



Buku Ajar

Ekologi dan

Fisiologi

Tumbuhan

Yeni - Desi Maulida - Dila Febria - Abied Khafidhan - Ramadyah Hamiranti

Buku Ajar

Ekologi dan

Fisiologi

Tumbuhan

Yeni – Desi Maulida – Dila Febria
Abied Khafidhan – Ramadyah Hamiranti



buku ajar
EKOLOGI DAN FISILOGI TUMBUHAN

Ditulis oleh:

YENI
DESI MAULIDA
DILA FEBRIA
ABIED KHAFIDHAN
RAMADYAH HAMIRANTI

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh
PT. Literasi Nusantara Abadi Grup
Perumahan Puncak Joyo Agung Residence Kav. B11 Merjosari
Kecamatan Lowokwaru Kota Malang 65144
Telp : +6285887254603, +6285841411519
Email: literasinusantaraofficial@gmail.com
Web: www.penerbitlitnus.co.id
Anggota IKAPI No. 340/JTI/2022



Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip
atau memperbanyak baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku
dengan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan I, Desember 2025

Perancang sampul: Rosyiful Aqli
Penata letak: Muhammad Ridho Naufal

ISBN : 978-634-234-864-2

xii + 166 hlm. ; 15,5x23 cm.

©Desember 2025



Prakata

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ajar **Ekologi dan Fisiologi Tumbuhan** ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai sumber belajar yang dirancang untuk membantu mahasiswa memahami konsep-konsep dasar hingga tingkat terapan mengenai hubungan antara tumbuhan dengan lingkungannya serta mekanisme fisiologis yang memungkinkan tumbuhan bertahan, tumbuh, dan berkembang.

Materi dalam buku ini meliputi prinsip-prinsip **ekologi tumbuhan**, interaksi biotik dan abiotik, adaptasi ekologis, proses fisiologis utama seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi, transport internal, serta respon tumbuhan terhadap stres lingkungan. Penyajian dibuat sistematis, dilengkapi contoh aplikasi, ilustrasi, serta uraian analitis untuk mendukung pemahaman mahasiswa pada tingkat kognitif menengah hingga lanjut.

Penulis menyadari bahwa perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang ekologi dan fisiologi tumbuhan, berjalan sangat cepat. Oleh karena itu, buku ajar ini tentu masih memiliki keterbatasan. Penulis sangat mengharapkan masukan, kritik, dan saran yang konstruktif dari para pembaca, dosen, maupun mahasiswa, demi penyempurnaan edisi-edisi berikutnya.

Akhir kata, penulis berharap buku ajar ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi kecil bagi peningkatan kualitas pembelajaran serta pemahaman ilmu-ilmu hayati di lingkungan akademik.

Bandar Lampung, 2025

Penulis



Daftar Isi

Prakata	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel.....	xi

BAB I

PENDAHULUAN FISILOGI & EKOLOGI TANAMAN—1

1.1 Pengertian dan Tujuan Mempelajari Fisiologi Tanaman	5
1.2 Hubungan Fisiologi dengan Ilmu Pertanian	7
1.3 Aplikasi Fisiologi Tanaman dalam Produksi Pertanian	15
1.4 Keterkaitan antara Fisiologi Tanaman dan Ekologi.....	18
1.5 Kesimpulan	19
1.6 Latihan Soal Bab I	21
1.7 Daftar Pustaka	21

BAB II

FAKTOR BIOTIK DAN ABIOTIK TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN—23

2.1 Faktor Abiotik yang Mempengaruhi Pertumbuhan Tanaman.....	24
2.2 Faktor Biotik yang Mempengaruhi Pertumbuhan Tanaman	37
2.3 Interaksi antara Faktor Abiotik dan Biotik	40
2.4 Kesimpulan	41
2.5 Soal Latihan Bab II.....	42
2.6 Daftar Pustaka	42

BAB III

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL—45

3.1 Sel sebagai Unit Fungsional	45
3.2 Struktur dan Fungsi Sel Tumbuhan	46
3.3 Transportasi Zat dalam Sel	62
3.4 Kesimpulan	65
3.5 Latihan Soal Bab III	66
3.6 Daftar Pustaka	66

BAB IV

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN—69

4.1 Fase-fase Pertumbuhan	69
4.2 Pembelahan dan Diferensiasi Sel	71
4.3 Pengaruh Lingkungan terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan	79
4.4 Kesimpulan	82
4.5 Soal Latihan Bab IV	83
4.6 Daftar Pustaka	83

BAB V

PENYERAPAN AIR DAN UNSUR HARA MINERAL—85

5.1 Fungsi Air bagi Tanaman	85
5.2 Mekanisme Penyerapan dan Transportasi Air	87
5.3 Penyerapan Hara Mineral Esensial	92
5.4 Kesimpulan	100
5.5 Latihan Soal Bab V	102
5.6 Daftar Pustaka	102

BAB VI

FOTOSINTESIS, TRANSPIRASI, DAN RESPIRASI—103

6.1 Fotosintesis	104
6.2 Respirasi	109
6.3 Transpirasi	115
6.4 Kesimpulan	119
6.5 Soal Latihan Bab VI	119
6.6 Daftar Pustaka	120

BAB VII

TANAMAN C3, C4, DAN CAM—121

7.1 Tanaman C3	122
7.2 Tanaman C4	123
7.3 Tanaman CAM	124
7.4 Kesimpulan	126
7.5 Latihan Soal Bab VII	127
7.6 Daftar Pustaka	128

BAB VIII

HORMON DAN REGULASI PERTUMBUHAN—129

8.1 Jenis dan Fungsi Hormon Tanaman	130
8.2 Mekanisme Kerja Hormon	139
8.3 Aplikasi ZPT (Zat Pengatur Tumbuh) di Lapangan	142
8.4 Metode Aplikasi ZPT di Lapangan	143
8.5 Kesimpulan	149
8.6 Latihan Soal Bab VIII	150
8.7 Daftar Pustaka	151

BAB IX

STRES LINGKUNGAN PADA TANAMAN—153

9.1 Jenis Stres: Kekeringan, Suhu, Salinitas, dan Hara	154
9.2 Respon Fisiologis Tanaman terhadap Stres	157
9.3 Strategi Adaptasi dan Toleransi	159
9.4 Kesimpulan	162
9.5 Latihan soal Bab IX	163
9.6 Daftar Pustaka	164



Daftar Gambar

Gambar 1.	<i>Indoorfarming</i> Politeknik Negeri Lampung. a. Instalasi <i>indoorfarming</i> Prodi TPTH Polinela, b. Tampilan aplikasi grolab saat dilakukan pengaturan <i>indoorfarming</i>	18
Gambar 2.	Aturan perbedaan kuantitas cahaya pada tumbuhan (Sumber: Wu, 2024).....	27
Gambar 3.	Ilustrasi penyerapan air oleh tanaman (Sumber: Doussan dan Pages, 2018).....	29
Gambar 4.	Mekanisme interaksi mikroba-tumbuhan yang dipengaruhi faktor biotik dan abiotik (Sumber: Anas et al., 2025).....	40
Gambar 5.	Sel Tumbuhan	47
Gambar 6.	Struktur Dinding Sel.....	49
Gambar 7.	Letak Plasmodesmata pada Dinding Sel (Sumber: Campbel 2002) ...	50
Gambar 8.	Struktur Membran Sel	51
Gambar 9.	Struktur inti sel	52
Gambar 10.	Struktur Retikulum Endoplasma.....	53
Gambar 11.	Struktur Ribosom.....	54
Gambar 12.	Struktur Badan Golgi.....	57
Gambar 13.	Struktur Mitokondria	61
Gambar 14.	Struktur Plastida.....	62
Gambar 15.	Difusi melalui membran sel.....	64
Gambar 16.	Keseimbangan air pada sel tumbuhan	65
Gambar 17.	Kurva pertumbuhan tanaman tunggal (kurva sigmoid dengan tiga fase pertumbuhan utama)s.....	70
Gambar 18.	Proses pembelahan dan diferensiasi sel tanaman secara <i>in vitro</i> pada media kultur. Terlihat pembentukan kalus (jaringan hasil pembelahan sel yang belum terdiferensiasi) dan munculnya bakal tunas sebagai hasil diferensiasi sel.....	72
Gambar 19.	Tahapan mitosis pada sel meristematik akar	74

Gambar 20.	Letak ketiga jenis meristem	76
Gambar 21.	Diferensiasi sel	78
Gambar 22.	Gambaran umum tumbuhan mendapatkan sumberdaya.....	88
Gambar 23.	Aliran transpor dalam sel.....	89
Gambar 24.	Aliran air dari tanah ke dalam tanaman	90
Gambar 25.	Struktur kloroplas (sumber: Stirbet et al., 2020)	106
Gambar 26.	Reaksi terang fotosintesis (sumber: Stirbet et al., 2020).....	107
Gambar 27.	Siklus Calvin. Setiap 3 molekul CO ₂ yang memasuki siklus, satu molekul gliseraldehid 3-fosfat (G3P) dihasilkan. Proses ini membutuhkan energi yang tersimpan dalam bentuk ATP dan NADPH yang dihasilkan oleh reaksi terang (sumber: Phionah, 2024).....	108
Gambar 28.	Langkah dalam glikolisis (Sumber: Blanco dan Blanco., 2022)	111
Gambar 29.	Skema siklus Kreb's (Sumber: Blanco dan Blanco, 2022)	115
Gambar 30.	Proses transpirasi melalui stomata (Sumber; Global Science Research Journal)	118
Gambar 31.	Skema Fiksasi N pada tanaman C3, C4 dan CAM	122
Gambar 32.	Aktivitas pensinyalan auksi di dalam tanaman (Zhang et al., 2022)..	131
Gambar 33.	Aktivitas pensinyalan sitokinin di dalam tanaman (Cheng & Kieber, 2014).....	133
Gambar 34.	Aktivitas pensinyalan sitokinin di dalam tanaman (Salazar-Cereza et al., 2018).....	135
Gambar 35.	aktivitas pensinyalan etilen di dalam tanaman (Wang <i>et al.</i> , 2025)....	137
Gambar 36.	Aktivitas pensinyalan ABA di dalam tanaman (Jiang et al., 2025).....	139



Daftar Tabel

Tabel 1. Bentuk Ion yang diserap oleh Tanaman dari Pemupukan.....	9
Tabel 2. Jenis ZPT dan Pemanfaatannya dalam Proses Fisiologis Tanaman.....	17
Tabel 3. Perbedaan Bagian Cis dan Trans pada Badan Golgi	57
Tabel 4. Gejala kekurangan beberapa unsur hara penting pada tanaman	81
Tabel 5. Unsur hara dalamkelompok makronutrien dan mikronutrien	93
Tabel 6. Produk bersih yang dihasilkan pada proses glikolisis.....	112
Tabel 7. Produk yang dihasilkan pada reaksi oksidasi piruvat	113
Tabel 8. Produk yang dihasilkan pada siklus Kreb's	115
Tabel 10. Contoh Aplikasi Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) di Bidang Hortikultura	147



BAB I

PENDAHULUAN FISILOGI & EKOLOGI TANAMAN

Pemahaman tentang dunia tumbuhan tidak dapat dilepaskan dari tiga bidang utama, yaitu morfologi, fisiologi, dan ekologi. Dalam buku ajar ini, pembahasan difokuskan pada proses-proses fisiologis yang terjadi di dalam tanaman serta faktor-faktor ekologis (lingkungan) yang berpengaruh terhadap proses tersebut. Fisiologi tanaman dan ekologi tanaman merupakan dua cabang ilmu dasar yang memiliki peran penting dalam memahami kehidupan tumbuhan secara menyeluruh. Kedua ilmu ini menjadi fondasi dalam pengembangan dan penerapan berbagai teknik budidaya modern yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, terutama pada komoditas hortikultura.

Pemahaman terhadap mekanisme fisiologis tanaman sangat penting, baik bagi akademisi maupun praktisi pertanian. Proses-proses seperti penyerapan unsur hara oleh akar, pengangkutan nutrisi menuju daun, fotosintesis, respirasi, transpirasi, serta respon tanaman terhadap kondisi lingkungan merupakan dasar bagi pengelolaan tanaman yang efisien dan berkelanjutan. Dalam praktik budidaya, peningkatan hasil tanaman sering kali hanya difokuskan pada aspek teknis seperti penambahan pupuk atau modifikasi media tanam. Namun, jarang sekali dilakukan kajian mendalam mengenai bagaimana perlakuan tersebut memengaruhi fisiologi tanaman. Misalnya, pemberian nutrisi yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan

metabolisme dan menurunkan efisiensi pertumbuhan tanaman. Selain itu, faktor-faktor lingkungan (ekologi) seperti suhu, cahaya, kelembapan, dan ketersediaan air juga sangat menentukan keberhasilan budidaya karena berpengaruh langsung terhadap aktivitas metabolik tanaman.

Dalam kajian fisiologi tanaman, dibahas pula pengaruh faktor biotik dan abiotik terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fisiologi tanaman menjelaskan bagaimana kondisi lingkungan dapat memodifikasi proses-proses internal tanaman, bagaimana mekanisme pertahanan bekerja saat menghadapi stres lingkungan, serta dampak yang ditimbulkan terhadap metabolisme di tingkat sel. Untuk memahami hal-hal tersebut, diperlukan pengetahuan dasar mengenai struktur dan fungsi sel tanaman, serta proses fotosintesis, respirasi, dan transpirasi yang berlangsung di dalamnya. Aspek penting lainnya yang tidak dapat dipisahkan dari pembahasan fisiologi tanaman adalah ekologi tanaman.

Secara etimologis, istilah *ekologi* berasal dari bahasa Yunani, dari kata *oikos* yang berarti “rumah” atau “tempat tinggal”, dan *logos* yang berarti “ilmu” atau “pengetahuan”. Dengan demikian, ekologi dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dengan lingkungan tempat hidupnya. Ekologi tanaman secara khusus menelaah interaksi antara tanaman dengan lingkungannya, baik dengan sesama tanaman maupun dengan organisme lain di sekitarnya. Dalam ekologi tanaman, terdapat dua kelompok faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan, yaitu faktor biotik seperti mikroorganisme, hama, gulma, dan patogen penyebab penyakit; serta faktor abiotik seperti air, udara, cahaya, suhu, kelembapan, dan pH tanah.

Setiap faktor lingkungan memiliki kisaran nilai optimum yang diperlukan agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang secara normal. Kondisi optimum tersebut menggambarkan keadaan di mana seluruh faktor lingkungan berada dalam batas toleransi yang sesuai bagi tanaman. Konsep ini pertama kali dikemukakan oleh Victor E. Shelford dan dikenal dengan istilah Hukum Toleransi Shelford, yang menjelaskan bahwa keberhasilan pertumbuhan sangat bergantung pada keseimbangan faktor lingkungan yang memengaruhinya (Titisari, 2022).



BAB II

FAKTOR BIOTIK DAN ABIOTIK TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN

Pertumbuhan tanaman dapat diartikan sebagai peningkatan volume dan/atau massa dengan atau tanpa pembentukan struktur baru seperti organ, sel atau sel organ. Pertumbuhan biasanya berkaitan dengan perkembangan (spesialisasi sel dan jaringan) dan reproduksi (pembentukan individu baru). Sementara perkembangan tanaman adalah keseluruhan proses pematangan, termasuk perubahan bentuk dan fungsi melalui siklus hidup tanaman. Perkembangan mencakup semua perubahan yang terjadi selama siklus hidup tanaman. Pertumbuhan, diferensiasi, dan perkembangan adalah peristiwa yang saling terkait. Tanaman tidak dapat berkembang bila sel-selnya tidak tumbuh dan berdiferensiasi.

Tumbuhan merupakan unsur vital yang sangat penting dalam ekosistem, memainkan peran yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan dengan menyerap karbon dioksida dan mengeluarkan oksigen, serta perannya dalam menjaga kestabilan tanah dan meningkatkan kesuburan. Namun, perkembangan tumbuhan tergantung pada banyak faktor lingkungan, termasuk faktor iklim, fisik, dan kimia yang mempengaruhi berbagai proses fisiologis seperti fotosintesis, penyerapan air dan nutrisi, serta perkembangan vegetatif dan akar. Parameter lingkungan yang paling penting yang memengaruhi pertumbuhan tanaman adalah suhu, intensitas cahaya, tanah, ketersediaan air, dan polusi lingkungan, karena lingkungan

ekstrem dapat menyebabkan perubahan fisiologis yang dapat mengakibatkan produktivitas rendah atau bahkan kematian tanaman dalam beberapa kasus.

Dalam beberapa dekade terakhir, telah muncul kekhawatiran yang semakin meningkat mengenai bagaimana faktor lingkungan mempengaruhi pertumbuhan tanaman sebagai akibat dari perubahan iklim dan aktivitas manusia yang semakin merusak kualitas tanah, air, dan udara. Studi terbaru menunjukkan bahwa variasi suhu dan kelembapan dapat mempengaruhi proses metabolisme tanaman secara signifikan, mengubah laju fotosintesis dan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan lainnya. Selain itu, polusi lingkungan seperti polusi tanah akibat logam berat atau polusi udara akibat senyawa kimia beracun merupakan tantangan signifikan yang berdampak negatif pada pertumbuhan dan kesehatan tanaman.

Selain faktor lingkungan, tanaman juga dikendalikan oleh faktor biotik yang dapat menguntungkan maupun merugikan bagi tanaman, tergantung pada bagaimana interaksi dengan tanaman. Faktor biotik termasuk mikroorganisme telah terbukti berperan dalam fiksasi nitrogen atmosfer, dekomposisi limbah organik dan sisa tanaman, penekanan penyakit tanaman, peningkatan siklus nutrisi, serta produksi senyawa bioaktif. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi keterkaitan antara faktor abiotik dan faktor biotik terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

2.1 Faktor Abiotik yang Mempengaruhi Pertumbuhan Tanaman

Faktor-faktor abiotik yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman meliputi tanah, air, suhu, topografi, faktor iklim, cahaya, karbondioksida. Faktor-faktor ini merupakan komponen tak hidup dari lingkungan yang bersama-sama dengan faktor biotik, menentukan sejauh mana faktor genetik diekspresikan pada tanaman.

Tanaman dikendalikan oleh serangkaian kondisi lingkungan yang memainkan peranan penting dalam laju pertumbuhan dan fotosintesis. Kondisi tersebut meliputi suhu, Cahaya, air, karbondioksida. Faktor-faktor ini merupakan hal utama yang perlu dipertimbangkan dalam seberapa



BAB III

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

3.1 Sel sebagai Unit Fungsional

Sel ditemukan pertama kali pada tahun 1665 oleh ilmuwan inggris yaitu, Robert Hooke. Hooke menemukan adanya struktur kecil berbentuk kotak yang menyerupai ruang-ruang kecil atau “selula” dalam bahasa Latin, yang berarti ruang kecil. Pada abad ke-19, dua ilmuwan jerman Matthias Schleiden (ahli botani) dan Theodor Schwann (ahli zoologi), mengemukakan Teori Sel yang menyatakan bahwa semua makhluk hidup tersusun atas sel, dan sel merupakan unit dasar kehidupan. Scheiden dan Schwann menyampaikan tiga prinsip utama dalam teori sel, yaitu:

1. Semua makhluk hidup tesusun atas satu atau lebih sel
2. Sel merupakan unit dasar kehidupan
3. Setiap sel berasal dari sel yang sudah ada sebelumnya, melalui pembelahan sel

Tumbuhan termasuk ke dalam organisme multiseluler yang tersusun atas banyak sel yang saling berinteraksi dan bekerja bersama secara teratur dan terstruktur dalam menjaga keberlangsungan hidupnya. Setiap sel pada tumbuhan memiliki struktur dan fungsi yang spesifik sehingga mampu menjalankan tugas yang berbeda namun saling mendukung dalam sistem kehidupan tumbuhan secara keseluruhan. Sebagai organisme multiseluler, tumbuhan menunjukkan tingkat organisasi biologis yang kompleks.

Dimulai dari sel, kemudian membentuk jaringan, organ, dan akhirnya membentuk sistem organ yang menjalankan berbagai fungsi fisiologis. Beberapa jaringan bekerja sama dan membentuk organ, seperti akar, batang, dan daun, yang masing-masing menjalankan fungsi penting bagi kelangsungan hidup tumbuhan. Organ-organ tersebut kemudian saling berinteraksi membentuk sistem organ, seperti sistem transportasi (xilem dan floem) dan sistem fotosintesis. Keseluruhan sistem ini akhirnya membentuk satu kesatuan organisme tumbuhan yang utuh. Dengan adanya tingkat organisasi ini, tumbuhan mampu melakukan berbagai proses fisiologis secara efisien, mulai dari penyerapan air hingga produksi energi melalui fotosintesis. Keberadaan berbagai jenis sel dengan fungsi berbeda ini memungkinkan tumbuhan untuk:

- Melakukan fotosintesis sebagai sumber energi utama,
- Menyerap air dan mineral dari lingkungan,
- Mengatur pertumbuhan dan perkembangan melalui aktivitas hormon, serta
- Beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

3.2 Struktur dan Fungsi Sel Tumbuhan

Sel tumbuhan termasuk dalam kelompok sel eukariotik sama seperti sel pada hewan. Perbedaan yang paling mencolok antara sel tumbuhan dan sel hewan adalah ukuran sel tumbuhan yang lebih besar dari sel hewan. Selain itu, pada sel tumbuhan memiliki dinding sel, plastida dan satu vakuola yang besar. Ciri-ciri sel tumbuhan memiliki ukuran sekitar 10-100 μm , memiliki bentuk tetap dan kaku dikarenakan adanya dinding sel. Pada sel tumbuhan terdapat organel penting seperti vakuola yang berukuran besar sebagai tempat menyimpan makanan dalam bentuk butiran (granula) atau pati. Tumbuhan mampu melakukan proses fotosintesis sehingga fungsi utama dari sel-sel tumbuhan ialah sebagai sel fotosintetik dan sel absorptif. Unsur karbon sebagai hasil dari fotosintesis bersumber dari Plastida yang tersusun atas sel fotosintetik. Sedangkan kebutuhan hara dan mineral yang dibutuhkan tumbuhan dipenuhi oleh sel absorptif.



BAB IV

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN

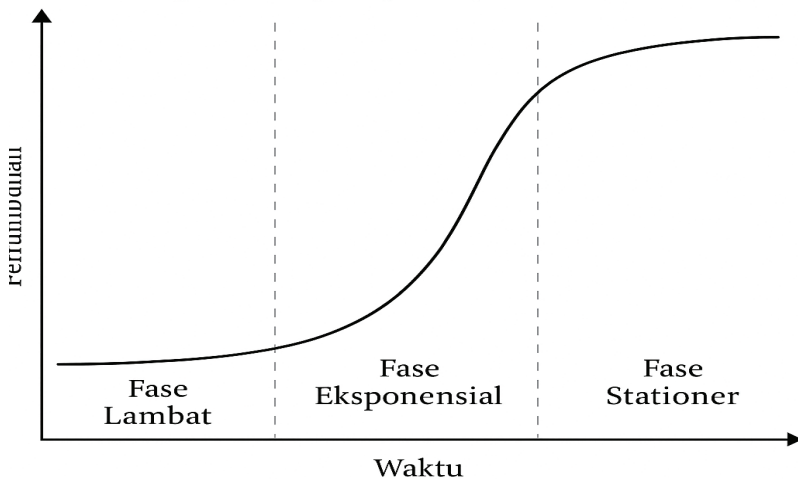
4.1 Fase-fase Pertumbuhan

Pertumbuhan merupakan proses peningkatan ukuran organisme yang bersifat irreversibel akibat pembelahan dan pembesaran sel (Taiz et al., 2015). Pertumbuhan adalah proses peningkatan ukuran, massa, atau volume tanaman yang bersifat irreversible (tidak dapat kembali ke keadaan semula) akibat pembelahan dan pembesaran sel, dan dapat diukur secara kuantitatif, misalnya tinggi batang, luas daun, atau berat biomassa. Ciri-ciri pertumbuhan 1) Irreversibel, ukuran tidak kembali ke kondisi awal, 2) Terukur secara kuantitatif misal tinggi batang, berat kering, luas daun, 3) Hasil dari aktivitas sel pembelahan sel (mitosis) dan pembesaran sel (elongasi dan ekspansi), 4) Bervariasi menurut organ dan fase akar, batang, daun, dan bunga tumbuh dengan laju berbeda.

Pertumbuhan mencakup pertumbuhan primer dari meristem apikal yang memanjangkan organ, serta pertumbuhan sekunder dari kambium yang menambah diameter batang atau akar. Fase-fase pertumbuhan tanaman terdiri atas tiga tahap utama: fase lambat, fase eksponensial, dan fase stasioner. Pertumbuhan tanaman dapat dibagi menjadi tiga fase utama: Fase lambat (lag phase) adalah tahap awal pertumbuhan, di mana sel-sel mulai aktif secara metabolik, namun penambahan ukuran atau biomassa

tanaman relatif kecil. Pada fase ini, tanaman menyesuaikan diri dengan lingkungan dan mempersiapkan aktivitas pembelahan dan ekspansi sel yang lebih cepat. Fase eksponensial (log phase) ditandai oleh pertumbuhan yang cepat dan konstan, karena laju pembelahan dan pembesaran sel mencapai puncaknya. Pada fase ini, tanaman mengalami peningkatan tinggi batang, luas daun, dan biomassa secara signifikan, sehingga fase ini paling penting untuk produktivitas. Fase stasioner (stationary phase) terjadi ketika laju pertumbuhan menurun, biasanya akibat keterbatasan nutrisi, ruang, atau faktor lingkungan. Pada fase ini, pertumbuhan organ melambat dan tanaman mulai mengalihkan energi untuk diferensiasi, pembungaan, dan reproduksi. Pertumbuhan primer terjadi karena aktivitas meristem apikal, sedangkan pertumbuhan sekunder disebabkan oleh kambium vaskular dan kambium (Salisbury & Ross, 1992).

Gambar 4.1. Kurva pertumbuhan tanaman tunggal (kurva sigmoid dengan tiga fase pertumbuhan utama)



Gambar 17. Kurva pertumbuhan tanaman tunggal (kurva sigmoid dengan tiga fase pertumbuhan utama)s



BAB V

PENYERAPAN AIR DAN UNSUR HARA MINERAL

5.1 Fungsi Air bagi Tanaman

Secara umum, tanaman mengandung air berkisar antara 85 – 90% dan jaringan tumbuhan berkisar 10 – 15%. Sehingga, air memiliki kontribusi yang sangat besar dalam keberlangsungan hidup tanaman. Air memiliki fungsi utama sebagai pelarut, pengatur suhu dan agen transportasi bagi unsur hara. Pada tumbuhan, air berperan sebagai media yang memberikan tekanan turgor pada sel, membantu pertumbuhan sel tanaman dan pembentukan struktur tanaman. Pada proses biokimia, air berperan untuk menetralkan molekul koloid, mempertahankan dan meningkatkan fungsi katalitik (Sondang 2020).

Semua makhluk hidup di bumi, termasuk tumbuhan, menggunakan air sebagai sumber kehidupan utama. Air berperan penting dalam proses fotosintesis dan transportasi air dan nutrisi. Air juga dapat berperan sebagai sistem hidrolik, memberikan tekanan pada sel tumbuhan, menyebabkan turgor dinding sel, memanjangkan sel tumbuhan, dan berperan sebagai sumber berbagai aktivitas yang berkaitan dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Air dapat mencegah tumbuhan mengalami kekeringan karena kekurangan air pada saat terpapar panas terik yang lama. Beberapa tumbuhan mengalami modifikasi organ agar dapat beradaptasi

dengan lingkungannya, seperti halnya pada tumbuhan kaktus yang mengalami modifikasi organ daun menjadi duri. Sehingga, proses penguapan tidak terjadi secara maksimal. Selain itu, pada kaktus juga mengalami modifikasi batang dalam menahan air, sehingga tumbuhan kaktus dapat bertahan jika ditempatkan di daerah yang memiliki intensitas dan lama penyinaran yang tinggi.

Tumbuhan membutuhkan air untuk hidup dan tumbuh sepanjang waktu. Dengan cara ini dapat menghasilkan pohon-pohon tinggi yang menghasilkan daun, biji, dan buah yang baik. Tanpa air, tanaman dapat menjadi kering lebih mudah untuk mati. Oleh karena itu, air merupakan bagian tanaman yang tidak bisa ditinggalkan. Walaupun lama tidak ditemukan air, tanaman akan mengering dan mati karena kekurangan air.

Berdasarkan Ningsih et al. (2024), setiap tanaman membutuhkan sekitar 500 gram air untuk setiap bahan organik yang terbentuk. Air secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi hampir seluruh proses kehidupan tumbuhan. Dalam menunjang keberlangsungan hidup tumbuhan, air di dalam tanah mempunyai beberapa fungsi, antara lain sebagai pelarut dan pengangkut unsur hara, sumber hidrogen, pengatur suhu tanah dan aerasi. Selain itu, tumbuhan harus menjaga kekakuan dan suhu sel-sel dalam tubuh tumbuhan tetap optimal, agar metabolismenya tidak terganggu oleh perubahan suhu lingkungan. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, tumbuhan memiliki dinding sel yang menyebabkan terbentuknya tekanan hidrostatik pada sitoplasma sel, hal ini disebut tekanan turgor.

Tekanan turgor sangat penting untuk berbagai proses fisiologis, antara lain perluasan jaringan sel, pertukaran gas pada daun, pengangkutan produk fotosintesis di floem, atau proses pengangkutan molekul melewati membran sel. Selain itu, tekanan turgor juga mempengaruhi kekakuan dan stabilitas mekanik jaringan tanaman. Air merupakan penyusun sebagian besar massa sel tumbuhan, dan sel mempunyai vakuola sentral yang besar dan mengandung air. Sitoplasma suatu sel hanya menyusun 5 – 10% volume sel, sedangkan sisanya tersusun oleh air, organel sel (seperti kloroplas dan mitokondria) mengandung air sekitar 50%, sebagian besar daging buah adalah air (85-90% berat segar), Sayuran bisa mengandung air sekitar 85-90%.



BAB VI

FOTOSINTESIS, TRANSPIRASI, DAN RESPIRASI

Proses fisiologis pada tumbuhan merupakan dasar dari seluruh aktivitas metabolisme yang mendukung pertumbuhan, perkembangan, dan kelangsungan hidup organisme tersebut. Di antara berbagai proses fisiologis yang berlangsung, fotosintesis, respirasi, dan transpirasi memiliki peran yang sangat penting dan saling berkaitan dalam menjaga keseimbangan energi serta homeostasis tumbuhan.

Fotosintesis merupakan proses biokimia kompleks di mana tumbuhan hijau, alga, dan beberapa jenis bakteri mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia dalam bentuk senyawa organik, terutama karbohidrat. Proses ini tidak hanya menjadi fondasi bagi kehidupan tumbuhan itu sendiri, tetapi juga menjadi sumber utama energi bagi hampir seluruh organisme heterotrof di bumi.

Sementara itu, respirasi tumbuhan berfungsi sebagai mekanisme untuk melepaskan energi kimia yang tersimpan dalam senyawa organik hasil fotosintesis melalui proses oksidasi yang terkontrol. Energi yang dihasilkan digunakan dalam berbagai proses fisiologis seperti pertumbuhan sel, penyerapan ion, serta biosintesis senyawa-senyawa penting.

Adapun transpirasi merupakan proses kehilangan air dalam bentuk uap dari jaringan tumbuhan, terutama melalui stomata daun. Walaupun tampak sebagai proses pasif, transpirasi memiliki peranan penting dalam pengaturan

suhu daun, transportasi air dan mineral dari akar ke daun, serta mempertahankan tekanan turgor sel.

Ketiga proses tersebut tidak berlangsung secara terpisah, melainkan membentuk sistem metabolik yang dinamis dan saling memengaruhi satu sama lain. Pemahaman mendalam mengenai hubungan antara fotosintesis, respirasi, dan transpirasi sangat diperlukan dalam pengembangan strategi peningkatan efisiensi fisiologis tumbuhan, terutama dalam konteks perubahan iklim global, peningkatan produktivitas tanaman pangan, serta optimalisasi sistem pertanian berkelanjutan. Dengan demikian, kajian terhadap ketiga proses ini tidak hanya memiliki nilai teoritis dalam bidang fisiologi tumbuhan, tetapi juga nilai praktis dalam mendukung inovasi dan ketahanan pangan di masa depan.

6.1 Fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses krusial dalam tumbuhan yang mengubah karbon dioksida dan air menjadi glukosa dan oksigen menggunakan energi cahaya. Fotosintesis terjadi pada berbagai jenis bakteri dan alga, dan pada daun, terkadang batang tumbuhan hijau. Fotosintesis penting terjadi untuk 2 alasan: merupakan sumber utama untuk semua organisme hidup dan proses yang bertanggungjawab untuk merilis oksigen ke atmosfer. Semua proses fotosintesis ini terjadi di dalam kloroplas. Kloroplas adalah organel sel pada tumbuhan yang berwarna hijau karena mengandung klorofil. Bagian mesofil daun dan batang terdiri atas banyak kloroplas, yang masing-masing memiliki susunan yang sangat teratur dan tersusun dalam tumpukan. Tumpukan ini dinamakan membrane tilakoid dan merupakan panel surya dengan area permukaan yang besar yang mengatur klorofil dan pigmen yang disebut karotenoid yang secara kolektif dapat menyerap dan memanfaatkan energi cahaya.

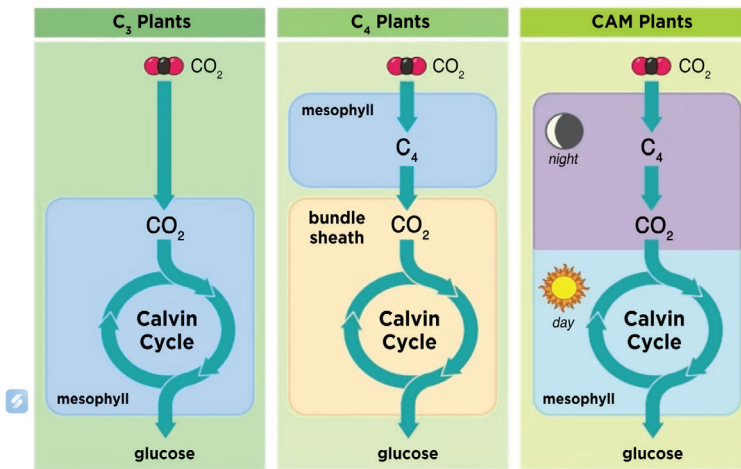
Fotosintesis terdiri dari dua tahap utama: reaksi bergantung cahaya (reaksi terang) dan Siklus Calvin (reaksi tidak bergantung cahaya). Reaksi bergantung cahaya terjadi di membrane tilakoid kloroplas, menggunakan energi cahaya untuk memecah air menjadi oksigen, proton, dan electron. Sementara pada Siklus Calvin memanfaatkan ATP dan NADPH yang



BAB VII

TANAMAN C₃, C₄, DAN CAM

Tanaman secara fisiolosnya dapat dikelompokkan menjadi 3 tipe utama yang dikenal dengan tanaman C₃, C₄ dan CAM berdasarkan jalur fiksasi carbon yang berlangsung pada proses fotosintesisnya. Fotosintesis merupakan proses fisiologis utama yang menentukan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan berkembang dengan baik. Melalui proses ini, energi cahaya diubah menjadi energi kimia dalam bentuk senyawa organik (karbohidrat) yang menjadi sumber energi bagi seluruh aktivitas metabolisme tanaman. Pada bab sebelumnya, telah dijelaskan mekanisme umum fotosintesis yang mencakup reaksi terang dan reaksi gelap (siklus Calvin). Pada bab ini akan dibahas lebih lanjut mengenai perbedaan mekanisme fiksasi karbon di antara tanaman C₃, C₄, dan CAM, meliputi enzim utama yang berperan, lokasi proses, efisiensi penggunaan CO₂, serta adaptasi fisiologisnya terhadap lingkungan. Berikut ini Gambar 26 merupakan skema terjadinya siklus fiksasi N yang terjadi pada tanaman C₃, C₄ dan CAM:



Gambar 31. Skema Fiksasi N pada tanaman C₃, C₄ dan CAM (Sumber : <https://www.biologyonline.com/dictionary/c4-plant>)

7.1 Tanaman C₃

Tanaman C₃ merupakan kelompok tanaman yang menggunakan jalur fiksasi karbon (C) paling umum dan mendasar dalam proses fotosintesis. Pada jalur ini, molekul karbon dioksida (CO₂) difiksasi melalui reaksi awal yang dikatalisis oleh enzim ribulosa-1,5-bisfosfat karboksilase oksigenase (RuBisCO). Hasil pertama dari proses fiksasi tersebut adalah senyawa dengan tiga atom karbon, yaitu 3-fosfoglisarat (3-PGA), yang menjadi produk stabil pertama dalam siklus fotosintesis. Karena produk awalnya mengandung tiga atom karbon, maka kelompok tanaman ini disebut sebagai tanaman C₃. Sekitar 85% dari seluruh spesies tanaman di dunia tergolong ke dalam kelompok tanaman C₃, menjadikannya bentuk jalur fotosintesis yang paling dominan di bumi (Campbell *et al*, 2008). Beberapa contoh tanaman C₃ yang umum dibudidayakan antara lain padi, kedelai, tomat, kentang, kacang tanah, kubis, dan selada. Sebagian besar tanaman pangan, hortikultura, dan tanaman hias termasuk dalam kategori ini.

Proses fiksasi CO₂ pada tanaman C₃ berlangsung hanya di sel mesofil, tempat enzim RuBisCO berperan mengikat karbon dioksida untuk membentuk 3-PGA. Namun, tanaman C₃ memiliki keterbatasan fisiologis



BAB VIII

HORMON DAN REGULASI PERTUMBUHAN

Hormon tumbuhan, atau fitohormon, berperan sebagai pengatur utama dalam proses pertumbuhan, perkembangan, serta respon tanaman terhadap berbagai rangsangan lingkungan. Berbeda dengan hewan yang dapat bergerak untuk menghindari kondisi yang tidak menguntungkan, tumbuhan beradaptasi melalui sistem pensinyalan yang kompleks dengan melibatkan zat kimia sebagai pembawa pesan. Meskipun jumlahnya sangat kecil, hormon-hormon ini memiliki pengaruh besar terhadap berbagai aktivitas fisiologis, seperti perkecambahan biji, pertumbuhan akar dan tunas, pematangan buah, hingga proses penuaan tanaman

Hormon tumbuhan secara alami terdapat di dalam jaringan tanaman (endogen) dalam jumlah yang kecil. Seiring dengan perkembangan zaman yang menuntut peningkatan produksi pada tanaman, sering kali dibutuhkan tambahan hormon untuk mempercepat tumbuh-kembang pada tanaman. Sehingga diperlukan senyawa kimia sintetis yang memiliki aktivitas serupa dengan hormon tanaman, yang selanjutnya dikenal sebagai zat pengatur tumbuh (ZPT). ZPT dapat diproduksi melalui proses fermentasi dari beberapa tanaman yang memiliki hormon tertentu kemudian diperbanyak, atau bisa juga didapatkan dari pemasok bahan kimia. Dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman, hormon maupun ZPT berfungsi sebagai pengatur, bukan sebagai sumber nutrisi, dalam proses

pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Secara umum, terdapat lima kelompok utama zat pertumbuhan tanaman yang telah diidentifikasi dan paling sering diaplikasikan ke tanaman secara eksogen, yaitu auksin, sitokinin, giberelin, etilen, dan asam absisat.

8.1 Jenis dan Fungsi Hormon Tanaman

Hormon tanaman berperan sebagai pembawa pesan internal yang mengatur proses seperti pembelahan dan pemanjangan sel, pembentukan organ, dormansi, pembungaan, penuaan, hingga respon terhadap stres lingkungan. Dalam penelitian fisiologi tumbuhan modern, dikenal lima kelompok utama hormon tanaman, yaitu auksin, sitokinin, giberelin, etilen, dan asam absisat.

1. Auksin

Auksin merupakan hormon pertama yang ditemukan oleh Frits Went pada tahun 1926 dan berperan utama dalam pemanjangan sel, pembentukan akar, dominansi apikal, serta pembentukan buah partenokarpi. Auksin alami yang umum dijumpai adalah asam indolasetat (IAA), sementara bentuk sintetisnya antara lain asam indolbutirat (IBA), asam naftalenasetat (NAA), dan 2,4-diklorofenoksiasetat (2,4-D). Pada tanaman, auksin diproduksi di pucuk batang, daun muda, dan biji yang sedang berkembang.

Fungsi utama auksin meliputi stimulasi pemanjangan sel pada daerah meristematik, pengaturan dominansi apikal, pembentukan akar lateral dan adventif, serta peran dalam proses fototropisme dan gravitropisme. Selain itu, auksin juga mempengaruhi proses pembentukan buah tanpa biji (partenokarpi) dan berperan dalam proses diferensiasi jaringan vaskuler.

Secara fisiologis, mekanisme kerja auksin dalam pemanjangan sel dijelaskan oleh hipotesis asam pertumbuhan atau acid growth hypothesis. Auksin meningkatkan aktivitas enzim H^+ -ATPase pada membran plasma, sehingga ion H^+ dipompa keluar dari sel ke dinding sel, menurunkan pH dinding sel (sekitar pH 4,5–5,0). Penurunan pH ini mengaktifkan enzim expansin yang melonggarkan ikatan mikrofibril selulosa, memungkinkan air masuk ke dalam sel dan menyebabkan pemanjangan sel. Dengan



BAB IX

STRES LINGKUNGAN PADA TANAMAN

Tanaman sebagai organisme autotrof yang menetap (sessile organisms) sangat bergantung pada kondisi lingkungannya untuk tumbuh dan berkembang secara optimal. Namun, di alam, tanaman sering menghadapi berbagai kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, seperti kekeringan, suhu ekstrem, salinitas tinggi, maupun kekurangan unsur hara. Kondisi tersebut dikenal sebagai stres lingkungan, yang dapat mengganggu keseimbangan fisiologis, biokimia, dan molekuler dalam sel tanaman. Stres lingkungan menjadi salah satu faktor pembatas utama produktivitas tanaman, baik pada ekosistem alami maupun pertanian, karena secara langsung mempengaruhi proses fotosintesis, respirasi, serta pembentukan biomassa.

Untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya, tanaman telah mengembangkan berbagai mekanisme adaptasi dan toleransi terhadap stres lingkungan. Mekanisme ini mencakup perubahan pada tingkat morfologi, fisiologi, hingga ekspresi genetik yang memungkinkan tanaman menyesuaikan diri terhadap kondisi ekstrem. Pemahaman tentang bagaimana tanaman merespons dan beradaptasi terhadap stres lingkungan sangat penting, tidak hanya untuk memahami dasar fisiologi tumbuhan, tetapi juga untuk mendukung pengembangan teknologi pertanian yang berkelanjutan dalam menghadapi perubahan iklim global.

9.1 Jenis Stres: Kekeringan, Suhu, Salinitas, dan Hara

Tanaman tidak memiliki kemampuan untuk berpindah tempat ketika menghadapi kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Oleh karena itu, mereka harus mengembangkan mekanisme fisiologis, biokimia, dan molekuler untuk bertahan hidup di bawah kondisi stres. Secara umum, stres lingkungan dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar, yaitu stres abiotik dan stres biotik. Stres abiotik meliputi kekeringan, suhu ekstrem (panas atau dingin), salinitas, serta defisiensi atau toksisitas unsur hara.

1. Stres kekeringan

Stres kekeringan merupakan salah satu bentuk stres abiotik yang paling umum dan berdampak besar terhadap pertumbuhan serta produktivitas tanaman. Kondisi ini terjadi ketika ketersediaan air di tanah menurun di bawah tingkat yang dibutuhkan tanaman untuk mempertahankan proses fisiologis normalnya. Kekurangan air menyebabkan penurunan potensial air sel, hilangnya turgor, dan penutupan stomata sebagai respons untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi. Akibatnya, penyerapan CO₂ untuk fotosintesis berkurang, sehingga laju fotosintesis menurun dan pertumbuhan vegetatif terganggu. Selain itu, kekeringan juga dapat menyebabkan dehidrasi jaringan, akumulasi spesies oksigen reaktif (ROS), serta gangguan pada struktur membran sel.

Mekanisme tanaman dalam menghadapi stres kekeringan adalah peningkatan sintesis hormon asam absisat (ABA) yang berperan dalam mengatur penutupan stomata dan ekspresi gen-gen responsif terhadap kekeringan. Selain itu, tanaman juga mengakumulasi senyawa osmotik seperti prolin, glisin betain, dan gula larut yang berfungsi menjaga keseimbangan osmotik serta melindungi protein dari denaturasi. Pada tingkat molekuler, *ekspresi gen dehydration-responsive element binding* (DREB) dan *late embryogenesis abundant* (LEA) meningkat untuk membantu stabilisasi struktur seluler dan mempertahankan fungsi metabolik selama periode kekeringan.

2. Stres suhu

Stres suhu terjadi ketika tanaman terpapar suhu lingkungan yang berada di luar kisaran optimal untuk pertumbuhannya, baik suhu tinggi maupun suhu

4. Deskripsikan berbagai bentuk adaptasi morfologis dan fisiologis yang berkembang pada tanaman xerofit untuk bertahan hidup di lingkungan dengan ketersediaan air yang sangat rendah. Berikan contoh spesies tanaman yang relevan.
5. Teknologi bioteknologi modern digunakan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan. Jelaskan strategi rekayasa genetika yang dapat diterapkan untuk menghasilkan tanaman toleran stres, serta berikan contoh gen atau protein yang berperan dalam mekanisme tersebut.

9.6 Daftar Pustaka

- Bitu, C. E., & Gerats, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, 4, 273.
- Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R., & Abrams, S. R. (2010). Absciscic acid: emergence of a core signaling network. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 651–679.
- Foyer, C. H., & Noctor, G. (2005). Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. *Plant, Cell & Environment*, 28(8), 1040–1051.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930.
- Hu, H., & Xiong, L. (2014). Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 715–741.
- Kumar, M., Kesawat, M. S., Ali, A., Lee, S. C., Gill, S. S., & Kim, H. U. (2017). Integration of abscisic acid signaling with other signaling pathways in plant stress responses and development. *Plants*, 6(4), 42.
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant Physiological Ecology*. Springer.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.

- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
- Szabados, L., & Savouré, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89–97.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C., & Lu, X. (2020). Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: A meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 3145.

Pemahaman tentang dunia tumbuhan tidak dapat dilepaskan dari tiga bidang utama, yaitu morfologi, fisiologi, dan ekologi. Dalam buku ajar ini, pembahasan difokuskan pada proses-proses fisiologis yang terjadi di dalam tanaman serta faktor-faktor ekologis (lingkungan) yang berpengaruh terhadap proses tersebut. Fisiologi tanaman dan ekologi tanaman merupakan dua cabang ilmu dasar yang memiliki peran penting dalam memahami kehidupan tumbuhan secara menyeluruh. Kedua ilmu ini menjadi fondasi dalam pengembangan dan penerapan berbagai teknik budidaya modern yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, terutama pada komoditas hortikultura.

Pemahaman terhadap mekanisme fisiologis tanaman sangat penting, baik bagi akademisi maupun praktisi pertanian. Proses-proses seperti penyerapan unsur hara oleh akar, pengangkutan nutrisi menuju daun, fotosintesis, respirasi, transpirasi, serta respon tanaman terhadap kondisi lingkungan merupakan dasar bagi pengelolaan tanaman yang efisien dan berkelanjutan.

Buku ini disusun sebagai sumber belajar yang dirancang untuk membantu mahasiswa memahami konsep-konsep dasar hingga tingkat terapan mengenai hubungan antara tumbuhan dengan lingkungannya serta mekanisme fisiologis yang memungkinkan tumbuhan bertahan, tumbuh, dan berkembang.

Materi dalam buku ini meliputi prinsip-prinsip ekologi tumbuhan, interaksi biotik dan abiotik, adaptasi ekologis, proses fisiologis utama seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi, transport internal, serta respon tumbuhan terhadap stres lingkungan. Penyajian dibuat sistematis, dilengkapi contoh aplikasi, ilustrasi, serta uraian analitis untuk mendukung pemahaman.

Buku
Ajar

Ekologi dan Fisiologi Tumbuhan



✉ literasinusantaraofficial@gmail.com
🌐 www.penerbitlitnus.co.id
📖 Literasi Nusantara
☎ literasinusantara_
📞 085755971589

Pertanian

+17

