

# **BUKU AJAR FISIOLOGI TUMBUHAN**

**Prof. Dr. Ir. Bilter A. Sirait, M.S.  
Agnes Imelda Manurung, STP, M.Si.  
Dr. Ir. Hj. R. Sabrina, M.Si.**



## KATA PENGANTAR

Terlebih dahulu penulis mengucapkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan kasih karunia-Nya lah sehingga penyusunan buku ajar Fisiologi Tumbuhan dapat terwujud.

Buku ini disusun untuk dapat dipergunakan para mahasiswa terutama yang mengambil mata kuliah Fisiologi Tumbuhan yang hingga saat ini relatif masih terbatas apalagi yang berbahasa Indonesia padahal buku fisiologi tumbuhan sangat penting untuk bahan bacaan dalam rangka menggambarkan dan menjelaskan proses yang terjadi di dalam organel sel, sel, jaringan, organ, serta individu tumbuhan itu sendiri. Selain itu juga dibutuhkan untuk menggambarkan dan menjelaskan aktivitas, respon tumbuhan terhadap lingkungan abiotik dan biotik yang saat ini perubahannya intens terjadi sekaligus buku ini dibutuhkan untuk menggambarkan dan menjelaskan pertumbuhan dan perkembangan di dalam tubuh individu tumbuhan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penyusunan buku ini.

Medan, April 2022

Penulis

# DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| Kata Pengantar .....   | i   |
| Daftar Isi.....  | ii  |
| Daftar Gambar.....   | iii |
| Daftar Tabel .....   | ix  |
| Bab I. Pendahuluan .....   | 1   |
| Bab II. Sel dan Organel Sel.....   | 10  |
| BAB III. Serapan Hara dan Pengangkutan Air .....                             | 19  |
| BAB IV. Transpirasi .....  | 48  |
| BAB V. Enzim dan Fotosintesis .....  | 51  |
| BAB VI. Respirasi: Glikolisis dan Siklus Krebs serta Transport Elektron..... | 74  |
| BAB VII. Zat Pengatur Tumbuh.....  | 86  |
| BAB VIII. Perkecambahan dan Dormansi.....                                    | 109 |
| BAB IX. Metabolisme Protein dan Lipida.....                                  | 116 |
| BAB X. Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan .....                           | 129 |
| BAB XI. Metabolit Sekunder.....  | 146 |
| BAB XII. Genetika Fisiologi .....  | 160 |

## DAFTAR GAMBAR

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gambar 1.  | Dunia dengan Berbagai Ragam yang Dihadapi .....  | 2  |
| Gambar 2.  | Anatomi dan Morfologi Akar.....  | 3  |
| Gambar 3.  | Reaksi Cahaya dan Gelap Fotosintesis .....   | 3  |
| Gambar 4.  | Contoh Hubungan Konsentrasi Nitrogen Daun dan Jumlah Klorofil.....   | 4  |
| Gambar 5.  | Atom dengan Jumlah Elektron yang Berpasangan .....   | 5  |
| Gambar 6.  | Kekuatan Beberapa Ikatan Kimia .....   | 5  |
| Gambar 7.  | Gugus Fungsi yang Umum .....   | 6  |
| Gambar 8.  | Beberapa Kelompok Fungsional Aktif sebagai Nukleofil dalam Sel.....  | 6  |
| Gambar 9.  | Reaksi Katabolisme (Exergonic) dan Reaksi Anabolisme (Endergonic).....   | 7  |
| Gambar 10. | Sel dan Organel Sel.....   | 10 |
| Gambar 11. | Dinding Sel Tumbuhan .....   | 13 |
| Gambar 12. | Beberapa Fase pada Inter Fase.....   | 15 |
| Gambar 13. | Kromosom dan Sister Kromatid serta Sentromer .....   | 16 |
| Gambar 14. | Pembelahan Sel secara Mitosis.....   | 17 |
| Gambar 15. | Pembelahan Sel secara Meiosis .....  | 18 |
| Gambar 16. | Pola distribusi <sup>14</sup> C radioaktif pada fase perkembangan tembakau yang berbeda yang menunjukkan perpindahan bidirectional dan tangensial. Daun berwarna gelap berarti mengandung <sup>14</sup> C..... | 20 |
| Gambar 17. | Phyllotaxy daun tembakau yang menunjukkan distribusi <sup>14</sup> C. Daun gelap menunjukkan intensitas radioaktivitas. ....   | 20 |
| Gambar 18. | Hubungan antara kandungan hara mineral di dalam jaringan tanaman (mg/g) bobot kering dengan pertumbuhan tanaman.....   | 21 |
| Gambar 19. | Difusi beberapa Senyawa.....   | 25 |
| Gambar 20. | Larutan Isotonik (a), Larutan Hipertonik (b), dan Larutan Hipotonik (c).....   | 26 |
| Gambar 21. | Jenis Membran Protein.....   | 27 |
| Gambar 22. | Pengangkutan Aktif Molekul yang tidak dipengaruhi oleh gradien konsentrasi.....  | 27 |
| Gambar 23. | Protein Reseptor yang Memiliki Situs Pengikatan Zat Terlarut Tertentu .....  | 28 |
| Gambar 24. | Protein Rekognisi yang Memasukkan Zat Terlarut dari Luar ke Dalam Sel .....  | 28 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Gambar 25. | Protein Adhesi yang Menghubungkan Sel secara Bersama-sama .....   | 29 |
| Gambar 26. | Sistem Pori pada Apparent Free Space. DFS = Donnan Free Space, WFS = Water Free Space .....   | 31 |
| Gambar 27. | Model Biomembran dengan Lipida Polar serta Integrasi Protein baik Ekstrinsik maupun Intrinsik .....   | 32 |
| Gambar 28. | Mekanisme Utama Pengangkutan Ion di dalam Membran Plasma .....  | 33 |
| Gambar 29. | Model Membran yang Mengalami Kerusakan .....  | 34 |
| Gambar 30. | Model Mekanisme Regulasi Feedback dari Konsentrasi Hara Internal setelah diserap oleh akar tanaman .....  | 36 |
| Gambar 31. | Model Fungsi dan Lokasi Pompa Proton elektrogenik ( $H^+$ ATPase, $PP_i$ ase), pompa redoks transmembran (NAD-P Oksidase), chanel ion, angkutan kation dan anion melewati membran plasma dan tonoplas ..... | 37 |
| Gambar 32. | Model Stabilisasi pH di Apoplasma, Sitoplasma, dan Vakuola akibat Kelebihan Absorpsi Kation ataupun Anion.....  | 38 |
| Gambar 33. | Sistem Pengukuran Elektro Potensial di Dalam Tanaman (A); contoh perhitungan distribusi ion pada keseimbangan kimia dan elektro kimia dengan asumsi elektro potensial -59 mV.....                           | 43 |
| Gambar 34. | Gradien Potensial Air untuk Tumbuhan .....  | 48 |
| Gambar 35. | Ketersediaan Air terhadap Akar Tanaman.....   | 49 |
| Gambar 36. | Jalur Pengangkutan Air.....   | 50 |
| Gambar 37. | Kompleks Enzim dengan Substrat.....   | 53 |
| Gambar 38. | Proses Reduksi Plastoquinon hingga ke PSI.....  | 55 |
| Gambar 39. | Reaksi Terang pada Fotosintesis dengan Melibatkan Koenzim seperti NADP .....  | 55 |
| Gambar 40. | Berbagai Enzim yang Terlibat dalam Siklus Calvin.....   | 56 |
| Gambar 41. | Enzim yang Terlibat pada Fotosintesis dengan Jalur C4.....  | 56 |
| Gambar 42. | Berbagai Enzim yang Terlibat di Dalam Siklus Asam Sitrat .....  | 57 |
| Gambar 43. | Hubungan Konsentrasi Substrat dengan Laju Reaksi dengan Penambahan Enzim atau Tanpa Enzim.....  | 57 |
| Gambar 44. | Sifat Enzim yang dapat Dihambat secara Kompetitif maupun Non Kompetitif.....  | 58 |
| Gambar 45. | Pembentukan Kompleks Enzim-Substrat yang Menghasilkan Produk .....  | 59 |
| Gambar 46. | Penurunan Energi Aktivasi dengan Adanya Enzim dan menghasilkan Produk Lebih Banyak .....  | 59 |
| Gambar 47. | Kloroplas dan Komponennya .....   | 62 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gambar 48. | Struktur Molekul Pigmen Klorofil a, Klorofil b, $\beta$ -karotein, dan Phycoerythrobilin .....   | 63 |
| Gambar 49. | Absorpsi Berbagai Pigmen terhadap Berbagai Panjang Gelombang Cahaya Matahari.....  | 64 |
| Gambar 50. | Panjang Gelombang Cahaya Terlihat yang Penting untuk Proses Fotosintesis .....   | 64 |
| Gambar 51. | P680 sebagai Pusat Reaksi.....   | 65 |
| Gambar 52. | Kompleks Antena yang merupakan protein pigmen membran.....   | 65 |
| Gambar 53. | Reaksi Hill dengan Fotosistem I dan Fotosistem II .....  | 66 |
| Gambar 54. | Reaksi Terang dan Siklus Calvin .....  | 67 |
| Gambar 55. | Lumen Thylakoid, sitoplasma sel serta bahan baku sintesis sukrosa .....  | 67 |
| Gambar 56. | Sintesis ATP dan NADPH pada Reaksi Terang sebelum masuk ke Siklus Calvin.....  | 68 |
| Gambar 57. | Masuknya CO <sub>2</sub> yang diproses pada siklus calvin hingga menghasilkan gula yang berkarbon tiga.....  | 69 |
| Gambar 58. | Fotosintetik pada Tanaman C4.....  | 71 |
| Gambar 59. | Fiksasi CO <sub>2</sub> pada Tanaman C4 dan Tanaman CAM.....   | 72 |
| Gambar 60. | Pembentukan Glukosa dari Produk Awal Fotosintesis .....  | 72 |
| Gambar 61. | Pengangkutan Fotosintat .....  | 73 |
| Gambar 62. | Pengubahan glukosa sampai ke siklus asam sitrat .....  | 75 |
| Gambar 63. | Tipe Reaksi Aerob dan Anaerob .....  | 77 |
| Gambar 64. | Pengubahan Asam Piruvat pada ketersediaan O <sub>2</sub> dan tanpa ketersediaan O <sub>2</sub> .....   | 77 |
| Gambar 65. | Bahan untuk respirasi.....   | 78 |
| Gambar 66. | Tahapan dan Lokasi Respirasi .....   | 78 |
| Gambar 67. | Pengubahan Glukosa menjadi Asam piruvat .....  | 79 |
| Gambar 68. | Pengubahan Piruvat menjadi Asetil-CoA .....  | 80 |
| Gambar 69. | Siklus Krebs .....   | 80 |
| Gambar 70. | Transfer Elektron .....  | 81 |
| Gambar 71. | Total bersih ATP yang dihasilkan dari respirasi 1 mol glukosa .....  | 81 |
| Gambar 72. | Fotorespirasi.....   | 82 |
| Gambar 73. | Fotorespirasi yang melibatkan tiga organel .....   | 83 |
| Gambar 74. | Tryptophan .....   | 87 |
| Gambar 75. | Struktur 3 auksin alami, IAA terjadi dalam seluruh tumbuhan sedang lainnya memiliki aktivitas auksin misalnya pada ercis, memiliki 4-chloroindole-3-acetic acid. Mustard dan jagung memiliki indole-3-butyric acid (IBA) ..... | 88 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 76.  | Struktur 2 jenis auksin sintetis. Auksin sintetis umumnya digunakan juga sebagai herbisida pada tanaman hortikultura dan pertanian ..... | 88  |
| Gambar 77.  | Jalur biosintesis IAA dengan prekursor tryptophan di dalam tanaman dan bakteri .....   | 89  |
| Gambar 78.  | Pembesaran Sel dan Kemungkinan Hubungan dengan Kerja Auksin .....  | 92  |
| Gambar 79.  | Kemungkinan Titik Kendali Fotosintesis serta Pengangkutan Sukrosa menuju Biji yang sedang Berkembang .....                               | 93  |
| Gambar 80.  | GA <sub>1</sub> , GA <sub>3</sub> , GA <sub>4</sub> , GA <sub>5</sub> , GA <sub>6</sub> , GA <sub>7</sub> .....                          | 94  |
| Gambar 81a. | Sintesis IAA dari Tryptophan .....   | 97  |
| Gambar 81b. | IAA dan Tryptophan .....   | 97  |
| Gambar 82a. | GA <sub>1</sub> , GA <sub>3</sub> , GA <sub>4</sub> , GA <sub>5</sub> , GA <sub>6</sub> , GA <sub>7</sub> .....                          | 100 |
| Gambar 82b. | Gibberellic Acid (GA <sub>3</sub> ) .....  | 100 |
| Gambar 83a. | Struktur Zeatin dan Adenine .....  | 102 |
| Gambar 83b. | Trans-zeatin, Dihydrozeatin .....  | 102 |
| Gambar 84a. | Keseimbangan antara Auksin dan Sitokinin .....   | 103 |
| Gambar 84b. | Keseimbangan antara Auksin dan Sitokinin .....   | 104 |
| Gambar 85a. | Sintesis Etilen dari L-methionine .....  | 105 |
| Gambar 85b. | Struktur Ethephon dan Etilen .....   | 105 |
| Gambar 86a. | Pengaturan homeostasis ABA .....   | 107 |
| Gambar 86b. | Struktur Abscisic Acid (ABA) .....   | 107 |
| Gambar 87.  | Bagian-bagian bunga .....  | 110 |
| Gambar 88.  | Bagian-bagian biji pada monokotil, dikotil, dan biji pinus .....   | 110 |
| Gambar 89.  | Perkecambahan jagung .....   | 111 |
| Gambar 90.  | tRNA membawa asam amino ke mRNA .....  | 117 |
| Gambar 91.  | Kode genetik yang tumpang tindih versus tidak tumpang tindih .....   | 118 |
| Gambar 92.  | Kata Sandi Asam Amino dalam mRNA .....   | 119 |
| Gambar 93.  | Ikhtisar dari 5 Tahap Sintesis Protein .....   | 120 |
| Gambar 94.  | Biosintesis Lipida .....   | 121 |
| Gambar 95.  | Struktur Lipida .....  | 122 |
| Gambar 96.  | Struktur asam-asam lemak .....   | 123 |
| Gambar 97.  | Pengubahan Trigliserida .....  | 124 |
| Gambar 98.  | Fluks Trigliserida dan Asam Lemak .....  | 124 |
| Gambar 99.  | Struktur Lipoprotein .....   | 125 |
| Gambar 100. | Jalur Lipoprotein Exogenous .....  | 126 |
| Gambar 101. | Suatu Struktur Asam Lemak .....  | 126 |
| Gambar 102. | Titik Leleh Asam Lemak Jenuh .....   | 127 |



|   |     |
|---|-----|
| Gambar 103. Asam Lemak yang mengandung ikatan rangkap .....   | 128 |
| Gambar 104. Transformasi Fitokrom.....  | 131 |
| Gambar 105. Cara Pembungaan Arabidopsis .....   | 134 |
| Gambar 106. Peran Fitokrom pada Persepsi Tanaman yang mendapat sinar matahari dan tanaman yang ternaungi.....   | 135 |
| Gambar 107. Peran antagonistik secara mutual antara phyA dan phyB .....   | 135 |
| Gambar 108. Regulasi Langsung dari Ekspresi Gen oleh transfor phyB menuju nucleus.....  | 136 |
| Gambar 109. Diagram faktor yang diketahui terlibat di dalam pengaturan ekspresi gen.....  | 136 |
| Gambar 110. Apikal meristem pucuk dengan tiga lapis, L1= pembentukan epidermis sedang L2 dan L3 menghasilkan jaringan internal...                       | 137 |
| Gambar 111. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman.....   | 139 |
| Gambar 112. Pertumbuhan dan perkembangan jagung dan buncis .....  | 139 |
| Gambar 113. Sel induk menghasilkan sel keturunan hingga menjadi sel terdiferensiasi.....  | 140 |
| Gambar 114. Pertumbuhan uniseluler alga hijau Chlamydomonas; pertumbuhan akar primer jagung (A); laju pertumbuhan elemen relatif pada akar jagung ..... | 141 |
| Gambar 115. Bagian bunga.....   | 142 |
| Gambar 116. Komponen beberapa biji kacang panjang, jarak, dan jagung....  | 145 |
| Gambar 117. Biosintesis Metabolit Sekunder.....   | 149 |
| Gambar 118. Metabolit Sekunder yang bermanfaat untuk kesehatan.....   | 150 |
| Gambar 119. Pertahanan Tanaman merupakan Interaksi Multitropik .....  | 152 |
| Gambar 120. Respon Tumbuhan terhadap Herbivora yang menunjukkan sifat pertahanan tumbuhan .....   | 153 |
| Gambar 121. Respon Sistemik Tumbuhan.....   | 154 |
| Gambar 122. Penampilan Tumbuhan yang Resisten, Toleran, dan Peka terhadap Serangan Herbivora.....   | 155 |
| Gambar 123. Sifat Resistensi Tumbuhan secara langsung maupun tidak langsung .....   | 155 |
| Gambar 124. Resistensi Konstitutif dan Resistensi Induktif Tumbuhan dalam rangka menghadapi berbagai serangan dari luar .....                           | 156 |
| Gambar 125. Struktur Sel Tumbuhan .....   | 157 |
| Gambar 126. Kutin (A), Komponen Lapisan Lilin (B), dan Suberin (C) .....  | 158 |
| Gambar 127. Berbagai Ragam Metabolit Sekunder.....  | 159 |
| Gambar 128. Metabolisme C Sekunder .....  | 159 |
| Gambar 129. Kapas biasa yang peka terhadap hama (sebelah kiri) dan kapas rekombinan yang toleran terhadap hama (sebelah kanan).....                     | 160 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 130. Tomat biasa yang tidak tahan hama (sebelah kiri) dan tomat yang toleran terhadap hama (sebelah kanan) .....   | 161 |
| Gambar 131. Hasil percobaan dengan menggunakan media lengkap.....   | 162 |
| Gambar 132. Konjugasi (1) dan Transformasi (2) serta transduksi (3) .....   | 162 |
| Gambar 133. Hasil pemotongan DNA oleh enzim EcoRI .....   | 163 |
| Gambar 134. DNA rekombinan Hasil Pemotongan Enzim Restriksi .....   | 164 |
| Gambar 135. DNA Rekombinan Hasil Pemotongan beberapa Enzim Restriksi serta penggabungan DNA Ligase .....  | 164 |
| Gambar 136. Penyisipan, Perbanyakan, dan Ekspresi Informasi Genetik.....  | 165 |
| Gambar 137. Pustaka Genom.....  | 166 |
| Gambar 138. Pemisahan Fragmen DNA melalui Teknik Elektroforesis.....  | 166 |
| Gambar 139. Menyisipkan DNA Rekombinan ke Tanaman .....   | 167 |
| Gambar 140. Penyisipan Gen yang Diinginkan pada T-DNA yang Menginfeksi Sel Tanaman yang pada akhirnya menghasilkan Tanaman dengan Sifat Baru.....   | 167 |
| Gambar 141. Peningkatan Ukuran Ikan lewat Teknologi DNA .....   | 168 |
| Gambar 142. Dua Pelaku yang Dituduhkan Memperkosa tetapi Hanya Pola Pita DNA pada Darah Pelaku ke 2 yang terbukti sesuai dengan Pola Pita DNA pada Vagina Korban sedang tersangka 1 harus dibebaskan..... | 169 |

## DAFTAR TABEL

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 1. Kandungan Hara Mineral dalam Berbagai Jenis Tanaman.....   | 22  |
| Tabel 2. Kandungan Bahan Organik Dan Nitrogen Tersedia .....  | 23  |
| Tabel 3. Nilai Optimal P, K, Mg, Dan Ca Pada Beberapa Tingkat KTK.....  | 23  |
| Tabel 4. Kejenuhan Kation-Kation Basah.....   | 23  |
| Tabel 5. Kisaran Optimal Unsur-Unsur Mikro .....  | 24  |
| Tabel 6. Interaksi Antar Unsur Mikro .....  | 24  |
| Tabel 7. KTK dan Konduktivitas .....  | 24  |
| Tabel 8. Hubungan antara Ion dalam Substrat/Media dengan Cairan Sel<br>Nitella dan Valonia .....  | 29  |
| Tabel 9. KTK pada Beberapa Spesies Tanaman .....  | 31  |
| Tabel 10. Laju Serapan Dan Translokasi Zn pada Tanaman Barley.....  | 31  |
| Tabel 11. Komposisi Membran Plasma dan Tonoplas Kacang Hijau.....   | 33  |
| Tabel 12. Pengaruh Peningkatan Aplikasi Mg terhadap Berbagai<br>Kandungan Hara pada Tanaman Bunga Matahari .....  | 35  |
| Tabel 13. Aktivitas Pompa H <sup>+</sup> ATPase dan PP <sub>i</sub> ase.....  | 36  |
| Tabel 14. Penentuan dan Perhitungan Konsentrasi Ion (mM) secara<br>Eksperimen sesuai dengan perbedaan potensial listrik dalam<br>akar kacang dan oat..... | 44  |
| Tabel 15. Serapan dan Translokasi <sup>42</sup> K dan <sup>45</sup> Ca yang diberikan pada Zona<br>Berbeda ke Perakaran Jagung .....                      | 44  |
| Tabel 16. Pengaruh Status Hara P terhadap laju serapan P pada berbagai<br>zona akar tanaman barley .....  | 45  |
| Tabel 17. Berbagai Enzim yang terlibat di dalam Siklus Calvin .....   | 69  |
| Tabel 18. Beberapa Ciri yang menjadi Faktor Pembeda antara Tanaman<br>C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , dan CAM.....                                      | 70  |
| Tabel 19. Perbedaan antara Respirasi dengan Fotosintesis.....   | 74  |
| Tabel 20. Perbedaan antara Respirasi Gelap dan Respirasi Cahaya .....   | 83  |
| Tabel 21. Jenis Zat Pengatur Tumbuh Fungsi dan Tempat Dihasilkan .....  | 96  |
| Tabel 22. Kode Genetik dengan Jumlah Codon dan Asam Amino .....   | 119 |
| Tabel 23. Komponen yang diperlukan untuk 5 tahap utama sintesis protein<br>.....  | 121 |
| Tabel 24. Empat Kelas Lipoprotein Utama.....  | 125 |
| Tabel 25. Asam-asam Lemak pada Sistem Biologi .....   | 128 |
| Tabel 26. Respon Tanaman Tingkat Tinggi dan Tanaman Tingkat Rendah<br>terhadap Fotoreversibel yang Diinduksi oleh Fitokrom .....                          | 130 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 27. Pengaruh Cahaya Merah dan Merah Jauh pada Perkecambahan Biji Selada .....       | 132 |
| Tabel 28. Pengaruh Interupsi Periode Gelap Harian dengan Cahaya Merah dan Merah Jauh..... | 132 |
| Tabel 29. Senyawa Utama Metabolit Sekunder berdasarkan Struktur .....                     | 147 |
| Tabel 30. Klasifikasi Senyawa Fenolik.....  | 151 |
| Tabel 31. Berbagai Enzim dengan Sekuens Pengenal serta Organisme Asal.....                | 163 |
| Tabel 32. Penambahan Nutrisi pada Tanaman Lewat Teknologi Rekombinan.....                 | 168 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

Kompetensi Dasar:

Setelah mengikuti perkuliahan ini, mahasiswa dapat mendefinisikan fisiologi dan aspek praktis.

Standar Kompetensi:

Setelah mengikuti perkuliahan ini mahasiswa dapat menyebutkan dan memahami batasan dan cakupan fisiologi tumbuhan.

Pokok Bahasan:

Fisiologi Tumbuhan adalah ilmu yang membahas proses, fungsi, respon terhadap perubahan lingkungan dalam arti luas yang terjadi di dalam tubuh tumbuhan mulai pada tingkatan molekuler, seluler, jaringan, organ hingga individu tumbuhan yang resultantnya dapat diamati pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Proses dimaksudkan adalah urutan kejadian alamiah yang kontinu meliputi fotosintesis, respirasi, absorpsi ion, translokasi, membuka menutupnya stomata, asimilasi, transpirasi, perbungaan dan pembentukan biji. Dalam hal ini, tugas kesatu fisiolog adalah menggambarkan dan menjelaskan proses tumbuh. Selanjutnya fungsi diartikan merupakan aktifitas alamiah tanaman, apakah berbentuk sel, jaringan, organ, senyawa kimia, dan lain-lain. Terkait dengan fungsi, fisiologi tumbuhan mempelajari respon tumbuhan terhadap perubahan lingkungan, mempelajari pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Dalam hal ini, tugas kedua dari fisiolog adalah menggambarkan dan menjelaskan fungsi dari setiap jenis organ, jaringan, sel dan organel sel. Selanjutnya, respon terhadap perubahan lingkungan dapat dimulai dari senyawa pembentuk sel yaitu terdapat dalam sel, baik dalam bentuk ion, molekul kecil, molekul makro, artinya fungsi bergantung dan dapat diubah oleh faktor lingkungan (cahaya, suhu, iklim mikro). Dalam hal ini, tugas ketiga fisiolog adalah menggambarkan dan menjelaskan bagaimana respon proses dan fungsi terhadap perubahan lingkungan yang dapat dilihat dari gejala. Jadi tugas utama fisiolog adalah untuk mengungkapkan segala peristiwa alamiah yang terdapat dalam tanaman secara terperinci dan menyeluruh sehingga dapat memberikan

pengertian mengenai pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Gambar 1 di bawah ini memperlihatkan perubahan iklim dunia.



Gambar 1. Dunia dengan Berbagai Ragam yang Dihadapi (didownload dari internet)

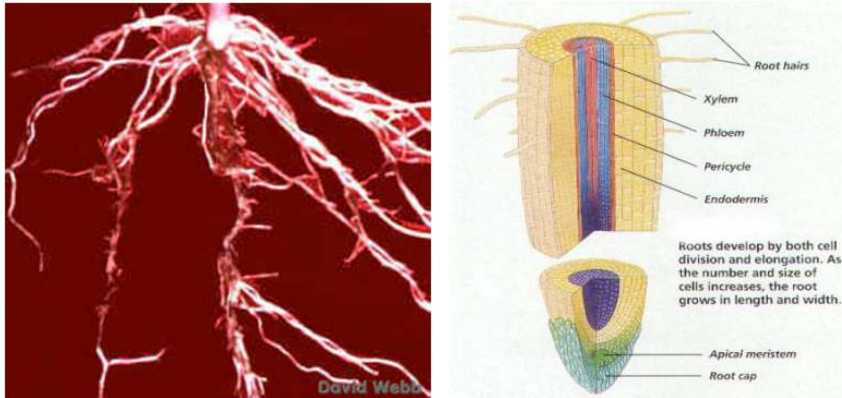
Seorang fisiolog akan terus mengkaji ketersediaan pangan dunia untuk mewujudkan kesejahteraan umat manusia. Dari Gambar 1 diperoleh bahwa apabila tidak ada terobosan untuk menghadapi climate change maka sangat mungkin gagal panen, lahan sawah menjadi kering, perkotaan mengalami banjir besar sehingga volume perdagangan dan stok pangan akan mengalami penurunan signifikan, harga pangan membubung tinggi, dan ujung-ujungnya banyak penduduk dunia menjadi kelaparan yang kontinu. Fisiolog tentunya akan bekerja sama dengan semua pihak untuk memberi solusi komprehensif.

### Ilmu Pendukung untuk Fisiologi Tumbuhan

Adapun disiplin ilmu yang dibutuhkan untuk memperlengkapi pemahaman fisiologi tumbuhan antara lain:

1. Anatomi dan Morfologi. Sebagai contoh, akar sangat berperan untuk menyerap air dan unsur hara, pengetahuan anatomi dan morfologi akan

mempermudah untuk menggambarkan dan menjelaskan proses, fungsi, dan respon tanaman terhadap lingkungan. Hal ini diperjelas pada Gambar 2.

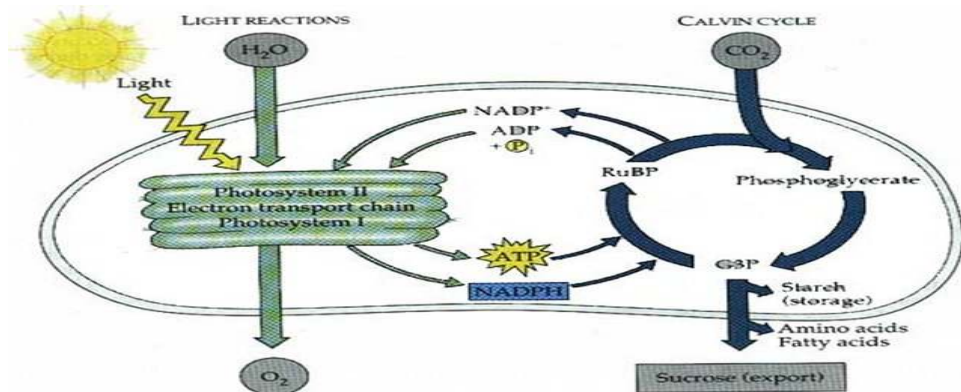


Gambar 2. Anatomi dan Morfologi Akar (didownload dari internet)

Dari Gambar 2 terlihat bahwa beberapa lapisan pada akar tumbuhan dimulai dari floem lalu masuk ke endodermis, kemudian ke perisikel dan xilem. Akar juga memiliki tudung akar (root cap) serta apikal meristem (titik tumbuh) dilengkapi dengan rambut-rambut akar. Akar berkembang dari pembelahan dan pembesaran sel, karena jumlah dan ukuran sel meningkat maka akar bertambah panjang dan semakin besar.

2. Ilmu Fisika dan Kimia.

Ilmu ini sangat dibutuhkan untuk menggambarkan dan menjelaskan reaksi cahaya dan gelap pada peristiwa fotosintesis. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 3.

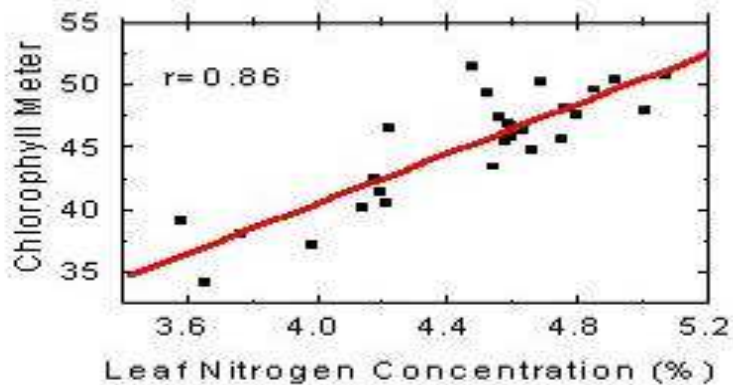


Gambar 3. Reaksi Cahaya dan Gelap Fotosintesis (didownload dari internet)

Dari Gambar 3 secara singkat fisika dan kimia diperlukan untuk menjelaskan perubahan energi fisik menjadi energi kimia.

### 3. Ilmu Matematika

Matematika sangat diperlukan untuk mencari persamaan regresi baik untuk interpolasi maupun ekstrapolasi perlakuan. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Contoh Hubungan Konsentrasi Nitrogen Daun dan Jumlah Klorofil

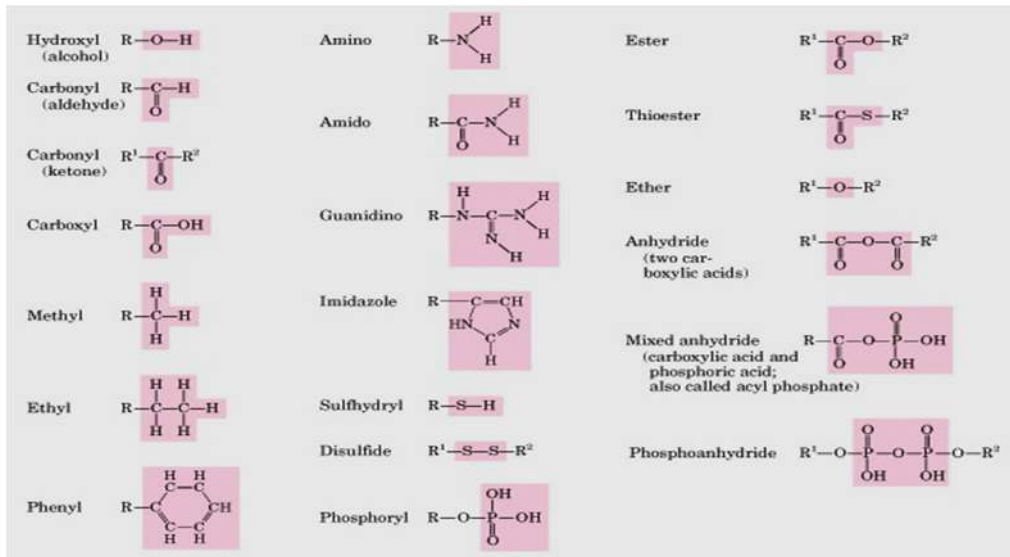
Dari Gambar 4 diperoleh bahwa hubungan antara konsentrasi nitrogen daun dan jumlah klorofil memiliki keeratan 86% selebihnya ditentukan oleh faktor lain.

### 4. Biokimia

Ilmu ini sangat dibutuhkan pertama untuk tujuan identifikasi unsur kimia penyusun makhluk hidup. Sembilan puluh sembilan persen penyusun sel adalah C, H, O, dan N. C memiliki elektron bebas 4, H = 1, O = 2, dan N memiliki elektron bebas 3. Jadi enam unsur utama penyusun sel hidup adalah C, H, O, N, P, dan S. O menyusun kerak bumi 47%, Si = 26%, Al = 7,9%, Fe = 4,5%, dan Ca menyusun kerak bumi sebesar 3,5%. Sebagian besar unsur penyusun bahan hidup memiliki berat atom yang rendah. C, H, O, dan N adalah unsur dengan berat atom relatif paling kecil yang masing-masing mampu membentuk ikatan tunggal, rangkap, rangkap tiga, dan ikatan rangkap empat. Dalam hal ini, unsur dengan berat atom paling ringan membentuk ikatan paling kuat. Kekuatan ikatan kimia dipengaruhi oleh: keelektronegatifan kedua atom, keelektronegatifan







Gambar 7. Gugus Fungsi yang Umum

Adapun nukleofil biologi yang penting serta gugus fungsi yang kaya elektron adalah sebagai berikut:

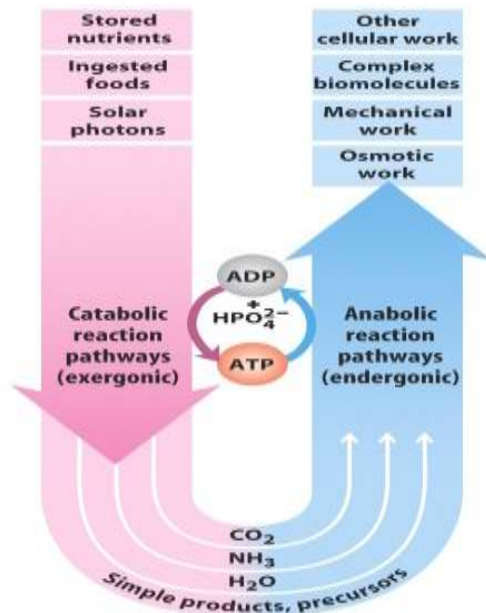
**Table 3-4**

**Some Functional Groups Active as Nucleophiles within Cells\***

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Water                    | $H\ddot{O}H$   |
| Hydroxide ion            | $H\ddot{O}^-$  |
| Hydroxyl (alcohol)       | $R\ddot{O}H$   |
| Alkoxy                   | $R\ddot{O}^-$  |
| Sulfhydryl               | $RSH$  |
| Sulfide                  | $R\ddot{S}^-$  |
| Amino                    | $R\ddot{N}H_2$                                       |
| Carboxylate              | $R-C \begin{matrix} O \\ // \\ O^- \end{matrix}$     |
| Imidazole                | $\begin{matrix} R \\   \\ N \\   \\ NH \end{matrix}$ |
| Inorganic orthophosphate | $O=P(=O)(OH)-OH$                                     |

Gambar 8. Beberapa Kelompok Fungsional Aktif sebagai Nukleofil dalam Sel

Tipe molekul yang ditemukan dalam makhluk hidup antara lain asam amino (misalnya asparagin dan sistein), nukleotida (misalnya adenosin triphospat yang disusun oleh gugus adenin, ribosa, dan fosfat), karbohidrat (misalnya glukosa), dan lipida (misalnya palmitat). Struktur biomolekul terdiri dari senyawa pembangun-gula sederhana, asam amino, nukleotida, dan asam lemak; makromolekul-polisakarida, protein atau peptida, RNA atau DNA serta lipida. Perubahan dari senyawa pembangun ke makromolekul disebut anabolisme, sebaliknya dari makromolekul menjadi senyawa pembangun disebut katabolisme. Biokimia sangat dibutuhkan fisiolog juga dalam rangka memahami mekanisme biomolekul membuat makhluk hidup menjadi hidup. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Reaksi Katabolisme (Exergonic) dan Reaksi Anabolisme (Endergonic)

Fisiologi tumbuhan berhubungan erat dengan ilmu lainnya seperti:

- Kimia organik, yang mempelajari sifat molekul.
- Biofisika, yang memanfaatkan teknik fisika untuk memahami struktur biomolekul.
- Nutrisi, untuk menjelaskan kebutuhan makanan bagi makhluk hidup mempertahankan kehidupan normalnya.

- d. Mikrobiologi, dibutuhkan untuk menunjukkan bahwa organisme sel tunggal dan virus dapat sebagai sarana memahami jalur metabolisme dan mekanisme pengendaliannya.
- e. Biologi sel, mempelajari pembagian kerja biokimia dalam sel
- f. Genetika, yang mempelajari mekanisme penyusunan identitas biokimia sel.

Seluruh ilmu tersebut dapat bersifat tradisional dan mutakhir (kromatografi, electron scanning microscopy, elektroforesis, spektrometer, teknik perunutan radioaktif, serta teknik maserasi)

Ada tiga hal yang dibutuhkan sel yaitu pertama energi, hal yang perlu diketahui adalah cara memperoleh energi, mengubahnya, dan memanfaatkan energi dimaksud; kedua, molekul sederhana, yaitu cara mengubahnya, mempolimerisasikannya lalu mendegradasinya; ketiga, mekanisme kimia sel, untuk memperoleh energi menjalankan reaksi kimia secara sekuensi lalu mensintesis dan mendegradasi makromolekul serta mempertahankan steady state yang dinamis, dan merakit kembali struktur yang kompleks, menggandakan diri secara akurat dan efisien untuk keteraturan proses biokimia.

Makhluk hidup menggunakan sistem reaksi kimia berpasangan untuk mendorong reaksi yang sulit terjadi, contoh reaksi 1: glukosa + Pi → glukosa 6-fosfat; reaksi 2: ATP → ADP + Pi; reaksi 3: glukosa + ATP → glukosa 6-fosfat + ADP. Makhluk hidup juga menggunakan enzim untuk mempercepat reaksi.

Transformasi biokimia dapat dikelompokkan ke dalam lima kelompok besar yaitu reaksi pemindahan gugus, reaksi redoks, penyusunan kembali (isomerisasi), reaksi pemotongan, dan kondensasi.

Biosintesis membutuhkan molekul sederhana untuk dirangkai secara kovalen melalui berbagai kombinasi antara lain: asam amino menjadi protein, hormon peptida, neurotransmitters, dan alkaloid toksik; adenin menjadi asam nukleat, ATP, co enzim, dan neurotransmitters; asam palmitat menjadi lipida membran, lemak, dan lilin; glukosa menjadi selulosa, pati, fruktosa, mannanosa, sukrosa, dan laktosa.

Berbagai aspek praktis fisiologi tumbuhan sebagai berikut:

- Menjadi dasar berbagai kemajuan pertanian, kehutanan, farmakologi, patologi, dan bidang lain dari ilmu botani.
- Proses penelitian
- Agar pangan lebih berkualitas dan banyak
- Mendapatkan varietas unggul

- Sebagai dasar peningkatan perlindungan tanaman terhadap hama penyakit dan gulma
- Dasar meningkatkan kesuburan tanah
- Serta peningkatan efisiensi dalam segala hal.

Akhir-akhir ini fisiologi tumbuhan lebih banyak diarahkan untuk memberi penjelasan dan solusi komprehensif, antara lain:

- ✓ Efisiensi konversi fotosintetik
- ✓ Fiksasi nitrogen secara biologis
- ✓ Mengurangi waktu menghasilkan galur lewat kultur jaringan
- ✓ Mutu produksi
- ✓ Penurunan transpirasi dan efisiensi penggunaan air
- ✓ Pengaturan pertumbuhan dan perkembangan
- ✓ Kualitas nutrisi pangan
- ✓ Pertumbuhan dan produksi optimum melalui lingkungan terkontrol
- ✓ Kualitas pakan ternak

Jadi jelas mahasiswa khususnya fakultas pertanian sangat butuh untuk mempelajari fisiologi tumbuhan dalam rangka menggambarkan dan menjelaskan proses, fungsi, respon tumbuhan terhadap lingkungan abiotik dan lingkungan biotik serta menggambarkan dan menjelaskan pertumbuhan, perkembangan, serta produksi tumbuhan-tanaman dalam rangka peningkatan nilai tambah dan daya saing produk pangan khususnya di Indonesia. Perlu diketahui bahwa tumbuhan-tanaman memiliki peran luar biasa antara lain: sumber pangan bagi manusia, sandang, papan, obat dan kosmetik, bahan industri, keindahan, daur hidrologi, serta paru-paru dunia.

### Evaluasi

Buatlah defenisi fisiologi tumbuhan-tanaman; Mengapa fisiologi tumbuhan sangat perlu untuk dipelajari, ilmu apa saja yang diperlukan untuk mempelajari fisiologi tumbuhan. Sebutkan dan jelaskan.