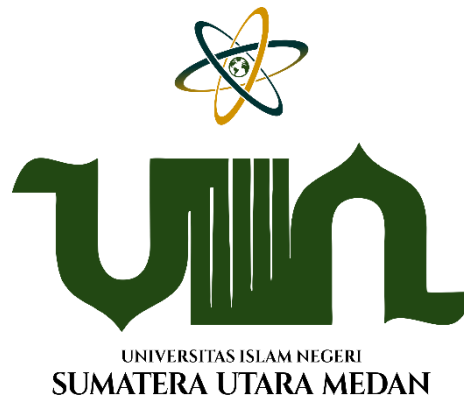


**DIKTAT**  
**FISIOLOGI TUMBUHAN**



**DISUSUN OLEH:**

**KHAIRUNNISA, S.P., M. Agr**  
**NIP. 19931107 202203 2 003**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN  
DIKTAT**

**MATA KULIAH : FISILOGI TUMBUHAN**  
**SEMESTER : V (LIMA)**  
**PROGRAM STUDI : BIOLOGI**  
**FAKULTAS : SAINS DAN TEKNOLOGI UIN SUMATERA UTARA**

**DISAHKAN OLEH**  
**TANGGAL : 13 APRIL 2023**  
**DI : MEDAN**

**MEDAN, 13 APRIL 2023**

**Mengetahui**  
**Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kelembagaan**  
**Fakultas Sains dan Teknologi**  
**UIN Sumatera Utara**



**Dr. Abdul Halim Daulay, S.T., M.Si**  
**NIP. 19811106 200501 1 003**

# Kata Pengantar

Alhamdulillah, puji syukur atas rahmat dan karunia yang diberikan Allah SWT kepada penulis sehingga Diktat Fisiologi Tumbuhan ini dapat diselesaikan. Diktat ini dimaksudkan untuk melengkapi kebutuhan rujukan pustaka terutama untuk mata kuliah Fisiologi Tumbuhan pada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara Medan.

Diktat Fisiologi Tumbuhan ini mencakup pembahasan mengenai beberapa proses fisiologi yang terjadi pada tumbuhan, termasuk didalamnya bagaimana tumbuhan melakukan fotosintesis, respirasi, dan transpirasi. Melalui materi yang terpapar pada Diktat ini diharapkan mahasiswa lebih dapat mengembangkan pemikiran dan ilmu pengetahuannya.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kelembagaan, Ibu Kaprodi dan Sekprodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara Medan yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan modul ini.

Tentunya modul ini masih memerlukan masukan dan saran untuk memperdalam materi ajar yang disajikan. Semoga modul ini dapat dipergunakan sebagai bahan rujukan dan pegangan bagi mahasiswa serta dapat membantu mahasiswa agar lebih memahami Fisiologi Tumbuhan.

Medan, April 2023

Penulis

# Daftar Isi

Konsep Dasar Fisiologi Tumbuhan dan Hubungannya Dengan Ilmu Lain .....	1
Air dan Tumbuhan .....	2
Fotosintesis .....	8
Transpirasi .....	21
Respirasi .....	32
Nutrisi dan Mineral .....	40
Enzim .....	45
Hormon .....	50
Fiksasi dan Metabolisme Nitrogen .....	54
Dormansi.....	66

# Daftar Gambar

Gambar 1. Susunan elektron atom oksigen dan hidrogen, dan bentuk ikatan kovalen dari H dan O membentuk molekul air (H <sub>2</sub> O).....	8
Gambar 2. Lintasan Air Pada Akar Tanaman.....	12
Gambar 3. Proses fotosintesis.....	13
Gambar 4. Mesofil daun.....	14
Gambar 5. Struktur kloroplas.....	15
Gambar 6. Fotosistem I dan II.....	16
Gambar 7. Pusat fotosistem II.....	17
Gambar 8. Tahapan Fotosintesis.....	18
Gambar 9. Reaksi terang.....	20
Gambar 10. Siklus calvin.....	21
Gambar 11. Perbandingan fotosintesis tumbuhan C <sub>4</sub> dan CAM.....	23
Gambar 12. Bentuk adaptasi tumbuhan.....	27
Gambar 13. Pembukaan dan penutupan stomata.....	28
Gambar 14. Grafik hubungan suhu dengan transpirasi.....	29
Gambar 15. Grafik hubungan intensitas cahaya dengan transpirasi.....	29
Gambar 16. Grafik hubungan kelembaban dengan transpirasi.....	30
Gambar 17. Grafik hubungan angin dengan transpirasi.....	30
Gambar 18. Stomata cekung.....	31
Gambar 19. Tumbuhan gurun seperti kaktus memiliki kutikula yang tebal untuk menghindari kehilangan air.....	31
Gambar 20. Daun berbulu untuk mengurangi transpirasi air.....	32
Gambar 21. Elemen floem.....	33
Gambar 22. Pengangkutan hara dan air pada xilem dan floem.....	34
Gambar 23. Teori kohesi-adhesi.....	36
Gambar 24. Proses respirasi pada tumbuhan.....	38

Gambar 25. Proses glikolisis .....	40
Gambar 26. Dekarboksilasi oksidatif.....	41
Gambar 27. Siklus Krebs .....	42
Gambar 28. Fermentasi .....	43
Gambar 29. Penyerapan unsur hara dan ion terlarut dan ion dalam kompleks jerapan.....	48
Gambar 30. Enzim menurunkan energi aktivasi reaksi tetapi tidak mengubah energi bebas reaksi.....	50
Gambar 31. Model induced-fit.....	52
Gambar 32. Aplikasi GA pada anggur.....	57
Gambar 33. Pembentukan bintil akar .....	61
Gambar 34. Hubungan antara pH tanah dengan tingkat nodulasi .....	64
Gambar 35. Hubungan antara suhu dengan pertumbuhan bakteri.....	64
Gambar 35. Hubungan antara waktu suhu dengan pertumbuhan bakteri rhizobium.....	65
Gambar 36. Hubungan antara pH dan nodulasi.....	70

## Daftar Tabel

Tabel 1. Perbedaan C3, C4 dan CAM .....	24
Tabel 2. Manfaat unsur hara bagi tanaman .....	45
Tabel 3. Spesies <i>Rhizobium</i> dan inangnya .....	59
Tabel 4. Pengaruh Mo dan inokulasi <i>Rhizobium</i> terhadap pengamatan bintil akar.....	63
Tabel 5. Pengaruh interaksi perlakuan inokulan <i>Rhizobium</i> sp dan lama periode cekaman kejenuhan air terhadap fiksasi N <sub>2</sub> bintil akar (mmol C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /g b.k bintil/jam).....	69
Tabel 6. Pengaruh dosis N dan inokulasi <i>B. japonicum</i> terhadap pertumbuhan tanaman pada panen R <sub>2</sub> .....	70

# **BAB I**

## **Konsep Dasar Fisiologi Tumbuhan dan Hubungannya Dengan Ilmu Lain**

Kata fisiologi yang telah lama kita kenal, berasal dari bahasa latin yaitu *physis* berarti alam dan *logos* berarti ilmu. Fisiologi tumbuhan adalah ilmu yang mempelajari fungsi tumbuhan, apa yang terjadi pada tumbuhan hingga tumbuhan dapat hidup. Di samping itu, dalam fisiologi tumbuhan juga akan dipelajari mengenai respons tumbuhan terhadap perubahan lingkungan, serta pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi akibat adanya tanggapan tumbuhan terhadap perubahan lingkungan, yang mana hal tersebut berbeda antar individu tumbuhan, fase pertumbuhan dan yang berkaitan dengan genetisnya. Sehingga dapat dilihat bahwa perubahan yang terjadi pada tumbuhan akibat adanya pengaruh genetik dan lingkungan.

Fisiologi tumbuhan merupakan cabang ilmu lain dalam biologi yang mempelajari mengenai proses kehidupan pada banyak organisme. Fisiologi tumbuhan sebenarnya merupakan terapan dari fisika dan kimia modern untuk memahami tumbuhan. Kajian tentang ilmu fisiologi tumbuhan lebih ditujukan pada berbagai mekanisme atau proses biologis yang terjadi di dalam tumbuhan.

Fisiologi tumbuhan adalah studi yang menelaah tentang fungsi dan perilaku tumbuhan, yang mencakup semua proses dinamis pertumbuhan, metabolisme, reproduksi, pertahanan, dan komunikasi yang menjelaskan tumbuhan menjadi hidup (Salisbury & Ross, 1992).

Fisiologi biasa digunakan untuk berbagai bidang kajian seperti dalam biomolekul, sel, jaringan, organ, sistem organ, serta organisme secara keseluruhan yang menjalankan fungsi fisik dan kimianya. Mempelajari fisiologi tumbuhan akan menambah banyak keagungan akan apa yang terjadi pada tumbuhan. Bagaimana air dan bahan terlarut bergerak melalui lintasannya menuju berbagai arah dalam tumbuhan. Ribuan macam reaksi kimia yang berlangsung dalam setiap sel hidup. Proses fisika dan kimiawi yang terjadi pada tumbuhan dimulai saat tanaman berkecambah hingga menghasilkan biji dan mati akan diulas dalam fisiologi tumbuhan.



## **BAB II**

### **Air dan Tumbuhan**

Air adalah zat yang unik dan ada di mana-mana yang merupakan komponen utama dari semua makhluk hidup. Air merupakan komponen yang penting dalam tumbuhan. Sekitar 60 sampai 80% komponen tumbuhan terdiri dari air.

Air bukanlah bahan lembam atau "pengisi" air dalam tumbuhan, seperti dalam semua materi hidup, memberikan kontribusi yang sama banyaknya dengan sifat penting kehidupan seperti halnya protein yang lebih kompleks, senyawa lemak, karbohidrat, dan mineral.

Tumbuhan memerlukan air untuk proses fotosintesis yang dapat diperoleh dari dalam tanah. Air merupakan bahan pelarut bagi banyak reaksi yang terjadi di dalam tubuh tumbuhan. Air juga berfungsi sebagai medium bagi proses enzimatik. Banyak aktivitas tumbuhan yang ditentukan oleh sifat air dan bahan yang terlarut didalam air.

Pentingnya air untuk banyak fungsi dan sifat tanaman tidak diragukan lagi. Efek yang mencolok dari fungsi air pada tumbuhan tampak pada kepentingan fisiologisnya, air menjadi faktor penting untuk pertumbuhan, terlibat langsung dalam proses fotosintesis dan beberapa proses biokimia lainnya seperti komposit energetik dan jaringan baru.

Berbagai fungsi air pada tumbuhan antara lain: menjaga turgiditas dari sel untuk struktur dan pertumbuhan; mengangkut nutrisi dan senyawa organik ke seluruh tanaman; terdiri dari banyak protoplasma hidup di dalam sel; berfungsi sebagai bahan mentah untuk berbagai proses kimia, termasuk fotosintesis; dan, melalui transpirasi, menyangga tumbuhan terhadap fluktuasi suhu yang luas.

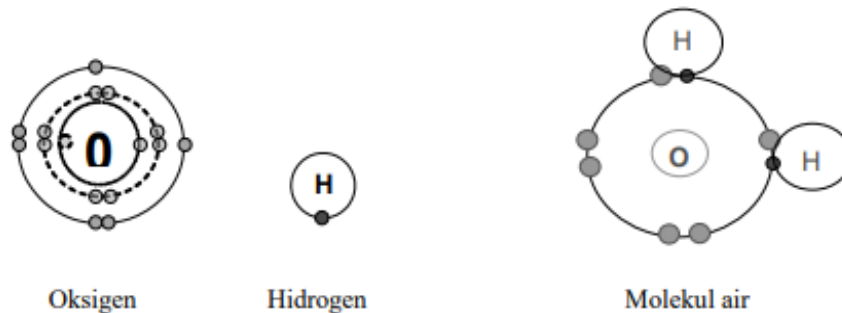
Sifat-sifat tertentu dari molekul air bermanfaat untuk menahan perubahan suhu pada tanaman, memungkinkan tanaman beroperasi di bawah kondisi suhu yang lebih stabil. Tekanan hidrostatik dalam jaringan tanaman (karena kandungan air) sangat penting untuk bentuk, pergerakan, tampilan daun, dan pertumbuhan tanaman. Air juga mengambil bagian dalam banyak reaksi kimia di dalam tumbuhan, seperti reaksi hidrolisis dan fotosintesis (López & Yahia, 2019).

#### **Sifat Air**

Sifat air yang penting dapat digolongkan ke dalam sifat fisik, kimiawi, dan biologis. Sifat fisik dari air yaitu didapatkan dalam ketiga wujudnya, yakni, bentuk padat sebagai es, bentuk cair sebagai air, dan bentuk gas sebagai uap air. Bentuk yang akan ditemui, tergantung keadaan cuaca yang ada setempat. Sifat kimia dari air yaitu mempunyai pH=7 dan oksigen terlarut (=DO) jenuh pada 9 mg/L. Air juga merupakan cairan

biologis, yakni didapat di dalam tubuh semua organisme. Sifat biologis dari air yaitu di dalam perairan selalu didapat kehidupan, fauna dan flora. Benda hidup ini berpengaruh timbal balik terhadap kualitas air.

Air adalah substansi kimia sederhana dengan komponen penyusun hidrogen dan oksigen dengan ikatan kovalen yang mempunyai susunan rumus kimia  $H_2O$ . Dua jenis atom ini saling terikat di mana kedua jenis atom yang berikatan saling menyumbangkan elektron terluarnya untuk membentuk pasangan sehingga digunakan secara bersama.



Gambar 1.2.  
Susunan elektron atom oksigen dan hidrogen, dan bentuk ikatan kovalen dari H dan O membentuk molekul air ( $H_2O$ )

Gambar 1. Susunan elektron atom oksigen dan hidrogen, dan bentuk ikatan kovalen dari H dan O membentuk molekul air ( $H_2O$ )

Air adalah pelarut kecil, menempati sekitar  $0,03 \text{ nm}^3$  per molekul dalam keadaan cair pada suhu dan tekanan kamar, namun sangat kohesif karena interaksi antar molekul yang kuat (ikatan hidrogen, atau ikatan-H) antara oksigen dan atom hidrogen.

Air memiliki beberapa sifat khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lain. Diantara sifat-sifat tersebut adalah : Air memiliki titik beku  $0^\circ\text{C}$  dan titik didih  $100^\circ\text{C}$  (jauh lebih tinggi dari yang diperkirakan secara teoritis), sehingga pada suhu sekitar  $0^\circ\text{C}$  sampai  $100^\circ\text{C}$  yang merupakan suhu yang sesuai untuk kehidupan, air berwujud cair. Hal ini sangat menguntungkan bagi makhluk hidup, karena tanpa sifat ini, air yang terdapat pada jaringan tubuh makhluk hidup maupun yang terdapat di laut, sungai, danau dan badan perairan yang lain mungkin ada dalam bentuk gas ataupun padat. Sedangkan yang diperlukan dalam kehidupan adalah air dalam bentuk cair (Achmad, 2004).

### Peran Air Dalam Tumbuhan

Dalam sel tumbuhan, air sebagian besar terletak di vakuola dan mewakili massa jaringan tumbuhan (rata-rata 90%) dominasi ini sangat penting terkait dengan fungsi air sebagai pelarut universal yang mewakili proses fisiologis dan biokimia dalam sel tumbuhan. Pertumbuhan tanaman juga bergantung pada bagaimana tumbuhan mampu memperluas

# BAB III

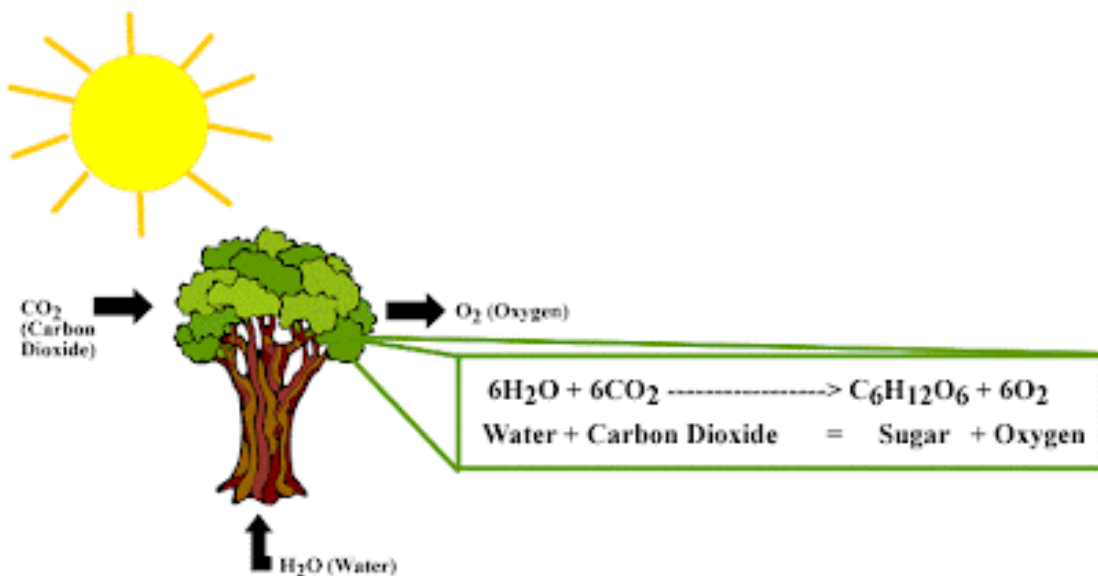
## Fotosintesis

Fotosintesis berasal dari kata foton yaitu cahaya, sintesis yaitu penyusunan. Fotosintesis adalah peristiwa penyusunan zat organik (gula) dari zat anorganik (air dan karbondioksida) dengan bantuan energi cahaya matahari. Karena bahan baku yang digunakan dalam proses fotosintesis adalah karbondioksida maka proses ini disebut juga dengan asimilasi zat karbon.

Fotosintesis dikenal sebagai suatu proses sintesis makanan yang dimiliki oleh tumbuhan hijau dan beberapa organisme fotosintetik. Organisme yang mampu mengolah makanan sendiri disebut dengan autotrof yang menduduki tingkat produsen dalam rantai makanan.

Pada dasarnya proses fotosintesis merupakan salah satu proses anabolisme dimana karbondioksida dan air akan dibentuk menjadi karbohidrat dengan menggunakan bantuan cahaya matahari dan terjadi pada tumbuhan yang mengandung klorofil.

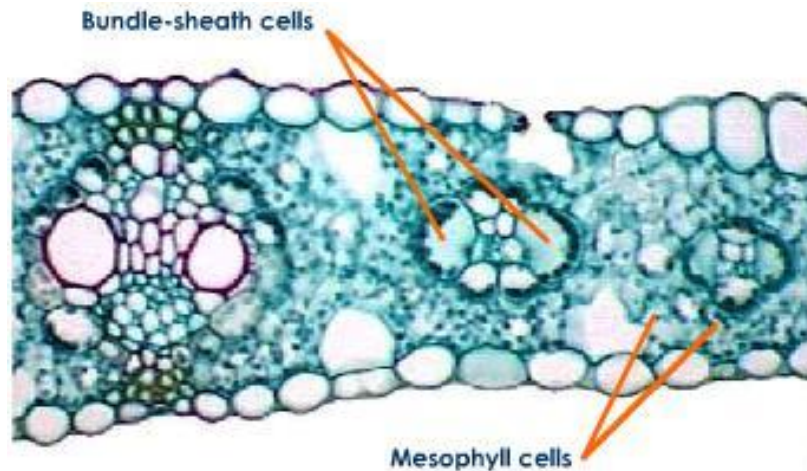
Unsur utama yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis adalah CO<sub>2</sub> yang didapatkan dari udara dan H<sub>2</sub>O yang diserap dari dalam tanah oleh akar tumbuhan. Selain itu membutuhkan cahaya matahari dan klorofil.



Gambar 3. Proses fotosintesis

Meski persamaannya terlihat sederhana, banyak langkah yang terjadi selama fotosintesis sebenarnya cukup rumit. Sebelum mempelajari detail bagaimana fotoautotrof mengubah sinar matahari menjadi makanan, sangat penting untuk mengenal struktur yang terlibat di dalam fotosintesis.

Pada tumbuhan, fotosintesis umumnya terjadi pada daun yang terdiri dari beberapa lapis sel. Proses fotosintesis terjadi pada lapisan tengah yang disebut mesofil. Pertukaran gas karbon dioksida dan oksigen terjadi melalui lubang kecil yang diatur yang disebut stomata (tunggal: stoma), yang juga berperan dalam pengaturan pertukaran gas dan keseimbangan air.



Gambar 4. Mesofil daun

Stomata biasanya terletak di bagian bawah daun, yang membantu meminimalkan kehilangan air. Setiap stoma diapit oleh sel penjaga yang mengatur pembukaan dan penutupan stomata dengan pembengkakan atau penciutan sebagai respons terhadap perubahan osmotik.

Dalam semua eukariota autotrofik, fotosintesis terjadi di dalam organel yang disebut kloroplas. Untuk tanaman, sel yang mengandung kloroplas ada di mesofil.

Kloroplas memiliki selubung membran ganda (terdiri dari membran luar dan membran dalam). Di dalam kloroplas ditumpuk, struktur berbentuk cakram yang disebut tilakoid. Tertanam dalam membran tilakoid adalah klorofil, pigmen (molekul yang menyerap cahaya) yang bertanggung jawab untuk interaksi awal antara cahaya dan bahan tanaman, dan banyak protein yang membentuk rantai transpor elektron.

Membran tilakoid membungkus ruang internal yang disebut lumen tilakoid. Seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah, tumpukan tilakoid disebut granum, dan ruang berisi cairan yang mengelilingi granum disebut stroma atau “bed” (jangan bingung dengan stoma atau “mulut”, lubang pada epidermis daun. ).

## **BAB IV**

# **Transpirasi**

Transpirasi adalah kehilangan uap air ke atmosfer melalui stomata yang merupakan proses pasif, artinya energi metabolisme dalam bentuk ATP tidak diperlukan untuk pergerakan air. Energi penggerak transpirasi adalah perbedaan energi antara air di tanah dan air di atmosfer.

### **Kontrol Transpirasi**

Atmosfer tempat daun terpapar mendorong terjadinya transpirasi, tetapi juga menyebabkan kehilangan air secara besar-besaran dari tanaman. Hingga 90 persen air yang diambil oleh akar dapat hilang melalui transpirasi.

Daun ditutupi oleh kutikula lilin di permukaan luar yang mencegah hilangnya air. Oleh karena itu, regulasi transpirasi dicapai terutama melalui pembukaan dan penutupan stomata pada permukaan daun. Stomata dikelilingi oleh dua sel khusus yang disebut sel penjaga, yang membuka dan menutup sebagai respons terhadap isyarat lingkungan seperti intensitas dan kualitas cahaya, status air daun, dan konsentrasi karbon dioksida. Stomata harus terbuka untuk memungkinkan udara yang mengandung karbon dioksida dan oksigen berdifusi ke dalam daun untuk fotosintesis dan respirasi. Namun, ketika stomata terbuka, uap air hilang ke lingkungan luar, meningkatkan laju transpirasi. Oleh karena itu, tanaman harus menjaga keseimbangan antara fotosintesis yang efisien dan kehilangan air.

Tumbuhan telah berevolusi dari waktu ke waktu untuk beradaptasi dengan lingkungan setempat dan mengurangi transpirasi (lihat gambar di bawah). Tumbuhan gurun (xerofit) dan tumbuhan yang tumbuh di atas tumbuhan lain (epifit) memiliki akses air yang terbatas. Tumbuhan seperti itu biasanya memiliki kutikula lilin yang jauh lebih tebal daripada yang tumbuh di lingkungan yang lebih moderat dan berair baik (mesofit). Tumbuhan air (hidrofita) juga memiliki rangkaian adaptasi anatomi dan morfologi daunnya sendiri.





(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 12. Bentuk adaptasi tumbuhan. Tumbuhan cocok dengan lingkungan setempat. (a) Xerofit, seperti kaktus pir berduri (*Opuntia* sp.) dan (b) epifit seperti *Aeschynanthus perrottetii* tropis ini telah beradaptasi dengan sumber daya air yang sangat terbatas. Daun pir berduri dimodifikasi menjadi duri, yang menurunkan rasio permukaan terhadap volume dan mengurangi kehilangan air. Fotosintesis terjadi di batang, yang juga menyimpan air. (b) Daun *A. perrottetii* memiliki kutikula seperti lilin yang mencegah kehilangan air. (c) Goldenrod (*Solidago* sp.) adalah mesofit, cocok untuk lingkungan sedang. (d) Tumbuhan hidrofit, seperti teratai harum ini (*Nymphaea odorata*), diadaptasi untuk tumbuh subur di lingkungan perairan.

# BAB V

## Respirasi

Dua prasyarat kehidupan yang paling penting adalah penyediaan bahan yang terus menerus untuk pertumbuhan tubuh dan energi untuk melakukan berbagai proses kehidupan. Semua sistem, dari sel hingga ekosistem, membutuhkan energi untuk bekerja. Seperti yang telah Anda pelajari, energi cahaya diubah menjadi energi kimia oleh tumbuhan selama fotosintesis dan energi ini kemudian disimpan dalam ikatan molekul kompleks seperti glukosa, pati dll. Molekul kompleks inilah yang diberi nama 'makanan'.

Namun, energi dalam makanan harus tersedia bagi sel dalam bentuk yang dapat digunakan. Ini adalah peran pernapasan. Respirasi adalah proses dimana energi dalam molekul organik dilepaskan melalui oksidasi. Energi ini disediakan untuk sel hidup dalam bentuk ATP (Adenosine Tri-Phosphate). O<sub>2</sub> diperlukan untuk respirasi diperoleh dari atmosfer. ATP adalah mata uang energi sel. Pelajaran ini mencakup berbagai aspek respirasi pada tumbuhan.

Respirasi adalah oksidasi bertahap molekul organik kompleks dan pelepasan energi sebagai ATP untuk berbagai aktivitas metabolisme seluler. Respirasi melibatkan pertukaran gas antara organisme dan lingkungan eksternal. Tanaman mendapatkan oksigen dari lingkungannya dan mengembalikan karbon dioksida dan uap air ke dalamnya.

Proses biokimia, yang terjadi di dalam sel dan mengoksidasi makanan untuk mendapatkan energi, dikenal sebagai respirasi seluler. Berbagai enzim (biokatalis) mengkatalisis proses ini. Proses di mana sel memperoleh energi dari molekul makanan yang kompleks bergantung pada ada atau tidaknya oksigen di lingkungannya dan digunakan. Respirasi disebut aerobik ketika oksigen digunakan dan anaerobik ketika oksigen tidak digunakan. Dalam respirasi anaerobik, molekul organik dipecah secara tidak lengkap di dalam sitosol sel dan hanya sebagian kecil energi yang ditangkap.

sebagai ATP untuk digunakan oleh sel. Dalam respirasi aerobik, reaksi respirasi anaerobik diikuti oleh proses yang membutuhkan oksigen yang melepaskan energi dalam jumlah yang jauh lebih besar dalam bentuk ATP. Ini terjadi di mitokondria dari eukariota dan membran plasma prokariota.

Penting bagi Anda untuk mencatat bahwa banyak proses umum terjadi pada keduanya, anaerobik dan respirasi aerobik, seperti,

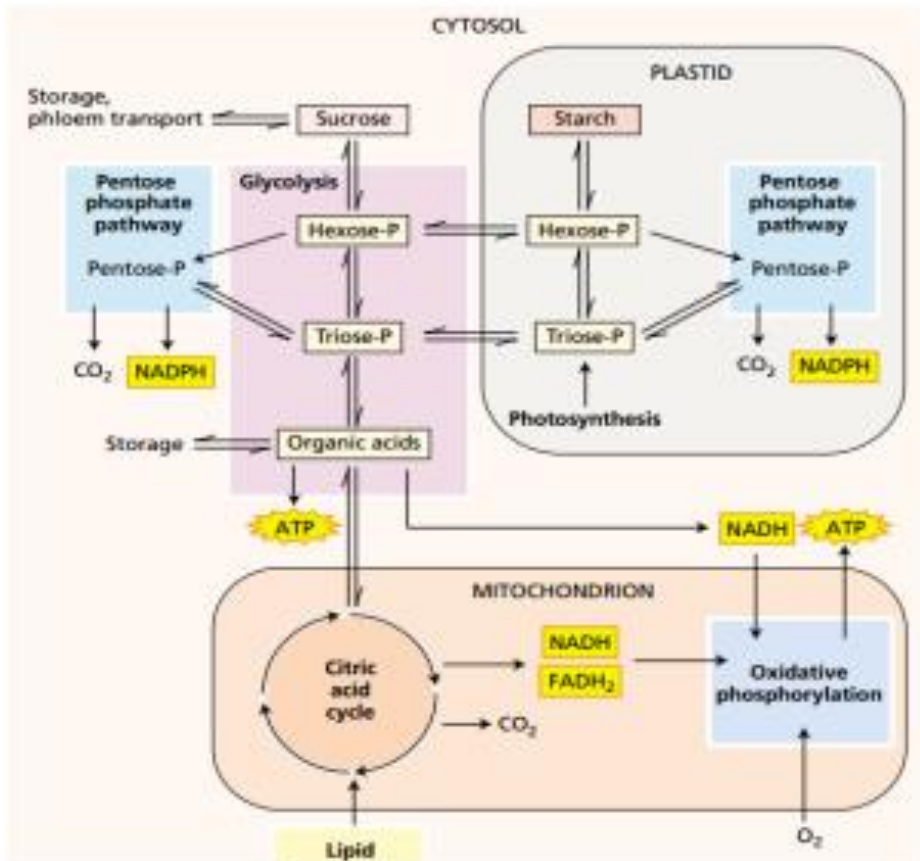
- a) Reaksi oksidasi untuk melepaskan energi kimia dari makanan kompleks.
- b) Penggunaan koenzim sebagai pembawa hidrogen untuk menghilangkan hidrogen dari molekul organik yang menyebabkan reduksi koenzim dan

oksidasi substrat. Sebagian besar pembawa hidrogen adalah NAD (nicotinamide adenine dinukleotida) dan FAD (flavin adenin dinukleotida). Ini kemudian direoksidasi, melepaskan energi untuk sintesis ATP

c) Penggunaan senyawa fosfat berenergi tinggi seperti ATP untuk transfer energi

### Mekanisme Respirasi

Reaksi respirasi berlangsung dalam empat tahapan, yaitu: glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus asam piruvat dan fosforilasi oksidatif (rantai transport elektron)



Gambar 24. Proses respirasi pada tumbuhan

#### 1. Glikolisis

Hampir semua energi yang digunakan oleh sel-sel hidup dalam bentuk ikatan gula, glukosa. Glikolisis adalah langkah pertama dalam pemecahan glukosa untuk mengekstraksi energi untuk metabolisme sel. Hampir semua organisme hidup melakukan glikolisis sebagai bagian dari proses metabolisme. Prosesnya tidak menggunakan oksigen dan karena itu anaerobik.

Glikolisis terjadi di sitoplasma sel prokariotik dan eukariotik. Glukosa memasuki sel heterotrofik dengan dua cara. Salah satu metode adalah melalui transpor aktif sekunder dimana transpor berlangsung melawan gradien konsentrasi glukosa. Mekanisme lainnya menggunakan sekelompok protein integral yang disebut protein



# BAB VI

## Nutrisi dan Mineral

Nutrisi dapat dikatakan sebagai proses untuk mendapatkan nutrisi, sementara nutrisi merupakan zat-zat yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dari makhluk hidup. Tumbuh-tumbuhan memerlukan nutrisi berupa mineral dan air untuk keperluan hidupnya. Mineral dapat diperoleh tumbuhan dari tanah sementara air didapatkan dari tanah dan udara. Larutan mineral yang ada di dalam tanah kemudian akan diserap oleh tumbuhan melalui pembuluh xilem.

Nutrisi bagi tumbuhan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya seperti pertumbuhan dan perkembangan biakan. Beberapa nutrisi digunakan untuk proses metabolismenya sementara yang lainnya akan disimpan didalam jaringan tumbuhan.

### Manfaat unsur hara bagi tumbuhan

Tabel 2. Manfaat unsur hara bagi tanaman

Unsur	Peranan dalam tumbuhan
Nitrogen (N)	Penyusun protein, enzim - enzim, bahan penghasil energi seperti ADP, ATP dan klorofil
Phosfor (P)	Pembelahan sel, pembentukan bunga, buah dan biji, kematangan tanaman melawan efek nitrogen, merangsang perkembangan akar, transfer energi misal ADP dan ATP, penyusun beberapa protein, penyusun koenzim, penyusun asam nukleat, berpengaruh terhadap struktur $K^+$ , $Ca^+$ , $Mg^+$ , $Mn^+$
Kalium (K)	Berfungsi untuk metabolisme karbohidrat, pembentukan, pemecahan dan translokasi pati; metabolisme protein dan sintesis protein; mengaktifkan beberapa enzim; mengatur membuka dan menutupnya stomata; pembungaan dan pematangan
Kalsium (Ca)	Komponen penyusun dinding sel; berperan dalam struktur dan permeabilitas membran sel.
Magnesium (Mg)	Penyusun utama klorofil yang memberikan warna hijau pada daun; diperlukan untuk pembentukan gula dari karbondioksida dan air; mengatur

	penyerapan hara lainnya; menstimulasi lemak dan minyak; translokasi pati dalam tumbuhan.
Belerang (S)	Mempengaruhi sintesis protein; merupakan unsur dari asam amino, metionin, dan sistein; mempercepat perkembangan buah; komponen penting dalam protoplasma.
Boron (Bo)	Transfer gula; metabolisme karbohidrat
Besi (Fe)	Pembentukan klorofil; pembawa oksigen
Mangan (Mn)	Bagian dari sistem enzim; aktivator beberapa reaksi metabolik; berperan langsung dalam fotosintesis dalam hubungannya dengan pembentukan klorofil.
Tembaga (Cu)	Penyusun plastosianin protein di dalam kloroplas; sintesis atau stabilitas klorofil dari pigmen tanaman, metabolisme protein dan karbohidrat; sebagai kofaktor dalam sintesis enzim maupun sintesis DNA dan RNA; bagian penting dari asam askorbat oksidase, laktase dan tirosinase.
Seng (Zn)	Meningkatkan reaksi metabolik tertentu; diperlukan untuk memproduksi klorofil dan karbohidrat; sintesis senyawa pertumbuhan.
Molibdenum (Mo)	Komponen enzim-enzim nitrat reduktase, nitrogenase, dan sulfat oksidase; sistem transfer elektron; pada tanaman leguminosa berfungsi dalam penambatan N oleh bakteri.
Klorin (Cl)	Proses fotosintesis; menaikkan tekanan osmotik sel dan menghasilkan hidrofilik akibat penambahan ion pada hidrasi jaringan tumbuhan.

### Hara Esensial dan Non Esensial

Unsur hara esensial adalah unsur hara yang sangat diperlukan oleh tumbuhan. Menurut Arnon dan Stout (1939) kriteria hara esensial adalah sebagai berikut:

- a) Suatu unsur hara disebut esensial jika tumbuhan tidak mampu menyelesaikan daur hidupnya (misalnya pembentukan biji yang viabel) tanpa adanya unsur tersebut
- b) Jika unsur tersebut terlibat langsung dalam proses metabolisme
- c) Tidak dapat digantikan oleh unsur hara lain

# BAB VII

## Enzim

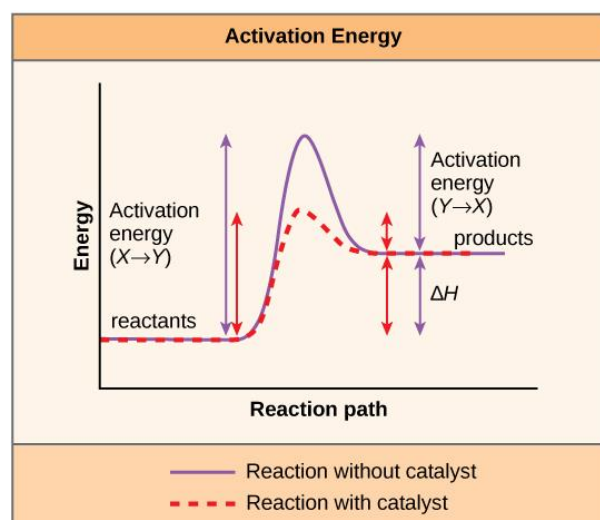
### Pengertian Enzim

Enzim adalah senyawa kimia berupa protein yang berperan sebagai biokatalisator dalam suatu reaksi kimia. Dengan adanya enzim, metabolisme akan berlangsung dengan cepat karena menurunkan energi (aktivasi) yang diperlukan untuk berlangsungnya reaksi tersebut.

Proses biologis yang terjadi dalam semua organisme hidup adalah reaksi kimia, dan sebagian besar diatur oleh enzim. Tanpa enzim, banyak dari reaksi ini berlangsung lambat atau tidak berlangsung sama sekali. Enzim mengkatalisasi semua aspek metabolisme sel.

Hampir semua enzim adalah protein, terdiri dari rantai asam amino, dan mereka melakukan tugas penting untuk menurunkan energi aktivasi reaksi kimia di dalam sel. Enzim melakukan ini dengan mengikat molekul reaktan, dan menahannya sedemikian rupa sehingga membuat proses pemutusan ikatan kimia dan pembentukan ikatan berlangsung lebih mudah.

Penting untuk diingat bahwa enzim tidak mengubah  $\Delta G$  suatu reaksi. Dengan kata lain, mereka tidak mengubah apakah suatu reaksi bersifat eksergonik (spontan) atau endergonik. Ini karena enzim tidak mengubah energi bebas reaktan atau produk. Enzim hanya mengurangi energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan transisi (lihat gambar di bawah).



Gambar 30. Enzim menurunkan energi aktivasi reaksi tetapi tidak mengubah energi bebas reaksi.

## **Sifat Enzim**

1. Enzim aktif dalam jumlah yang sedikit
2. Enzim tidak terpengaruh oleh reaksi yang dikatalisnya pada kondisi yang stabil

## **Sisi Aktif Enzim dan Kekhususan Substrat**

Reaktan kimia yang mengikat enzim adalah substrat enzim. Mungkin ada satu atau lebih substrat, tergantung pada reaksi kimia tertentu. Dalam beberapa reaksi, substrat reaktan tunggal dipecah menjadi beberapa produk. Namun, di tempat lain, dua substrat dapat bersatu untuk membuat satu molekul yang lebih besar. Dua reaktan juga dapat memasuki reaksi, keduanya menjadi termodifikasi, dan meninggalkan reaksi sebagai dua produk.

Para ilmuwan mengacu pada lokasi di dalam enzim tempat substrat berikatan sebagai tempat aktif enzim. Sisi aktif adalah tempat "aksi" terjadi, begitulah. Karena enzim adalah protein, ada kombinasi unik residu asam amino (juga disebut rantai samping, atau gugus R) di dalam sisi aktif. Setiap residu dicirikan oleh sifat yang berbeda. Residu dapat besar atau kecil, asam lemah atau basa, hidrofilik atau hidrofobik, bermuatan positif atau negatif, atau netral.

## **Substrat Bekerja Secara Spesifik**

Kombinasi unik dari residu asam amino, posisi, urutan, struktur, dan sifatnya, menciptakan lingkungan kimiawi yang sangat spesifik di dalam sisi aktif. Lingkungan khusus ini cocok untuk mengikat, meskipun sebentar, ke substrat (atau substrat) kimia tertentu. Karena kecocokan seperti puzzle gambar antara enzim dan substratnya (yang beradaptasi untuk menemukan kecocokan terbaik antara keadaan transisi dan situs aktif), enzim dikenal karena spesifisitasnya.

Hasil "paling cocok" dari bentuk dan daya tarik kelompok fungsional asam amino ke substrat. Ada enzim yang cocok secara khusus untuk setiap substrat dan, dengan demikian, untuk setiap reaksi kimia. Namun, ada fleksibilitas juga.

## **Model induced-fit**

Selama bertahun-tahun, para ilmuwan berpikir bahwa pengikatan enzim-substrat terjadi dengan cara "lock-and-key" yang sederhana. Model ini menegaskan bahwa enzim dan substrat saling cocok dengan sempurna dalam satu langkah seketika. Namun, penelitian saat ini mendukung pandangan yang lebih teliti yang oleh para ilmuwan disebut sebagai kecocokan yang diinduksi (lihat gambar di bawah).

## **BAB VIII**

### **Hormon**

Respons sensorik tumbuhan terhadap rangsangan eksternal bergantung pada pembawa pesan kimiawi (hormon). Hormon tumbuhan mempengaruhi semua aspek kehidupan tumbuhan, mulai dari pembungaan hingga pengaturan dan pematangan buah, dan dari fototropisme hingga gugurnya daun. Berpotensi setiap sel dalam tumbuhan dapat menghasilkan hormon tumbuhan. Hormon dapat bertindak dalam sel asalnya atau diangkut ke bagian lain dari tubuh tumbuhan, dengan banyak tanggapan tumbuhan yang melibatkan interaksi sinergis atau antagonistik dari dua atau lebih hormon. Sebaliknya, hormon hewan diproduksi di kelenjar tertentu dan diangkut ke tempat yang jauh untuk beraksi.

Hormon tumbuhan adalah senyawa organik yang disintesis di salah satu bagian tumbuhan dan dipindahkan ke bagian lain, dan pada konsentrasi yang sangat rendah mampu menimbulkan suatu respon fisiologis. Respon pada organ sasaran tidak perlu bersifat memacu, karena proses seperti pertumbuhan dan diferensiasi kadang justru dapat terhambat oleh hormon terutama asam absisat. Lima hormon tumbuhan utama antara lain: auksin (khususnya IAA), sitokinin, giberelin, etilen, dan asam absisat. Selain itu, nutrisi lain dan kondisi lingkungan dapat dicirikan sebagai faktor pertumbuhan.

#### **Jenis-jenis hormon tumbuhan**

##### **Auksin**

Istilah auksin berasal dari kata Yunani auxein, yang berarti “tumbuh.” Auksin adalah hormon utama yang bertanggung jawab untuk pemanjangan sel dalam fototropisme dan gravitropisme. Mereka juga mengontrol diferensiasi meristem menjadi jaringan vaskular, dan mendorong perkembangan dan pengaturan daun. Sementara banyak auksin sintetis digunakan sebagai herbisida, IAA adalah satu-satunya auksin alami yang menunjukkan aktivitas fisiologis. Dominasi apikal, penghambatan pembentukan tunas lateral dipicu oleh auksin yang diproduksi di meristem apikal. Pembungaan, pembentukan dan pemasakan buah, dan penghambatan absisi (daun rontok) adalah respons tumbuhan lain di bawah kendali auksin langsung atau tidak langsung. Auksin juga bertindak sebagai relai untuk efek cahaya biru dan respons merah/merah jauh.

Penggunaan komersial auksin tersebar luas di pembibitan tanaman dan untuk produksi tanaman. IAA digunakan sebagai hormon perakaran untuk mendorong pertumbuhan akar adventif pada stek dan daun. Menerapkan auksin sintetis pada tanaman tomat di rumah kaca mendorong perkembangan buah yang normal. Aplikasi auksin di luar ruangan mampu mensinkronisasi pengaturan dan penurunan buah untuk

mengoordinasikan musim panen. Buah-buahan seperti ketimun tanpa biji dapat diinduksi untuk menghasilkan buah dengan mengolah bunga tanaman yang tidak dibuahi dengan auksin.

### **Sitokinin**

Efek sitokinin pertama kali dilaporkan ketika ditemukan bahwa dengan menambahkan endosperma cair kelapa ke embrio tumbuhan yang sedang berkembang dalam kultur dapat merangsang pertumbuhannya. Yang merupakan faktor pertumbuhan yang merangsang adalah sitokinin, hormon yang mendorong sitokinesis (pembelahan sel). Hampir 200 sitokinin alami atau sintetik yang telah diketahui hingga saat ini. Sitokinin paling melimpah terdapat di jaringan yang sedang tumbuh, seperti akar, embrio, dan buah-buahan, tempat terjadinya pembelahan sel. Sitokinin diketahui menunda penuaan pada jaringan daun, mendorong mitosis, dan merangsang diferensiasi meristem pada pucuk dan akar. Banyak efek pada perkembangan tumbuhan berada di bawah pengaruh sitokinin, baik dalam hubungannya dengan auksin atau hormon lain. Misalnya, dominasi apikal yang tampaknya dihasilkan dari keseimbangan antara auksin yang menghambat tunas lateral, dan sitokinin yang mendorong pertumbuhan yang lebih cepat.

### **Giberelin**

Giberelin (GAs) adalah kelompok yang terdiri dari sekitar 125 hormon tumbuhan yang berkerabat dekat yang merangsang pemanjangan pucuk, perkecambahan biji, dan pematangan buah dan bunga. GAs disintesis di meristem apikal akar dan batang, daun muda, dan embrio biji. Di daerah perkotaan, antagonis GA terkadang diterapkan pada pohon di bawah kabel listrik untuk mengontrol pertumbuhan dan mengurangi frekuensi pemangkasan.

GAs dapat mematahkan dormansi (menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan terhambat) pada benih tanaman yang membutuhkan paparan cahaya untuk berkecambah. Asam absisat bersifat antagonis kuat dengan GA. Efek lain dari GA termasuk ekspresi sifat tanaman, perkembangan buah tanpa biji, dan penundaan penuaan pada daun dan buah. Anggur tanpa biji diperoleh melalui metode pemuliaan standar dan mengandung biji yang tidak mencolok yang gagal berkembang. Karena GA diproduksi oleh biji, dan karena perkembangan buah dan pemanjangan batang berada di bawah kendali GA, varietas anggur ini biasanya menghasilkan buah kecil yang padat. Anggur yang matang secara rutin diberi dengan GA untuk menghasilkan ukuran buah yang lebih besar, serta tandan yang lebih longgar (batang yang lebih panjang), yang mengurangi kejadian infeksi jamur (lihat gambar di

## BAB IX

### Fiksasi dan Metabolisme Nitrogen

Nitrogen merupakan suatu unsur hara esensial yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah banyak, yang berfungsi sebagai penyusun protein dan penyusun enzim. Tumbuhan memerlukan suplai nitrogen pada semua tingkat pertumbuhan, terutama pada awal pertumbuhan, sehingga adanya sumber N yang murah akan sangat membantu mengurangi biaya produksi.

Kandungan atmosfer sekitar 80% adalah nitrogen (N<sub>2</sub>), namun tidak ada yang secara langsung dapat digunakan oleh tumbuhan. Sementara itu, keberadaan dan ketersediaan senyawa nitrogen dalam tanah sangat terbatas, terlebih dari sifat senyawa nitrogen yang mudah hilang (leaching). Untuk itu, pemanfaatan N<sub>2</sub> bebas dari udara melalui penambatan (fiksasi) merupakan hal penting untuk meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tumbuhan. Penambatan nitrogen merupakan proses biokimiawi di dalam tanah yang memainkan salah satu peranan paling penting, yaitu mengubah nitrogen atmosfer (N<sub>2</sub>, atau nitrogen bebas) menjadi nitrogen dalam persenyawaan/ nitrogen tertambat yang melibatkan peran mikroba tertentu. Bakteri yang mampu mengikat N<sub>2</sub> bebas adalah genus *Rhizobium*, tetapi hanya dapat hidup jika bersimbiosis dengan tanaman dari suku Leguminoceae.

#### Jenis *Rhizobium* dan Tanaman Inangnya

*Rhizobia* merupakan kelompok penambat nitrogen yang bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan. Kemampuan penambatan pada simbiosis *rhizobium* ini dapat mencapai 80 kg N<sub>2</sub>/ha/thn atau lebih. Ada beberapa jenis *rhizobium* yang mampu bersimbiosis dengan tanaman tertentu, karena tidak semua *rhizobium* mampu bersimbiosis dengan tanaman ini dapat dilihat pada Tabel 1. di bawah ini.

Bacterial genus/species	Host plant
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	
biovar <i>viciae</i>	<i>Vicia, Lens, Pisum sativum</i>
biovar <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolus</i>
biovar <i>trifolii</i>	<i>Trifolium</i>
<i>Rhizobium meliloti</i>	<i>Medicago sativa, Melilotus</i>
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	<i>Glycine</i>
<i>Bradyrhizobium lupinus</i>	<i>Lupinus</i>
<i>Bradyrhizobium arachis</i>	<i>Arachis</i>

Tabel 3. Spesies *Rhizobium* dan inangnya (Marschner, H., 1985)

Spesies *Rhizobium* tertentu umumnya efektif dengan hanya satu spesies tanaman legum ataupun dalam setiap kultivar kacang-kacangan. *Rhizobium* untuk kacang tanah berbeda

dengan *Rhizobium* untuk kedelai. Suryantini (1994) dalam Nasikah (2007) menjelaskan bahwa spesies *Rhizobium japonicum* dan *Bradyrhizobium japonicum* bersimbiosis dengan kedelai, *Bradyrhizobium* spp. bersimbiosis dengan kacang tanah, kacang tunggak, dan kacang gude, sedangkan *Rhizobium phaseoli* bersimbiosis dengan kacang hijau.

Asosiasi simbiosis yang terjadi antara legum-*Rhizobium* bersifat selektif karena satu strain *Rhizobium* hanya dapat menginfeksi spesies legum tertentu, contoh : *Rhizobium leguminosarum* dengan *viciae* membentuk nodul pada kacang polong, sedangkan *Bradyrhizobium japonicum* membentuk nodul pada kedelai. Setiap strain *Rhizobium* mempunyai kemampuan yang berbeda dalam membentuk nodul dengan tanaman legum tertentu (Stougaard, 2000).

### **Pembentukan Bintil Akar**

- **Mekanisme pembentukan bintil akar**

Pembentukan nodul akar dikontrol oleh sinyal molekul bakteri ekstraseluler yaitu faktor nod yang akan dikenali oleh tanaman inang. Komunikasi awal antara legum-*Rhizobium* terjadi karena adanya pertukaran sinyal yaitu sinyal flavonoid spesifik yang diproduksi tanaman legum dan respon balik dari *Rhizobium* dengan memproduksi sinyal baru berupa lipo-chitooligosaccharide (LCO: sinyal Nod). Tipe nodulasi yang terbentuk bersifat spesifik tergantung dari tanaman inang (Sugiyarto, 2010).

Senyawa fenolik (flavonoid) yang disebut lutein yg dilepaskan oleh akar berperan sebagai sinyal untuk gerakan kemotaksis rhizobia di rhizosfer dan merangsang ekspresi gen nodulasi (gen nod) pada permukaan akar (Marschner, 1985). Gen nod akan dilepaskan oleh rhizobia merupakan gen yang secara langsung berperan dalam tahapan nodulasi. Faktor nod ini akan menstimulasi mengeritingnya rambut akar (Burdass, 2002). Induksi gen nod dibutuhkan untuk produksi lektin dan penangkapan bakteri pada bulu akar yang sedang berkembang Selanjutnya tahap lanjutan berupa perkembangan nodul meristem dan invasi rhizobia, yang diperantarai oleh benang-benang infeksi. Di dalam sel nodul yang membelah, rhizobia dilepaskan ke dalam sel sitoplasma tumbuhan dan terbungkus dalam membran sel tumbuhan (membran peribacteroid). Selama proses ini bacteria diubah menjadi bakteroid Pembentukan bakteroid berhubungan erat dengan pembentukan leghemoglobin, nitrogenase dan enzim lain yang dibutuhkan untuk fiksasi  $N_2$  (Marschner, 1985).



# **BAB X**

## **Dormansi**

Pertumbuhan adalah peningkatan ukuran atau berat sel, organ, atau organisme. Peningkatan ukuran dapat terjadi tanpa pertumbuhan sebagai penyerapan air oleh sel lembek. Dengan cara yang sama, selama perkecambahan benih, sebenarnya terjadi penurunan berat kering meskipun ukuran dan berat segarnya bertambah. Jadi, pertumbuhan dijelaskan sebagai peningkatan permanen atau tidak dapat diubah dalam berat kering, massa, atau volume sel, ukuran, organ, atau organisme. Pertumbuhan tanaman terjadi dalam tiga Fase - formatif, pembesaran, dan diferensiasi. Fase formatif juga disebut fase pembentukan sel atau pembelahan sel atau fase meristematik. Fase pembesaran disebut juga fase pemanjangan sel dan fase diferensiasi disebut juga fase pematangan.

### **Pengertian dormansi**

Dormansi benih dapat didefinisikan sebagai keadaan atau kondisi di mana benih tidak dapat berkecambah bahkan di bawah kondisi lingkungan yang menguntungkan untuk perkecambahan termasuk, suhu, air, cahaya, gas, kulit benih, dan pembatasan mekanis lainnya.

Alasan utama di balik kondisi ini adalah bahwa benih memerlukan masa istirahat sebelum mampu berkecambah. Kondisi ini dapat bervariasi dari hari ke bulan dan bahkan bertahun-tahun. Kondisi ini dapat merupakan pengaruh dari kombinasi cahaya, air, panas, gas, kulit biji dan struktur hormon.

Benih dorman tidak dapat berkecambah dalam jangka waktu tertentu di bawah kombinasi faktor lingkungan yang biasanya membantu perkecambahan benih non dorman.

Dormansi merupakan suatu mekanisme untuk mempertahankan diri terhadap suhu yang sangat rendah (membeku) pada musim dingin, atau kekeringan di musim panas yang merupakan bagian penting dalam perjalanan hidup tumbuhan tersebut. Dengan demikian, dormansi merupakan suatu reaksi atas keadaan fisik atau lingkungan tertentu. Pemicu dormansi dapat bersifat mekanis, keadaan fisik lingkungan, atau kimiawi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, G.M. 2012. Mekanisme Penambatan Nitrogen Udara oleh Bakteri Rhizobium Menginspirasi Perkembangan Teknologi Pemupukan Organik yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Agrotrop*. Vol. 2 (2) : 145 – 149.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce And R.L. Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya. *Diterjemahkan Oleh: Susilo, H. dan Subiyanto*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta. 428 Hlm.
- Novriani. 2011. Peranan Rhizobium dalam Meningkatkan Ketersediaan Nitrogen bagi Tanaman Kedelai. *Jurnal Agronobis*. Vol. 3 (5) : 35-42.
- Salisbury, F.B. Dan C.W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan. *Terjemahan Dari: Plant Physiology. Penerjemah: Lukman, D.R. Dan Sumaryono*. Penerbit Itb, Bandung.
- Stougaard, J. 2000. *Regulators And Regulation Of Legume Root Nodule Development*. *Plant Physiol*. 124: 531-540.
- THIEL, T., B. PRATTE And M. ZAHALAK. 2002. Transport Of Molybdate In The Cyanobacterium *Anabaena Variabilis* ATCC 29413. *Arch. Microbiol*. 179: 50 – 56.