun 1883 Gunung Krakatau meletus, semua kehidupan di gunung tersebut musnah. Seratus tahun kemudian ternyata di tempat tersebut sudah terbentuk hutan kembali.



Gambar 87. Suksesi primer

(Sumber : Estella Lavelin at.al. 1998. Botani Visual Resource Library. Mc.Graw Hill Co.)

Mula-mula yang berkoloni adalah sejenis lumut kerak (lichen) dan beberapa jenis lumut tertentu. Asam-asam yang dieksresi oleh Lichen itu menghancurkan substrat batuan dan menyediakan sedikit tanah. Partikel tanah tambahan terbentuk karena penghancuran oleh iklim dan terbawa angin. Penghancuran dan pembusukan terhadap lichen dapat menambahkan sedikit humus, sehingga lumut lain menetap. Setiap musim terdapat pertumbuhan baru yang lama membusuk (menyediakan humus). Tidak lama kemudian tersedia cukup tanah untuk paku-pakuan dan kemudian tumbuh rerumputan, kemudian semak (perdu). Keadaan ini menyediakan kondisi pertumbuhan yang amat baik untuk biji-biji tumbuhan tinggi (pohon).



Gambar 88. Suksesi tumbuhan dalam suatu rawa yang dimulai dengan batang tumbuhan rawa, yang tumbuh keluar daridalam air, rnaka terbentuk selapis vegetasi yang makin lama makin tebal sesuai dengan tahun-tahun yang berlalu dan area perairan terbuka makin menciut
(Chaerun dkk. 2002).

Biji, spora dan benih dalam bentuk lain datang dari luar dan sampai ke substrat baru dibawa oleh angin, air atau hewan. Tumbuhan atau organisme lain yang mampu menghuni untuk pertama kali disebut tumbuhan pelopor (vegetasi perintis). Disebut vegetasi perintis karena organisme tersebut mampu membuka lahan untuk hidupnya organisme lain. Suksesi yang terjadi pada suatu lahan yang rusak total (tidak ada organisme yang hidup) disebut *suksesi primer* (Gambar 6). Jenis suksesi yang kedua adalah *suksesi sekunder*. Suksesi sekunder terjadi jika suatu komunitas atau ekosistem alami terganggu, baik secara alami maupun buatan. Banjir, kebakaran, angin kencang, gelombang laut, dan penebangan hutan merupakan contoh-contoh gangguan tersebut.

b. Faktor-Faktor Eksternal Penyebab Suksesi

Selain disebabkan oleh peristiwa suksesi alam, perubahan-perubahan lingkungan disebabkan oleh ulah manusia. Bahkan ulah manusia sangat besar peranannya dalam mengubah keseimbangan lingkungan.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi memberi kemudahan kepada manusia memperlakukan lingkungan sesuai kehendaknya. Penebangan hutan menjadi semena-mena. Pembukaan lahan untuk kepentingan-kepentingan tertentu seperti *real estate*, villa, atau bahkan pabrik-pabrik industri dilakukan tanpa perhitungan yang matang. Penggunaan dinamit atau *trawl* (pukat harimau) dalam menangkap ikan dan masih banyak lagi.

Berikut ini adalah beberapa kenyataan perubahan lingkungan yang terjadi akibat ulah manusia:

1) Menciutnya Areal Hutan

Banyak hal yang dapat menyebabkan bekurangnya areal hutan, antara lain:

a) Penebangan liar

Menurut penelitian tahun 1986/1987, penebangan kayu untuk tujuan komersial mencapai 80 ribu hektar/tahun.

b) Kebakaran hutan

Walaupun kebakaran hutan dapat terjadi secara alami, tetapi ulah manusia kadang-kadang dapat memicu peristiwa. Kebakaran hutan akan menurunkan kualitas tanah tersebut, sehingga sulit untuk ditanami lagi. Dalam periode 1979- 1984 kebakaran hutan mencapai 70 ribu hektar/tahun. Pembukaan hutan untuk tujuan proyek-proyek pembangunan pada periode yang sama

mencapai 250 hektar/tahun. Akibat konversi lahan untuk perkebunan termasuk peladangan berpindah (di Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya)

2) Meningkatnya Pencemaran

Menurut Supardi (1994) yang dimaksud pencemaran lingkungan adalah terjadinya pencemaran yang dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan dan terganggunya kesehatan serta ketenangan makhluk hidup. Sedangkan menurut Sasatra Wijaya (1991) pencemaran lingkungan terjadi apabila ada penyimpangan dari lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran dan berakibat jelek terhadap lingkungan.

6. Upaya manusia dalam pemeliharaan Ekosistem

Tanah air Indonesia kaya dengan sumber daya alam yang terbentang dari sabang sampai Merauke. Di dalamnya terdapat air, udara, dan tanah serta apapun yang ada yang terkandung sebagai sumber daya alam (SDA) yang diakui milik bersama. Penyalahgunaan SDA "milik bersama" tersebut disebabkan oleh diabaikannya biaya-biaya lingkungan hidup yang timbul di dalam aktivitas pembangunan, misalnya pabrik semen tidak memikirkan pencemaran udara, karena fungsinya memproduksi semen. Nelayan hanya memikirkan bagaimana mendapatkan ikan sebanyak-banyaknya, pengusaha hutan hanya memikirkan kayu sebanyak-banyaknya. Contoh lain sebuah pabrik tekstil meminimalkan ongkos dengan cara membuang limbahnya langsung ke sungai. Sungai tercemar dan masyarakat yang menanggung ongkos pembersihannya. Bertolak dari asas lingkungan hidup adalah milik bersama, berarti pemeliharannya juga harus dilaksanakan bersama. Upaya ini juga merupakan pengejawantahan dari rasa cinta tanah air dengan cara yang bisa dilakukan oleh setiap orang.

7. Upaya Memperbaiki Ekosistem

Beberapa upaya yang perlu dilakukan untuk menjaga atau memperbaiki kerusakan ekosistem:

- a. Tidak menebang hutan sembarangan. Penebangan hutan harus sesuai dengan peraturan HPH yang berlaku. Syarat penebangan hutan antara lain harus menggunakan sistem "tebang pilih", dan harus menanam kembali setelah menebang.

- b. Menggalakkan penghijauan/reboisasi
- c. Mencegah kebakaran hutan.
Kebakaran hutan mungkin dapat dicegah antara lain dengan membuat menara- menara pengawas, agar pengawas dapat mengawasi kejadian-kejadian dengan segera, menghindari pembuatan api di hutan.
- d. Membuat suaka margasatwa, cagar alam, taman nasional, taman burung, hutan lindung dan sebagainya
- e. Penataan tata ruang wilayah perlu direncanakan. Setiap daerah dibangun sesuai dengan zona peruntukannya seperti zona industri, pemukiman, perkebunan, dan pertanian.
- f. Proyek pembangunan yang berdampak negatif harus dikendalikan melalui penerapan AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan).
- g. Pengendalian kerusakan lingkungan melalui pengelolaan daerah aliran sungai (DAS), rehabilitasi bekas pembangunan dan bekas galian tambang dan pengelolaan wilayah pesisir dan lautan.
- h. Penanggulangan pencemaran tanah, air, dan udara, misalnya:
 - 1) tidak menggunakan pestisida, fungisida dan herbisida tanpa aturan;
 - 2) mencari pestisida pengganti (pengendalian hama secara biologi);
 - 3) tidak membuang limbah sembarangan;
 - 4) pengembangan baku mutu air dan udara;
 - 5) menggunakan pupuk buatan sesuai aturan;
- i. mengelola sampah/limbah dengan prinsip 3 R:
 - 1) Reduce yaitu mengurangi penggunaan jenis barang yang banyak sampah
 - 2) Reuse, yaitu menggunakan kembali barang atau kemasan barang yang sudah dipakai
 - 3) Recycle, yaitu mendaur ulang sampah yang dihasilkan
- j. Pengembangan peraturan perundang-undangan mengenai lingkungan hidup
- k. Penerapan hukum yang tegas bagi pelanggar peraturan.

D. Rangkuman

Perlu kita sadari bahwa manusia bukan saja dapat mengubah lingkungannya tetapi juga merupakan bagian fungsional dari lingkungan itu, karena untuk kebutuhan hidup seperti makanan, pengolahan air minum, dan lainnya bergantung pada proses-proses biologi. Dalam ekosistem komponen biotik dan abiotik masing-masing saling mempengaruhi sesamanya atau berinteraksi keduanya, jadi ekosistem bukan hanya keanekaragaman makhluk hidup saja tetapi juga semua faktor fisikokimia yang membentuk lingkungannya.

Ekosistem tidak selalu dalam keadaan stabil, adakalanya terjadi intervensi yang menyebabkan sistem bergeser ke suatu arah, tetapi akhirnya akan bergeser kembali dengan arah yang berlawanan. Pada umumnya suatu ekosistem tidak merupakan sistem yang tertutup, sehingga perubahan atau gangguan dari luar ataupun dari dalam dapat datang membawa selingan dalam keseimbangan. Contohnya dapat berupa migrasi organisme atau spesies, kebakaran, banjir, tanah longsor, hujan abu, kekeringan dan gangguan-gangguan yang berasal dari manusia. Gangguan-gangguan tersebut menimbulkan guncangan, tetapi kemudian sistem akan pulih kembali asalkan guncangan tidak melampaui batas toleransi alam meresponnya.

Pembelajaran 8: Keanekaragaman Hayati

Sumber: Modul PKB (Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan) Biologi SMA
Kelompok Kompetensi A, Bab Keanekaragaman Hayati
Penulis: Zaenal Arifin, M. Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari uraian materi dalam modul ini, kompetensi yang diharapkan dikuasai peserta adalah:

1. Memahami keterkaitan antara faktor-faktor penyebab keanekaragaman hayati dengan tingkat keanekaragaman hayati.
2. Memahami manfaat keanekaragaman hayati dalam kehidupan
3. Memahami upaya pelestarian keanekaragaman hayati

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru pembelajar dapat menunjukkan beberapa indikator tentang keanekaragaman hayati berikut ini.

1. Menjelaskan konsep keanekaragaman hayati
2. Menjelaskan konsep tingkat keanekaragaman hayati (genetik, jenis, hingga ekosistem).
3. Mengidentifikasi pola sebaran keanekaragaman hayati di Indonesia (orientalis, peralihan, dan australis).
4. Menjelaskan manfaat keanekaragaman hayati.
5. Menjelaskan faktor-faktor penurunan keanekaragaman hayati.
6. Mengidentifikasi dampak penurunan keanekaragaman hayati.
7. Menjelaskan upaya-upaya konservasi sumber daya keanekaragaman hayati.

C. Uraian Materi

1. Konsep Keanekaragaman hayati

Keanekaragaman hayati atau biodiversitas adalah keseluruhan gen, spesies, dan ekosistem di suatu kawasan. Keanekaragaman hayati merupakan kajian yang sangat penting karena akan berkaitan erat dengan kehidupan manusia sebagai salah satu bagian di dalam sistem kehidupan. Dalam kajian keanekaragaman hayati di dunia, Indonesia selalu termasuk ke dalam negara yang diperbincangkan karena merupakan negara yang sangat kaya akan sumber daya hayatinya. Hal ini disebabkan Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, sehingga menjadi negara yang sangat diperhitungkan dalam hal biodiversitas di dunia.

Indonesia merupakan salah satu dari 17 negara yang termasuk ke dalam negara megabiodiversitas, yaitu negara yang mempunyai tingkat keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Negara-negara tersebut adalah Afrika Selatan, Amerika Serikat, Australia, Brasil, Cina, Ekuador, Filipina, India, Indonesia, Kolombia, Kongo, Madagaskar, Malaysia, Meksiko, Papua Nugini, Peru, dan Venezuela. Fakta-fakta ini mendorong kita untuk lebih mencintai tanah air dan mengapresiasi kekayaan negeri Indonesia.

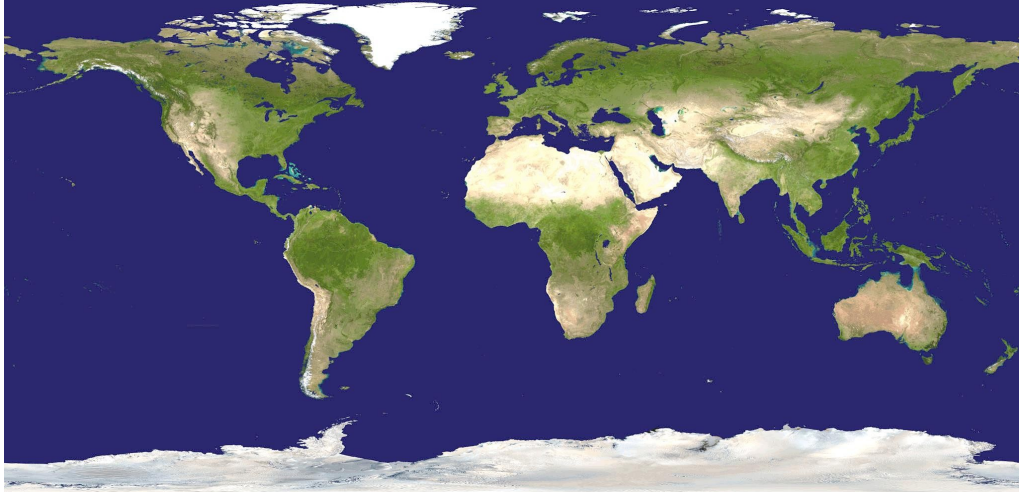
Negara megabiodiversitas dihuni oleh sedikitnya $\frac{2}{3}$ dari semua spesies vertebrata non-ikan dan $\frac{3}{4}$ dari semua spesies tumbuhan tinggi di dunia.

Konsep negara megabiodiversitas disusun atas 4 premis, yaitu:

1. Keanekaragaman hayati setiap negara sangat penting bagi kelangsungan hidup negara itu, dan harus menjadi komponen dasar setiap strategi pembangunan nasional atau regional;
2. Keanekaragaman hayati tidak merata di bumi, dan beberapa negara, terutama di daerah tropis, memiliki konsentrasi biodiversitas yang jauh lebih besar daripada negara-negara lain;
3. Beberapa negara yang paling kaya spesies dan keanekaragaman hayati juga memiliki ekosistem yang berada di bawah ancaman paling parah;

Untuk mencapai dampak maksimum dari sumber daya yang terbatas ini, upaya konservasi harus dikonsentrasikan (tapi tidak eksklusif) di negara-negara terkaya

dalam keanekaragaman dan endemisme namun paling terancam keberadaanya (Sutarno, 2015).



Gambar 89. Peta Dunia
(sumber: <http://pics-about-space.com/>)

2. Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Keanekaragaman Hayati

Coba Anda perhatikan Gambar 8. Apa yang dapat Anda amati dari gambar tersebut? Ya, benar. Anda dapat memperhatikan adanya perbedaan warna di setiap kawasan. Terdapat warna hijau, coklat, dan juga putih di daratan. Apakah Anda menyadari, kawasan di sepanjang garis khatulistiwa berwarna hijau? Akhirnya dapat kita amati bahwa Indonesia, negara kita, merupakan salahsatu negara di Benua Asia yang terletak di garis khatulistiwa, yang tampak dari atas berwarna hijau.

Fakta lain menunjukkan bahwa jika kita bergerak ke bagian utara atau selatan dari garis khatulistiwa, tampak ada perubahan warna dari daratan cenderung menjadi coklat. Lebih ekstrim lagi jika kita lihat di kawasan paling utara dan juga selatan, didominasi oleh warna putih, yaitu kawasan kutub utara dan juga selatan.

Warna hijau menandakan bahwa di kawasan tersebut tertutup oleh vegetasi, sedangkan warna coklat berarti merupakan kawasan terbuka yang berupa gurun. Warna putih di kedua kutub menandakan bahwa kawasan tersebut ditutupi oleh es. Apa yang dapat Anda simpulkan dari fakta tersebut? Ya, ternyata letak

geografis sangat berkaitan erat dengan keanekaragaman hayati. Vegetasi merupakan produsen, dengan kata lain adalah sumber energi bagi makhluk hidup lainnya.

Apa yang menjadi kebutuhan pokok vegetasi atau tumbuhan? Tentunya sumber energi utama yang diperlukan tumbuhan untuk hidup adalah energi cahaya matahari. Telah sama-sama kita pahami bahwa di daerah khatulistiwa intensitas cahaya matahari paling tinggi daripada belahan bumi lainnya. Hal ini lah yang menyebabkan kawasan sepanjang khatulistiwa sangat kaya akan vegetasi. Kita patut bersyukur karena Tuhan Yang Maha Kuasa telah menempatkan negara kita tepat di garis khatulistiwa.

Jika suatu daerah kaya akan vegetasi, maka akibatnya akan mendukung makhluk hidup lain yang menjadi konsumennya untuk bertahan hidup. Demikian juga dengan makhluk hidup lain pada tingkat trofik yang lebih tinggi, karena sumber makanannya pun ikut tersedia. Hal tersebut sangat mendukung terbentuknya keanekaragaman hayati di suatu kawasan.

3. Tingkat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati dapat dilihat dari tiga tingkat, yaitu keanekaragaman hayati tingkat *gen*, *jenis*, dan *ekosistem*.

a. Keanekaragaman Hayati Tingkat Genetik

Keanekaragaman hayati tingkat genetik mempunyai arti bahwa keanekaragaman tersebut merupakan keanekaragaman yang disebabkan oleh variasi genetik. Agar lebih jelas, mari kita amati keanekaragaman tingkat genetik ini pada makhluk hidup yang masih ada dalam satu jenis. Sebagai contoh, Anda dapat mengamati Gambar 90.



Gambar 90. Berbagai varietas Ikan Koi
(sumber: <http://www.championbayaquatics.com/ChampionkoiVarieties.html>)

Apa yang Anda amati dari Gambar 90 tersebut? Anda dapat melihat variasi ikan koi dari warnanya. Ada yang berwarna putih, putih merah, putih hitam, putih hitam merah, kuning, dan seterusnya. Apa dugaan Anda yang menyebabkan terjadinya variasi tersebut? Benar, variasi warna tersebut disebabkan oleh ekspresi dari gen (fenotip) yang dimiliki oleh ikan koi. Jadi, dalam satu jenis ikan koi ini, variasi dari fenotipnya sangat beragam. Inilah yang kita sebut dengan keanekaragaman hayati tingkat genetik. Silakan amati contoh lain di sekitar Anda yang dapat membuktikan adanya keanekaragaman hayati tingkat genetik.

b. Keanekaragaman Hayati Tingkat Jenis

Keanekaragaman hayati tingkat jenis merupakan keanekaragaman yang terjadi sebagai akibat dari adanya variasi berbagai jenis makhluk hidup. Dengan kata lain keanekaragaman ini dapat kita amati mulai dari tingkat marga.



Gambar 91. Keanekaragaman jenis ikan hias air asin
(sumber: <http://aquariumprosmn.com/>)

Sebagai contoh dapat kita amati pada Gambar 91 yaitu berbagai jenis ikan yang hidup di air tawar. Pada gambar tersebut dapat kita amati adanya variasi bentuk, warna, ukuran, dan seterusnya pada jenis-jenis ikan yang berbeda.

c. Keanekaragaman Hayati Tingkat Ekosistem

Keanekaragaman hayati tingkat ekosistem merupakan keanekaragaman yang terbentuk sebagai akibat dari adanya variasi interaksi kelompok makhluk hidup dengan lingkungannya. Variasi interaksi tersebut akan menghasilkan tipe lingkungan yang berbeda-beda pula. Sebagai contoh, coba Anda perhatikan berbagai jenis ekosistem yang ada. Tentunya setelah diamati, Anda dapat melihat adanya perbedaan jenis-jenis makhluk hidup yang menempati suatu ekosistem dengan karakter lingkungan tempat hidupnya. Contoh keanekaragaman ekosistem dapat Anda amati pada Gambar 92.



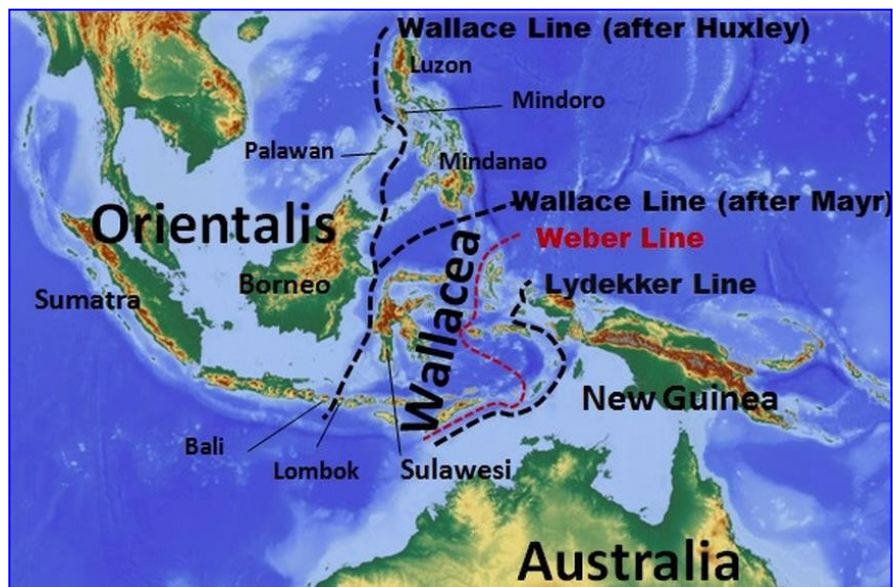
Gambar 92. Contoh keanekaragaman ekosistem
(diambil dari berbagai sumber)

4. Pola Sebaran Keanekaragaman Hayati di Indonesia

Merujuk pada Gambar 93, jika kita perhatikan dengan cermat, satu-satunya kawasan di daerah tropis (khatulistiwa) yang mempunyai keunikan tersendiri adalah Indonesia. Indonesia merupakan satu-satunya negara kepulauan terbesar yang dilalui garis khatulistiwa.

Keunikan tersebut sangat mempengaruhi pola sebaran hayati, sehingga para ilmuwan terdahulu telah meneliti pola sebaran hayati di Indonesia. Terdapat garis pembatas yang membagi Indonesia menjadi tiga daerah, yaitu Garis Wallacea dan Garis Weber (Gambar 12). Ketiga daerah tersebut mempunyai tipe makhluk hidup yang berbeda-beda. Daerah paling barat Indonesia yang dibatasi oleh Garis Wallacea merupakan kawasan Orientalis. Daerah paling timur yang dibatasi oleh Garis Weber merupakan kawasan Australis. Sedangkan daerah yang berada di tengah-tengah yang dibatasi oleh garis Wallaceae dan Weber disebut dengan kawasan Wallacea atau kawasan peralihan.

Setiap daerah tersebut ternyata mempunyai ciri khas masing-masing. Daerah Orientalis mempunyai karakter fauna diantaranya mamalia berukuran besar, banyak jenis-jenis primata, dan jenis-jenis burung berkicau yang tidak berwarna cerah. Contohnya yaitu Gajah, Harimau, Orang Utan, Lutung, Jalak Kerbau, Jalak Bali, dan lain-lain. Daerah Australis mempunyai karakter fauna diantaranya mammalia berkantung dan jenis-jenis burung berwarna cerah. Contohnya yaitu Kangguru, Kasuari, Cendrawasih, dan lain-lain. Sedangkan di daerah peralihan, atau daerah Wallacea, antara Orientalis dan Australis mempunyai karakter yang berbeda dari kedua daerah yang mengapitnya. Contoh faunanya diantaranya Anoa, Babirusa, Burung Maleo, Komodo, dan lain-lain.



Gambar 93. Pola sebaran keanekaragaman hayati di Indonesia
(sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Wallace_Line)

5. Manfaat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati mempunyai peranan yang sangat penting bagi stabilitas ekosistem, termasuk manusia di dalamnya sebagai salah satu komponen di dalam ekosistem. Oleh karena itu pemanfaatan sumber daya hayati harus dilakukan secara bijaksana. Semakin tinggi tingkat keanekaragaman hayati, maka akan semakin mantap dan stabil suatu ekosistem.

Jika kestabilan ekosistem terjaga, maka manusia sebagai salah satu komponen dalam ekosistem akan ikut terjaga pula keberadaannya. Anda tentu seringkali mendengar peristiwa perusakan perkebunan atau perumahan oleh kawanan gajah, harimau yang memangsa hewan ternak, bahkan kelaparan manusia di suatu daerah, mengapa hal tersebut bisa terjadi? Tentunya Anda pasti sudah memiliki jawabannya.

Keanekaragaman hayati memiliki banyak manfaat baik yang langsung dapat kita rasakan maupun yang tidak. Secara umum manfaatnya terbagi ke dalam tiga kelompok, yaitu (FAO 2013):

- a. Jasa ekosistem seperti: air minum yang bersih, pembentukan dan perlindungan tanah, penyimpanan dan daur hara, mengurangi dan menerapkan polusi, berkontribusi terhadap stabilitas iklim, pemeliharaan ekosistem, dan penyerbukan tanaman.
- b. Sumber daya hayati, seperti: makanan, obat-obatan, bahan baku industri, tanaman hias, stok untuk pemuliaan dan penyimpanan populasi.
- c. Manfaat sosial, seperti: pendidikan, rekreasi dan penelitian, serta budaya.

Berikut ini adalah contoh-contoh nyata dari manfaat keanekaragaman hayati untuk manusia:

1. Sumber daya alam penghasil kebutuhan primer atau sekunder

Kebutuhan akan sandang, pangan, dan papan dapat terpenuhi dari berbagai macam sumber daya hayati. Misalnya untuk keperluan sandang, sumber daya hayati yang dapat dimanfaatkan diantaranya wol, kapas, serat kepompong ulat sutra, dan masih banyak lagi. Sumber daya hayati yang dapat memenuhi pangan sangat melimpah, diantaranya ada tumbuhan sumber karbohidrat seperti padi, singkong, dan sagu, tumbuhan sumber protein seperti kacang-kacangan, atau berbagai jenis ikan dan daging. Kebutuhan papan diantaranya diperoleh dari pohon jati, mahoni, meranti, ataupun kelapa.

2. Sumber plasma nutfah

Keanekaragaman hayati yang ada akan menyimpan berbagai macam kode-kode genetik yang tersimpan dalam setiap organisme. Keragaman genetik tersebut akan menjadi sumber bagi manusia untuk pemuliaan berbagai jenis tumbuhan ataupun hewan demi pemenuhan berbagai jenis kebutuhan manusia.

3. Manfaat keilmuan

Keanekaragaman hayati dapat menyediakan berbagai objek penelitian yang sangat berguna bagi kehidupan manusia.

4. Estetika

Dari segi kebutuhan estetika, banyak sekali berbagai jenis tumbuhan dan hewan yang dapat dimanfaatkan. Namun tentunya pemanfaatan ini harus memperhatikan hukum yang berlaku, karena banyak sekali jenis-jenis tumbuhan maupun hewan eksotis yang dilindungi karena terancam punah.

6. Faktor Penyebab Penurunan Keanekaragaman Hayati

Beberapa fenomena alam tak dapat dipungkiri dapat mempengaruhi stabilitas suatu ekosistem, seperti adanya bencana alam berupa erupsi gunung berapi, kebakaran hutan, tsunami, dan sebagainya. Secara alami, komponen-komponen penyusun ekosistem akan selalu berusaha menuju kesetimbangan. Ekosistem yang rusak dapat melakukan suksesi untuk menuju kesetimbangan lagi. Namun terlepas dari hal tersebut, faktor utama yang dapat mengganggu kesetimbangan tersebut adalah aktivitas manusia. Mengapa hal tersebut dapat terjadi?

Penyebab utamanya adalah peningkatan populasi manusia di muka bumi. Semakin tinggi populasi maka semakin tinggi pula tingkat penggunaan sumber daya alam yang tersedia. Jika penggunaan tersebut dilakukan secara terus menerus dan tidak bijaksana, maka pada akhirnya akan berpotensi terhadap kepunahan dari organisme tertentu.

Beberapa hal yang dapat menyebabkan kepunahan diantaranya:

a. Perusakan Habitat

Habitat merupakan tempat tinggal berbagai jenis organisme yang menyediakan semua kebutuhan bagi seluruh penghuninya melalui proses interaksi antar semua komponen. Apa yang akan terjadi jika habitat tersebut rusak? Tentu saja, jika habitat rusak, maka daya dukungnya terhadap semua organisme penghuninya akan berkurang bahkan sama sekali hilang. Dampaknya organisme yang ada tidak akan mampu memenuhi semua kebutuhan hidupnya.

Perusakan habitat yang menjadi sorotan utama di Indonesia adalah perusakan hutan alam (deforestasi) untuk berbagai macam alasan. Beberapa penyebab dari kerusakan hutan dan deforestasi di Indonesia adalah:

- 1) Konversi hutan alam menjadi lahan tanaman tahunan.
- 2) Konversi hutan alam menjadi lahan pertanian dan perkebunan.

- 3) Eksplorasi dan eksploitasi industri ekstraktif pada kawasan hutan (batu bara, migas, geothermal).
- 4) Pembakaran hutan dan lahan.
- 5) Konversi hutan alam untuk transmigrasi dan infrastruktur lainnya.
- 6) Pemekaran wilayah menjadi daerah otonomi baru (terjadi di beberapa daerah).

b. Fragmentasi Habitat

Fragmentasi habitat merupakan suatu peristiwa yang menyebabkan habitat terbagi menjadi dua daerah atau lebih. Aktivitas manusia yang dapat mengakibatkan fragmentasi ini diantaranya pembuatan jalan, pembukaan areal pertanian, dan perkotaan atau kegiatan lainnya.

Dengan adanya fragmentasi habitat, maka akan mengganggu stabilitas ekosistem. Mengapa demikian? Pada suatu habitat dikenal ada istilah *daerah tepi*, dimana pada umumnya jenis-jenis makhluk hidup tidak akan bisa menempati daerah tersebut karena daerah tersebut cenderung kurang mampu untuk memberikan perlindungan (*edge effect*). Jika suatu habitat terfragmentasi, maka luas daerah tepi akan bertambah, dengan kata lain luas zona habitat yang aman bagi jenis-jenis makhluk hidup akan semakin berkurang.

Di beberapa negara, proses fragmentasi habitat yang memang tidak dapat terelakkan diimbangi dengan upaya yang dapat memfasilitasi jenis-jenis hewan untuk dapat melintasi daerah terbuka secara aman. Upaya tersebut diantaranya dengan membangun koridor yang aman bagi hewan untuk melintas (Gambar 13).



Gambar 94. Koridor untuk mengatasi fragmentasi habitat
(sumber: <https://firstforwildlife.wordpress.com>)

c. Degradasi Habitat

Komunitas di suatu habitat dapat mengalami degradasi walaupun habitat tersebut tidak langsung terlihat kerusakannya. Faktor eksternal tersebut dapat dengan bebas masuk ke dalam suatu habitat. Salah satu contohnya adalah pencemaran air atau udara. Limbah atau bahan kimia berbahaya baik dalam bentuk gas, cair, maupun padat akan mengancam komunitas pada suatu habitat yang dilaluinya.

d. Penggunaan spesies yang berlebih untuk kepentingan manusia.

Pemanfaatan suatu jenis hewan atau tumbuhan di alam akan berakibat menurunnya jumlah populasi jenis tersebut bahkan punah. Oleh karena itu pemanfaatan suatu jenis tersebut harus dilakukan dengan berdasarkan prinsip penggunaan yang berkelanjutan, yaitu pemanenan dari suatu jenis di alam pada periode tertentu dilakukan berdasarkan keberadaan dan tingkat pembaharuan oleh proses pertumbuhan secara alami.

e. Introduksi spesies-spesies eksotik

Pertumbuhan populasi manusia yang sangat tinggi telah mengubah cara pandang manusia secara ekonomi untuk pemenuhan segala kebutuhannya. Dari segi pertanian misalnya, dampak yang ditimbulkan adalah adanya perubahan sebaran spesies, terutama spesies yang mempunyai nilai ekonomi. Manusia dengan sengaja membawa atau mendatangkan jenis-jenis hewan peliharaan dan tumbuhan budidaya dari suatu tempat ke tempat lain untuk dibudidayakan (*introduksi*). Akibatnya banyak jenis hewan maupun tumbuhan yang berkembang biak bukan di habitat aslinya. Banyak jenis-jenis introduksi ini yang kemudian menjadi liar di komunitas lokal. Selain itu proses introduksi dapat pula terjadi secara alami atau tidak disengaja. Misalnya tikus dan serangga yang terbawa kapal laut atau kapal udara, atau biji tanaman terbawa oleh manusia.

f. Kerentanan spesies terhadap kepunahan

Secara alamiah, semua spesies mempunyai potensi yang berbeda-beda untuk menjadi punah. Kerentanan suatu jenis terhadap kepunahan umumnya ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu:

- 1) Spesies yang mempunyai sebaran geografis sempit, umumnya rentan terhadap kerusakan habitat oleh kegiatan manusia.
- 2) Spesies yang terdiri dari satu atau sedikit populasi akan sangat rentan terhadap kerusakan habitat dibandingkan dengan spesies yang terdiri dari banyak populasi
- 3) Spesies yang memiliki ukuran populasi yang kecil akan mudah punah akibat pengaruh variasi demografi dan lingkungan serta hilangnya keanekaragaman genetik bila dibandingkan dengan spesies yang berukuran populasinya yang besar.
- 4) Spesies yang ukuran populasinya cenderung menurun akan mudah punah bilamana penyebab penurunan tidak dapat diketahui dan diperbaiki.
- 5) Spesies yang memiliki densitas rendah per satuan luas, terutama pada kawasan yang terfragmentasi akan mudah mengalami kepunahan.

7. Upaya Konservasi Keanekaragaman Hayati

Walaupun Indonesia termasuk ke dalam negara megabiodiversitas, namun karena pemanfaatan sumber daya alamnya yang belum dikelola secara bijaksana membuat Indonesia termasuk ke dalam salah satu kawasan yang tingkat kepunahan biodiversitasnya sangat tinggi di dunia (Sutarno, 2015).

Dalam upaya konservasi keanekaragaman hayati global, para konservasionis telah menetapkan kawasan-kawasan yang menjadi prioritas utama konservasi yang diistilahkan dengan *biodiversity hotspot*. Penetapan hotspot tersebut dilakukan dengan mengidentifikasi kawasan yang memiliki konsentrasi yang sangat tinggi dari jenis-jenis hewan endemik yang terancam oleh hilangnya habitat secara luar biasa.

Secara spesifik, suatu daerah hotspot biodiversitas dunia secara ketat harus memenuhi dua kriteria, yaitu:

- a. Harus memiliki minimal 1.500 tumbuhan vaskular endemik yang tidak tergantikan
- b. Harus memiliki 30% atau kurang dari vegetasi alami asli, sehingga cukup terancam.

Hasilnya terdapat 25 *hotspot* diseluruh dunia yang memiliki luas hanya 1,4% dari permukaan daratan Bumi yang dihuni oleh 44% spesies tumbuhan vaskular dan 35% spesies hewan vertebrata di seluruh dunia.

Kawasan Indonesia termasuk ke dalam salah satu *hotspot* prioritas konservasi dunia, yaitu kawasan Sundaland (Nusantara Barat) atau kita kenal dengan Kawasan Asiatis/Orientalis dan kawasan Wallace. Sedangkan sebagian wilayah Indonesia lainnya termasuk ke dalam salah satu katagori kawasan kawasan alami dengan biodiversitas yang tinggi, yaitu Sahulland (Nusantara Timur) atau kita kenal dengan Kawasan Australis (Mittermeier, 2000). Lautan Indonesia juga memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi karena menjadi pusat segitiga karang dunia.

Sebagai contoh kasus dalam upaya konservasi keanekaragaman hayati adanya ancaman deforestasi yang begitu tinggi di pulau Kalimantan seiring dengan meningkatnya permintaan dunia terhadap minyak sawit, maka ditetapkanlah kawasan *Heart of Borneo* (HoB) sebagai kawasan konservasi internasional. Luas kawasan HoB tersebut yaitu 30% dari luas Pulau Borneo, yang mencakup lebih dari 22 juta hektar hutan hujan tropis dari tiga negara, yaitu Indonesia (Kalimantan), Malaysia (Sabah dan Sarawak), dan Brunei Darussalam. Kawasan ini adalah hamparan terbesar yang tersisa dari hutan tropis yang melintas batas negara di Asia Tenggara (Van Paddenburg *et al.* 2012).



Gambar 95. Kawasan Heart of Borneo
(sumber: <http://www.wwf.org.au>)

D. Rangkuman

Indonesia merupakan salah satu dari 17 negara yang termasuk ke dalam negara megabiodiversitas, yaitu negara yang mempunyai tingkat keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Namun karena pemanfaatan sumber daya alamnya yang belum dikelola secara bijaksana Indonesia termasuk ke dalam salah satu kawasan yang tingkat kepunahan biodiversitasnya sangat tinggi pula di dunia.

Dilihat dari sisi geografis, Indonesia merupakan kawasan yang unik karena merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, terletak pada garis khatulistiwa, dan terletak diantara dua benua dan dua samudera. Keunikan tersebut sangat memengaruhi pola sebaran hayati. Para ilmuwan telah meneliti pola sebaran hayati di Indonesia, dan membagi Indonesia menjadi tiga daerah yang dibatasi oleh Garis Wallacea dan Garis Weber. Ketiga daerah tersebut mempunyai tipe makhluk hidup yang berbeda-beda. Daerah paling barat Indonesia yang dibatasi oleh Garis Wallacea merupakan kawasan Orientalis. Daerah paling timur yang dibatasi oleh Garis Weber merupakan kawasan Australis. Sedangkan daerah yang berada di tengah-tengah yang dibatasi oleh garis Wallaceae dan Weber disebut dengan kawasan Wallacea atau kawasan peralihan.

Keanekaragaman hayati dapat dilihat dari tiga tingkat, yaitu keanekaragaman hayati tingkat gen, jenis, dan ekosistem. Keanekaragaman hayati tingkat genetik mempunyai arti bahwa keanekaragaman tersebut merupakan keanekaragaman yang disebabkan oleh variasi genetik. Keanekaragaman hayati tingkat jenis merupakan keanekaragaman yang terjadi sebagai akibat dari adanya variasi berbagai jenis makhluk hidup. Dengan kata lain keanekaragaman ini dapat kita amati mulai dari tingkat marga. Keanekaragaman hayati tingkat ekosistem merupakan keanekaragaman yang terbentuk sebagai akibat dari adanya variasi interaksi kelompok makhluk hidup dengan lingkungannya.

Manfaat keanekaragaman hayati secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga hal, yaitu:

1. Jasa Ekosistem, seperti: air minum yang bersih, pembentukan dan perlindungan tanah, penyimpanan dan daur hara, mengurangi dan menerapkan polusi berkontribusi terhadap stabilitas iklim, pemeliharaan ekosistem, dan penyerbukan tanaman.
2. Sumber daya hayati, seperti: makanan, obat-obatan, bahan baku industri, tanaman hias, stok untuk pemuliaan dan penyimpanan populasi.
3. Manfaat sosial, seperti: pendidikan rekreasi dan penelitian, serta budaya.

Pembelajaran 9: Klasifikasi Tumbuhan

Sumber: Modul PKB (Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan) Biologi SMA
Kelompok Kompetensi B, Bab Klasifikasi
Penulis: Zaenal Arifin, M. Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi Klasifikasi Tumbuhan, kompetensi yang diharapkan dikuasai peserta adalah:

1. Memahami dasar-dasar klasifikasi pada makhluk hidup.
2. Memahami klasifikasi pada tumbuhan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Klasifikasi Tumbuhan berikut ini.

1. Menjelaskan dasar-dasar klasifikasi makhluk hidup
2. Membuat kunci determinasi makhluk hidup sederhana
3. Menjelaskan sistem klasifikasi pada tumbuhan)

C. Uraian Materi

1. Sistem Klasifikasi Makhluk Hidup

Coba Anda perhatikan Gambar 47. Pada gambar tersebut terdapat dua buah situasi yaitu pasar tradisional dan swalayan. Menurut Anda apa perbedaan yang mencolok dari kedua situasi tersebut? Apa yang Anda rasakan jika di swalayan situasinya seperti di pasar tradisional?



Gambar 96. Situasi pasar tradisional dan swalayan
(sumber: <http://nasional.kontan.co.id/> dan <http://health.usnews.com/>)

Perbedaan yang mendasar dari kedua situasi itu adalah adanya penataan yang teratur di pasar swalayan. Terlebih lagi di swalayan semua barang memiliki label nama dan harga. Keteraturan tersebut membuat urusan kita menjadi lebih mudah. Penataan barang di swalayan dilakukan dengan cara mengelompokkan semua barang berdasarkan jenisnya. Misalnya untuk golongan buah-buahan, ditempatkan di blok khusus, jenis-jenis pisang ditempatkan secara berdekatan, kemudian jenis-jenis pisang tersebut dipilah-pilah kembali berdasarkan variasinya, ada Pisang Kepok, Pisang Ambon, Pisang Tanduk, dan sebagainya. Masing-masing jenis tersebut diberi label nama dan harganya, sehingga kita sebagai pembeli tidak akan bingung untuk mencari jenis yang belum kita ketahui. Itulah manfaat pengelompokan yang dapat kita rasakan dalam kehidupan sehari-hari.

Pada konteks keanekaragaman hayati, pengelompokan pun sangat perlu untuk dilakukan. Dapatkah Anda menjelaskan manfaat nyata dari pengelompokan keanekaragaman makhluk hidup? Dengan pengelompokan makhluk hidup, maka kita sebenarnya akan mempersempit objek kajian, sehingga akan mempermudah kita untuk mengenal, mempelajari, dan akhirnya memanfaatkan makhluk hidup untuk kepentingan manusia.

Pengelompokan makhluk hidup dapat dilakukan dengan berbagai sistem. Sistem pengelompokan tersebut yaitu artifisial, natural, dan filogeni.

a. Sistem Klasifikasi Buatan (Artifisial)

Sistem klasifikasi buatan merupakan suatu cara pengelompokan berdasarkan pada karakter-karakter yang dihubungkan dengan kepentingan manusia. Misalnya pada tumbuhan terdapat beberapa cara penggolongan, diantaranya berdasarkan:

1) Umur

Kita mengenal ada tumbuhan semusim/setahun (annual), contoh diantaranya Cabe, Tomat, dan Bunga Matahari. Ada juga yang tahunan, contoh diantaranya Jati, Kihujan, Mangga, Alpukat, dan Jambu Air.

2) Kegunaannya

Pengelompokan berdasarkan kegunaan misalnya tanaman pangan seperti Padi, Singkong, dan Kentang. Tanaman obat misalnya Binahong, Mahkota Dewa, dan Sirih. Tanaman perkebunan, seperti Jati, Mahoni, Gaharu, dan lain-lain.

3) Habitatnya

Berdasarkan habitatnya dikenal tumbuhan xerofit (tumbuhan yang dapat bertahan di daerah kering, seperti Kaktus, ada juga tumbuhan hidrofit (tumbuhan air seperti Kangkung, Genjer, Teratai, dan lain-lain).

4) Kandungan gizi atau zat utamanya

Dalam pengelompokan ini dikenal diantaranya tumbuhan sumber karbohidrat seperti Padi, Singkong, Sagu, dan lain-lain. Tumbuhan sumber protein seperti Kacang Kedelai, Kacang Tanah, dan Kacang Hijau. Tumbuhan sumber lemak seperti Kelapa Sawit, Kemiri, dan Wijen. Melalui pengelompokan secara artifisial ini akan memudahkan kita untuk mengenal sehingga akhirnya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia.

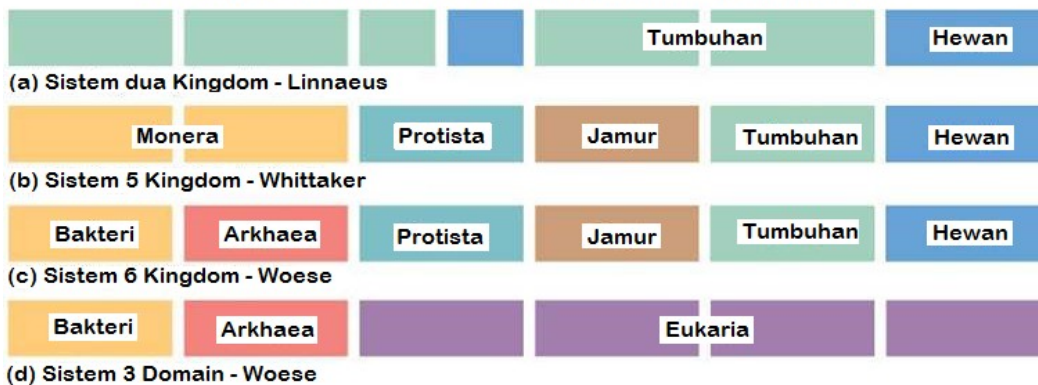
b. Sistem Klasifikasi Alami (Natural)

Pengelompokan pada sistem ini dilakukan berdasarkan pada karakter-karakter alamiah yang mudah untuk diamati, pada umumnya berdasarkan karakter morfologi. Pelopor dari sistem klasifikasi alami ini adalah Carolus Linnaeus. Ia adalah yang pertama kali meletakkan dasar-dasar klasifikasi termasuk sistem tata nama *binomial nomenclature*. Sistem klasifikasi makhluk hidup ini terus berkembang seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan (Gambar 48). Pada

mulanya Carolus Linnaeus mengajukan sistem klasifikasi 2 Kingdom, yaitu Plantae dan Animalia. Namun selanjutnya Whittaker menyempurnakannya menjadi sistem klasifikasi 5 Kingdom. Kingdom Fungi dikeluarkan dari Plantae, kemudian membentuk kingdom baru yaitu Monera dan Protista. Monera yaitu golongan organisme yang merupakan prokariotik, sedangkan Protista yaitu golongan organisme mikroskopis yang merupakan organisme eukariotik.

Setelah Whittaker, ilmuwan asal Amerika Carl Woese menyempurnakannya menjadi sistem klasifikasi 6 kingdom, yaitu Eubacteria, Archaeobacteria, Protista, Fungi, Plantae, dan Animalia. Namun selanjutnya Kingdom Protista sudah tidak berlaku karena anggotanya *polyphyletic*, yaitu ada yang mendekati karakter tumbuhan, hewan, bahkan fungi. Sama halnya dengan Kingdom Monera yang sudah tidak valid lagi sebagai suatu takson karena anggotanya terdiri dari dua golongan yang sangat berbeda karakternya (Bacteria dan Archaeobacteria). Oleh karena itu dibentuklah sistem klasifikasi 3 domain yang dinilai dapat mewadahi kingdom-kingdom sebelumnya yang bermasalah (Protista dan Monera). Ketiga domain tersebut yaitu Bacteria, Archaea, dan Eucarya.

SEBUAH PENDEKATAN SISTEM KLASIFIKASI ORGANISME



Gambar 97. Sejarah perkembangan sistem klasifikasi makhluk hidup (sumber: <http://schoolbag.info/biology/living/121.html>)

Pada sistem alami, klasifikasi tumbuhan biasanya didasarkan pada morfologi dari alat perkembangbiakannya (bunga) termasuk tipe biji, morfologi akar, batang, dan daun. Sedangkan pada hewan biasanya diklasifikasikan berdasarkan jumlah sel, keberadaan tulang punggung, saluran pencernaan, sistem rangka, dan lain-lain.

c. Sistem Klasifikasi Filogeni

Sistem klasifikasi filogeni merupakan suatu cara pengelompokan organisme berdasarkan garis evolusinya atau sifat perkembangan genetik organisme sejak sel pertama hingga menjadi bentuk organisme dewasa. Sistem klasifikasi ini sangat dipengaruhi oleh perkembangan teori evolusi. Pada sistem klasifikasi ini terkadang ada organisme yang secara morfologinya berbeda, namun ternyata memiliki karakter genetik yang dekat.

Sistem klasifikasi filogeni ini merupakan sistem klasifikasi yang mendasari sistem klasifikasi modern, yang dipelopori oleh Hutchinson, Cronquist, dan lainnya. Biasanya klasifikasi modern ini dilakukan dengan memperhatikan kecenderungan evolusi organisme itu lebih maju atau masih primitif adalah dengan melihat pelestarian atau penyusutan dari struktur sel atau tubuhnya akibat pengaruh seleksi alam. Sebagai contoh, dalam klasifikasi modern tumbuhan, Hutchinson mengemukakan pendapat diantaranya:

- 1) Tumbuhan berdaun tunggal lebih primitif daripada berdaun majemuk
- 2) Tumbuhan dikotil lebih primitif daripada tumbuhan monokotil
- 3) Tumbuhan berbiji terbuka lebih primitif dari pada tumbuhan berbiji tertutup
- 4) Tumbuhan berbunga dengan benang sari dan putik yang banyak lebih primitif dari pada tumbuhan berbunga dengan benang sari dan putik sedikit.
- 5) Tumbuhan berbunga mahkota lepas-lepas lebih primitif daripada tumbuhan berbunga mahkota bersatu.

Pada klasifikasi hewan karakter yang diperhatikan untuk penggolongannya yaitu jumlah sel tubuhnya dan perkembangan sel tubuhnya, serta jaringan embrionalnya. Hewan yang memiliki jaringan embrional triploblastik (ada ektoderm, mesoderm, endoderm) akan memiliki struktur tubuh yang lebih sempurna daripada organisme diploblastik (ektoderm dan endoderm saja, tapi tidak memiliki mesoderm).

Secara umum, untuk melihat tingkat-tingkat perkembangan makhluk hidup sebagai dasar klasifikasinya perlu diperhatikan: struktur selnya (prokariotik/eukariotik); jumlah sel tubuhnya (uniseluler/multiseluler); jaringan embrionalnya (diploblastik/triploblastik); bentuk tubuh dan organ tubuhnya (thallus/kormus); pergiliran keturunannya (bentuk gametofit/sporofit); dan sifat-

sifat khas morfologis lainnya seperti perkembangan bagian-bagian bunganya dibandingkan lainnya.

2. Identifikasi Makhluk Hidup

Dalam mengkaji keanekaragaman makhluk hidup, para ilmuwan telah membuat sistem klasifikasi yang biasa kita gunakan. Sebenarnya, untuk keperluan pribadi, kita juga dapat membuat sistem klasifikasi sederhana berdasarkan karakter yang kita inginkan. Hal lain yang tak kalah penting setelah pengklasifikasian makhluk hidup, Anda harus dapat melakukan proses identifikasi suatu organisme. Identifikasi merupakan suatu proses yang dapat kita lakukan untuk menentukan atau mengetahui identitas dari suatu jenis organisme. Banyak metode yang dapat kita gunakan untuk mengetahui identitas suatu jenis organisme, diantaranya dengan konfirmasi langsung kepada ahlinya, mencocokkan dengan spesimen, atau dengan menggunakan suatu instrumen yaitu kunci identifikasi atau kunci determinasi. Kunci determinasi tersebut merupakan serangkaian pertanyaan yang dapat menggiring kita sehingga dapat mengetahui nama dari jenis organisme yang ingin kita ketahui identitasnya.

Dalam skala kecil misalnya, Anda dapat merancang suatu kunci determinasi untuk jenis-jenis tumbuhan yang ada di sekitar sekolah. Kunci determinasi tersebut dibuat dengan menyusun serentetan pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan karakter dari berbagai jenis tumbuhan tersebut. Untuk menguji kunci determinasi yang sudah Anda rancang, Anda dapat melakukannya dengan cara meminta kawan lain untuk mengidentifikasi jenis-jenis tumbuhan yang tercantum. Jika ia dapat mengidentifikasi suatu jenis tumbuhan dengan tepat, maka kunci determinasi tersebut sudah baik.

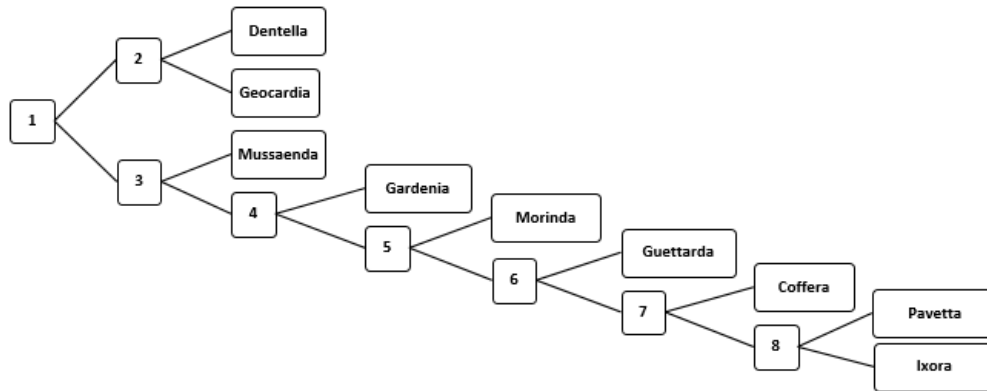
Model dari kunci determinasi bermacam-macam, namun yang paling sering digunakan adalah model dikotomi. Kunci dikotomi ini disusun atas dasar pengelompokan ciri-ciri makhluk hidup menjadi **dua** kelompok yang berbeda. Dengan menggunakan dasar persamaan dan perbedaan sifat ciri (*character state*) makhluk hidup tersebut, selanjutnya dilakukan pengelompokan lagi menjadi dua kelompok kembali hingga akhirnya diperoleh sifat ciri yang spesifik yang langsung merujuk pada identitas jenis suatu organisme.

Oleh karena itu dalam ilmu klasifikasi, tidak terlepas dari pengetahuan kita terhadap karakter-karakter yang dijadikan acuan untuk pengelompokan. Misalnya jika kita akan mengelompokkan berbagai jenis tumbuhan di lingkungan sekolah berdasarkan morfologi bunga, buah, daun, batang, dan akar, maka kita harus memahami berbagai tipe morfologi dari organ-organ tumbuhan tersebut. Agar dapat digunakan oleh orang lain, maka istilah yang digunakan harus istilah ilmiah yang umum.

Dalam perancangan kunci determinasi model dikotomi, pada setiap nomor selalu disusun dua pernyataan yang saling berkebalikan. Pada setiap pernyataan akan diteruskan menuju nomor baru yang akan mengarahkan pada dua pernyataan berikutnya, hingga pada akhirnya akan berhenti pada nama/identitas dari organisme tersebut. Untuk lebih jelasnya coba Anda perhatikan contoh kunci determinasi dibawah ini (dikutip dari Van Steenis, 1997):

- | | | |
|----|--|-----------|
| 1. | Herba berakar banyak, menjalar..... | 2 |
| | Perdu atau pohon | 3 |
| 2 | Bunga tunggal | Dentella |
| | Bunga dalam karangan | Geocardia |
| 3 | Beberapa bunga paling luar memiliki taju kelopak membesar seperti daun, mahkota oranye | Mussaenda |
| | Tidak terdapat taju kelopak yang menyerupai daun | 4 |
| 4 | Mahkota selalu rangkap..... | Gardenia |
| | Mahkota tidak rangkap | 5 |
| 5 | Bunga dalam bongkol | Morinda |
| | Bunga dalam anak payung menggarpu | 6 |
| 6 | Bunga duduk, panjang kelopak 5-7 mm, bertangkai panjang, tumbuh di ketiak daun | Guettarda |
| | Bunga bertangkai pendek, panjang kelopak 1-2 mm .. | 7 |
| 7 | Karangan bunga di ketiak daun | Coffea |
| | Karangan bunga di ujung (terminal) | 8 |
| 8 | a. Tangkai putik 2 kali panjang tabung mahkota | Pavetta |
| | b. Tangkai putik sedikit lebih panjang dari tabung mahkota | Ixora |

Kunci determinasi tersebut merupakan kunci dikotomi karena selalu bercabang dua, jika dibuat bagannya maka akan seperti Gambar 49.



Gambar 98. Model kunci determinasi dikotom

Biasanya untuk memudahkan dalam pembuatan kunci determinasi, pernyataan yang dibuat pertama kali adalah pernyataan mengenai sifat ciri morfologi yang paling umum terlebih dahulu, kemudian selanjutnya diikuti dengan sifat ciri yang semakin spesifik.

3. Klasifikasi pada Tumbuhan

Agar Anda memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai klasifikasi makhluk hidup, pada modul ini akan disajikan sistem klasifikasi yang diwakili oleh dunia tumbuhan. Diharapkan Anda dapat mengaplikasikan dan mempelajari lebih lanjut mengenai sistem klasifikasi pada golongan makhluk hidup yang lainnya.

Tumbuhan merupakan organisme penting yang menjadi kunci awal bagi proses perolehan nutrisi seluruh makhluk hidup di muka bumi. Sumber energi bagi kehidupan di muka bumi adalah cahaya matahari, dan salah satu golongan makhluk hidup yang mampu menangkap energi tersebut menjadi sumber makanan adalah kelompok tumbuhan (organisme berklorofil). Proses konversi energi cahaya matahari menjadi energi kimiawi oleh tumbuhan dilakukan melalui proses fotosintesis. Energi kimia tersebut tersimpan dalam senyawa organik yang merupakan hasil dari fotosintesis. Senyawa organik hasil fotosintesis merupakan sumber energi yang dibutuhkan oleh makhluk hidup lain baik secara langsung ataupun tidak langsung.

Tumbuhan mempunyai keistimewaan karena mampu menghasilkan senyawa organik yang akan digunakan sebagai sumber energi dari senyawa-senyawa anorganik, yaitu karbondioksida, air, dan mineral dari dalam tanah. Oleh karena itu tumbuhan termasuk ke dalam organisme **autotrof**. Dalam prosesnya, tumbuhan memerlukan cahaya matahari untuk mengkonversi nutrisi tersebut menjadi senyawa organik, oleh karena itu tumbuhan disebut juga organisme **fotoautotrof**.

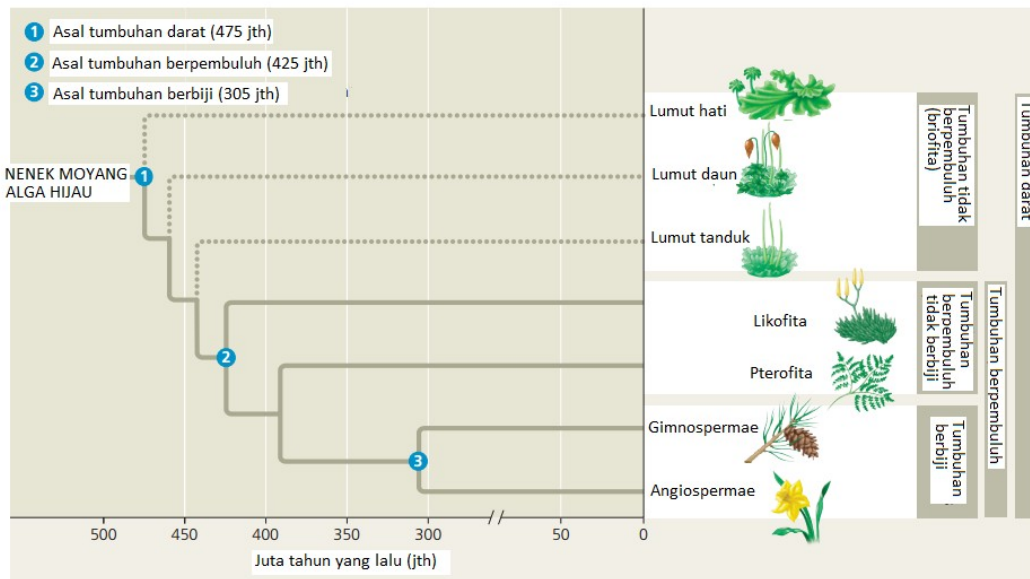
Organisme fotoautotrof sebenarnya tidak hanya tumbuhan, namun termasuk di antaranya beberapa anggota kelompok protista, misalnya alga dan juga beberapa organisme prokariot. Namun pada kajian ini akan dikhususkan pada tumbuhan saja.

Secara filogenetik, tumbuhan diketahui berkelompok berdasarkan karakteristik tertentu yaitu jaringan pembuluh dan alat perkembangbiakannya (Gambar 50)

1. Keanekaragaman Tumbuhan

Salah satu karakter pembeda dalam keanekaragaman tumbuhan adalah jaringan pembuluhnya. Tumbuhan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu tumbuhan yang tidak berpembuluh (*nonvascular plant*) dan tumbuhan yang berpembuluh (*vascular plant*).

Tumbuhan tidak berpembuluh lebih dikenal dengan lumut, yang terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu lumut daun, lumut hati, dan lumut tanduk. Sedangkan tumbuhan berpembuluh yang mencakup 93% dari keanekaragaman tumbuhan terbagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan ada atau tidaknya biji sebagai alat perkembangbiakan.



Gambar 99. Diagram filogenetik yang menunjukkan hipotesis hubungan kekerabatan antar golongan tumbuhan (Campbell, 2011)

a. Tumbuhan Tak Berpembuluh (*nonvascular plants*)

Tumbuhan tak berpembuluh yang merupakan tumbuhan lumut terdiri dari tiga divisi, yaitu Hepatophyta (lumut hati), Bryophyta (lumut daun), dan Anthocerotophyta (lumut tanduk).

Berbeda dengan tumbuhan berpembuluh, semua jenis lumut memiliki fase gametofit yang dominan dan berumur lebih panjang dibandingkan fase sporofit dalam siklus hidupnya.

Fase gametofit tersebut merupakan fase yang sering kita lihat dan kita kenal sebagai lumut itu sendiri. Gametofit akan menghasilkan gamet jantan dan betina. Gamet jantan akan memproduksi banyak sperma, sedangkan gamet betina menghasilkan satu telur. Biasanya sperma akan membutuhkan air untuk berenang menuju telur sehingga akan terjadi fertilisasi. Oleh karena itu lumut biasanya tumbuh di tempat-tempat yang lembab.

Pada umumnya lumut merupakan tumbuhan yang kecil, dan tumbuh menutupi permukaan substrat. Lumut tidak memungkinkan untuk tumbuh tinggi karena tubuhnya yang tipis, dan juga tidak mempunyai jaringan pembuluh sehingga tidak akan mampu untuk mentransportasikan air dan nutrisi untuk jarak yang cukup jauh.

1) Hepatophyta (Lumut Hati)

Divisi lumut ini diberi nama demikian karena bentuk gametofitnya yang menyerupai bentuk hati (dari Bahasa Latin *hepaticus*, hati). Contoh dari lumut hati adalah *Marchantia polymorpha* (Gambar 51).



Gambar 100. *Marchantia polymorpha*

Pada *Marchantia*, *gametophore* muncul dari talus, menjulang ke atas menyerupai miniatur pohon. Gametophore terdiri dari dua jenis, yaitu *archegoniophore* dan *antheridiophore* (Gambar 52). Di bagian atas *archegoniophore* diproduksi sel-sel telur, sedangkan pada *antheridiophore* diproduksi sel-sel sperma. Jika terjadi pembuahan maka sporofit akan tumbuh menggantung di bagian atas *archegoniophore*.

2) Anthocerophyta

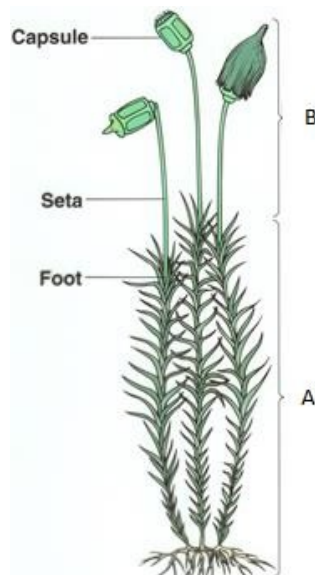
Divisi lumut ini mempunyai penampakan seperti lumut hati, namun tidak memiliki struktur gametophore yang berbentuk miniatur pohon seperti pada lumut hati, dan kapsul sporofitnya tumbuh memanjang ke atas tanpa seta, membentuk seperti tanduk. Oleh karena itu divisi lumut ini dinamakan lumut tanduk.



Gambar 101. Lumut Tanduk

3) Bryophyta (Lumut Daun)

Divisi ini biasa disebut sebagai lumut sejati, dan jumlah jenisnya paling banyak diantara kedua divisi lumut yang lain. Seperti kelompok lumut yang lain, lumut daun mudah ditemukan di permukaan-permukaan substrat yang lembab seperti permukaan tanah, tembok, batu, atau kulit kayu. Biasanya lumut daun tumbuh sangat rapat menyelimuti permukaan substrat, dan mempunyai sifat seperti busa sehingga mampu menyerap dan menyimpan air. Struktur tubuh Bryophyta dapat dilihat pada Gambar 53.



Gambar 102. Diagram Lumut Daun. A. Gametofit; B. Sporofit
(sumber: <https://www.studyblue.com>)

Contoh lumut daun adalah *Mnium hornum* yang sering kita temukan di permukaan tanah, batu, bahkan tembok yang lembab (Gambar 54).



Gambar 103. Lumut daun pada permukaan batu yang lembab

b. Tumbuhan Berpembuluh (*Vascular plants*)

Tumbuhan berpembuluh dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan ada atau tidaknya biji sebagai alat perkembangbiakannya. Dua kelompok tersebut yaitu tumbuhan tidak berbiji dan tumbuhan berbiji.

1) Tumbuhan Tidak Berbiji

Kelompok tumbuhan yang sudah mempunyai jaringan pembuluh namun tidak memiliki biji merupakan kelompok tumbuhan paku-pakuan yang terdiri dari divisi yaitu **Lycophyta** dan **Pterophyta**. Pada golongan tumbuhan ini fungsi biji digantikan dengan adanya spora.

Siklus hidup dari kelompok tumbuhan ini berbeda dengan siklus hidup pada lumut. Fase gametofit menjadi fase yang tidak dominan, ukurannya relatif lebih kecil, dan umurnya lebih pendek. Sedangkan fase sporofit menjadi fase yang dominan. Tumbuhan paku-pakuan yang biasa kita lihat merupakan fase sporofitnya.

a) Lycophyta

Pada umumnya divisi ini tumbuh sebagai tumbuhan epifit, dan yang lainnya tumbuh di lantai hutan. Terdapat sekitar 1.200 jenis yang terbagi ke dalam tiga kelompok, yaitu Lycopodiaceae, Selaginellaceae, dan Isoetaceae. Contoh dari Lycopodiaceae adalah paku kawat (*Lycopodium cernuum*). Kelompok Selaginellaceae dan Isoetaceae, masing-masing hanya mempunyai satu genus,



yaitu Selaginella dan Isoetes, Gambar 55.



Gambar 104. *Lycopodium* sp. (A.); *Selaginella* sp. (B.); dan *Isoetes* (C.)

b) Pterophyta

Divisi Pterophyta merupakan kelompok tumbuhan tak berbiji, sudah mempunyai jaringan pembuluh, dan sudah mempunyai batang, daun (*frond*), dan akar yang sederhana. Seperti pada kelompok tumbuhan sebelumnya, Pterophyta menghasilkan spora untuk memperbanyak diri. Divisi Pterophyta dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu paku sejati (***fern***), paku ekor kuda (***horsetail***), dan ***whisk fern***.

Kelompok paku sejati biasanya memiliki batang yang tegak, sehingga mampu

menopang “daun” (*frond*) yang berukuran relatif besar dibandingkan dengan kedua kelompok yang lain. Biasanya daun yang masih muda akan menggulung, disebut dengan istilah ental. Contoh paku sejati adalah paku tiang, *Cyathea contaminans*, Gambar 56.



Gambar 105. Paku Tiang (*Cyathea contaminans*), dengan entalnya

Paku ekor kuda biasa disebut juga dengan nama *anthrophyte* yang berarti tumbuhan berbuku, karena jenis paku ini memiliki “batang” yang berbuku- buku. Spora diproduksi pada struktur yang disebut dengan strobilus yang tumbuh di ujung batang. Contohnya adalah *Equisetum debile*, Gambar 57, yang biasa dijaikan sebagai tanaman hias dan tumbuh di tanah yang berair. Karena berbuku-buku seperti bambu, biasanya pedagang tanaman hias menyebut paku ini dengan nama “bambu air”.



Gambar 106. Paku ekor kuda, *Equisetum* sp.

Kelompok terakhir yaitu *whisk fern* mempunyai sporofit yang tumbuh menggarpu (dikotom), dan tidak mempunyai akar. Sporangia terletak di ujung percabangan berbentuk kenop yang merupakan gabungan dari tiga sporangia. Contohnya adalah *Psilotum* sp., Gambar 58.







Gambar 107. *Psilotum* sp.

2) Tumbuhan Berbiji (Spermatophyta)

Tumbuhan berbiji dikelompokkan menjadi dua yaitu tumbuhan berbiji terbuka (Gymnospermae) dan tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae). Jika kita perhatikan, pada tumbuhan lumut, fase gametofit merupakan fase yang dominan, tumbuh pada substrat, ukuran lebih besar daripada sporofitnya. Kemudian pada tumbuhan paku fase gametofit menjadi fase yang tidak

dominan, berukuran kecil dibandingkan dengan sporofitnya, tumbuh tersendiri pada substrat. Pada kelompok tumbuhan berbiji fase gametofit semakin tereduksi bahkan menjadi mikroskopis, dan tumbuh pada individu sporofit. Sehingga gametofit menjadi lebih terlindungi dari stres lingkungan, dan dijamin nutrisinya oleh sporofit (Gambar 108).

KELOMPOK TUMBUHAN			
	Lumut	Paku	Tumbuhan Berbiji
Gametofit	Dominan	Tereduksi, independen (fotosintetik dan tumbuh tersendiri)	Tereduksi (biasanya mikroskopik), nutrisi bergantung pada jaringan yang melindungi dari sporofit
Sporofit	Tereduksi, nutrisi bergantung pada gametofit	Dominan	Dominan
Contoh			<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Gymnospermae</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Angiospermae</p>  </div> </div>

Gambar 108. Perbandingan Gametofit – Sporofit pada lumut, paku, dan tumbuhan berbiji. (dimodifikasi dari Campbell, 2011)

a) Gymnospermae (Tumbuhan Berbiji Terbuka)

Kelompok tumbuhan ini disebut berbiji terbuka karena mempunyai biji yang tidak terlindung dalam ovarium. Biji tersebut terdedah keluar pada lembaran sporofil yang termodifikasi membentuk strobilus. Gymnospermae terbagi ke dalam empat divisi yaitu Cycadophyta, Ginkgophyta, Gnetophyta, dan Coniferophyta.

(1) Cycadophyta

Kelompok ini memiliki strobilus yang besar, dan daun menyerupai tumbuhan palem. Saat ini terdapat kurang lebih 130 jenis. Salah satu contoh yang populer dijadikan sebagai tanaman hias adalah Pakis Haji (Gambar 60).



Gambar 109. Pakis Haji (*Cycas rhumpii*)
(Sumber: <https://s10.lite.msu.edu>)

(2) Ginkgophyta

Satu-satunya jenis dari Ginkgophyta yang masih bertahan saat ini adalah *Ginkgo biloba* (Gambar 61). Daunnya menyerupai kipas dan akan berubah warna menjadi keemasan pada musim gugur. Tumbuhan ini berasal dari Cina, dan banyak ditanam di Jepang dan Korea. Bijinya dapat dijadikan sebagai makanan dan obat yang berkaitan dengan gangguan peredaran darah dan daya ingat.



Gambar 110. *Ginkgo biloba*

(3) Gnetophyta

Tumbuhan Gnetophyta terdiri dari tiga genus, yaitu *Welsitschia*, *Gnetum*, dan *Ephedra*. Genus *Gnetum* terdiri dari kurang lebih 35 jenis, dan salah satunya yang kita kenal adalah Melinjo (*Gnetum gnemon*) sebagai bahan pangan (Gambar 62). Daun dan strobilus yang masih muda biasa dikonsumsi untuk sayur. Sementara bijinya biasa dijadikan bahan makanan yang kita kenal sebagai emping.



Gambar 111. Melinjo (*Gnetum gnemon*)

b) Angiospermae (Tumbuhan Berbiji Tertutup)

Angiospermae berbeda dengan kelompok Gymnospermae karena biji yang dihasilkan terlindungi oleh buah (ovarium). Karakteristik khas angiospermae yaitu memiliki bunga dan buah.

Bunga merupakan modifikasi dari daun yang biasanya menjadi empat struktur yang terspesialisasi, yaitu kelopak, mahkota, stamen, dan karpel. Karena memiliki struktur bunga, maka kelompok tumbuhan ini yang hanya terdiri dari satu divisi saja diberi nama **Anthophyta** (tumbuhan berbunga).

Buah merupakan hasil perkembangan lanjutan dari ovarium dan atau bagian bunga yang lain setelah terjadi fertilisasi. Biji selanjutnya berkembang dari ovule yang berada di dalam ovarium. Oleh karena itu pada angiospermae biji terlindung di dalam buah. Buah dari berbagai jenis tumbuhan sangat bervariasi dan biasanya strukturnya termodifikasi untuk proses penyebaran biji tersebut. Misalnya buah dari Mahoni (*Swietenia mahagoni*) memiliki struktur sayap sehingga dapat terbang seperti baling-baling dan tersebar terbawa angin. Buah dari Pacar Air (*Impatiens balsamina*) memiliki buah yang dapat meledak karena faktor tekanan turgor, sehingga biji di dalamnya dapat terlempar jauh. Contoh

lain adalah biji dari Dandelion (*Taraxacum officinale*) yang dapat melayang jauh terbawa angin karena memiliki struktur *pappus* yang berbentuk rambut-rambut halus (Gambar 112).



(a)

(b)

(c)

Gambar 112. Variasi bentuk buah. Mahoni (a); Pacar Air (b); dan Dandelion (c)

Seiring dengan kemajuan teknologi, kajian klasifikasi tumbuhan angiospermae terus berkembang, sehingga saat ini cukup banyak perubahan-perubahan dalam penamaan atau pengelompokan dari suatu takson.

Sebelum tahun 1990, Angiospermae dikelompokkan ke dalam dua kelas yaitu Monokotil dan Dikotil, berdasarkan karakter kotiledonnya, yaitu yang memiliki satu kotiledon (*Monocotyledonae*) dan yang memiliki dua kotiledon (*Dicotyledonae*), dan karakter-karakter pembeda lainnya.

Sistem klasifikasi Angiospermae yang saat ini digunakan adalah APG III (*Angiosperm Phylogeny Group*), yang membagi lebih dari 250.000 jenis ke dalam empat klad (kelompok). Kelompok-kelompok tersebut yaitu Basal Angiosperm, Magnoliid, Monocot, dan Eudicot (APG III, 2009) Kelas Dikotil yang sebelumnya kita kenal ternyata bersifat polifiletik, yang saat ini dipisahkan menjadi Eudicot (dikotil sejati), Basal Angiosperm, dan Magnoliid.

(1) Basal Angiosperm

Terdapat kurang lebih 100 jenis tumbuhan yang termasuk ke dalam Basal Angiosperm, yang terbagi ke dalam tiga bangsa yaitu Amborellales, Nymphaeales, dan Austrobaileyales.



Gambar 113. *Nymphaea caerulea* (Nymphaeales)

Contoh lain yang kita kenal sebagai bumbu masakan adalah Bunga Lawang dari ordo Austrobaileyales, *Illicium verum* (Gambar 114).



Gambar 114. Bunga Lawang, *Illicium verum* (Austrobaileyales)

(2) Magnoliid

Kelompok Magnoliid terdiri dari kurang lebih 8.000 jenis, yang terbagi ke dalam empat ordo, yaitu Piperales, Canellales, Magnoliales, dan Laurales. Kelompok Magnoliid ini mempunyai sebagian ciri yang dimiliki Basal Angiosperm seperti susunan bunganya yang membentuk spiral namun lebih banyak karakter yang lebih mendekati pada kelompok *Monocot* dan *Eudicot*.

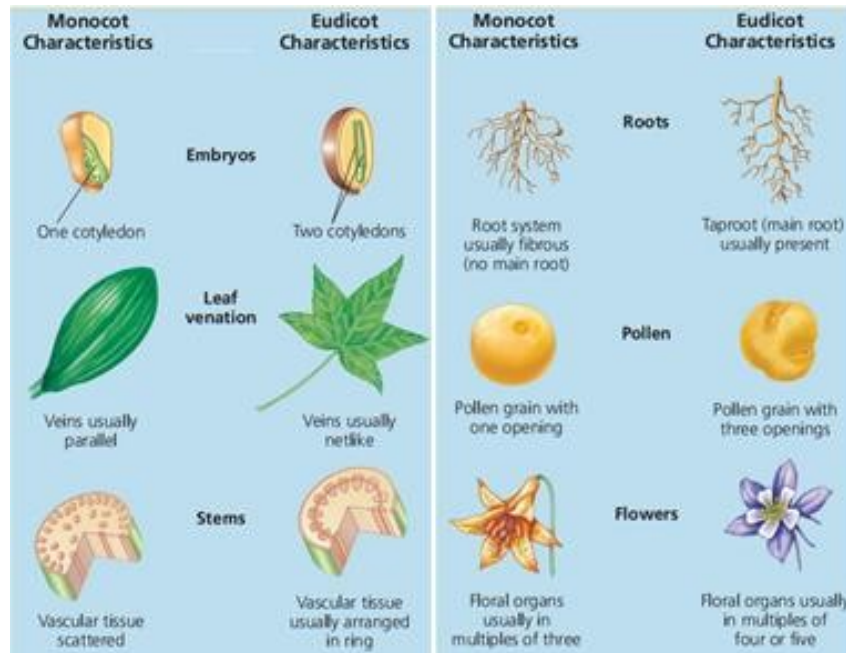
Beberapa contoh dari Magnoliid diantaranya adalah Lada, *Piper nigrum* (Piperales); Cempaka, *Magnolia grandiflora* (Magnoliales); Alpukat *Persea americana* (Laurales) di Gambar 115;



Gambar 115. Alpukat (*Persea americana*)

(3) Monocot

Hampir seperempat anggota dari Angiospermae adalah kelompok Monocot. Pada sistem klasifikasi sebelumnya takson Monocotyledon merupakan takson yang valid dalam klasifikasi. Saat ini kelompok Monocot bukan merupakan takson, namun merupakan klad atau kelompok bagian dari Angiospermae, dengan ciri-ciri yang sama dengan yang kita ketahui pada kelas Monocotyledon. Anggota Monocot yang merupakan famili yang cukup besar diantaranya palem-paleman (Arecaceae), rumput-rumputan (Poaceae), anggrek (Orchidaceae), lili (Liliaceae), dan lain-lain. Karakter Monocot dapat diamati pada gambar 67.

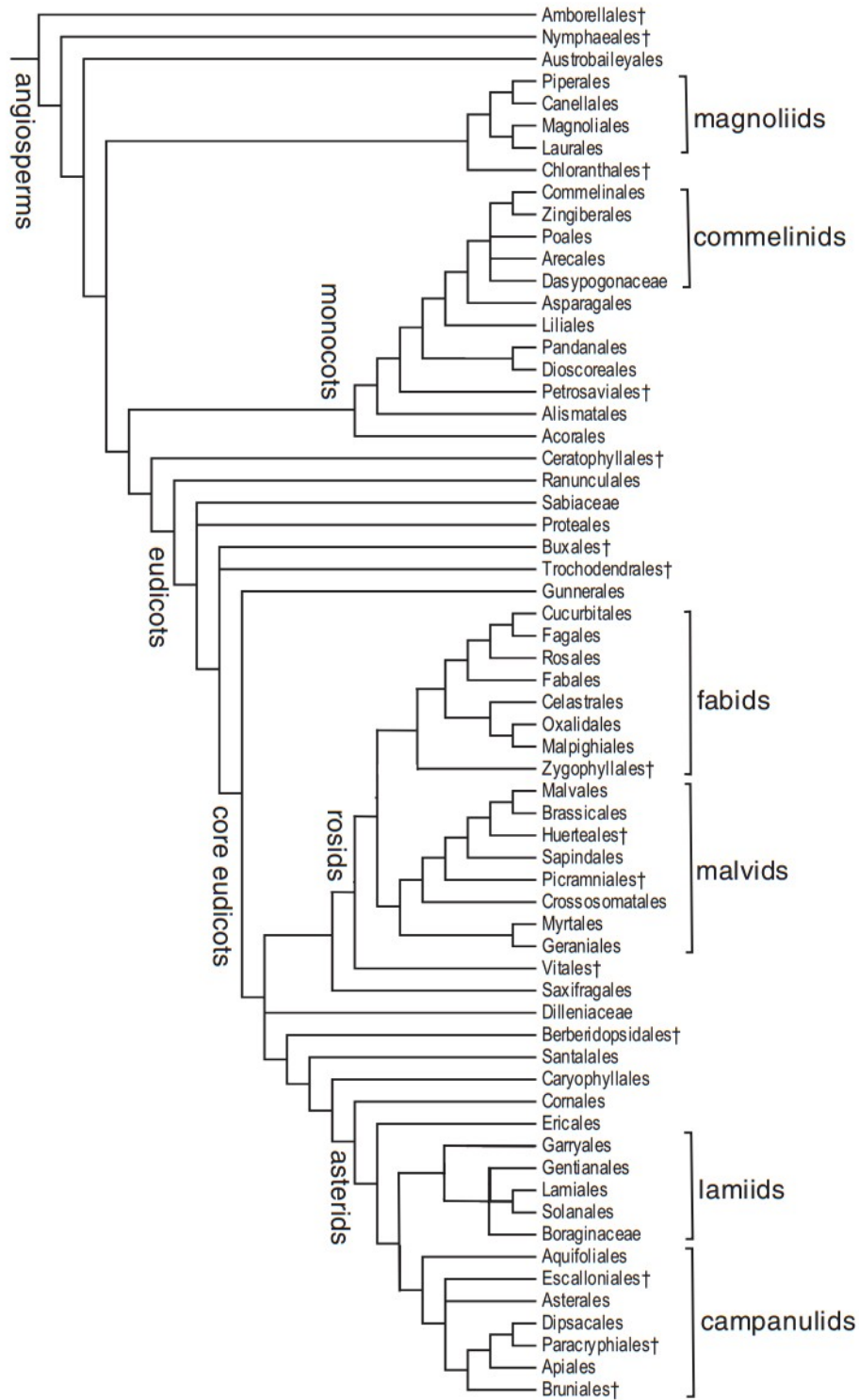


Gambar 116. Perbedaan karakter dari Monocot dan Eudicot

(4) Eudicot

Terdapat kurang lebih 170.000 jenis tumbuhan yang termasuk ke dalam kelompok ini. Karakter dari Eudicot merupakan karakter yang sama dengan kelas Dicotyledon pada sistem klasifikasi sebelumnya. Perbandingan karakter Monocot dan Eudicot dapat diamati pada Gambar 1.21.

Beberapa contoh keluarga tumbuhan yang sering kita lihat dari Eudicot diantaranya Combretaceae, Myrtaceae, Lythraceae, Onagraceae (Myrtales); Brassicaceae, Caricaceae, Moringaceae, Tropaeolaceae (Brassicales); Bixaceae, Malvaceae, Muntingiaceae (Malvales); Convolvulaceae, Solanaceae (Solanales); dan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 117.



Gambar 117. Diagram Filogeni Angiospernae (APG III, 2009)

D. Rangkuman

- Pengelompokan makhluk hidup dapat dilakukan dengan berbagai sistem. Sistem pengelompokan tersebut yaitu artifisial, natural, dan filogeni.
- Dalam kajian keanekaragaman makhluk hidup, para ilmuwan telah membuat sistem pengelompokan (klasifikasi) makhluk hidup yang biasa kita gunakan. Pengelompokan makhluk hidup tersebut dilakukan dengan berbagai sistem, yaitu artifisial, natural, dan filogeni. Selain membuat pengelompokan makhluk hidup, untuk mengenal suatu jenis harus melalui proses identifikasi, salahsatunya dengan menggunakan suatu instrumen yaitu kunci identifikasi atau kunci determinasi. Kunci determinasi merupakan serangkaian pertanyaan yang dapat menggiring kita sehingga dapat mengetahui nama dari jenis organisme yang ingin kita ketahui identitasnya. Model yang paling umum digunakan adalah model kunci determinasi dikotom.
- Kunci dikotomi disusun dengan menggunakan sepasang pernyataan yang berkebalikan mengenai sifat ciri (character state) makhluk hidup, dimana setiap pernyataan akan dilanjutkan pada pernyataan lain yang lebih spesifik, hingga akhirnya akan diketahui identitas makhluk hidup tersebut.
- Salah satu karakter pembeda dalam keanekaragaman tumbuhan adalah jaringan pembuluhnya. Tumbuhan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu tumbuhan yang tidak berpembuluh (nonvascular plant) dan tumbuhan yang berpembuluh (vascular plant).
- Tumbuhan tak berpembuluh yang merupakan tumbuhan lumut terdiri dari tiga divisi, yaitu Hepatophyta (lumut hati), Bryophyta (lumut daun), dan Anthoceroophyta (lumut tanduk). Semua jenis lumut memiliki fase gametofit yang dominan dan berumur lebih panjang dibandingkan fase sporofit dalam siklus hidupnya.
- Pada umumnya lumut merupakan tumbuhan yang kecil, dan tumbuh menutupi permukaan substrat. Lumut tidak memungkinkan untuk tumbuh tinggi karena tubuhnya yang tipis, dan juga tidak mempunyai jaringan pembuluh sehingga tidak akan mampu untuk mentransportasikan air dan nutrisi untuk jarak yang cukup jauh.

- Tumbuhan berpembuluh dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan ada atau tidaknya biji sebagai alat perkembangbiakannya. Dua kelompok tersebut yaitu tumbuhan tidak berbiji dan tumbuhan berbiji.
- Kelompok tumbuhan yang sudah mempunyai jaringan pembuluh namun tidak memiliki biji merupakan kelompok tumbuhan paku-pakuan yang terdiri dari divisi yaitu Lycophyta dan Pterophyta. Pada golongan tumbuhan ini fungsi biji digantikan dengan adanya spora.
- Tumbuhan berbiji dikelompokkan menjadi dua yaitu tumbuhan berbiji terbuka (Gymnospermae) dan tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae).
- Kelompok tumbuhan berbiji terbuka mempunyai biji yang terdedah keluar (tidak terlindung dalam ovarium) pada lembaran sporofil yang termodifikasi membentuk strobilus. Gymnospermae terbagi ke dalam empat divisi yaitu Cycadophyta, Ginkgophyta, Gnetophyta, dan Coniferophyta.
- Angiospermae mempunyai biji yang terlindungi oleh buah (ovarium). Buah merupakan perkembangan dari bunga setelah terjadi fertilisasi. Bunga merupakan modifikasi dari daun yang biasanya menjadi empat struktur yang terspesialisasi, yaitu kelopak, mahkota, stamen, dan karpel. Karena memiliki struktur bunga, maka kelompok tumbuhan ini yang hanya terdiri dari satu divisi saja diberi nama Anthophyta (tumbuhan berbunga).
- Sistem klasifikasi Angiospermae yang saat ini digunakan adalah APG III (Angiosperm Phylogeny Group), yang membagi lebih dari 250.000 jenis ke dalam empat klad (kelompok), yaitu Basal Angiosperm, Magnoliid, Monocot, dan Eudicot (APG III, 2009).

Pembelajaran 10: Evolusi

Sumber: Modul PKB (Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan) Biologi SMA
Kelompok Kompetensi D, Bab Evolusi
Penulis: Dr Yeni Hendriani, M. Si

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi ini diharapkan peserta menguasai kompetensi sebagai berikut :

1. Memahami pengertian dan perkembangan teori evolusi.
2. Memahami prinsip-prinsip evolusi
3. Memahami bukti-bukti evolusi

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Evolusi berikut ini.

1. Menjelaskan pengertian evolusi.
2. Menjelaskan perkembangan teori evolusi.
3. Menjelaskan prinsip-prinsip evolusi.
4. Menjelaskan bukti-bukti evolusi.

C. Uraian Materi

1. Pengertian Evolusi

Evolusi merupakan kata yang berasal dari bahasa latin yang artinya "membuka gulungan" atau "membuka lapisan". Kemudian bahasa itu diserap menjadi bahasa inggris evolution yang berarti perkembangan secara bertahap. Di dalam biologi, pengertian evolusi telah mengalami perkembangan, menurut Darwinisme: Evolusi adalah perubahan bertahap pada rentang waktu yang sangat panjang (makro evolusi). Dengan berkembangnya genetika molekuler,

para ilmuwan mengembangkan teori evolusi komprehensif yang menggabungkan Darwinisme dengan Mendelisme yang selanjutnya dikenal sebagai sintesis modern (*modern synthesis*). Menurut sintesis modern: evolusi adalah perubahan frekuensi alel dari suatu populasi persatuan waktu (mikro evolusi) (Iskandar, 2008).

Disebut sebagai sintesis, karena teori ini memadukan penemuan-penemuan dan ide dari berbagai bidang yang berbeda, yang meliputi paleontologi, taksonomi, biogeografi, dan genetika populasi. Di antara arsitek sintesis modern terdapat ahli genetika Theodosius Dobzhansky, ahli biogeografi, dan ahli taksonomi Ernst Mayr, ahli paleontologi George Gaylord Simpson, dan ahli Botani G. Ledyard Stebbins. Sintesis modern menekankan arti penting populasi sebagai unit evolusi, peran sentral seleksi alam sebagai mekanisme terpenting dalam evolusi, dan ide tentang gradualisme untuk menjelaskan bagaimana perubahan besar (spesiasi) dapat berkembang sebagai suatu akumulasi perubahan kecil (perubahan frekuensi alel) yang terjadi selama periode waktu yang panjang (Campbell, 2003). Biologi abad ke-20 telah dipengaruhi begitu dalam oleh sintesis modern, yang telah membentuk sebagian besar ide tentang bagaimana populasi berkembang dan berevolusi.

Evolusi pada akhirnya adalah suatu proses penciptaan keanekaragaman makhluk hidup. Seperti halnya dikemukakan Vyrba guru besar Paleontologi dan Biologi Yale University, bahwa bukti terbaik untuk evolusi adalah adanya keanekaragaman organisme hidup, penyebaran karakteristik di antara spesies, dan pola hirarki keanekaragaman. Dari waktu ke waktu, spesies baru berkembang dari spesies yang ada melalui spesiasi, dan spesies lain punah, menghasilkan perubahan yang terus menerus dalam dunia biologi yang dicerminkan dalam rekaman fosil. Sekitar 99% dari semua spesies yang pernah hidup di Bumi ini sudah punah (Campbell, 2003).

Teori evolusi menjelaskan bagaimana terjadinya proses perubahan pada makhluk hidup yang menyimpang dari struktur awal dalam jumlah yang banyak dan beraneka ragam sehingga kemudian menyebabkan terjadinya dua kemungkinan. Pertama, makhluk hidup yang berubah akan mampu bertahan dan tidak punah atau disebut juga dengan istilah *evolusi progresif*. Sedangkan

kemungkinan atau opsi yang kedua adalah makhluk hidup yang berubah atau berevolusi tadi gagal bertahan hidup dan akhirnya punah atau disebut dengan *evolusi regresif*. Menurut Teilhard de Chardin proses evolusi dibedakan menjadi 3 tahap, seperti berikut ini.

a. Tahap Geosfer

Tahap pra-hidup, tahap perubahan yang terutama menyangkut perubahan tata surya.

b. Tahap Biosfer

Kalau pada tahap geosfer yang menjadi masalah adalah adanya "loncatan" dari materi tak hidup menjadi materi hidup, maka pada tahap biosfer yang dimasalahkan adalah "loncatan" munculnya manusia.

b. Tahap Nesosfer

Pada tahap ini yang penting pada makhluk hidup dalam hal ini manusia adalah terjadi evolusi kesadaran batin yang semakin mantap. Dengan cara menghubungkan keanekaragaman kehidupan dengan mekanisme penyebab alamnya, Darwin memberikan suatu dasar ilmiah yang jelas bagi ilmu biologi. Namun demikian, produk evolusi yang beraneka ragam sungguh sangat elok dan mengilhami banyak pemikiran. Sebagaimana yang dikatakan Darwin dalam alinea penutup bukunya *The Origin of Species*, "Ada keagungan dalam kehidupan dilihat dari sudut pandang ini".

1. Perkembangan Teori Evolusi

Gagasan tentang evolusi biologi sudah ada sejak zaman dahulu, khususnya di antara ahli filsafat Yunani seperti Anaximander dan Epicurus serta ahli filsafat India seperti Patanjali. Namun, teori ilmiah evolusi belum mapan sampai abad ke 18 dan 19. Pemahaman modern tentang evolusi didasarkan pada teori seleksi alam, yang pertama kali diperkenalkan dalam karya ilmiah bersama antara Charles Darwin dan Alfred Russel Wallace pada tahun 1858, dan dipopulerkan di dalam buku Darwin *The Origin of Species* pada tahun 1859. Pada tahun 1930 an, para ilmuwan mengkombinasikan seleksi alam Darwinian dengan teori dari hereditas Mendelian untuk membentuk sintesis evolusi modern, yang juga dikenal sebagai "Neo-Darwinism". Berikut ini dikemukakan beberapa tokoh yang berperan dalam pengembangan teori evolusi.

a. Aristoteles (Teori Statis)

Menurut Aristoteles, semua bentuk kehidupan dapat disusun dalam suatu skala atau tangga dengan tingkat kerumitan yang semakin tinggi, idenya ini dikenal sebagai “skala alam” atau *scale of nature*. Aristoteles berargumentasi bahwa setiap spesies mempunyai wujud yang unik dan bisa digolongkan dari karakteristik-karakteristik kuncinya. Di dalam prosesnya, Aristoteles mengorganisasikan makhluk hidup dalam suatu hirarki seperti tangga, dengan tumbuhan ditempatkan di bagian bawah, hewan ditempatkan di pertengahan, dan manusia ditempatkan paling atas. Pada masa itu diyakini bahwa spesies itu bersifat permanen (*Fixisme*) di mana organisme-organisme satu spesies adalah identik, sempurna dan tidak berkembang. Kelainan pada suatu organisme adalah dosa atau hukuman, manusia pasrah kepada alam, ilmu pengetahuan belum berkembang, sehingga *kreasionisme* (penciptaan) merupakan satu-satunya jawaban.

Tabel 11 Hubungan waktu geologis dengan keanekaragaman organisme
Sumber: Campbell, 2003.

ZAMAN (ERA)	MASA (PERIOD)	KURUN	UMUR (JUTAAN TAHUN SILAM)	BEBERAPA PERISTIWA PENTING DALAM SEJARAH KEHIDUPAN
SENOZOIKUM	Kuartener	Baru-baru ini	0.01	Waktu sejarah
		Pleistosen	1.8	Zaman es, munculnya manusia
	Tersier	Pliosen	5	Munculnya nenek moyang manusia yang mirip kera
		Miosen	23	Penyebaran hewan dan angiosperma berlanjut terus
		Oligosen	35	Kemunculan banyak kelompok primata, termasuk kera
		Eosen	57	Dominansi angiosperma meningkat, kemunculan sebagian besar ordo mamalia modern

ZAMAN (ERA)	MASA (PERIOD)	KURUN	UMUR (JUTAAN TAHUN SILAM)	BEBERAPA PERISTIWA PENTING DALAM SEJARAH KEHIDUPAN
		Paleosen	65	Radiasi utama mamalia, burung dan serangga penyerbuk
MESOZOIKUM (Mesozoic)	Kretaseus (cretaceous)		145	Tumbuhan berbunga (Angiosperma) muncul, banyak kelompok organisma termasuk sebagian besar garis keturunan dinosaurus menjadi punah pada akhir periode ini. (kepunahan pada masa kretaseus).
	Jura (Jurassic)		208	Tumbuhan gimnosperma masih dominan, dinosaurus dominan
	Trias (Triassic)		215	Tumbuhan gimnosperma mendominasi daratan, radiasi dinosaurus, mamalia awal, dan burung-burung.
PALEOZOIKUM (Paleozoic)	Permian (Permian)		290	Kepunahan banyak organisme laut dan darat. (kepunahan pada masa permian), radiasi reptilia, kemunculan reptilia yang mirip mamalia dan sebagian besar ordo modern.
	Karboniferus (Carboniferous)		300	Hutan yang luas dengan tumbuhan vaskuler, tumbuhan berbiji pertama, kemunculan

ZAMAN (ERA)	MASA (PERIOD)	KURUN	UMUR (JUTAAN TAHUN SILAM)	BEBERAPA PERISTIWA PENTING DALAM SEJARAH KEHIDUPAN
				reptilia, amfibi dominan.
	Devon (Devonian)		409	Diversifikasi ikan bertulang; amfibia dan serangga pertama.
	Silur (Silurian)		430	Diversifikasi ikan tak berahang; ikan berahang pertama, kolonisasi daratan oleh tumbuhan vaskuler dan artropoda.
	Ordovisium (Ordovician)		510	Kemunculan tumbuhan; alga laut berlimpah.
	Kambrium (Cambrian)		570	Asal mula sebagian besar filum hewan modern (Ledakan pada masa kambrium).
PRAKAMBRIUM (Precambrian)			610	Beranekaragam hewan invertebrata berbadan lunak; vertebrata pertama; beranekaragam alga.
			700	Fosil hewan tertua
			1700	Fosil eukariota tertua
			2500	Oksigen mulai menumpuk di atmosfer
			3500	Fosil tertua yang diketahui (prokariota)
			4600	Perkiraan waktu permulaan bumi

b. Carolus Linnaeus (Penggagas Taksonomi)

Carolus Linnaeus (1707-1798) adalah pemikir pertama yang lebih jauh lagi mencoba untuk menggolongkan makhluk hidup. Beliau mengembangkan sistem dua bagian atau Binomial untuk menamai organisme menurut genus dan spesies. Linnaeus mengelompokkan spesies berdasarkan tingkat kemiripan. Spesies yang mirip satu sama lain dikelompokkan ke dalam genus yang sama, genus yang mirip dikelompokkan pada famili yang sama dan seterusnya. Bagi Linnaeus, pengelompokkan spesies yang mirip dalam satu kelompok tidak mengimplikasikan adanya pertalian keluarga menurut garis evolusi, tetapi seabad kemudian sistem taksonominya ternyata menjadi titik fokus pendapat Darwin tentang evolusi. Sistem klasifikasi biologi modern, menunjukkan bahwa seluruh dunia kehidupan dapat diatur dalam hierarki yang apabila digambarkan dalam bentuk diagram, menyerupai silsilah. Setelah Linnaeus, para naturalis sering menanggapi bahwa makhluk hidup saling 'berkerabat' namun mereka belum tahu apa penyebabnya.

c. James Hutton (Teori Gradualisme)

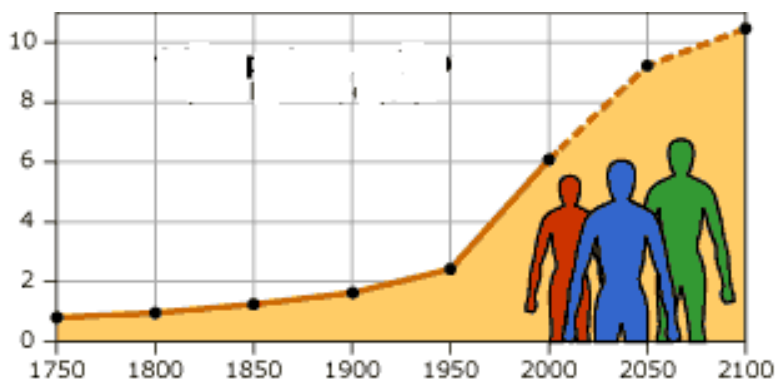
Pada tahun 1795 James Hutton ahli geologi Skotlandia menjelaskan sifat dan ciri geologis Bumi dengan teori gradualisme (secara bertahap), yang menganggap bahwa perubahan mendalam dan nyata dari ciri dan sifat geologis Bumi merupakan produk kumulatif proses yang berlangsung lambat namun berlangsung terus menerus. Misalnya tebing terbentuk oleh sungai yang memotong bebatuan.

c. Thomas Malthus (Pertumbuhan Populasi versus Persediaan Makanan)

Thomas Malthus (1766-1834) mempunyai tempat khusus dalam sejarah biologi, meskipun dia bukan ahli biologi tetapi seorang ahli ekonomi politik. Malthus menjadi terkenal pada tahun 1798 ketika dia menerbitkan sebuah essay yang berjudul "The Principle of Population as it affects the Future Improvement of Society". Di dalamnya, Malthus mengangkat keraguan- keraguan tentang apakah suatu bangsa bisa menjangkau suatu titik di mana hukum tidak lagi diperlukan, dan setiap orang hidup dengan makmur dan harmonis. Menurut Malthus diperlukan perjuangan yang keras untuk mempertahankan eksistensi manusia, karena potensi pertumbuhan populasi manusia seperti deret geometri (kelipatan

2) sedangkan kemampuan untuk menyediakan makanan dan sumber daya lainnya seperti deret aritmetik (deret hitung), lihat gambar 3.1.

Sebagai akibatnya, cepat atau lambat akan terjadi perbenturan antar anggota populasi dalam pemanfaatan sumber daya khususnya bila ketersediaannya terbatas. Hanya sebagian, seringkali merupakan bagian kecil, dari keturunannya yang akan bertahan hidup: sementara sebagian lainnya akan tereliminasi. Satu-satunya alasan bahwa umat manusia tidak ada dalam kondisi kelaparan yang terus menerus karena pertumbuhannya secara terus menerus dibatasi dengan kekuatan seperti wabah penyakit, peperangan, atau penundaan pernikahan sampai usia dewasa. Malthus menunjukkan bahwa kekuatan yang sama dari fertilitas dan kelaparan yang membentuk umat manusia juga bekerja pada hewan dan tumbuhan. Darwin mengadaptasikan gagasan Malthus kepada teori evolusinya, bahwa untuk mempertahankan dirinya, manusia harus berkembang untuk menyesuaikan diri seperti umumnya hewan yang lain.



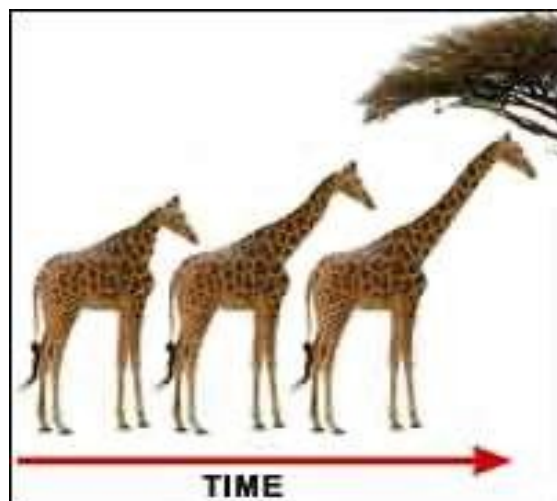
Gambar 118. Pertumbuhan Populasi Manusia (dalam hitungan miliar orang)
Sumber : <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>

Gambar 103 diatas menunjukkan bahwa antara tahun 1800 dan 2000 populasi manusia meningkat enam kali lipat. Adakah langkah-langkah untuk menjaga ketersediaan makanan? Akankah di sana ada makanan yang cukup untuk mendukung populasi manusia yang diproyeksikan menjadi 92 milyar di tahun 2050?

d. Jean Baptiste de Lamarck (Teori Dinamis)

Ilmuwan pertama yang mengajukan suatu model komprehensif tentang terjadinya perubahan terhadap makhluk hidup seiring dengan waktu sebagai akibat dari pengaruh lingkungan adalah seorang naturalis dari Perancis yang bernama Jean B. Lamarck. Dia bekerja dalam klasifikasi cacing, laba-laba, moluska (hewan bertubuh lunak seperti keong), dan makhluk-makhluk tanpa tulang belakang lainnya. Lamarck melihat adanya kesamaan-kesamaan dari hewan-hewan yang dia pelajari, dan sangat terkesan oleh perkembangan rekaman fosil. Hal itu mendorong dia untuk berpikir bahwa kehidupan itu tidak tetap. Ketika lingkungan berubah, organisme harus mengubah perilaku mereka (adaptasi) untuk bertahan hidup.

Ide pokok Lamarck adalah bahwa bagian-bagian tubuh yang lebih banyak digunakan untuk menghadapi lingkungan akan menjadi lebih besar dan kuat, sedangkan bagian-bagian tubuh yang tidak digunakan (*disuse*) akan mengalami penurunan. Modifikasi yang didapatkan oleh suatu organisme selama masa hidupnya dapat diturunkan kepada keturunannya. Jadi, penekanan teori Lamarck adalah bahwa adaptasi terhadap lingkungan merupakan produk utama evolusi, perhatikan Gambar 104.



Gambar 119. Lamarck percaya bahwa leher jerapah yang panjang berkembang dari generasi-generasi jerapah yang memanjangkan lehernya untuk mencapai daun-daun yang lebih tinggi

(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

Charles Lyell (Teori Uniformitarianisme/Keseragaman)

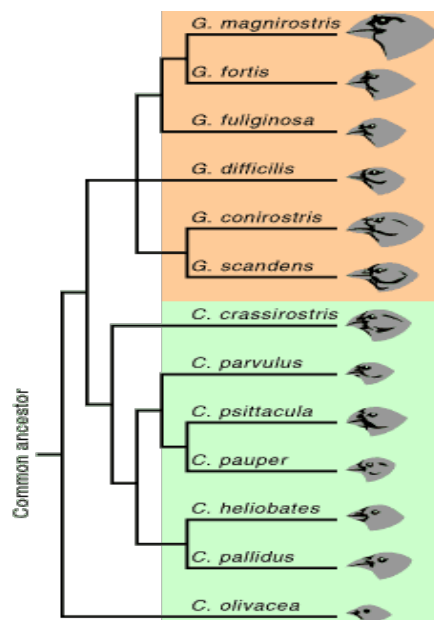
Teori Hutton tentang gradualisme selanjutnya dipadukan oleh Charles Lyell (1797-1875) dalam suatu teori yang dikenal dengan nama Uniformitarianisme. Teori ini menyatakan bahwa proses geologis masih belum berubah sepanjang sejarah Bumi ini. Dengan demikian, gaya yang bekerja saat ini dalam membentuk ciri geologis Bumi sama besarnya dengan gaya di masa silam (Gambar 105). Teori gradualisme dan uniformitarianisme ini juga menjadi dasar pemikiran evolusi Darwin. Pertama, jika perubahan geologis merupakan akibat dari kerja yang lambat namun terus menerus dan bukan akibat dari kejadian yang tiba-tiba maka bumi pasti sudah sangat tua. Kedua, proses yang sangat lambat namun sangat halus yang bertahan selama periode yang sangat panjang dapat menyebabkan perubahan yang cukup besar.



Gambar 120. Lyell menemukan bukti bahwa lembah-lembah dibentuk melalui proses yang lambat dari erosi, bukan oleh karena malapetaka banjir.
(sumber <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

e. Charles Darwin (Teori Evolusi, Seleksi Alam)

Darwin adalah seorang naturalis Inggris yang mengikuti eksplorasi kapal HMS Beagle untuk membuat peta pelabuhan dunia pada tahun 1831. Di sepanjang perjalanan inilah (selama lima tahun, yaitu dari 27 Desember 1831 hingga 2 Oktober 1836) dia meneliti berbagai jenis hewan dan tumbuhan yang dijumpainya. Darwin menggambar dan menulis tentang apa yang dia lihat, mengirim banyak spesimen ke Inggris, dan mengembangkan gagasan tentang hidup, kehidupan di masa lampau dan bagaimana caranya berubah menjadi seperti sekarang. Darwin berada di Kepulauan Galapagos selama kurang lebih 2 bulan dan melakukan berbagai pengamatan terhadap berbagai jenis hewan yang ada di kepulauan terpencil itu (Gambar 106). Melalui pengamatan ini, dan juga berbagai pengamatan lanjutan yang dilakukannya selama puluhan tahun atas koleksi hewan dan tumbuhan yang diperolehnya, Darwin membentuk embrio teori evolusi. Pada tahun 1859, Darwin menerbitkan buku "*On the Origin of Species by means of Natural Selection*", yang menyajikan bukti-bukti yang menunjukkan bahwa kehidupan telah berevolusi sepanjang sejarahnya dan bahwa mekanisme yang menyebabkan terjadinya evolusi adalah seleksi alam.



Gambar 121. Di pulau Galapagos Darwin menemukan 13 spesies burung Finch (*Geospiza* sp) yang beradaptasi dengan relung lingkungan yang berbeda. Burung-burung tersebut berbeda dalam bentuk paruh, sumber makanan, dan cara memperoleh makanan.

Sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>

Ahli Biologi evolusi Ernst Mayr menguraikan logika teori seleksi alam Darwin menjadi tiga inferensi (kesimpulan) berdasarkan lima pengamatan (Campbell, 2003), yaitu sebagai berikut:

Observasi 1: Semua spesies memiliki potensi fertilitas yang sedemikian besar sehingga jumlah populasinya akan meningkat secara eksponensial jika semua individu yang dilahirkan berhasil bereproduksi dengan baik.

Observasi 2: Populasi cenderung menjadi stabil dalam jumlah, kecuali ada fluktuasi musiman.

Observasi 3: Sumber daya lingkungan adalah terbatas.

Kesimpulan 1: Pertambahan individu yang lebih banyak dibandingkan dengan yang dapat didukung oleh lingkungan akan mengakibatkan adanya persaingan untuk mempertahankan keberadaan individu di dalam populasi itu, sehingga hanya sebagian keturunan yang dapat hidup pada setiap generasi.

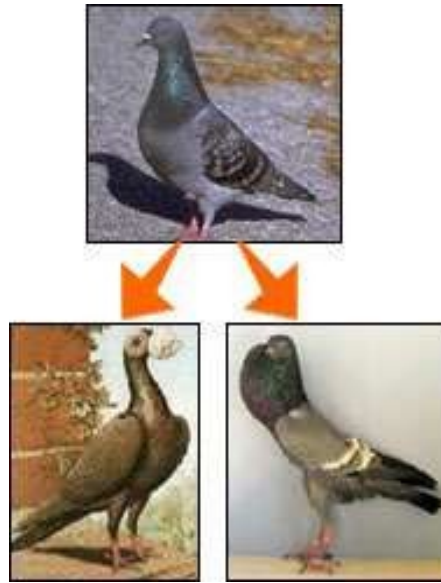
Observasi 4: Individu-individu dalam suatu populasi sangat jauh berbeda dalam hal ciri-ciri khasnya; tidak akan ada dua individu yang persis sama.

Observasi 5: Banyak di antara variasi tersebut dapat diturunkan.

Kesimpulan 2: Kelangsungan hidup dalam perjuangan untuk mempertahankan hidup tidak terjadi secara acak, tetapi bergantung sebagian pada susunan sifat yang diwarisi dari individu-individu yang bertahan hidup. Individu yang mewarisi sifat baik yang membuat individu tersebut cocok dengan lingkungannya besar kemungkinan akan menghasilkan lebih banyak keturunan dibandingkan dengan individu yang kurang cocok sifatnya terhadap lingkungan.

Kesimpulan 3: Kemampuan individu yang tidak sama untuk bertahan hidup dan bereproduksi ini akan mengakibatkan suatu perubahan secara bertahap dalam suatu populasi dan sifat-sifat menguntungkan akan berakumulasi sepanjang generasi.

Di samping itu Darwin juga menemukan bukti terjadinya seleksi alam pada seleksi tiruan (*artificial selection*) seperti ditunjukkan pada gambar 122.



Gambar 122. Merpati pos (bawah kiri) dan Brunner pouter (bawah kanan) berasal dari merpati batu karang yang liar (atas)
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

f. Alfred Russel Wallace (Teori Evolusi: Seleksi Alam)

Wallace adalah seorang naturalis Inggris yang hidup semasa dengan Darwin. Wallace secara terpisah juga mengembangkan teori seleksi alam yang pada dasarnya sama dengan yang dikemukakan oleh Darwin. Darwin dan Wallace cukup lama berkorespondensi secara ilmiah. Wallace malah banyak mengirim spesies-spesies penemuan barunya dari Asia ke Darwin untuk diteliti. Menurut Wallace, teorinya tentang evolusi hasil pemikiran yang datang secara spontan. Di lain pihak, teori evolusi Darwin adalah hasil pemikiran secara metodis selama bertahun-tahun. Ironisnya, Darwin menjadi jauh lebih terkenal daripada Wallace sendiri. Namun demikian, Wallace adalah salah satu pembela Darwin dan teorinya dimasa kontroversial setelah buku "*The Origin of Species*" diterbitkan. Walaupun ide evolusi (bahwa makhluk hidup secara berangsur-angsur berubah) telah didiskusikan jauh sebelum abad ke-19, Darwin dan Wallace adalah orang yang pertama mencetuskan bagaimana proses evolusi itu berlangsung.

g. Gregor Johann Mendel (Teori Genetika)

Mendel adalah seorang pendeta dan ilmuwan dari Austria yang mempelajari ilmu keturunan. Dengan mengobservasi kacang polong (*Pisum sativum*) selama bertahun-tahun, Mendel mengambil kesimpulan bahwa ada suatu pola dalam pewarisan sifat keturunan. Hasil penyelidikan Mendel menjadi dasar ilmu genetika. Walaupun sebagian besar ilmuwan Biologi dapat diyakinkan Darwin bahwa spesies merupakan hasil evolusi, namun ada permasalahan mengenai ide seleksi alam sebagai mekanisme evolusi.

Ada kekurangan dalam penjelasan Darwin, yaitu pemahaman pewarisan yang dapat menjelaskan bagaimana variasi acak muncul dalam suatu populasi. Padahal Gregor Mendel dan Charles Darwin hidup pada masa yang sama, namun tidak ada yang dapat melihat dan menyadari bahwa Mendel telah menemukan prinsip dasar pewarisan yang sudah pasti dapat menyelesaikan permasalahan Darwin dan memberikan kredibilitas terhadap seleksi alam.

h. Evolusi Modern (Neo-Darwinisme)

Sintesis evolusi modern mengacu pada satu set gagasan dari beberapa spesialis biologi yang bersama-sama membentuk suatu teori evolusi komprehensif yang diterima oleh mayoritas ahli biologi. Sintesis ini dibentuk sekitar tahun 1936-1947 dengan mengembangkan genetika populasi yang merupakan integrasi antara seleksi alam Darwin dengan genetika Mendel. Huxley Julian menemukan istilah ini pada tahun 1942, ketika ia meringkas gagasan-gagasan di dalam bukunya, *Evolution: Modern Synthesis*. Meskipun sekarang Sintesis Modern merupakan dasar pemikiran evolusi, teori ini mengacu kepada suatu peristiwa historis yang terjadi sekitar tahun 1930 dan 1940. Tokoh utama yang mengembangkan sintesis modern di antaranya R.A. Fisher, Theodosius Dobzhansky, J.B.S. Haldane, Sewall Wright, Julian Huxley, Ernst Mayr, Bernhard Rensch, Sergei Chetverikov, George Gaylord Simpson, dan G. Ledyard Stebbins. Sintesis evolusi modern dikenal juga sebagai sintesis baru, sintesis modern, sintesis evolusi, atau *neo-Darwinisme*.

Pada tahun 1940, berdasarkan eksperimen Griffith Avery, McCleod dan McCarty secara pasti mengenali DNA (*deoxyribonucleic acid*) sebagai agen yang bertanggung jawab untuk meneruskan informasi genetika. Sejak tahun 1940,

suatu teori evolusi baru muncul yang menyebutkan bahwa perubahan evolusioner terjadi secara cepat antara periode panjang dari stabilitas spesies. Teori ini dikenal sebagai "*punctuated evolution*" yang merupakan teori evolusi yang paling akhir dan dikemukakan oleh Stephen Jay Gould dan Niles Eldredge. Penemuan mereka tentang bagaimana hereditas bekerja via DNA merupakan penjelasan yang lebih tepat tentang mekanisme evolusi.

Walter S. Sutton, Theodor Boveri, Wilhelm Johannsen, Thomas Hunt Morgan, and Hermann Muller telah menyelidiki hubungan yang kompleks antara kromosom, gen, dan hukum-hukum hereditas. Ahli Biometrik seperti Ronald Fisher, John Haldane, dan Reginald Crundall Punnett telah menggunakan matematika dan teknik statistika untuk menganalisis perubahan genetik dengan demikian menetapkan bidang genetika populasi. Julian Huxley, cucu dari T. H. Huxley, memberikan kontribusi penting untuk bidang embriologi, antar bidang-bidang yang lain. Paleontologis George Simpson memfokuskan penelitiannya pada pola migrasi antar benua dari spesies masa lampau. James Watson dan Francis Crick memperkenalkan model DNA untuk menjelaskan dasar kimia dari gen, hereditas, dan evolusi.

Sintesis modern menguraikan evolusi sebagai suatu perubahan di dalam frekuensi alel dalam suatu populasi dari satu generasi ke generasi berikutnya. Teori ini sekarang menjadi pusat prinsip pengaturan dari biologi modern, yang berhubungan secara langsung dengan topik-topik seperti asal-usul resistensi antibiotika pada bakteri, sosialitas pada serangga, dan keanekaragaman hayati dari kehidupan di Bumi. Pengembangan terbaru yang paling penting dalam biologi evolusi adalah meningkatnya pemahaman dan kemajuan genetika.

Jika menurut Darwin mekanisme evolusi itu terjadi karena seleksi alam, maka menurut Sintesis Modern, evolusi terjadi tidak hanya karena seleksi alam tetapi juga disebabkan oleh hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*), aliran gen (*gene flow*), mutasi, dan perkawinan tidak acak.

2. Prinsip-Prinsip Evolusi

Berikut ini adalah prinsip-prinsip yang bekerja ketika proses evolusi terjadi.

- a. Pada satu waktu evolusi terjadi lebih cepat dari yang lainnya. Bentuk baru muncul dan bentuk lama punah.
- b. Laju kecepatan evolusi tidak sama pada organisme yang berbeda.
- c. Spesies baru bukan merupakan bentuk yang paling sempurna tapi bentuk yang sudah terspesialisasi.
- d. Evolusi tidak selalu dari yang sederhana ke kompleks.
- e. Evolusi terjadi dalam populasi bukan dalam individu.

3. Mekanisme Evolusi

Titik balik yang menentukan perkembangan dalam teori evolusi adalah kelahiran cabang ilmu biologi baru, yaitu Genetika Populasi. Ilmu ini menunjukkan tentang luasnya variasi genetik di dalam populasi dan mengenali arti penting dari perubahan sifat-sifat yang terakumulasi dari generasi ke generasi. Untuk memahami hubungan genetika populasi dengan evolusi, mari kita mulai dengan konsep spesies. Spesies adalah sekelompok individu sejenis yang mempunyai potensi untuk saling mengawini dan menghasilkan keturunan yang fertil di alam bebas. Sekelompok spesies yang hidup pada tempat dan waktu yang sama disebut populasi. Evolusi terjadi ketika ada perubahan di dalam struktur genetika dari suatu populasi. Untuk memahami bagaimana suatu populasi berubah, para ahli biologi mempelajari jenis dan jumlah gen dari suatu populasi. Kumpulan gen (*gene pool*) adalah seluruh alela dari seluruh gen yang terdapat dalam seluruh individu dari suatu populasi pada suatu periode tertentu. Proporsi relatif alela dalam suatu populasi dinyatakan dengan frekuensi alela. Struktur genetik suatu populasi ditentukan oleh frekuensi alel dan genotipnya.

Menurut teorema Hardy-Weinberg "*frekuensi alel dan genotip dalam kumpulan gen suatu populasi tetap konstan selama beberapa generasi kecuali kalau ada yang bertindak sebagai agen lain selain rekombinasi seksual*". Teorema Hardy-Weinberg menjelaskan suatu kumpulan gen yang berada dalam suatu kesetimbangan, yaitu suatu populasi yang tidak berevolusi. Nilai kesetimbangan dari frekuensi alel dan genotip yang dihitung berdasarkan persamaan Hardy-Weinberg memberikan dasar untuk melacak struktur genetik suatu populasi selama beberapa generasi. Jika frekuensi alel atau genotipnya menyimpang dari

nilai yang diharapkan dari kesetimbangan Hardy-Weinberg, maka populasi tersebut dinyatakan sedang berevolusi. Dengan demikian, definisi evolusi pada tingkat populasi dapat dinyatakan sebagai "perubahan frekuensi alel atau genotip populasi dari generasi ke generasi" atau "perubahan dalam struktur genetik populasi". Karena perubahan dalam suatu kumpulan gen itu adalah evolusi dalam skala terkecil, maka keadaan ini secara khusus disebut sebagai *mikroevolusi*.

Kesetimbangan Hardy-Weinberg hanya dapat dipertahankan jika:

- a. Ukuran populasi sangat besar. Dalam populasi yang besar, hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*) yang merupakan fluktuasi acak dalam kumpulan gen tidak akan mengubah frekuensi alel.
- b. Terisolasi dari populasi lain. Pada populasi yang terisolasi tidak akan ada aliran gen (perpindahan alel antar populasi akibat perpindahan individu atau gamet) yang dapat mengubah kumpulan gen.
- c. Tidak ada mutasi. Perubahan satu alel menjadi alel lain akibat mutasi akan mengubah frekuensi alel dan genotip suatu populasi.
- d. Perkawinan acak. Dengan perkawinan acak frekwensi alel dan genotip akan mengikuti hukum pewarisan sifat Mendel, sehingga frekwensi alel dan genotip dapat dipertahankan tetap.
- e. Tidak ada seleksi alam. Jika potensi kelangsungan hidup dan keberhasilan reproduksi pada semua individu sama, maka frekwensi alel dan genotip akan tetap dari generasi ke generasi.

Kelima syarat yang diperlukan untuk mempertahankan kesetimbangan Hardy-Weinberg memberikan suatu framework untuk memahami mekanisme evolusi. Seperti telah dikemukakan di atas evolusi akan terjadi jika salah satu syarat tidak terpenuhi. Dengan demikian mekanisme dasar yang menyebabkan proses evolusi adalah seleksi alam, hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*), aliran gen (*gene flow*), mutasi, dan perkawinan tidak acak. Berikut ini akan dikemukakan penjelasan mekanisme evolusi oleh masing-masing agen penyebab evolusi.

a. Seleksi Alam

Jika kita lihat populasi-populasi makhluk hidup di alam, maka kita akan menemukan bahwa setiap populasi terdiri atas individu-individu yang bervariasi. Beberapa varian mungkin menghasilkan lebih banyak keturunan dibanding yang lain. Keberhasilan yang berbeda dalam reproduksi ini adalah seleksi alam. Tentunya hal ini dipengaruhi oleh kemampuan individu yang tidak sama untuk bertahan hidup dan berproduksi. Menurut *The American Heritage Science Dictionary*, seleksi alam adalah suatu proses di mana organisme-organisme yang lebih baik penyesuaiannya terhadap lingkungan akan menghasilkan keturunan yang lebih banyak dibanding yang lain. Sebagai hasil dari seleksi alam, proporsi organisme suatu spesies dengan karakteristik yang bersifat adaptif terhadap lingkungan akan meningkat pada masing-masing generasi. Oleh karena itu, seleksi alam secara acak memodifikasi variasi asal dari ciri-ciri genetik suatu spesies sehingga alel-alel yang bersifat menguntungkan karena survive akan mendominasi, sedangkan alel-alel yang tidak menguntungkan akan berkurang. Menurut *Merriam-Webster's Medical Dictionary*, seleksi alam adalah suatu proses alami yang akan menghasilkan individu yang *survive* atau kelompok terbaik yang sesuai dengan kondisi di mana mereka hidup dan ini sama pentingnya untuk mengabadikan kualitas genetik yang diinginkan dan untuk menghapus gen yang tidak diinginkan sebagai hasil dari rekombinasi atau mutasi gen.

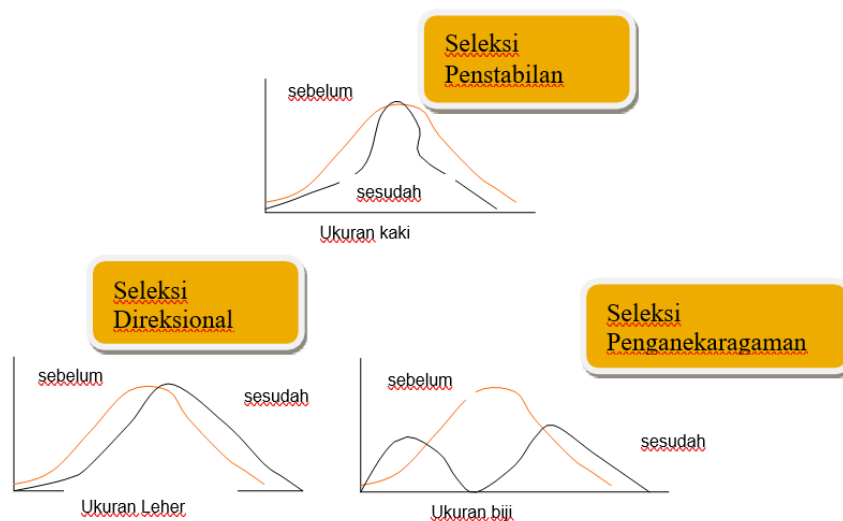
Seleksi alam mengakibatkan alel diturunkan ke generasi berikutnya dalam jumlah yang tidak proporsional dengan frekuensi relatif generasi saat itu, sehingga mengubah kumpulan gen. Seleksi alam mengakumulasi dan mempertahankan genotip yang menguntungkan dalam suatu populasi. Pengaruh seleksi alam dalam penurunan frekuensi suatu sifat dalam suatu populasi berlangsung dengan tiga cara sebagai berikut:

1) Seleksi penstabilan (*stabilizing selection*), bekerja terhadap fenotip ekstrim dan menyukai varian antara yang lebih umum. Seleksi ini mengurangi variasi dan mempertahankan keadaan yang tetap pada suatu waktu tertentu untuk suatu fenotip khusus (Gambar 108). Sebagai contoh bayangkan populasi kelinci yang panjang kakinya bervariasi. Pada lingkungan yang di dalamnya terdapat anjing hutan, kelinci yang kakinya panjang akan tereliminasi karena mereka tidak dapat

melintasi lubang-lubang kecil untuk melarikan diri dari anjing hutan. Kelinci yang kakinya pendek juga akan tereliminasi, karena mereka tidak dapat berlari cepat untuk menghindarkan diri dari anjing hutan. Hasilnya adalah populasi kelinci yang panjang kakinya sedang relatif lebih bertahan. Variasi kelinci akan berkurang dan populasi akan stabil.

2) Seleksi langsung (*directional selection*), seleksi ini menggeser keseluruhan susunan populasi dengan cara lebih menyukai salah satu varian yang ekstrim (lihat Gambar 108). Sebagai contoh jika di sebuah hutan terdapat populasi jerapah. Misalkan makanan jerapah adalah daun-daun sejenis pohon yang ukurannya cukup tinggi. Proses seleksi tentu saja ke arah leher yang lebih panjang.

3) Seleksi penganeekaragaman (*diversifying selection*), menyeleksi sifat rata-rata dan lebih menyukai sifat yang ekstrim. Perhatikan ukuran biji populasi pohon oak, yang berkisar dari yang kecil hingga yang besar. Umpamakan suatu spesies tupai pemakan biji oak menyerbu hutan. Tupai-tupai itu tidak akan memakan biji yang kecil, sebab terlalu sulit untuk di tempatkan. Mereka juga tidak akan memakan biji yang besar sebab terlalu besar untuk dibawa. Setelah beberapa tahun, biji oak yang ukurannya sedang akan menghilang, tetapi biji yang ukurannya kecil dan besar akan survive dan berkecambah. Selanjutnya hutan oak tersebut akan memiliki pohon dengan dua ukuran biji yang berbeda.



Gambar 123. Cara seleksi alam dalam mempengaruhi penurunan frekuensi suatu sifat (Sumber: Campbell, 2003)

b. Hanjutan/pergeseran genetik (*genetic drift*)

Hanjutan/pergeseran genetik adalah perubahan dalam frekuensi gen pada suatu populasi berukuran kecil akibat kejadian acak. Secara ideal suatu populasi harus berukuran besar agar hanjutan/pergeseran genetik tidak mempengaruhi kumpulan gennya. Pada umumnya hanjutan/pergeseran genetik disebabkan oleh bencana besar dan pembentukan koloni baru oleh sejumlah kecil individu. Bencana besar misalnya letusan gunung berapi dan tsunami dapat mengurangi ukuran populasi secara drastis. Akibatnya, struktur genetik populasi kecil yang selamat mungkin tidak mewakili struktur populasi semula, situasi ini biasanya disebut sebagai efek leher botol (*bottleneck effect*). Dengan hilangnya sebagian besar alel dari kumpulan gen, maka efek leher botol dan hanjutan/pergeseran genetik yang diakibatkannya, akan mengurangi keanekaragaman genetik dalam suatu populasi. Efek leher botol dapat menjelaskan mengapa populasi cheetah memperlihatkan variasi genetik yang sangat sedikit.

Hanjutan/pergeseran genetik juga dapat terjadi ketika pembentukan koloni baru oleh beberapa individu yang menempati suatu habitat yang terisolasi. Semakin kecil ukuran populasi koloni baru, maka semakin kecil kemungkinan susunan genetiknya akan mewakili kumpulan gen populasi asalnya. Hanjutan/pergeseran genetik dalam suatu koloni baru dikenal sebagai efek pendiri (*founder effect*).

c. Aliran gen (*gene flow*)

Aliran gen (juga disebut campuran gen atau migrasi gen) adalah pertukaran dari variasi genetik antar populasi, ketika faktor geografi dan habitat bukan rintangan. Ernst Mayr berpendapat bahwa aliran gen seperti homogenizing (penyamaan gen), dapat menetralkan adaptasi selektip. Pendapat ini didukung oleh Campbell (2003) yang menyatakan bahwa aliran gen cenderung mengurangi perbedaan antara populasi yang telah terakumulasi akibat seleksi alam atau hanjutan/pergeseran genetik. Jika hal ini terjadi cukup luas, aliran gen akhirnya dapat menyatukan populasi yang berdekatan menjadi sebuah populasi tunggal dengan struktur genetik yang sama. Dengan demikian, aliran gen dapat menyebabkan perubahan pada frekuensi alel suatu populasi, kita tahu jika frekuensi alel suatu populasi berubah maka disana telah terjadi proses *mikroevolusi*.

Ketika ada rintangan ke aliran gen, situasi ini dimasukkan ke dalam istilah isolasi reproduksi dan merupakan hal yang penting untuk terjadinya spesiasi. Gerak bebas alel melalui suatu populasi mungkin juga dirintangi oleh struktur populasi. Sebagai contoh, kebanyakan populasi di dunia nyata tidaklah benar-benar secara penuh dapat saling berbiak silang. Jarak geografi mempunyai pengaruh yang kuat terhadap pergerakan alel di dalam populasi.

d. Mutasi

Mutasi adalah perubahan dalam DNA suatu organisme. Suatu mutasi baru yang diturunkan melalui gamet dapat dengan segera mengubah kumpulan gen suatu populasi. Mutasi selalu terjadi. Hampir semua gen mungkin mengalami mutasi sekali pada saat pembelahan yang ke 50.000 hingga 100.000 (Sastrodihardjo, 1980). Kecepatan mutasi dari berbagai gen bervariasi. Alel yang lebih stabil, frekuensinya akan cenderung bertambah banyak, sedangkan alel yang mudah bermutasi akan cenderung untuk berkurang frekuensinya. Meskipun mutasi pada suatu lokus gen tertentu jarang terjadi, dampak kumulatif mutasi tersebut pada semua lokus bisa signifikan. Hal ini disebabkan oleh setiap individu memiliki ribuan gen, dan banyak populasi memiliki ribuan atau jutaan individu. Dengan begitu, dalam jangka panjang mutasi sangat penting bagi evolusi karena mutasi mempertinggi variabilitas yang berfungsi sebagai bahan mentah untuk seleksi alam.

e. Perkawinan Tidak Acak

Syarat lain agar kesetimbangan Hardy-Weinberg dapat dipertahankan adalah perkawinan acak. Tetapi pada kenyataannya, individu lebih sering kawin dengan anggota populasi yang lebih dekat dibandingkan dengan yang lebih jauh jaraknya, terutama pada spesies yang penyebarannya dekat. Hal ini akan mendorong perkawinan antarkerabat (*inbreeding*). Perkawinan tidak acak lainnya adalah *perkawinan assortatif* atau perkawinan berdasarkan pilihan, di mana individu memilih pasangan yang sama dengan dirinya dalam fenotip tertentu. Sebagai contoh, beberapa kodok (*Bufo sp.*) paling sering mengawini kodok yang ukurannya sama.

Perkawinan yang tidak acak akan meningkatkan jumlah genotif homozygot dari lokus gen pada individu. Setiap perubahan dalam perilaku kawin assortatif atau

kawin antar kerabat populasi akan menggeser frekuensi genotif yang berlainan. Dengan demikian, perkawinan tidak acak dapat menyebabkan populasi berevolusi.

5. Bukti-Bukti Evolusi

Selama dan sejak jaman Darwin, orang-orang telah mencari dan mempelajari bukti-bukti evolusi di alam yang mengajari mereka lebih banyak tentang evolusi. Beberapa jenis bukti evolusi, misalnya fosil dan kesamaan antar organisme, telah digunakan oleh Darwin untuk membangun teorinya tentang seleksi alam dan masih digunakan sampai sekarang. Bukti yang lainnya, misalnya uji DNA belum tersedia pada jaman Darwin, tetapi digunakan oleh ilmuwan sekarang untuk mempelajari lebih banyak tentang evolusi.

Lima jenis bukti evolusi dibahas di dalam modul ini, yaitu sisa organisme masa lampau, distribusi geografis spesies (biogeografi), anatomi perbandingan, embriologi perbandingan, dan genetika molekuler. Bukti penting lain yang dipelajari Darwin dan juga masih dipelajari sekarang adalah seleksi buatan, atau domestikasi.

i. Sisa Organisme Masa Lampau

Fosil, bersama-sama dengan anatomi perbandingan dari hewan dan tumbuhan yang ada sekarang, merupakan catatan morfologi atau anatomi dari suatu spesies. Selanjutnya, dengan membandingkan anatomi kedua-duanya yaitu spesies yang hidup di masa lampau dengan spesies yang ada sekarang, paleontologis (ahli fosil) dapat menyimpulkan atau menduga garis keturunan dari spesies tersebut. Bukti Fosil sangat penting, termasuk hubungan dengan kelompok organisme yang disebut *spesies transisi*, seperti *Archaeopteryx sp*, yang menyajikan bukti awal untuk mata rantai antara dinosaurus dan burung serta penemuan terakhir *Tiktaalik sp.* yang menjelaskan pengembangan dari ikan ke hewan berkaki empat.

Darwin dan para ilmuwan sekarang sudah menemukan bahwa sisa organisme-organisme masa lampau yang mereka temukan kelihatan seperti organisme-organisme sekarang. Hal ini dimungkinkan karena mereka adalah nenek moyang (*ancestor*) organisme yang hidup atau berkembang dari seorang nenek moyang umum (*common ancestor*). Sebagai contoh, megatherium mungkin nenek

moyang dari pohon yang ada sekarang. Dewasa ini, fosil-fosil masih menjadi bahan yang dipelajari untuk menemukan lebih banyak bukti tentang kehidupan di masa lampau dan hubungannya dengan kehidupan sekarang. Mereka menjelaskan informasi yang tersedia tentang evolusi dan bagaimana terbentuknya kehidupan.



Gambar 124. Bayi Mammoth yang terperangkap dalam es, diperkirakan hidup 22.000 tahun yang lalu.

(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

Tidak seperti di jaman Darwin, sekarang para ilmuwan dapat mengetahui umur fosil dan sisa-sisa organisme masa lampau ini untuk mendapatkan suatu gambaran yang lebih tepat ketika organisme-organisme yang berbeda berkembang. Kita masih belajar berbagai hal yang baru dari suatu sumber berharga yang secara harfiah berumur jutaan tahun.



(a)



(b)

Gambar 125. (a) Mineral menggantikan material tumbuhan untuk membentuk kayu yang membatu; (b) serangga terjatuh di dalam getah pohon, yang kemudian mengeras ke dalam batu amber

(sumber: [http:// evolution.berkeley.edu/evolibrary/](http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/))

ii. Distribusi Geografis Spesies (Biogeografi)

Bukti lain yang digunakan untuk menunjukkan garis keturunan evolusioner adalah distribusi geografis dari spesies. Sebagai contoh, hewan monotremata dan kebanyakan marsupialia (binatang berkantung) ditemukan hanya di Australia. Hal ini menunjukkan bahwa nenek moyang umum mereka, yaitu mamalia berplasenta hidup sebelum tenggelamnya jembatan daratan masa lampau antara Australia dan Asia.

Darwin memperoleh ide tentang evolusi pertama kali dari fenomena penyebaran geografis spesies. Darwin mencatat bahwa tumbuhan dan hewan di daerah beriklim sedang (temperata) Amerika Selatan lebih dekat kekerabatannya dengan spesies yang hidup di daerah tropis benua tersebut dibandingkan dengan spesies di daerah beriklim sama namun hidup di benua lain. Dengan demikian, penjelasan yang paling tepat adalah organisme yang ada di suatu pulau memiliki kekerabatan dengan organisme yang ada di pulau terdekatnya karena berkembang dari nenek moyang yang sama.

iii. Anatomi Perbandingan

Teori evolusi memprediksi bahwa keterkaitan organisme ditunjukkan dengan adanya kesamaan organ yang berasal dari nenek moyang umum. Bagian tubuh dengan struktur dasar yang sama dikenal sebagai homologi. Struktur homolog ditemukan pada organisme-organisme yang berbeda namun memiliki nenek

moyang umum yang sama. Homologi dapat dijelaskan dengan membandingkan anatomi dari makhluk hidup yang berbeda, yang terlihat dari kesamaan dan perbedaan sel, mempelajari perkembangan embrio, dan mempelajari struktur-struktur sisa (*vestigial structures*) pada individu suatu organisme.

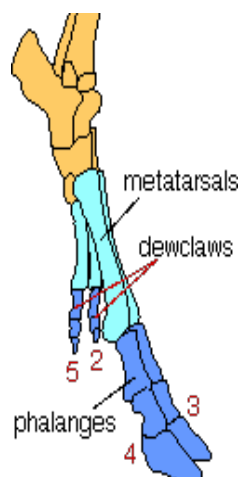
Beberapa jenis daun pada gambar 111 sangat berbeda dengan daun normal. Masing-masing daun memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda, namun semua berasal dari struktur yang sama (homolog), yang berasal dari suatu bentuk *common ancestor*. Kantung semar dan *Venus flytrap* menggunakan daunnya untuk menangkap dan mencerna serangga. Daun merah cerah dari *Poinsettia* terlihat seperti kelopak bunga. Daun kaktus mengalami modifikasi menjadi duri-duri kecil sehingga dapat mengurangi laju kehilangan air dan dapat melindungi kaktus dari herbivor.



Gambar 126. Homologi pada daun
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

Di dalam tubuh setiap organisme banyak terdapat bukti tentang sejarah kehidupan mereka dan penjelasan terbaik untuk keberadaan fitur ini adalah dengan evolusi. Beberapa hewan termasuk babi, sapi, rusa, dan anjing dalam perkembangannya telah mengurangi tulang-tulang jari kaki yang tidak berfungsi yang dikenal sebagai *deuclaws* (Gambar 112). Kaki babi kehilangan 1 tulang jari lengkap, tulang jari ke 2 dan 5 telah sangat tereduksi, dan hanya tulang jari 3 dan

4 yang mendukung tubuh. Penjelasan terbaik untuk organ vestigial bahwa organ-organ tersebut adalah sisa-sisa dari nenek moyang dengan jumlah yang hilang atau tereduksi jauh lebih banyak dari tulang jari fungsional. Bagian tubuh yang sama dalam fungsi tetapi berbeda dalam struktur dasar seperti sayap burung dengan sayap serangga, disebut struktur analog. Bagian tubuh ini tidak menunjukkan suatu hubungan evolusioner.



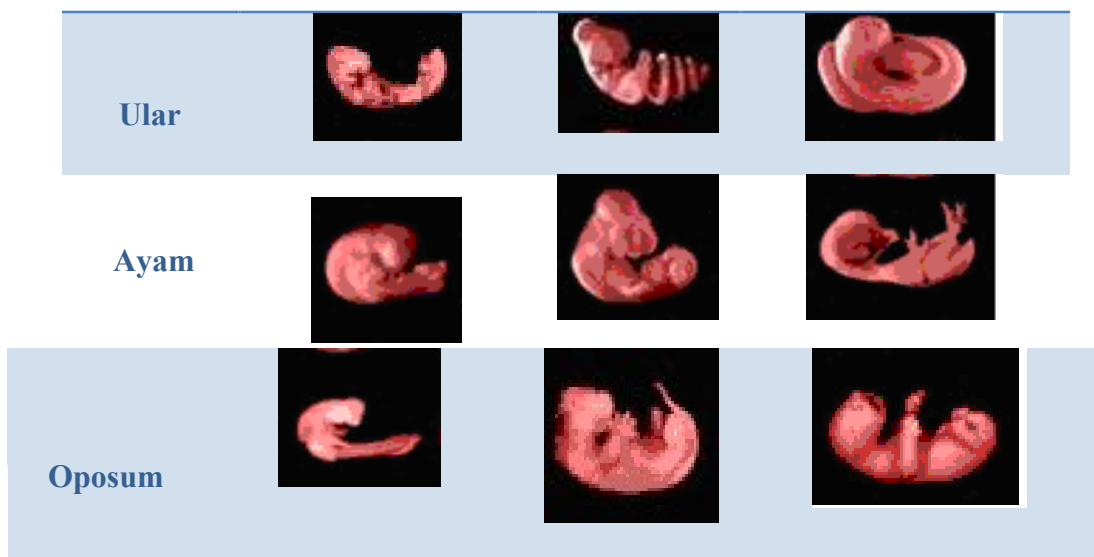
Gambar 127. "Dewclaws" organ vestigial pada beberapa hewan
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

iv. Embriologi Perbandingan

Perkembangan suatu organisme, atau ontogeni, mungkin berisi petunjuk-petunjuk tentang sejarah yang dapat digunakan ahli biologi untuk membangun pohon evolusioner. Karakter-karakter yang berasal dari nenek moyang sering (tetapi tidak selalu) dipelihara dalam perkembangan suatu organisme. Sebagai contoh, embrio anak ayam dan manusia (Gambar 113) kedua-duanya mengalami suatu tahap di mana mereka mempunyai celah dan bangun lengkung di dalam leher mereka yang serupa dengan bangun lengkung dan celah insang dari ikan. Pengamatan ini mendukung gagasan bahwa ayam dan manusia memiliki nenek

moyang umum (*common ancestor*) yang sama dengan ikan. Dengan demikian, karakter-karakter perkembangan suatu organisme beserta bukti lainnya dapat digunakan untuk membangun *phylogeni*.

Organisme “Awal” Ekor Embrio Intermediet “Akhir” Bentuk
dewasa



Gambar 128. Karakter-karakter yang ditunjukkan oleh embrio mungkin menguraikan pola hubungan di antara garis keturunan.
(sumber: <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/>)

v. Biologi Molekuler

Hubungan evolusi di antara spesies dicerminkan dalam DNA dan proteinnya atau dalam gen dan produk gennya. Jika dua spesies memiliki pustaka gen dan protein dengan urutan monomer yang sangat bersesuaian, urutan itu pasti disalin dari nenek moyang yang sama. Biologi molekuler mendukung pemikiran Darwin yang paling berani, “*bahwa semua bentuk kehidupan saling berhubungan sampai*

tingkat tertentu melalui cabang-cabang keturunan dari organisme yang paling awal". Bahkan organisme yang secara taksonomi berbeda jauh seperti manusia dan bakteri, memiliki beberapa protein yang sama, misalnya sitokrom c, suatu protein yang terlibat dalam respirasi seluler pada semua spesies aerob. Dengan demikian, biologi molekuler telah menambahkan babak terbaru dari bukti-bukti bahwa evolusi adalah dasar kesatuan dan keanekaragaman kehidupan.

Perkembangan genetika molekuler, terutama sekali sekuensing DNA (urutan nukleotida pada DNA), telah membuat para ahli biologi mempelajari catatan evolusi dari struktur genetika organisme. Tingkat kesamaan dan perbedaan dalam urutan DNA dari spesies modern membuat ahli genetika dapat merekonstruksi garis keturunan mereka. Berdasarkan perbandingan urutan nukleotida DNA, tingkat kesamaan antara manusia dan simpanse adalah 98%.

D. Rangkuman

Studi evolusi dalam abad keduapuluh terus berlanjut dengan substansi yang semakin tinggi dan dengan metode serta alat yang semakin canggih. Kini evolusi bisa dikatakan telah menjadi teori sentral dalam biologi modern yang berhubungan secara langsung dengan topik-topik seperti asal-usul resistensi antibiotika pada bakteri, sosialitas pada serangga, dan keanekaragaman hayati dari kehidupan di Bumi. Pengembangan terbaru yang paling penting dalam biologi evolusi adalah meningkatnya pemahaman dan kemajuan dari genetika.

Sejak penerbitan *The Origin of Species* pada tahun 1859, teori evolusi telah menjadi sumber kontroversi yang hampir tetap. Secara umum, kontroversi memusat pada hal-hal yang bersifat filosofis, kosmologis, sosial, dan implikasi religius dari evolusi, bukan pada ilmu evolusi itu sendiri. Teori bahwa evolusi biologi terjadi melalui satu mekanisme hampir tidak ditentang dalam masyarakat ilmiah sejak awal abad ke-20.

Pembelajaran 11: Bioteknologi

Sumber: Modul PPG (Pendidikan Profesi Guru)
Modul 6. Bioteknologi
Penulis: Eko Prasetya, M. Sc, dkk

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi ini diharapkan peserta menguasai kompetensi sebagai berikut :

1. Memahami pengertian dan prinsip-prinsip bioteknologi.
2. Memahami perkembangan bioteknologi.
3. Memahami peranan mikroorganismes dalam bioteknologi.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Bioteknologi berikut ini.

1. Menjelaskan pengertian bioteknologi.
2. Menjelaskan prinsip-prinsip dasar bioteknologi.
3. Menjelaskan fase perkembangan bioteknologi.
4. Menjelaskan peranan mikroorganismes dan bioteknologi konvensional

C. Uraian Materi

1. Pengertian bioteknologi

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat dipengaruhi oleh berkembangnya ilmu bioteknologi. Bioteknologi mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Perkembangan bioteknologi sejalan dengan tingginya kebutuhan hidup manusia yang tidak sebanding dengan produksi yang memenuhi kebutuhan tersebut. Pada negara maju, bioteknologi mendapat perhatian yang sangat serius dan dikembangkan oleh pemerintah secara intensif untuk memenuhi kebutuhan manusia maupun untuk produksi industri. Bidang utama yang menjadi perhatian dalam pengembangan

bioteknologi adalah pangan, farmasi, pengolahan limbah, dan rekayasa genetika. Pengembangan ilmu bioteknologi bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup manusia.

Bioteknologi merupakan pemanfaatan sistem kehidupan dan organisme untuk mengembangkan dan menciptakan produk baru untuk menghasilkan atau memodifikasi produk atau proses dengan tujuan memperoleh produk yang lebih baik dari segi kualitas maupun kuantitas serta singkat dalam waktu produksi. Bioteknologi berasal dari kata *Bios* yang artinya hidup, *teuchos* yang artinya alat, dan *logos* yang artinya hidup sehingga bioteknologi dapat diartikan sebagai cabang ilmu yang mempelajari pemanfaatan makhluk hidup maupun produk dari makhluk hidup dalam proses produksi barang dan jasa untuk meningkatkan kesejahteraan umat manusia.

Primrose mengartikan bioteknologi sebagai penerapan prinsip-prinsip biologi, biokimia, dan rekayasa dalam mengolah suatu bahan dan jasa memanfaatkan organisme hidup dan komponennya untuk menghasilkan barang dan jasa yang bermanfaat bagi manusia. *Office of Technical Assistance (OTA)*, Amerika Serikat menyatakan bioteknologi sebagai teknik pendayagunaan organisme hidup atau bagian dari organisme tersebut untuk membuat atau memodifikasi produk guna meningkatkan atau memperbaiki sifat tanaman atau hewan. *European Federation of Biotechnology* menyatakan bahwa bioteknologi merupakan integrasi dari ilmu pengetahuan alam dan ilmu rekayasa dengan tujuan meningkatkan aplikasi organisme hidup, sel, atau bagian dari organisme hidup untuk menghasilkan barang dan jasa. Pengertian bioteknologi kemudian berkembang sejak penemuan metode pembuatan DNA rekombinan dan fusi sel sehingga mengarah ke proses bioteknologi modern. *Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)* mendefinisikan bahwa teknologi merupakan penerapan prinsip pengetahuan dan rekayasa untuk penanganan dan pengolahan bahan dengan bantuan agen biologis dalam menghasilkan barang dan jasa yang mendukung pertumbuhan ekonomi.

Penggunaan istilah bioteknologi pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan asal Hungaria, Karl Ereky, pada tahun 1917 untuk menggambarkan interaksi biologi dan teknologi manusia dengan memanfaatkan sistem biologi serta organisme

untuk mengubah bahan baku menjadi suatu produk yang berguna bagi masyarakat. Tonggak sejarah bioteknologi modern dimulai sejak tahun 1928 sejak antibiotik penisilin digunakan oleh Alexander Fleming untuk pengobatan penyakit kulit yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus aureus* hingga pada tahun 1940 penisilin digunakan untuk mengobati infeksi pada manusia. Tahun 1950, antibiotik berhasil ditemukan pada beberapa strain bakteri sehingga produksi skala besar mulai dilakukan untuk mendapatkan berbagai antibiotik untuk kepentingan pengobatan.

2. Prinsip-prinsip dasar bioteknologi

Bioteknologi merupakan ilmu multidisiplin yang melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti biologi, kimia, biokimia, molekular, genetika, imunologi, dan mikrobiologi. Ruang lingkup bioteknologi sangat luas sehingga untuk mempermudah pembagian bioteknologi, para ilmuwan membagi bioteknologi menjadi bioteknologi merah, hijau, putih, dan biru,

Bioteknologi merah merupakan cabang ilmu bioteknologi yang mempelajari aplikasi bioteknologi pada bidang medis mencakup tindakan pencegahan, diagnosis, dan pengobatan suatu penyakit. *Bioteknologi hijau* berkaitan dengan aplikasi bioteknologi pada bidang pertanian dan peternakan. *Bioteknologi putih* merupakan cabang bioteknologi yang diaplikasikan pada bidang industri dengan pemanfaatan mikroorganisme atau enzim untuk memproduksi produk baru baik produk pangan maupun tidak, biomaterial, biopolimer, dan senyawa baru dalam skala industri. *Bioteknologi biru* merupakan bioteknologi yang diaplikasikan dalam bidang akuatik mencakup perairan dan kelautan seperti pemanfaatan berbagai tumbuhan laut sebagai sumber energi dan biofuel. Penggolongan bioteknologi yang terbaru adalah bidang bioinformatika. *Bioinformatika* merupakan bidang multidisiplin yang mengkaji masalah biologi menggunakan komputasi. Perkembangan bioteknologi saat ini sejalan dengan perkembangan bioinformatika. Bioinformatika memiliki peran penting dalam genomik fungsional, genomik struktural, dan proteomik yang mampu memproduksi kebutuhan penting yang bermanfaat bagi manusia.

Prinsip dasar bioteknologi adalah adanya agen biologis (mikroba, enzim, sel), pendaayagunaan teknologi untuk memanipulasi DNA, produk dan jasa yang

diperoleh serta penggunaan berbagai disiplin ilmu yang berkaitan dengan produk. Para ilmuwan memberikan batasan terkait bioteknologi yaitu berkaitan dengan katalis biologi (enzim) untuk fungsi atau proses tertentu, penciptaan dengan memanfaatkan katalis, dan pemisaan atau pemurnian produk esensial atas produk yang dihasilkan.

Pemahaman prinsip dan batasan bioteknologi akan memberikan dasar konsep yang tepat dalam memahami bioteknologi untuk kepentingan manusia. Pada awalnya bioteknologi dianalogikan dengan industri yang menggunakan agen-agen mikrobiologi untuk memproduksi barang dan jasa. Dalam perkembangannya, tanaman dan hewan juga dapat dieksplorasi secara komersial. Dengan demikian ruang lingkup bioteknologi menjadi sangat luas, mencakup seluruh teknik untuk menghasilkan barang atau jasa dengan memanfaatkan sistem biologi maupun sel hidup.

3. Sejarah perkembangan bioteknologi

Bioteknologi telah dimulai sejak manusia mulai meningkatkan kualitas hidupnya dengan memanfaatkan agen-agen biologi. Sejarah bioteknologi sebelum era teknologi maju diawali dengan ditemukannya proses fermentasi bir dan pembuatan keju oleh masyarakat Mesir dan Sumeria pada sekitar tahun 2000 SM, kemudian berkembang pada tahun 500 SM ditemukannya jamur penghasil antibiotik pada kedelai untuk menangani infeksi. Masyarakat Mesir kuno telah mengenal pemanfaatan mikroorganisme untuk pembuatan bir, anggur, cuka, yogurt, dan lain-lain. Bahkan bangsa Yunani kuno telah melakukan proses bioteknologi dengan melakukan pemuliaan pada tanaman-tanaman dengan kualitas baik serta melakukan ternak hewan-hewan yang potensial untuk dimanfaatkan oleh manusia. Perkembangan bioteknologi kemudian semakin berkembang sejak ditemukannya mikroskop oleh ilmuwan Belanda, Zacharias Janssen, pada abad 16 dan ditemukannya sel oleh Robert Hooke dan bakteri oleh Antonie van Leeuwenhoek pada abad 17.

Penemuan vaksinasi *small pox* oleh Edward Jenner menjadi tonggak sejarah perkembangan bioteknologi di bidang kesehatan. Pada abad 19, enzim dan protein mulai ditemukan dan pada saat yang sama, salah satu bakteri penting dalam proses pengembangan antibiotik secara bioteknologi, *Escherichia coli*,

ditemukan. Suharto menemukan membagi Era perkembangan bioteknologi ke dalam 5 era yaitu:

- a. Era Pra Pasteur, sebelum tahun 1865, penggunaan teknik fermentasi menggunakan mikroorganisme untuk menghasilkan produk.
- b. Era Pasteur (1866-1940), pengembangan industri fermentasi untuk membuat etanol, butanol, asam organik serta pengolahan limbah secara aerob.
- c. Era Antibiotik (1940-1960), pembuatan penisilin yang digunakan pada saat tentara Amerika di Normandy melakukan perang dunia kedua, vaksin virus, teknologi kultur sel hewan, teknologi fermentasi media cair, dan transformasi steorid.
- d. Era Pasca Antibiotik (1960-1975), isolasi asam-asam amino, eludasi struktur DNA, protein sel tunggal, enzim, protein sel tunggal, biogas, dan teknologi DNA rekombinan.
- e. Era Bioteknologi Modern (1975-sekarang), penggunaan rekayasa genetika, zat antibodi monoklonal, produksi hormon, dan lain-lain.

Perkembangan dan kemajuan bioteknologi tidak dapat dilepaskan dari kemajuan ilmu-ilmu lainnya seperti mikrobiologi, biokimia, biologi molekuler, dan genetika. Bioteknologi modern terlahir diawali dengan inovasi para ilmuwan untuk mengembangkan teknologi DNA rekombinan. Perusahaan bioteknologi pertama di dunia, Genetech, di Amerika Serikat berhasil memproduksi protein hormon insulin rekombinan yang diintroduksi ke dalam sel bakteri *E. coli* menggunakan teknologi DNA rekombinan. Bioteknologi molekuler berperan dalam proses memanipulasi organisme pada taraf seluler dan molekuler.

Tabel 12 Perkembangan sejarah bioteknologi

Tahun	Penemuan
1917	Ereky memperkenalkan istilah <i>Bioteknologi</i>
1943	Penisilin diproduksi dalam skala industri
1944	Avery, Macleod, McCarty mendemonstrasikan bahwa DNA adalah bahan genetika
1953	Watson dan Crick menemukan struktur DNA
1961	Jurnal <i>Biotechnology and Bioengineering</i> didirikan 1970 Enzim restriksi endonuklease pertama kali diisolasi
1972	Khorana dan tim berhasil mensintesis secara kimiawi seluruh gen tRNA 1973 Boyer dan Cohen memaparkan teknologi DNA rekombinan
Tahun	Penemuan
1975	Kohler dan Mistein menjabarkan produksi antibodi monoklonal 1976 Perkembangan teknik-teknik untuk menentukan sekuen DNA
1978	Genetech menghasilkan insulin manusia dalam <i>E. coli</i> untuk pertama kali
1980	Mikroorganisme hasil rekayasa genetika dapat dipatenkan
1981	Untuk pertama kali <i>automated DNA synthesizers</i> dijual secara komersial dan kit diagnostik berdasarkan antibodi disetujui untuk dipakai di Amerika Serikat
1982	Vaksin hewan hasil teknologi DNA rekombinan disetujui pemakaiannya di Eropa
1983	Plasmid Ti hasil rekayasa genetika dipakai untuk transformasi DNA rekombinan ke tanaman target
1988	Amerika Serikat memberikan patent untuk mencit yang rentan kanker hasil rekayasa genetika
1988	Metode <i>Polymerase Chain Reaction</i> dipublikasikan oleh Karry Mullis
1990	Percobaan terapi gen sel somatik pada manusia disetujui oleh Amerika Serikat dan proyek pemetaan genom manusia mulai dilakukan
1997	Kloning sel inti pada mamalia dengan menggunakan sel domba 1999 Kode genetik lengkap dari kromosom manusia telah diuraikan
2000	Para ilmuwan di <i>Celera Genomics</i> dan <i>Human Genome Project</i> menyelesaikan konsep kasar genom manusia.
2001	Majalah <i>Science and Nature</i> mempublikasi urutan genom manusia dan memungkinkan ilmuwan di seluruh dunia untuk

	meneliti dan mencari pengobatan baru untuk penyakit terkait genetik
2002	Padi transgenik yang mengandung beta karoten mulai diproduksi
2003	Pemetaan genom manusia telah selesai dilakukan
2004	Penggunaan antibodi monoklonal yang merupakan antiangiogenik disetujui digunakan untuk terapi kanker
2005	Penanaman tanaman transgenik dilakukan di 21 negara
2006	Penggunaan vaksin untuk <i>papillomavirus</i> di 82 negara
2007	Para ilmuwan menemukan cara menggunakan sel kulit manusia untuk membuat sel induk embrionik
2008	Ahli kimia di Jepang untuk pertama kalinya membuat molekul DNA secara artifisial
2009	Sekunasing genom virus H1N1
2010	Craig Venter telah berhasil menunjukkan bahwa genom artifisial dapat bereplikasi secara otonom
2012	Draft genom tanaman gandum telah selesai dianalisis
2013	<i>United States Food & Drug Administration</i> mengeluarkan peraturan terkait dengan rancangan penggunaan obat biosimilar

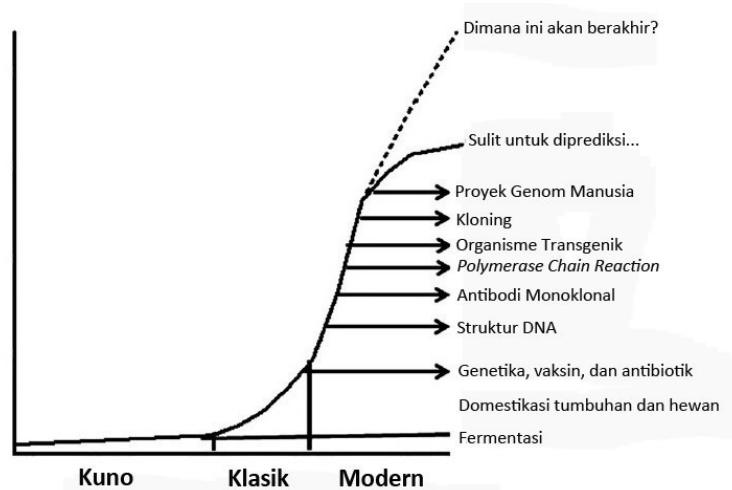
Verma *et al.* (2011) membagi tahapan perkembangan bioteknologi ke dalam tiga tahapan atau kategori yang berbeda yaitu bioteknologi kuno, bioteknologi klasik, dan bioteknologi modern (Gambar 114).

a. Bioteknologi Kuno (sebelum – 1800)

Sebagian besar perkembangan bioteknologi dimasa kuno terjadi sebelum tahun 1800. Jika melihat semua perkembangan bioteknologi di masa kuno, sebagian besar penemuan diperoleh berdasarkan pengamatan umum tentang alam yang dapat digunakan untuk kehidupan manusia pada saat itu.

Makanan, pakaian, dan tempat tinggal merupakan kebutuhan dasar manusia yang paling penting, terlepas pada masa apa pun manusia tersebut hidup. Satu-satunya yang berbeda adalah era dimana mereka berasal. Makanan telah menjadi kebutuhan yang tidak terelakkan sejak keberadaan manusia. Pada awalnya, manusia memakan daging mentah kapanpun mereka menemukan hewan mati, namun akibat perubahan lingkungan, mereka mengalami kekurangan makanan. Pepatah lama mengatakan bahwa “kebutuhan adalah ibu dari semua penemuan”. Pada masa bioteknologi kuno, manusia mengeksplorasi kemungkinan untuk membuat makanan tersedia dengan

cara menumbuhkannya didekat tempat tinggal mereka sehingga kebutuhan dasar untuk makanan dapat dipenuhi dengan mudah. Pada masa itu, manusia membawa bibit tanaman (sebagian besar biji-bijian) dan menaburkan bibit tersebut disekitar tempat tinggalnya. Seiring dengan kebutuhan dan pengetahuan untuk membudidayakan tanaman, manusia mulai memahami pentingnya air, cahaya, dan persyaratan lainnya yang dibutuhkan tanaman agar tumbuh dengan optimal. Prinsip kebutuhan yang sama juga mendorong manusia untuk memulai domestikasi pada hewan liar untuk membantu dan memenuhi kebutuhan hidup manusia.



Gambar 129. Sejarah perkembangan bioteknologi. Beberapa penemuan penting telah digambarkan dalam grafik ini dengan kemungkinan untuk pertumbuhannya yang tidak terbatas di masa depan
(Sumber: Verma *et al.*, 2011)

Pada masa ini, kebiasaan manusia untuk berburu dan mengumpulkan makanan telah hilang karena domestikasi menjadikan hewan buruan menjadi lebih dekat dan mengurangi resiko selama proses perburuan. Domestikasi hewan liar adalah awal dari observasi, implikasi, dan aplikasi pemuliaan hewan. Perkembangan ini diiringi juga dengan perkembangan pengetahuan manusia untuk mengembangkan metode pengawetan dan penyimpanan makanan. Manusia menggunakan gua-gua yang dingin untuk menyimpan makanan pada jangka yang panjang dan proses ini menjadi jalan bagi evolusi tempat-tempat penyimpanan produk makanan.



Gambar 130. Masa bercocok tanam dan beternak di zaman Mesir kuno
(Sumber: www.canacopegdl.com)

Setelah teknologi penyimpanan berkembang, manusia beralih pada penemuan-penemuan baru seperti keju, yoghurt, dan lain-lain. Ragi merupakan salah satu mikroba tertua yang telah digunakan untuk kepentingan manusia untuk membuat roti, produksi cuka, dan produk fermentasi lainnya termasuk minuman beralkohol. Cuka yang ditemukan memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan mikroba tertentu dan oleh karena itu, cuka juga sukses digunakan sebagai bahan pengawetan makanan. Penemuan dan manfaat dari proses ini mengarahkan manusia pada masa itu untuk menciptakan perbaikan lebih lanjut pada proses dan produk. Fermentasi merupakan cara yang sangat baik untuk memperbaiki kondisi kehidupan manusia pada masa itu karena menghasilkan banyak produk baru, meskipun mereka tidak paham tentang prinsip dibalik proses fermentasi.

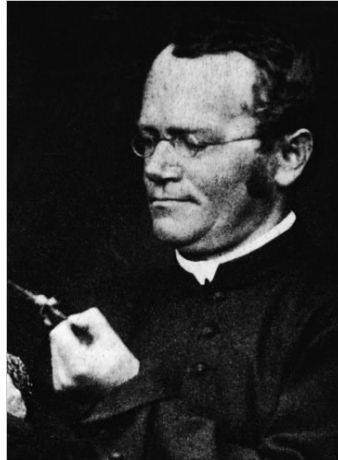
b. Bioteknologi Klasik

Tahapan kedua perkembangan bioteknologi disebut dengan bioteknologi klasik. Tahapan ini terjadi dari tahun 1800 hingga hampir pertengahan abad ke dua puluh. Selama periode ini, berbagai variasi hasil observasi dengan bukti-bukti ilmiah mulai bermunculan dan sangat membantu untuk memecahkan

pertanyaan- pertanyaan bioteknologi. Masing-masing penemuan membuka jalan bagi penemuan-penemuan baru.

Dasar-dasar transfer informasi genetik merupakan inti dari bioteknologi. Penemuan ini pertama kalinya dikemukakan oleh Gregor John Mendel (1822-1884), biarawan Augustinian Austria, pada tumbuhan *Pisum sativum* (Gambar 116). Mendel pada waktu itu mempresentasikan hukum pola pewarisan sifat pada forum *Natural Science Society* di Burn, Austria. Mendel menyatakan bahwa terdapat unit internal genetik yang tidak terlihat tetapi menjadi faktor penentu pewarisan sifat yang disebut dengan gen. Namun pada masa itu, para ilmuwan kurang tertarik dengan hasil penelitian yang diuraikan oleh Mendel hingga 34 tahun setelah kematiannya, ilmuwan lain seperti Hugo de Vries, Erich Von Tschermak, dan Carl Correns memvalidasi karya Mendel pada tahun 1900. Alasan mengapa pada masa itu penelitian Mendel tidak mendapat perhatian adalah karena pada masa itu Teori Evolusi Charles Darwin begitu menyita perhatian publik sehingga menutupi pentingnya pekerjaan yang telah dilakukan oleh Mendel.

Pada masa yang sama, Robert Brown menemukan inti sel, sementara pada tahun 1868, Fredrich Miescher, ilmuwan asal Swiss menemukan *nuklein*, yaitu senyawa yang terdiri dari asam nukleat yang diekstrak dari sel nanah yaitu sel darah putih. Kedua penemuan ini menjadi dasar perkembangan biologi molekuler modern untuk menemukan DNA sebagai materi genetik dan peran DNA dalam transfer informasi genetik. Pada tahun 1881, Robert Koch, seorang dokter asal Jerman menggambarkan koloni bakteri yang tumbuh dari irisan kentang (medium pada mikroba pertama). Walter Hesse, salah satu rekan kerja Robert Koch, menemukan agar-agar setelah melihat jeli yang selalu padat bahkan suhu tinggi di musim panas. Nutrien yang menjadikan jeli memadat kemudian menjadi media pertama yang paling dapat diterima untuk membuat kultur mikroba murni sehingga mikroba dapat diidentifikasi.



Gambar 131. Gregor Mendel, biarawan asal Austria yang menemukan pola pewarisan sifat pada makhluk hidup.
(Sumber: www.nytimes.com)

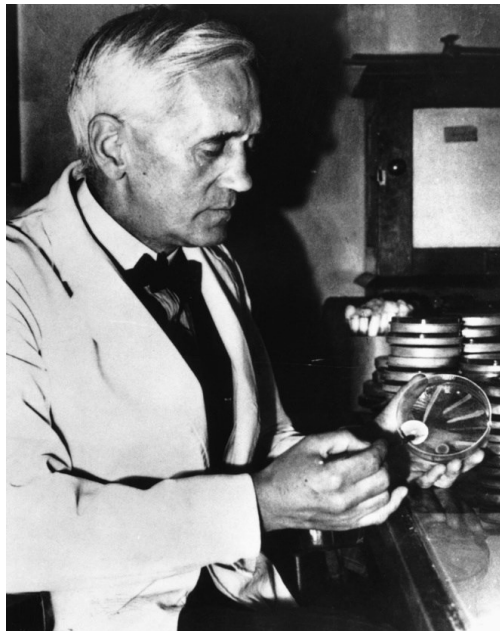
Pada tahun 1888, Heinrich Wilhelm Gottfried Von Waldeyer-Hart, ilmuwan Jerman, menetapkan istilah kromosom, sebagai struktur yang terorganisir dari DNA dan protein yang ada di dalam sel. Penemuan penting selama periode ini adalah dikembangkannya vaksin terhadap cacar dan rabies oleh Edward Jenner (Gambar 117), dokter Inggris dan Louis Pasteur, ahli biologi Prancis.



Gambar 132. Edward Jenner, penemu vaksin untuk penyakit cacar dan rabies
(Sumber: www.missedinhistory.com)

Pada saat ini, perkembangan ilmu biologi telah mencapai fase eksponensial. Johannsen memberikan istilah “genotip” dan “fenotip”. Genotip menggambarkan konstitusi genetik yang terdapat pada suatu organisme sedangkan fenotip menggambarkan tampilan organisme yang sebenarnya. Pada saat ini, genetika telah mendapatkan perhatian masyarakat luas dan dianggap sebagai ilmu yang sangat penting. Pada saat itu, di Amerika Serikat dimulai gerakan *Eugenic* (perlakuan yang mengarah kepada peningkatan kualitas genetik) pada tahun 1924, akibatnya pada tahun tersebut, Undang-Undang Imigrasi Amerika Serikat digunakan untuk membatasi masuknya imigran dari wilayah Selatan dan Timur Eropa atas dasar rendahnya kualitas genetiknya.

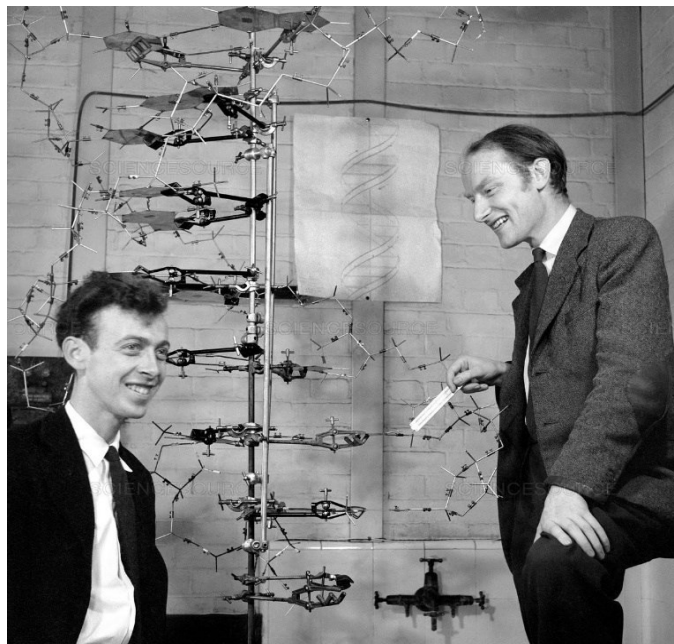
Pada tahun 1928, Alexander Fleming (Gambar 118), seorang dokter berkebangsaan Inggris, menemukan senyawa antibiotik ketika mengamati satu mikroorganisme dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan dan membunuh mikroorganisme yang lain. Fleming melihat bahwa semua bakteri (*Staphylococcus*) mati ketika dalam medium yang sama terdapat jamur yang tumbuh. Fleming menyimpulkan bahwa penisilin merupakan zat toksin antibakteri yang berasal dari jamur *Penicillium notatum*, dapat digunakan sebagai obat untuk melawan banyak penyakit menular yang diakibatkan oleh bakteri.



Gambar 133. Alexander Flemming, penemu senyawa antibiotik dari mikroba
(Sumber: www.sciencehistory.org)

c. Bioteknologi Modern

Perang dunia kedua menjadi faktor penghambat utama berkembangnya ilmu pengetahuan. Setelah berakhirnya perang dunia kedua, beberapa penemuan yang sangat penting dilaporkan dan membuka jalan bagi bioteknologi modern. Pada tahun 1953, Watson & Crick untuk pertama kalinya melaporkan model struktur DNA yang dikenal dengan model rantai ganda DNA (Gambar 119). Model ini mampu menjelaskan berbagai fenomena terkait dengan replikasi DNA dan peran DNA dalam pewarisan sifat. Pada tahun 1961, Jacob dan Monod memperkenalkan konsep operon, sementara Kohler dan Milestein pada tahun 1975 memperkenalkan prinsip hibridisasi sitoplasma dan menghasilkan antibodi monoklonal pertama yang telah merevolusi prosedur diagnostik.



Gambar 134. Watson dan Crick, penemu model struktur DNA

Dr. Hargobind Khorana mampu mensintesis DNA pertama di dalam tabung reaksi sementara Karl Mullis mampu memperkuat temuan Khorana dengan mengamplifikasi DNA hingga ribuan kali lebih banyak daripada jumlah DNA template yang tersedia (Gambar 120). Dengan memanfaatkan penemuan ini, para ilmuwan mampu memasukkan DNA asing ke sel inang lain dan bahkan mampu memantau introduksi DNA dari generasi ke generasi berikutnya. Ian Wilmut, seorang ilmuwan Irlandia berhasil mengkloning mamalia dengan menggunakan domba sebagai model dan menamai domba hasil kloning tersebut

dengan nama “Dolly”. Craig Venter pada tahun 2000 mampu menskuensing genom manusia dan genom manusia pertama yang dianalisis adalah genom Watson dan Graig Venter. Penemuan ini memiliki implikasi dan aplikasi yang tidak terbatas. Pada tahun 2010, Craig Venter menemukan bahwa genom sintetis dapat bereplikasi secara otonom.



Gambar 135. Kary Mullis mendapatkan Nobel dibidang Kimia pada usia 49 tahun atas penemuan metode Polymerase Chain Reaction yang merubah metode perbanyakan DNA dari kloning pada bakteri (in vivo) menjadi in vitro

Bioteknologi modern tidak dapat terlepas dari aplikasi metode mutakhir yang telah ditemukan pada tahap bioteknologi kuno, klasik, dan modern seperti:

- a. Kultur Jaringan. Konsep dasar dari kultur jaringan adalah totipotensi sel. Keuntungan teknik ini adalah sifat tanaman yang identik dengan induknya dan perbanyakan lebih cepat.
- b. Analisis genetik. Analisis geneitik mempelajari sifat dan karakter gen yang diwariskan dari generasi ke generasi serta interaksi antara gen dengan lingkungannya untuk menghasilkan suatu fenotip.
- c. Manipulasi organisme. Manipulasi mikroba, tanaman, atau hewan dan pemilihan individu yang diinginkan untuk perbaikan generasi yang baru.

- d. Analisis DNA. Analisis DNA merupakan proses pengambilan DNA atau RNA dari organisme melalui tahapan isolasi DNA, polymerase chain reaction, elektroforesis, dan analisis hasil yang dibantu oleh software bioinformatika.
- e. Teknologi DNA rekombinan. Teknologi DNA rekombinan merupakan metode untuk merekayasa genetik suatu organisme dengan mengintroduksi gen yang interes ke dalam suatu organisme.
- f. Polymerase Chain Reaction. PCR merupakan teknik amplifikais atau penggandaan gen target dengan menggunakan primer spesifik untuk inisiasi. PCR bekerja berdasarkan prinsip replikasi DNA.
- g. Hibridoma. Hibridoma merupakan metode untuk menggabungkan dua jenis sel dengan tujuan mendapatkan hibrid yang memiliki kemampuan dari kedua sel sebelumnya.
- h. Kloning. Kloning merupakan metode menghasilkan keturunan yang dikehendaki identik dengan sel induknya.
- i. Hibridisasi DNA. Hibridisasi DNA merupakan metode untuk menyeleksi sekuen DNA dengan menggunakan probe DNA rantai tunggal untuk proses hibridisasi rantai ganda DNA.
- j. Sekuensing DNA. Sekuensing DNA adalah proses pembacaan urutan basa nukleotida gen interes.

4. Peranan mikroorganisme dan bioteknologi konvensional

Mikroorganisme memegang peranan penting dalam perkembangan bioteknologi. Pemanfaatan mikroorganisme dalam berbagai tahapan perkembangan bioteknologi dari bioteknologi kuno hingga modern, menjadikan mikroorganisme sebagai organisme penting dan selalu ikut serta disetiap penemuan besar terkait bioteknologi. Alasan utama mikroorganisme dijadikan subjek pada proses bioteknologi yaitu:

- a. Pertumbuhan dan perbanyak mikroba perlangsung dengan cepat
- b. Mudah diperoleh dari lingkungan
- c. Sifat genetik mudah dimodifikasi melalui rekayasa genetika
- d. Memiliki plasmid yang digunakan sebagai vektor
- e. Tidak tergantung iklim dan kondisi lingkungan
- f. Memiliki sifat yang tetap dan tidak berubah

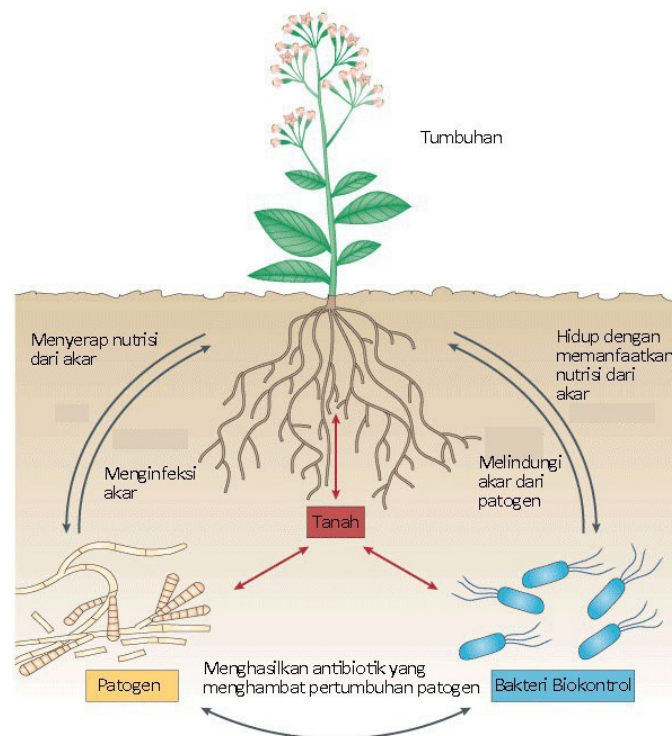
A. Mikroorganisme di bidang bioteknologi pertanian

Tanah merupakan wilayah dengan tingkat keanekaragaman mikroorganisme yang tinggi (lebih dari 100 juta mikroba per gram tanah), sehingga sangat mempengaruhi kualitas dari tanah tersebut. Sebagian besar mikroba memiliki peranan yang menguntungkan bagi bidang pertanian seperti dekomposisi, fiksasi nitrogen, palarutan fosfat, perangsangan pertumbuhan, biokontrol patogen hama dan bakteri serta membantu proses penyerapan unsur hara. Beberapa cabang bidang pertanian yang memanfaatkan mikroorganisme:

- a. Pembuatan kompos bioaktif. Proses pengomposan dapat dipercepat dengan menggunakan mikroba komposer dengan kemampuan yang baik. Penggunaan mikroba dalam proses dekomposisi akan mempersingkat waktu proses pengomposan. Mikroba dekomposer yang sering digunakan dalam pembuatan pupuk kompos antara lain *Trichoderma pseudokoningii*, *Cytopaga sp*, dan fungi pelapuk putih. Mikroba akan tetap hidup dan aktif di dalam kompos dan pada saat diberikan pada tanaman, mikroba dekomposer berperan ganda dengan membantuk tanaman mengendalikan organisme patogen.
- b. Biofertilizer. Penggunaan pupuk kimia saat ini sudah sangat melewati ambang batas kebutuhan. Untuk memenuhi kebutuhan zat hara tanaman, petani dapat mengandalkan pupuk kompos yang diproduksi menggunakan mikroba. Mikroba tanah banyak yang berperan dalam penyerapan unsur hara bagi tanaman. Salah satu nutrisi penting bagi tanaman adalah Nitrogen yang sangat melimpah diudara tetapi sedikit di tanah. Tanaman tidak dapat mengambil nitrogen udara secara langsung sehingga membutuhkan mikroba pengikat nitrogen (contoh: *Rhizobium sp*) untuk memfiksasi nitrogen dari udara bebas. Mikroba akan membentuk simbiosis dengan tanaman

untuk dapat dimanfaatkan dalam proses pengikatan oksigen bebas udara. Mikroba non simbiotik (*Azoospirillum sp* dan *Azetobacter sp*) juga dapat mengikat nitrogen bebas udara ke dalam tanah. Bakteri yang dapat melarutkan fosfat dalam tanaman antara lain *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Pseudomonas sp*, dan *Bacillus megatherium*. Mikroba-mikroba tersebut dapat digunakan sebagai biofertilizer untuk membantu tanaman memperoleh nutrisi dari tanah maupun udara.

- c. Agen Biokontrol. Hama dan penyakit merupakan masalah serius dalam bidang pertanian. Penggunaan pestisida dan fungisida secara besar-besaran akan merusak lingkungan. Mikroba dapat menjadi agen biokontrol alami terhadap patogen tanaman (Gambar 121). Mikroba yang biasa digunakan sebagai biokontrol antara lain *Bacillus thuringiensis*, *Bauveria bassiana*, *Paecilomyces fumosoroseus*, dan *Methazium anisopliae*. Selain itu, *Trichoderma sp* juga dapat mengendalikan penyakit tanaman yang disebabkan oleh *Ganoderma sp*, jamur akar putih, dan *Phytophthora sp*.



Gambar 136. Bakteri sebagai agen biokontrol tanaman terhadap patogen yang merusak tanaman.

(Sumber: Haas & Defago, 2005)

B. Mikroorganisme di bidang bioteknologi peternakan dan perikanan

Peran mikroorganisme dalam bidang peternakan dan perikanan sangat penting. Beberapa penyakit yang menyerang ternak dan ikan disebabkan oleh mikroorganisme. Peran mikroba yang menguntungkan akan membantu metabolisme serta sebagai bahan pakan atau pakan tambahan serta probiotik. Dalam hal metabolisme, mikroba membantu ternak dan ikan menghidrolisis selulosa karena enzim yang dimilikinya. Selain itu, bakteri mampu memfiksasi urea sebagai sumber nitrogen.

C. Mikroorganisme di bidang bioteknologi pangan

Mikroorganisme dapat mengubah substrat suatu bahan menjadi produk yang berbeda melalui proses fermentasi. Teknologi fermentasi telah digunakan sejak zaman dahulu di awal bioteknologi berkembang. Proses fermentasi menghasilkan berbagai macam produk makanan dan minuman seperti tempe, kecap, yogurt, keju, oncom, roti, dan minuman beralkohol. Berikut beberapa bahan pangan yang diproduksi dengan memanfaatkan mikroorganisme:

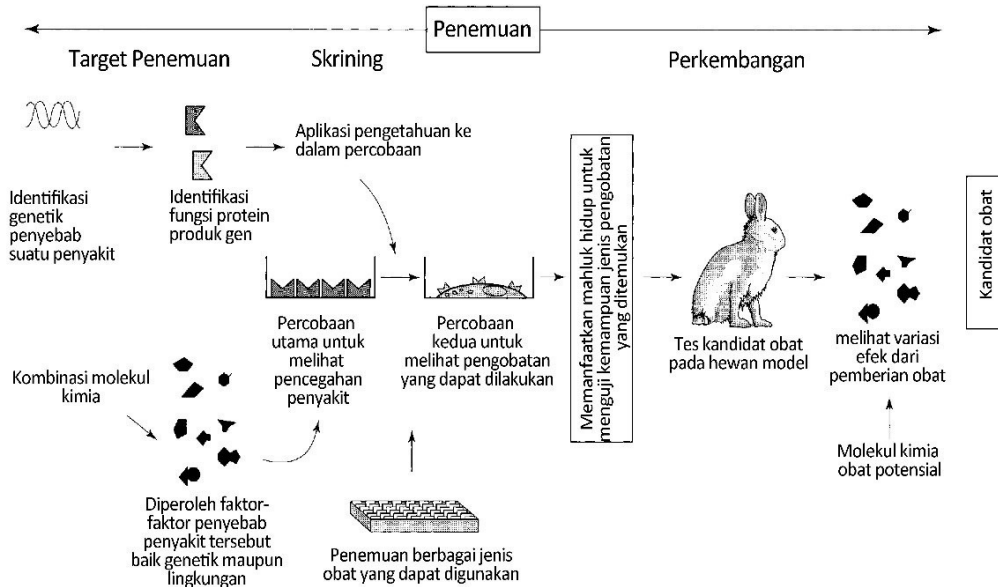
- a. Kecap. Kecap merupakan produk makanan hasil fermentasi menggunakan mikroorganisme *Aspergillus wentii* dengan bahan dasar kedelai.
- b. Tempe. Tempe merupakan produk fermentasi jamur *Rhizopus sp* dengan bahan baku kedelai. Tempe merupakan makanan asli Indonesia dan telah dikenal sejak lama oleh penduduk Indonesia.
- c. Keju. Keju merupakan produk fermentasi laktosa di dalam susu menjadi asam laktat dengan bantuan kanteri asam laktat seperti *Lactobacillus bulgaricus*, *lactobacillus lactis*, dan *Streptococcus sp*.
- d. Oncom. Oncom merupakan produk fermentasi kacang oleh mikroba *Neurospora sp* dan *Rhizopus sp*.
- e. Yoghurt. Yoghurt merupakan produk fermentasi bahan berupa susu oleh *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus camemberti*.

- f. Minuman beralkohol. Pembuatan minuman beralkohol seperti anggur dan bir menggunakan mikroorganisme dalam proses fermentasinya. Bir dibuat dengan bahan biji-biji sereal seperti gandum dan difermentasi oleh khamir.
- g. Roti. Roti merupakan produk yang dihasilkan dari tepung. Roti membentuk struktur yang lebih menarik, besar, serta lembung dengan bantuan mikroba Khamir *Sacharomyces cerevisiae*. Khamir memanfaatkan glukosa sebagai substrat respirasinya sehingga menghasilkan karbon dioksida yang akan menyebabkan terbentuknya gelembung-gelembung CO₂ yang terperangkap dalam adonan roti sehingga mengakibatkan struktur roti menjadi mengembang.

D. Mikroorganisme di bidang bioteknologi farmasi

Mikroorganisme memiliki peran penting dalam perkembangan bioteknologi farmasi (Gambar 122). Diawali dengan diperolehnya antibiotik penisilin, penelitian tentang pemanfaatan mikroorganisme untuk memproduksi agen obat terus berkembang. Saat ini, pemanfaatan mikroorganisme untuk memperoleh agen obat telah banyak yang teridentifikasi. Berikut beberapa peran mikroorganisme dalam bidang bioteknologi farmasi:

- a. Pembuatan Antibiotik. Mikroorganisme dapat menghasilkan metabolit sekunder yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme lainnya. Metabolit yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme disebut dengan antibiotik. Antibiotik digunakan untuk melawan infeksi mikroba patogen. Beberapa mikroba yang menghasilkan antibiotik antara lain *Streptomyces aureofaciens* (bacitrasin) dan *Aspergillus fumigatus* (fumigilin). Hingga saat ini, sekitar 100 macam antibiotik telah teridentifikasi. Jenis antibiotik yang sudah dikenal diantaranya adalah penicillin, streptomycin, tetrasiklin, aeromisin, kioromisetin, amfisin, dan sefalosporin. Penicillin dihasilkan oleh jamur *Penicillium notatum*. Demikian juga antibiotik streptomycin dihasilkan oleh jamur *Streptomyces griseus*. Sementara itu, antibiotik seperti tetrasiklin dan sefalosporin dihasilkan oleh bakteri.
- b. Pembuatan vaksin. Vaksin dapat digunakan untuk membentuk antibodi dalam tubuh sehingga tahan terhadap serangan bakteri maupun virus patogen.



Gambar 137. Pemanfaatan bioteknologi dalam bidang farmasi (Sumber: Smith, 2009)

E. Mikroorganisme di bidang bioteknologi energi

Beberapa mikroorganisme mampu menghasilkan senyawa etanol (alkohol) melalui proses fermentasi. Pembuatan alkohol menggunakan bahan baku berupa bahan organik dengan kandungan karbohidrat yang tinggi. Etanol merupakan bahan baku dari gasohol, bahan bakar campuran bensin dengan etanol absolut. Gasohol telah mulai digunakan sejak tahun 2008 untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil. Sumber energi alternatif lainnya dapat diproduksi menggunakan mikroorganisme adalah biogas. Biogas merupakan gas metana hasil penguraian sampah organik secara anaerob oleh mikroorganisme. Keuntungan penggunaan gas metana dalam bahan bakar adalah mengurangi pencemaran udara.

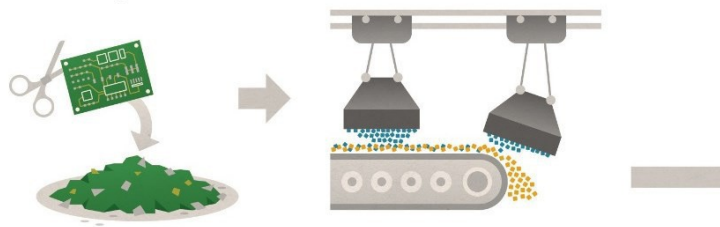
F. Mikroorganisme di bidang bioteknologi pengolahan bahan tambang

Beberapa bakteri kemosintesis hidup dengan memanfaatkan zat anorganik seperti tembaga, besi, dan belerang. Bakteri kemosintesis mampu membuat senyawa organik menjadi senyawa organik dengan memanfaatkan energi dari

senyawa tersebut. Kemampuan mikroorganisme untuk memisahkan logam dan batuan merupakan bagian dari perkembangan bioteknologi dalam dunia pertambangan mineral. Tembaga, uranium, dan emas secara efisien dapat diekstrak oleh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dari bijihnya (Gambar 123). Penemuan ini selain dapat meningkatkan mutu logam mineral, juga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas penambangan.

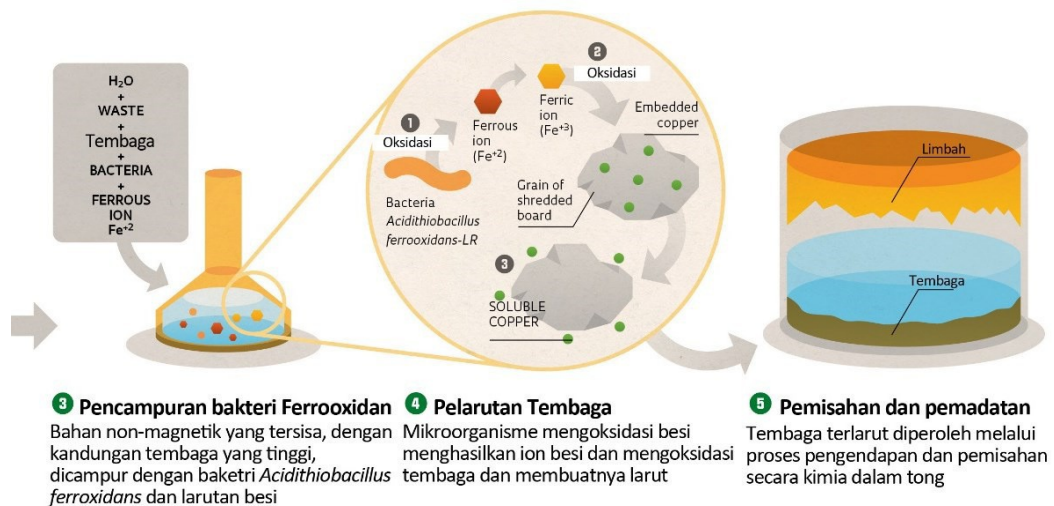
Isolasi Tembaga

Isolasi tembaga dari papan sirkuit, sisa barang elektronik



1 Penghancuran papan sirkuit
Papan sirkuit bekas dari berbagai peralatan elektronik dihancurkan menggunakan alat penggilingan

2 Pemisahan menggunakan magnet
Partikel papan sirkuit berukuran kecil dipisahkan menggunakan magnet untuk memperoleh logam-logam yang masih dapat digunakan



3 Pencampuran bakteri Ferrooxidan
Bahan non-magnetik yang tersisa, dengan kandungan tembaga yang tinggi, dicampur dengan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan larutan besi

4 Pelarutan Tembaga
Mikroorganisme mengoksidasi besi menghasilkan ion besi dan mengoksidasi tembaga dan membuatnya larut

5 Pemisahan dan pematatan
Tembaga terlarut diperoleh melalui proses pengendapan dan pemisahan secara kimia dalam tong

Gambar 138. Proses isolasi tembaga dari papan sirkuit sisa barang elektronik

G. Mikroorganismen di bidang bioteknologi bioremediasi

Bioremediasi merupakan metode penggunaan mikroorganismen dalam upaya mengontrol kerusakan lingkungan oleh bahan tercemar (Gambar 124). Mikroorganismen digunakan untuk mengurai atau mendegradasi bahan pencemar lingkungan menjadi bentuk yang lebih sederhana dan ramah lingkungan. Sejak tahun 1900-an, masyarakat telah menggunakan mikroorganismen untuk mengolah air limbah pada saluran air. Mikroorganismen yang digunakan sebagai agen bioremediasi adalah khamir, fungi, yeast, alga, dan bakteri. Beberapa jenis bakteri yang telah digunakan dalam proses bioremediasi antara lain genus *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Aeromonas*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Moraxella*, *Klebsiella*, *Xanthomyces*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus* yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi minyak bumi. Sejumlah bakteri seperti *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Arthrobacter sp.*, *Streptomyces viridans* dan lain-lain menghasilkan senyawa biosurfaktan atau bioemulsi.



Gambar 139. Proses bioremediasi limbah minyak menggunakan mikroorganismen (Sumber: Lawrence Berkeley National Lab)

D. Rangkuman

Bioteknologi merupakan cabang ilmu yang memanfaatkan makhluk hidup (bakteri, fungi, virus, dan lain-lain) maupun produk dan makhluk hidup (enzim, alkohol) dalam proses produksi untuk menghasilkan barang dan jasa. Unsur pokok bioteknologi adalah input, proses, dan output. Bioteknologi terbagi menjadi dua macam, yaitu bioteknologi konvensional yang merupakan suatu proses bioteknologi yang mengandalkan jasa mikroba untuk menghasilkan produk yang dibutuhkan manusia melalui proses fermentasi. Bioteknologi konvensional tidak melakukan manipulasi organisme atau rekayasa, tetapi menciptakan kondisi dan bahan makanan yang cocok bagi mikroba untuk berkembang secara optimal, sedangkan bioteknologi modern merupakan penerapan bioteknologi dengan menggunakan alat dan cara kerja yang canggih, dilakukan dalam keadaan bersih dan steril, kualitas produk lebih baik dan kualitas hasil produk yang dibuat lebih banyak. Konsep penggunaan bioteknologi modern lebih menekankan pada bagaimana cara memanipulasi materi genetik mikroorganisme untuk menghasilkan klon yang lebih unggul. Perkembangan bioteknologi sangat dipengaruhi oleh perkembangan ilmu-ilmu dasar, salah satunya seperti perkembangan mikrobiologi, genetika, dan biokimia.

Penutup

Modul belajar mandiri biologi ini disusun untuk membantu guru calon P3K sebagai referensi dalam menyegarkan pengetahuan dan mengembangkan wawasan kebiologian. Materi modul disusun sesuai dengan kompetensi profesional yang harus dicapai guru sesuai dengan tuntutan model kompetensi guru. Diharapkan modul ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan belajar mandiri dan berdiskusi untuk menghadapi seleksi Guru P3K.

Tantangan bagi guru dalam menyiapkan diri menghadapi seleksi P3K adalah keluasan cakupan materi biologi yang perlu dikuasai. Oleh sebab itu guru perlu mencari bahan belajar lainnya untuk memperkaya pengetahuan yang tidak disajikan karena keterbatasan halaman pada modul ini. Hal tersebut juga menjadi motivasi guru agar menggunakan modul sebagai bahan untuk dipelajari dan dikaji lebih lanjut bersama rekan sejawat baik dalam komunitas (misalnya MGMP).

Seleksi guru calon P3K bersifat objektif dan kompetitif. Diperlukan penguasaan substansi materi dalam profesional dengan baik oleh guru agar dapat lolos seleksi. Untuk pencapaian kompetensi yang diharapkan, guru perlu secara aktif menggali informasi, memecahkan masalah, dan berlatih soal-soal evaluasi yang tersedia pada sistem pembelajaran guru calon P3K atau soal-soal latihan lain yang menguji kompetensi profesional biologi.

Capaian yang diharapkan dari penggunaan modul ini adalah terselenggaranya pembelajaran biologi yang optimal dengan didorong oleh motivasi guru untuk menguasai semua konsep dengan sungguh-sungguh. Sehingga berdampak langsung terhadap hasil capaian seleksi Guru P3K. Kami menyadari bahwa modul yang dikembangkan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena ini saran, kritik, dan usulan demi perbaikan sangat kami harapkan dan dapat pembaca sampaikan kepada tim penulis/kurator melalui surat elektronik (e-mail).

Daftar Pustaka

Modul Belajar Mandiri

CALON GURU

Aparatur Sipil Negara (ASN)
Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK)