

# DIKTAT FISILOGI TUMBUHAN

Oleh:

Khairuna, M.Pd



PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI  
FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA  
MEDAN

2019

## DAFTAR ISI

Daftar Isi .....	i
<b>BAB I : PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Definisi fisiologi tumbuhan .....	1
1.2. Sejarah fisiologi tumbuhan .....	1
1.3. Fungsi fisiologi tumbuhan .....	3
1.4. Hubungan fisiologi dengan cabang ilmu botani lainnya .....	4
1.5. Ruang lingkup fisiologi tumbuhan .....	5
1.6. Proses yang terjadi pada tumbuhan .....	6
<b>BAB II : TUMBUHAN DAN AIR .....</b>	<b>10</b>
2.1. Fungsi air bagi tumbuhan .....	10
2.2. Sifat air yang penting bagi kehidupan .....	11
2.3. Proses difusi dan osmosis pada tumbuhan .....	12
2.4. Faktor yang mempengaruhi difusi dan osmosis .....	16
<b>BAB III : PERTUKARAN GAS .....</b>	<b>18</b>
3.1. Mekanisme pertukaran gas .....	18
3.2. Mekanisme transpirasi .....	20
3.3. Mekanisme menutup dan membukanya stomata .....	23
<b>BAB IV : RESPIRASI PADA TUMBUHAN .....</b>	<b>28</b>
4.1. Respirasi .....	28
4.2. Mekanisme respirasi .....	30
4.3. Faktor yang mempengaruhi respirasi .....	40
<b>BAB V : FOTOSINTESIS .....</b>	<b>43</b>
5.1. Pengertian fotosintesis .....	43
5.2. Mekanisme fotosintesis .....	43
5.3. Faktor yang mempengaruhi fotosintesis .....	54
5.4. Siklus calvin .....	54

<b>BAB VI : NUTRISI TUMBUHAN .....</b>	<b>56</b>
6.1. Mineral yang dibutuhkan tumbuhan .....	56
6.2. Mekanisme penyerapan nutrisi tumbuhan .....	64
6.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi penyerapan mineral .....	66
6.4. Mekanisme penyerapan mineral .....	68
6.5. Peranan dan gejala defisiensi mineral .....	74
<b>BAB VII : ZAT TUMBUH DAN HORMON PERTUMBUHAN TANAMAN .....</b>	<b>81</b>
7.1. Konsep zat tumbuh dan definisi hormon .....	81
7.2. Auksin .....	82
7.3. Sitokinin .....	84
7.4. Giberelin .....	86
7.5. Asam absisat .....	86
7.6. Etilen .....	88
7.7. Asam traumalin .....	89
<b>BAB VIII : GERAK TUMBUHAN .....</b>	<b>90</b>
8.1. Definisi gerak .....	90
8.2. Macam-macam gerak tumbuhan .....	90
8.3. Gerak tropisme .....	92
8.4. Gerak nasti .....	98
8.5. Gerak taksis .....	101
<b>BAB IX : PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN .....</b>	<b>103</b>
9.1. Pengertian pertumbuhan dan perkembangan .....	103
9.2. Pola pertumbuhan dan perkembangan .....	104
9.3. Lokasi pertumbuhan .....	106
9.4. Pengaturan pertumbuhan dan perkembangan .....	108
9.5. Perkecambahan .....	109
9.6. Dormansi pada biji .....	111

**BAB X : KONSEP FISIOLOGI TUMBUHAN TERINTEGRASI AL-QUR'AN ..... 114**

- 10.1. Ayat al-Qur'an yang berkaitan dengan tumbuhan dan air ..... 114
- 10.2. Ayat al-Qur'an yang berkaitan dengan pertukaran gas ..... 116
- 10.3. Ayat al-Qur'an yang berkaitan dengan nutrisi tumbuhan ..... 117

**DAFTAR PUSTAKA ..... 124**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. DEFINISI FISILOGI TUMBUHAN

Fisiologi berasal dari bahasa latin, *physis* berarti alam (*nature*) dan *logos* berarti ilmu. Jadi dapat di artikan bahwa Fisiologi tumbuhan merupakan salah satu cabang biologi yang mempelajari tentang proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuh tumbuhan yang menyebabkan tumbuhan tersebut dapat hidup. Laju proses metabolisme ini di pengaruhi oleh (dapat tergantung pada) faktor-faktor lingkungan mikro di sekitar tumbuhan tersebut<sup>1</sup>. Fisiologi tumbuhan juga merupakan ilmu yang mempelajari tentang proses, fungsi, dan aktivitas tumbuhan dalam menjaga dan mengatur kehidupannya<sup>2</sup>.

Dapat di katakan juga bahwa, Fisiologi tumbuhan merupakan ilmu yang membahas proses-proses yang terjadi di dalam tubuh tumbuhan pada tingkatan molekuler dan seluler. Dengan mempelajari fisiologi tumbuhan, kita akan lebih dapat memahami bagaimana sinar matahari dapat di manfaatkan oleh tumbuhan untuk menghasilkan karbohidrat dari bahan baku anorganik berupa air dan karbondioksida, lalu mengapa tumbuhan membutuhkan air, bagaimana biji berkecambah, mengapa tumbuhan layu ketika kekeringan, dan berbagai macam gejala lainnya yang di tampilkan oleh tumbuhan, inilah manfaat ilmu fisiologi tumbuhan.

Organisme yang menjadi sasaran dalam kajian fisiologi tumbuhan meliputi semua jenis tumbuhan, dari tumbuhan satu seperti bakteri maupun sampai tumbuhan tingkat tinggi. Dan yang menjadi sasaran utama dalam kajian fisiologi tumbuhan adalah organisme dari kelompok *plantae*, tumbuhan berdaun jarum (*gymnospermae*) dan tumbuhan angiospermae, termasuklah pada tumbuhan monokotil dan dikotil.

### 1.2. SEJARAH FISILOGI TUMBUHAN

Ilmu-ilmu lain telah berkembang dari fisiologi mengingat ilmu ini sudah cukup tua. Beberapa turunan yang penting adalah biokimia, biofisika, biomekanika, genetika sel, farmakologi, dan ekofisiologi. Perkembangan biologi molekuler memengaruhi arah kajian fisiologi.

---

<sup>1</sup> Benyamin Lakitan, *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*, (Jakarta : PT Raja Grafindo Perseda, 2013), h. 1-2

<sup>2</sup> Lia Angelia, Abdul Razak, Azwir Anhar, *Pengembangan Modul Berorientasi Konstruktivisme di Lengkapi Peta Pikiran Pada Mata Kuliah Fisiologi Tumbuhan di STAIN Kerinci*, (Pendidikan Biologi : UNP)

Ilmu fisiologi manusia dimulai dari sekitar tahun 420SM hingga zaman Hipokrates, yang juga dikenal sebagai bapak kedokteran. Pemikiran kritis dari Aristoteles dan perhatiannya pada hubungan antara struktur dan fungsi menandai dimulainya ilmu fisiologi pada Yunani Kuno.

Jean Fernel, seorang peneliti berkewarganegaraan Prancis memperkenalkan istilah “fisiologi” pada tahun 1525. Namun fisiologi eksperimental baru diawali pada abad ke-17, ketika ahli anatomi William Harvey menjelaskan adanya sirkulasi darah. Herman Boerhaave sering disebut sebagai bapak fisiologi karena karyanya berupa buku teks berjudul *Institutiones Medicae* (1708) dan cara mengajarnya yang cemerlang di Leiden.

Pada abad ke-19, ilmu fisiologi mulai berkembang dengan pesat, secara khusus pada tahun 1838 dengan ditemukannya teori sel oleh Matthias Schleiden dan Theodor Schwann. Secara radikal teori ini menyatakan bahwa organisme terdiri atas unit yang disebut sel. Claude Bernard (1813–1878) kemudian menemukan konsep milieu interieur (lingkungan internal), yang kemudian disebut sebagai “homeostasis” oleh peneliti dari Amerika, Walter Cannon.

Pada abad ke-20, ahli biologi juga mengalami ketertarikan pada bagaimana organisme selain manusia melakukan fungsinya, yang kemudian menimbulkan adanya fisiologi komparatif dan ekofisiologi. Pada tahun belakangan, fisiologi evolusi telah menjadi salah satu subdisiplin dari fisiologi.

Fisiologi eksperimental diawali pada abad ke-17, ketika ahli anatomi William Harvey menjelaskan adanya sirkulasi darah. Herman Boerhaave sering disebut sebagai bapak fisiologi karena karyanya berupa buku teks berjudul *Institutiones Medicae* (1708) dan cara mengajarnya yang cemerlang di Leiden. William Harvey (1 April 1578 – 3 Juni 1657) ialah dokter yang mendeskripsikan sistem peredaran darah yang dipompakan disekeliling tubuh manusia oleh jantung, ini mengembangkan gagasan René Descartes yang dalam deskripsi tubuh manusianya bahwa arteri dan vena ialah pipa dan membawa makanan ke sekeliling tubuh. Ilmu Fisiologi telah diajarkan sejak tahun 1953, dan dikenal sebagai Ilmu Faal. Pada kurun waktu tahun 1953 – 1968 ilmu fisiologi merupakan ilmu yang diberikan pada masa bachelor tingkat I yang kemudian dikenal sebagai sarjana muda. Berdasarkan objek kajiannya dikenal fisiologi manusia, fisiologi tumbuhan, dan fisiologi hewan, meskipun prinsip fisiologi bersifat universal, tidak bergantung pada jenis organismeyang dipelajari.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>Wiwi Isnaeni. 2006. *Fisiologi Hewan*. Yogyakarta: Kanisius. Hal. 67

Fisiologi atau ilmu faal (dibaca fa-al) adalah salah satu dari cabang-cabang biologi yang mempelajari berlangsungnya sistem kehidupan. Istilah "fisiologi" dipinjam dari bahasa Belanda, *physiologie*, yang dibentuk dari dua kata Yunani Kuna: *physis*, berarti "asal-usul" atau "hakikat" dan *logia*, yang berarti "kajian". Istilah "faal" diambil dari bahasa Arab, berarti "pertanda", "fungsi", "kerja". Fisiologi merupakan ilmu yang mempelajari fungsi normal tubuh dengan berbagai gejala yang ada pada system hidup serta pengaturan atas segala fungsi dalam system tersebut. Berbagai aktivitas yang terjadi pada system hidup selanjutnya disebut fungsi kehidupan atau fungsi hidup. Jadi, fungsi hidup ialah fungsi sistem yang ada dalam tubuh makhluk hidup. Sistem hidup merupakan suatu yang kompleks dan bervariasi sehingga dalam fisiologi hewan, fungsi hidup akan dibahas secara kompleks dan bervariasi juga.

Fisiologi hewan bermula dari metode dan peralatan yang digunakan dalam pembelajaran fisiologi manusia yang kemudian meluas pada spesies hewan selain manusia. Fisiologi tumbuhan banyak menggunakan teknik dari kedua bidang ini.

Fisiologi memiliki beberapa subbidang. Banyak bidang yang berkaitan dengan fisiologi, diantaranya adalah Ekofisiologi yang mempelajari efek ekologis dari ciri fisiologi suatu hewan atau tumbuhan dan sebaliknya. Genetika bukanlah satu-satunya faktor yang mempengaruhi fisiologi hewan dan tumbuhan. Tekanan lingkungan juga sering menyebabkan kerusakan pada organisme eukariotik. Organisme yang tidak hidup di habitat akuatik harus menyimpan air dalam lingkungan seluler. Pada organisme demikian, dehidrasi dapat menjadi masalah besar. Dehidrasi pada manusia dapat terjadi ketika terdapat peningkatan aktivitas fisik.

### **1.3. FUNGSI FISILOGI TUMBUHAN**

Fungsi fisiologi tumbuhan disini berarti manfaat yang diperoleh manusia dalam mempelajari fisiologi tumbuhan. Lalu apa manfaatnya? tentu secara umum manfaatnya sangat besar karena tumbuhan itu sendiri merupakan salah satu bahan pemenuh bagi kebutuhan manusia sehingga kita perlu ilmu yang seluas-luasnya tentang tumbuhan. Tidak mungkin kita bisa membuat racikan obat bila tidak mengetahui tentang bahan yang terkandung dalam obat itu sendiri. Iya kan?, nah apalagi banyak bahan-bahan kimia yang kita gunakan untuk industri yang diambil dari tumbuhan. Oleh karena itu, ilmu fisiologi tumbuhan ini sangat penting.

Sebagai cabang ilmu pengetahuan, fisiologi tumbuhan tentunya mempunyai fungsi yang beragam. Antara lain :

1. Berfungsi sebagai pedoman manusia dalam memenuhi kebutuhan melalui tanaman. Fisiologi tumbuhan membantu manusia terutama dalam bidang obat-obatan. Mengapa? Karena tubuh manusia yang sedang sakit tidak melulu harus mengonsumsi bahan kimia sebagai sumber penyembuh dan penawar penyakit. Tumbuhan yang merupakan bahan alami, memiliki banyak khasiat baik bagi tubuh manusia terutama sebagai obat-obatan. Fisiologi tumbuhan membantu para ilmuwan untuk membedakan tumbuhan mana saja yang dapat dijadikan obat dan mana yang bukan.
2. Sebagai pedoman dalam menciptakan variasi baru olahan tanaman, seperti makanan, minuman maupun bahan kosmetik. Bahan alami dipercaya dapat membuat tubuh manusia menjadi lebih baik lagi karena kandungan yang ada dalam tiap tanaman memiliki fungsi yang baik bagi organ tubuh manusia. Ilmu pengetahuan yang senantiasa berevolusi mengharuskan manusia untuk selalu mengembangkan apa yang sudah ada menjadi sesuatu yang lebih baik lagi.<sup>4</sup>

#### **1.4. HUBUNGAN FISIOLOGI TUMBUHAN DENGAN CABANG ILMU BOTANI LAINNYA**

Fisiologi tumbuhan merupakan salah satu cabang ilmu biology yang memiliki hubungan yang erat hubungannya dengan banyak bidang botani terapan seperti : agronomi, Holtikultura, Florikultura, Kehutanan, Pertanaman, Pemuliaan Tanaman, Patologi Tumbuhan, Farmakologi. Dengan mempelajari fisiologi tumbuhan maka masalah-masalah yang berhubungan dengan ilmu terapan dapat dipecahkan. Dengan mempelajari fisiologi tumbuhan juga para ahli di bidangnya akan mampu mengatasi masalah dalam peningkatan produksi pangan, pembuatan makanan ternak, penyediaan tanaman dengan kandungan serat tinggi, pemeliharaan tanaman yang berperan dalam produksi kayu, mengatasi penyakit tanaman dan lainnya yang dibutuhkan untuk kehidupan manusia.

Salah satu cabang ilmu biologi yang erat hubungannya dengan fisiologi tumbuhan adalah ilmu anatomi tumbuhan. Misalnya, sehubungan dengan pengertian ultrastruktur membrane dan organel-organel sel. Pemahaman tentang ultrastruktur dan senyawa penyusun membrane tilakoid pada kloroplas mempermudah untuk menerangkan proses perpindahan electron pada fase cahaya fotosintesis.

---

<sup>4</sup>Dwidjoseputro, D, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*, ( Jakarta : PT. Gramedia Pusaka Utama, 1994),



Dari uraian diatas, jelas terlihat keterkaitan antara fisiologi tumbuhan dengan cabang-cabang botani lainnya. Selain itu fisiologi tumbuhan akan sangat erat kaitannya dengan ilmu-ilmu dasar yang mendukung seperti ilmu kimia dan ilmu fisika.

Dengan perkembangannya yang demikian pesat, sekarang ini memahami fisiologi tumbuhan secara utuh tidak dapat lagi terpenuhi dengan hanya mempelajari konsep-konsep tradisional, dengan menganggap bahwa fisiologi tumbuhan merupakan cabang ilmu biologi yang kaku batas ruang lingkupnya. Pemahaman yang utuh tentang fisiologi tumbuhan hanya tercapai jika ilmu-ilmu yang berkaitan dengannya juga mendapat perhatian yang memadai.<sup>5</sup>

Disamping itu, ahli fisiologi tumbuhan juga harus memahami ilmu-ilmu dasar seperti sitologi, morfologi, sistematika tumbuhan, dan juga ilmu biofisika. Fisiologi tumbuhan mempelajari permasalahan energenetika sel, elektrofisiologi organ vegetative, hukum fisika dan kimia air, nutrisi melalui system akar, pertumbuhan, fotosintesis, respirasi, dan aspek elektrik dari gerak tumbuhan.<sup>6</sup>

## 1.5. RUANG LINGKUP FISILOGI TUMBUHAN

Fisiologi tumbuhan mengkaji tentang bagaimana proses metabolisme pada tumbuhan terjadi. Ruang lingkup dari cabang ilmu pengetahuan ini adalah : Sel; Proses transpirasi; Unsur esensial Tumbuhan; Fotosintesis; Respirasi tumbuhan; Karakteristik molekul air; Metabolisme tumbuhan.

Karena perkembangannya yang pesat, yang di topang juga oleh perkembangan ilmu fisika dan kimia, maka fisiologi tumbuhan sering dipilah-pilah menjadi beberapa cabang sesuai ruang lingkupnya:

1. *Fisiologi tanaman*. Cabang fisiologi ini mengkaji proses-proses metabolisme pada tanaman budidaya
2. *Fisiologi lepas panen*. Cabang fisiologi tumbuhan ini tentang proses fisiologi yang terjadi pada organ hasil setelah organ tersebut dipanen.
3. *Ekofisiologi*. Membahas tentang faktor-faktor lingkungan terhadap berbagai proses metabolisme tumbuhan mencakup pengaruh positif dan negatif.
4. *Fisiologi benih*. Proses perkecambahan benih melibatkan berbagai tahapan yakni imbisi, reaktivitas enzim, penguraian bahan simpanan dan pertumbuhan radikel.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup>Lakitan, Benyamin. 2003. *Dasar-dasar fisiologi tumbuhan*. Jakarta : Rajawali Pers. Hal 12

<sup>6</sup>Advina, Linda. 2018. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan* (E-Book). Yogyakarta : Derpublisi. Hal 5

<sup>7</sup>Benyamin lakitan, *dasar-dasar fisiologi tumbuhan*, (Jakarta: PT Raja Grafindo persada, 2007) h. 1-4

## **1.6. PROSES YANG TERJADI PADA TUMBUHAN**

### **1. Penyerapan Air**

Tumbuhan merupakan salah satu makhluk hidup yang terdapat di alam semesta. Selain itu tumbuhan adalah makhluk hidup yang memiliki daun, batang, dan akar sehingga mampu menghasilkan makanan sendiri dengan menggunakan klorofil untuk menjalani proses fotosintesis. Bahan makanan yang dihasilkannya tidak hanya dimanfaatkan untuk dirinya sendiri, tetapi juga untuk manusia dan hewan. Bukan makanan saja yang dihasilkannya, tetapi tumbuhan juga dapat menghasilkan Oksigen ( $O_2$ ) dan mengubah Karbondioksida ( $CO_2$ ) yang dihasilkan oleh manusia dan hewan menjadi Oksigen ( $O_2$ ) yang dapat digunakan oleh makhluk hidup lain.<sup>8</sup>

Air adalah suatu zat cair yang tidak mempunyai rasa, bau dan warna dan terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimia  $H_2O$ . Karena air mempunyai sifat yang hampir bisa digunakan untuk apa saja, maka air merupakan zat yang paling penting bagi semua bentuk kehidupan (tumbuhan, hewan, dan manusia) sampai saat ini selain matahari yang merupakan sumber energi.

Di dalam tumbuhan dan air ada proses difusi dan osmosis. Difusi adalah proses Bergeraknya molekul dari daerah dengan konsentrasi lebih tinggi ke daerah dengan konsentrasi lebih rendah yang terjadi secara spontan. Dan Osmosis adalah perpindahan molekul pelarut/air dari wilayah dengan konsentrasi tinggi ke wilayah dengan konsentrasi rendah melewati membran semi-permeable sampai kondisi kesetimbangan telah tercapai. Di dalamnya juga ada beberapa faktor yang mempengaruhi.

### **2. Respirasi**

Respirasi menghasilkan banyak senyawa karbon yang dibutuhkan sebagai prekursor untuk biosintesis senyawa organik lainnya. Proses respirasi dapat dimulai dengan berbagai senyawa kimia. Glukosa merupakan substrat respirasi yang umum dikenal, tetapi dalam sel tumbuhan substrat respirasi juga dapat berasal dari sukrosa, heksosa fosfat dan triosa fosfat yang berasal dari fotosintesis dan perombakan pati, fruktosa, gula-gula lainnya, lemak terutama triasilgliserol, asam-asam organik, dan kadang-kadang protein.

---

<sup>8</sup>Ahmad Ferdian, *Tumbuhan dan Air*. (UNY, 2009) h. 23

Respirasi sel tumbuhan merupakan oksidasi molekul organik oleh oksigen dari udara membentuk karbondioksida dan air. Oleh karena itu metode respirasi umum kadang-kadang diberi tambahan kata *aerob*. Dari segi reaksi kimia, respirasi adalah oksidasi karbon dari molekul glukosa dan reduksi oksigen yang reaksinya digambarkan secara sederhana sebagai berikut:



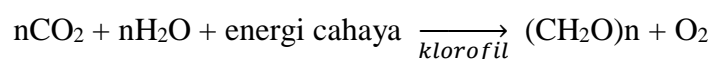
Reaksi diatas adalah kebalikan dari reaksi fotosintesis yang merupakan reaksi redoks dimana glukosa di oksidasi secara sempurna menjadi  $\text{CO}_2$ , sementara oksigen yang berperan sebagai penerima (akseptor) direduksi menjadi  $\text{H}_2\text{O}$ . Fungsi utama dari respirasi adalah melepaskan energi bebas yang terkontrol bersama-sama dengan terbentuknya ATP.

Untuk mencegah kerusakan struktur sel, pelepasan energi bebas dari molekul glukosa dilakukan oleh sel secara bertahap. Reaksi-reaksi bertahap dari respirasi dikelompokkan ke dalam empat proses utama yaitu: glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus atau daur krebs, dan transpor elektron.<sup>9</sup>

### **3. Fotosintesis**

Fotosintesis adalah suatu proses yang berlangsung pada tumbuhan hijau untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia dalam bentuk senyawa karbon organik yang berasal dari molekul karbon dioksida dan air. Pada hakikatnya, semua kehidupan di atas bumi ini tergantung langsung dari adanya proses asimilasi karbon dioksida menjadi senyawa organik dengan adanya energi sinar matahari (energi foton) melalui perantara pigmen hijau klorofil.

Fotosintesis menyediakan baik karbon maupun energi bagi organisme hidup dan menghasilkan oksigen hidup dan menghasilkan oksigen dalam atmosfer. Reaksi keseluruhan dari fotosintesis dapat ditulis sebagai berikut:



#### **Pigmen Fotosintesis**

---

<sup>9</sup> Linda advinda, *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan* (Yogyakarta: Deepublish, 2018) h. 71-72

Pengertian pigmen itu sendiri ialah zat yang menyerap cahaya yang tampak. Pigmen-pigmen yang berbeda menyerap cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda pula, dan panjang gelombang yang diserap pun menghilang. Jika pigmen disoroti dengan cahaya putih, warna yang kita lihat adalah warna yang paling banyak dipantulkan atau diteruskan oleh pigmen tersebut. Daun yang berwarna hijau itu karena klorofil menyerap cahaya ungu, biru, dan merah sambil memantulkan atau meneruskan cahaya hijau.<sup>10</sup>

Klorofil ada dua macam yaitu klorofil a dan klorofil b. Kedua klorofil ini mempunyai struktur yang sama, akan tetapi berbeda dalam spektrum penyerapan cahayanya. Disamping kedua pigmen tersebut, dalam tumbuhan masih ada satu pigmen lain yaitu pigmen karotenoid yang mempunyai kisaran warna merah sampai kuning. Pigmen ini merupakan pigmen dominan pada buah dan bunga. Pada daun juga terdapat pigmen ini, hanya karena tertutup oleh klorofil, maka daun tampak hijau. Pigmen ini akan tampak pada daun bila musim gugur tiba, maka jumlah klorofil berkurang dan daun tampak berwarna kuning dan merah.

Apabila pigmen-pigmen tersebut mengabsorpsi sinar, maka tingkat energi elektron akan lebih tinggi, hal ini memberikan tiga konsekuensi yaitu:

1. Energi akan diubah menjadi panas.
2. Akan dipancarkan sebagai energi sinar, disebut dengan fluoresen.
3. Akan digunakan untuk reaksi kimia, seperti yang terjadi pada fotosintesis.<sup>11</sup>

### **Fotosistem**

Fotosistem tersusun atas suatu kompleks protein yang disebut kompleks pusat reaksi yang dikelilingi oleh beberapa kompleks permenan cahaya. Kompleks pusat reaksi mencakup pasangan khusus molekul klorofil yang setiap kompleks permenan cahaya terdiri dari berbagai molekul pigmen yang terikat ke protein. Jumlah dan variasi molekul pigmen memungkinkan fotosistem memanen cahaya pada permukaan yang lebih luas dan bagian spektrum yang lebih besar daripada yang bisa dilakukan oleh satu molekul pigmen tunggal. Kompleks pemanen cahaya ini bertindak sebagai antena bagi kompleks pusat reaksi. Kompleks pusat reaksi mengandung suatu molekul yang mampu menerima elektron dan menjadi tereduksi.

---

<sup>10</sup> Indayana Febriani Tanjung dan Enni Halimatussa'diyah, *Diktat Biologi Umum* (2017) h. 86

<sup>11</sup> Turrini Yudiarti, dkk, *Bahan Ajar Biologi* (Semarang: Universitas Diponegoro, 2004) h. 11-12

Fotosistem mengubah energi cahaya menjadi energi kimia, yang pada akhirnya akan digunakan untuk sintesis gula.

Fotosistem adalah susunan klorofil dan beberapa pigmen lainnya yang dikemas dalam tilakoid. Fotosistem I menggunakan klorofil a dalam bentuk yang dikenal sebagai P700, karena paling efektif menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang 700 nm. Sedangkan fotosistem II menggunakan klorofil a dalam bentuk P680, karena pigmen ini paling bagus menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang 680 nm. Fungsi kedua bentuk aktif klorofil a tersebut dalam fotosintesis disebabkan oleh ikatannya dengan protein dalam membran tilakoid.<sup>12</sup>

### **Aliran Energi dalam Fotosintesis**

Reaksi yang digerakkan oleh cahaya yang mengikat ke molekul fosfat disebut fotofosforilasi. Dua jalur yang bergantung pada cahaya di sebut juga dengan fotofosforilasi siklik dan non siklik. Jalur siklik yang lebih sederhana terlibat lebih dulu dan masih berjalan pada sebagian besar organisme fotosintetik. Fotofosforilasi siklik menghasilkan ATP, siklus tersebut membentuk NADPH dan tidak melepas O<sub>2</sub>. Elektron yang hilang dari fotosistem I di daur ulang kembali ke dalamnya.

Fotofosforilasi adalah proses terjadinya konversi energi yang berasal dari energi yang berbentuk lompatan elektron cahaya (*light-excited electron*) ke dalam bentuk ikatan pyrophosphate (ikatan molekul ADP). Hal ini terjadi pada P680 yaitu tempat dimana terjadi lemparan elektron-elektron dari molekul-molekul air yang dipecah oleh energi cahaya. Air dipecahkan ke dalam bentuk ion H<sup>+</sup> dan O<sup>-2</sup>. Ion-ion O<sub>2</sub> ini yang bergabung untuk membentuk O<sub>2</sub> diatomik yang kemudian dilepaskan dan dibawa oleh P680. Transfer energi tersebut sama dengan transport elektron *chemiosmotic* yang terjadi di mitokondria.

---

<sup>12</sup> Budi Utomo. *Karya Ilmiah: Fotosintesis pada Tumbuhan* (Medan: Fakultas Pertanian USU, 2007) h. 7

## **BAB II**

### **TUMBUHAN DAN AIR**

#### **2.1. FUNGSI AIR BAGI TUMBUHAN**

Ada Beberapa Fungsi Air Dalam Kehidupan (Tumbuhan) yaitu sebagai berikut:

- Berperan dalam reaksi biokimia di dalam protoplasma, yang kerjanya dikontrol oleh enzim. Komponen-komponen reaktif dalam rangkaian reaksi metabolisme terlarut dalam air, sehingga memberi fasilitas bagi reaksi-reaksi biokimia.
- Untuk pembentukan koloid protoplasma. Protoplasma yang terdiri dari yaitu: protein, asam nukleat. Enzim mengatalisis proses pembentukan protein dan dibantu dengan keberadaan air. Dalam pembentukan koloid pati dan paktin juga demikian, pati dan paktin berasosiasi dengan air membentuk koloid.
- Untuk sistem hidrolik. Air memberikan tekanan hidrolik pada sel dan menimbulkan turgor pada sel-sel tumbuhan sehingga dapat memberi tumpangan pada jaringan yang tidak mempunyai sokongan/tumpangan. Contohnya: tumbuhan yang hidup didaerah basah (teratai), jika sel-selnya kekurangan air maka akan kelihatan layu terutama daun akan layu jika kekurangan air.
- Sebagai sistem transport. Air sebagai alat transport untuk mengangkut bahan-bahan dari satu sel ke sel lain, dari jaringan ke jaringan lain dari tanah ke daun dan seluruh tubuh tumbuhan
- Sebagai stabilisator dan pemindah panas. Sebagai pengatur suhu tubuh tumbuhan, air mempunyai panas jenis yang tinggi. Pada proses ini air berfungsi sebagai dapur (buffer), sebagai penyerap sejumlah panas sehingga kenaikan dan penurunan suhu tidak terlalu besar.
- Merupakan 90-95% penyusunan tubuh tanaman
- Sumber H dalam fotosintesis
- Penghasil O<sub>2</sub> dalam fotosintesis
- Pengatur pemanjangan sel dan pertumbuhan.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup>Fauziyah Harahap, *Fisiologi Tumbuhan* (Medan: UNIMED Press, 2012) Hal: 14-15

## 2.2. SIFAT AIR YANG PENTING BAGI KEHIDUPAN

Tumbuhan dapat memanfaatkan air disebabkan oleh adanya sifat-sifat air yang mendukung untuk kehidupannya<sup>14</sup>. Diantara sifat-sifat air tersebut adalah:

### a. Gaya Kohesi

Gaya kohesi yang dimiliki oleh air berguna untuk penyerapan air secara vertikal dalam tumbuhan dapat dijelaskan dengan tiga elemen atau konsep kohesi yaitu adanya perbedaan potensi air antara tanah dan atmosfer sebagai tenaga pendorong, adanya tenaga hidrasi dinding pembuluh xilem yang mampu mempertahankan molekul air terhadap gravitasi dan adanya gaya kohesi antara molekul air yang menjaga keutuhan kolom air dalam pembuluh xilem.

### b. Gaya Adhesi

Gaya adhesi terjadi antara air dengan dinding xilem pada tumbuhan. Akibat dari adanya gaya ini terbentuknya kapilaritas. Kapilaritas menyebabkan naiknya cairan kedalam tabung yang sempit, yang terjadi karena zat cair tersebut membasahi dinding tabung (dengan adanya adhesi) dan tertarik ke atas. Pembuluh xilem dapat dipandang sebagai pembuluh kapiler sehingga air naik didalamnya sebagai akibat dari adhesi antar dinding xilem dan molekul air.

### c. Sifat Polaritas Air

Sifat polaritas air memungkinkan air untuk mengubah bentuknya menjadi tetesan setelah melewati xilem pada tumbuhan.

### d. Menguap Pada Panas Yang Tinggi

Sifat air yang menguap pada suhu yang tinggi menyebabkan tumbuhan melakukan transpirasi yang berfungsi untuk mengatur suhu pada tumbuhan.

### e. Air Sebagai Pelarut

Dalam Filter and Hay (1991) disebutkan, air adalah pelarut yang sangat baik untuk tiga kelompok bahan (solute) biologis yang penting yaitu: bahan organik, ion-ion bermuatan ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ) dan molekul kecil. Bahan organik dan air dapat membentuk ikatan ion hidrogen termasuk asam amino, karbohidrat serta protein yang berat molekulnya rendah, mengandung hidroksi, amine atau gugus fungsional asam karboksilat. Air juga membentuk disperse koloida dengan karbohidrat dan protein dengan berat molekul tinggi.

## 2.3. PROSES DIFUSI DAN OSMOSIS PADA TUMBUHAN

---

<sup>14</sup> Mudakir, Imam. 2004. *Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Gramedia

## 1. Proses Difusi

Proses difusi merupakan perpindahan molekul larutan berkonsentrasi tinggi menuju larutan berkonsentrasi rendah tanpa melalui selaput membran. Contoh sederhana adalah pemberian gula pada cairan teh tawar. Lama kelamaan cairan akan terasa manis. Contoh lain adalah uap air dari cerek yang berdifusi dalam udara, dimana pada masing-masing zat, kecepatan difusi berbeda-beda. Difusi merupakan salah satu prinsip yang menggerakkan partikel zat seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  masuk ke dalam jaringan. Gerak partikel zat ini dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, meliputi:

### a. Beda suhu

Setiap zat cenderung dalam keadaan bergerak. Tenaga gerak semakin besar pada suhu yang semakin tinggi, sehingga gerak zat akan semakin cepat. Coba perhatikan saat kita memanaskan air. Molekul air akan bergerak semakin cepat bila akan semakin panas. Adanya gerakan zat ini dapat menjadi salah satu pendorong masuknya zat ke dalam akar.

### b. Beda konsentrasi.

Dengan kata lain, perbedaan konsentrasi zat membangkitkan tenaga gerak suatu zat.

### c. Beda tekanan.

Pergerakan zat juga terjadi karena adanya beda tekanan antara dua daerah. Misalnya, antara daerah di sekitar akar (rizhosfir) dengan keadaan di dalam sel / jaringan.

### d. Zat-zat adsorptif (permukaannya mudah mengikat zat)

Adanya daya ikat permukaan partikel zat menyebabkan gerak zat dihambat. Suatu zat juga akan bergerak menyebar karena adanya perbedaan (gradien) tekanan atau suhu. Angin merupakan udara yang bergerak. Udara bergerak dari daerah bertekanan kuat ke daerah bertekanan lemah, dari daerah dingin ke daerah yang lebih panas. Suatu zat juga akan bergerak menyebar dari daerah berkonsentrasi lebih besar (lebih pekat) ke daerah yang konsentrasinya lebih rendah. Jadi, pada dasarnya setiap zat akan bergerak bila terjadi perbedaan suhu, tekanan atau konsentrasi.



### **Cara penyerapan zat:**

1. *Difusi sederhana*, terjadi pada penyerapan gas-gas dan air
2. *Difusi terfasilitasi*, terjadi pada penyerapan molekul-molekul besar seperti glukosa, sukrosa. Salah satu proses difusi yang dikenal yaitu difusi terbantu, dimana proses difusi terbantu difasilitasi oleh suatu protein. Difusi terbantu sangat tergantung pada suatu mekanisme transport dari membran sel. Difusi terbantu dapat ditemukan pada kehidupan sehari-hari, misalnya pada bakteri *Escheria coli* yang diletakkan pada media laktosa. Membran bakteri tersebut bersifat impermeabel sehingga tidak dapat dilalui oleh laktosa. Setelah beberapa menit kemudian bakteri akan membentuk enzim dari dalam sel yang disebut permease, yang merupakan suatu protein sel. Enzim permease inilah yang akan membuatkan jalan bagi laktosa sehingga laktosa ini dapat masuk melalui membran sel.
3. *Transpor aktif*, pada penyerapan bermacam-macam ion. Walaupun ion berukuran kecil, tetapi paling sulit melewati membran Permeabilitasnya membran terhadap ion-ion adalah laing rendah. rendah). Karena itu untuk menyerapnya dibutuhkan tenaga (aktif).<sup>15</sup>

### **2. Proses Osmosis**

Osmosis adalah proses perpindahan air dari zat yang berkonsentrasi rendah (hipotonis) ke larutan yang berkonsentrasi tinggi (hipertonis), proses ini biasa melalui membran selektif permeabel dari bagian yang lebih encer ke bagian yang lebih pekat.

Osmosis adalah difusi air melalui membran semi-permeabel, dari larutan yang banyak air ke larutan yang sedikit air. Definisi paling sederhananya adalah difusi air melalui membran semipermeabel (permeabel hanya kepada pelarut, tidak kepada terlarut). Osmosis melepaskan energi, dan bias melakukan kerja, sebagaimana akar pohon yang bisa membelah batu. Pelarut (dalam banyak kasus adalah air) bergerak dari larutan berkonsentrasi lebih rendah (hipotonik) ke larutan berkonsentrasi lebih tinggi (hipertonik) yang bertujuan menyamakan konsentrasi kedua larutan. Efek ini dapat dilihat dari bertambahnya tekanan pada larutan hipertonik relatif terhadap larutan hipotonik. Sehingga tekanan osmotik didefinisikan sebagai tekanan yang diperlukan untuk menjaga kesetimbangan, dengan tidak adanya aliran pelarut. Tekanan

---

<sup>15</sup>Mudakir, Imam, Fisiologi Tumbuhan, (Jakarta : Gramedia, 2004) h. 57-65

osmotik merupakan properti koligatif, yaitu properti yang gayut terhadap konsentrasi molar zat terlarut dan bukan terhadap jenis zatnya.<sup>16</sup>

Osmosis merupakan fenomena yang penting di dalam sistem biologis karena kebanyakan membran biologis bersifat semipermeabel. Secara umum, membran-membran tersebut tidak permeable terhadap bahan organik dengan molekul besar, seperti polisakarida, akan tetapi permeabel terhadap air dan zat-zat kecil dan tidak bermuatan. Permeabilitas juga gayut terhadap properti kelarutan, muatan atau sifat kimiawi serta ukuran zat terlarut. Molekul air, misalnya, dapat bergerak melewati dinding sel, tonoplast (vakuola) atau protoplast dengan dua cara, yaitu dengan berdifusi melalui lapisan ganda fosfolipida secara langsung, atau melalui aquaporin (protein transmembran kecil yang memfasilitasi difusi dan membentuk kanal ion). Osmosis memberikan cara yang mudah bagi transpor air keluar atau masuk sel. Tekanan turgor sel dijaga dengan osmosis pada membran sel, antara bagian dalam sel dan lingkungannya yang relative lebih hipotonik.<sup>17</sup>

Membran semipermeabel harus dapat ditembus oleh pelarut, tapi tidak oleh zat terlarut, yang mengakibatkan gradien tekanan sepanjang membran. Osmosis merupakan suatu fenomena alami, tapi dapat dihambat secara buatan dengan meningkatkan tekanan pada bagian dengan konsentrasi yang lebih encer. Gaya per unit luas yang dibutuhkan untuk mencegah mengalirnya pelarut melalui membran selektif permeabel dan masuk ke larutan dengan konsentrasi yang lebih pekat sebanding dengan tekanan turgor. Tekanan osmotik merupakan sifat koligatif, yang berarti bahwa sifat ini bergantung pada konsentrasi zat terlarut dan bukan pada sifat zat terlarut itu sendiri. Osmosis juga merupakan suatu topik yang penting dalam biologi karena fenomena ini dapat menjelaskan mengapa air dapat ditransportasi ke dalam dan ke luar sel.

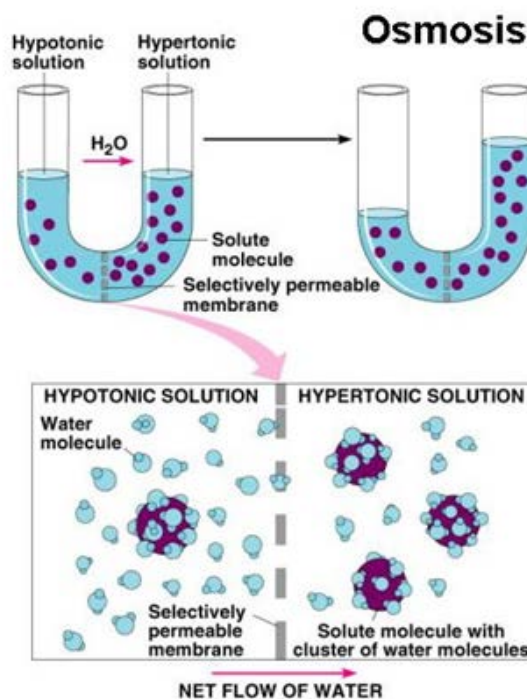
---

<sup>16</sup> B. Lakitan, *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan* (Raja Grafindo Persada: Jakarta, 2008)

<sup>17</sup> *Ibid*,

Osmosis terbalik adalah sebuah istilah teknologi yang berasal dari osmosis. Osmosis merupakan sebuah fenomena alam dalam sel hidup di mana molekul “*solvent*” (biasanya air) akan mengalir dari daerah “*solute*” rendah ke daerah “*solute*” tinggi melalui sebuah membran semipermeabel. Membran semipermeabel ini menunjuk ke membran sel atau membran apapun yang memiliki struktur yang mirip atau bagian dari membran sel. Gerakan dari “*solvent*” berlanjut sampai sebuah konsentrasi yang seimbang tercapai di kedua sisi membran. Reverse osmosis adalah sebuah proses pemaksaan sebuah *solvent* dari sebuah daerah konsentrasi “*solute*” tinggi melalui sebuah membran ke sebuah daerah “*solute*” rendah dengan menggunakan sebuah tekanan melebihi tekanan osmotik.

**Gambar:** proses terjadinya osmosis



Pelarut atau *solvent* (dalam banyak kasus adalah air) bergerak dari larutan berkonsentrasi lebih rendah (hipotonik) ke larutan berkonsentrasi lebih tinggi (hipertonik) yang bertujuan menyamakan konsentrasi kedua larutan. Efek ini dapat dilihat dari bertambahnya tekanan pada larutan hipertonik relatif terhadap larutan hipotonik. Sehingga tekanan osmotik didefinisikan sebagai tekanan yang diperlukan untuk menjaga kesetimbangan, dengan tidak adanya aliran

pelarut. Tekanan osmotik merupakan properti koligatif, yaitu properti yang gayut terhadap konsentrasi molar zat terlarut (*solute*) dan bukan terhadap jenis zatnya.<sup>18</sup>

### **Faktor penyerapan secara Osmosis**

Terdapat 2 faktor penting sesuai dengan hukum Fick pertama yang menentukan laju osmosis ke dalam jaringan (melewati membran), yaitu:

1. Faktor perbedaan (gradien) potensial air antara cairan sel penyerapan dengan larutan tanah di luarnya.
2. Permeabilitas membran terhadap zat-zat

## **2.4. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI DIFUSI DAN OSMOSIS**

Istilah Difusi sering kali digunakan untuk menggambarkan proses perpindahan satu zat ataupun partikel dari satu bagian wilayah ke bagian wilayah lainnya. Proses ini biasanya banyak terjadi dalam aktivitas atau pun dunia biologi. Beberapa contoh proses difusi dalam dunia biologi yaitu difusi pupuk ke dalam tanaman, imbibisi, proses penyerapan nutrisi makanan ke dalam tubuh, dan berbagai proses difusi lainnya.

Ada beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan difusi, yaitu:

1. **Ukuran partikel.** Faktor utama yang paling mempengaruhi tingkat kecepatan difusi adalah ukuran partikel. Seperti yang kita ketahui bersama, semakin besar ukuran sebuah partikel, maka sulit pula partikel tersebut untuk dipindahkan. Nah, dalam proses terjadinya difusi, ukuran partikel juga berbanding lurus dengan tingkat kecepatan proses difusi (semakin besar ukuran partikel, maka semakin lama pula waktu yang diperlukan dalam proses terjadinya difusi).
2. **Ketebalan membran.** Faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi yang kedua adalah ketebalan membran sel. Seperti yang telah dijelaskan di atas, difusi merupakan proses perpindahan zat ataupun partikel dari satu bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah. Nah, dalam proses perpindahan ini, zat yang akan berpindah biasanya akan melewati membran tertentu. Sama seperti halnya ukuran partikel, ketebalan membran juga berbanding lurus dengan kecepatan terjadinya difusi (semakin tebal membran, maka semakin banyak pula waktu yang dibutuhkan dalam proses difusi).

---

<sup>18</sup>Dwidjoseputro, D, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*, (Jakarta: Gramedia, 1984), h.66-79

3. **Luas permukaan.** Faktor ketiga yang mempengaruhi kecepatan difusi adalah luas suatu area. Semakin luas ukuran area terjadinya difusi, maka semakin luas pula bagian yang dapat bersinggungan. Dampaknya, proses perpindahan zat pun berlangsung dengan lebih cepat.
4. **Jarak.** Faktor keempat yang mempengaruhi kecepatan difusi adalah jarak antara dua konsentrasi tempat terjadinya difusi. Sama seperti halnya perpindahan normal, semakin jauh jarak konsentrasi yang perlu ditempuh dalam perpindahan partikel, maka semakin lama pula waktu yang dibutuhkan oleh partikel tersebut untuk berpindah dari satu konsentrasi ke konsentrasi lainnya.
5. **Suhu.** Faktor terakhir yang juga tidak kalah berpengaruh terhadap kecepatan proses difusi adalah suhu. Untuk bergerak dengan lebih cepat, partikel biasanya membutuhkan energi yang besar. Dan salah satu sumber energi adalah panas, sehingga dalam kondisi suhu yang tinggi proses difusi dapat berlangsung dengan lebih cepat dari kondisi normalnya.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup>Suryasatria Trihandaru. 2012. *Pemodelan Dan Pengukuran Difusi Larutan Gula Dengan Lintasan Cahaya Laser*.

## **BAB III**

### **PERTUKARAN GAS**

#### **3.1. MEKANISME PERTUKARAN GAS**

##### **1. Pengertian Pertukaran Gas**

Pertukaran gas pada tumbuhan adalah suatu proses pemanfaatan gas yang ada di udara oleh tumbuhan untuk digunakan sebagai zat yang akan membantu metabolisme di dalam tumbuhan. Gas yang ada di udara, terutama CO<sub>2</sub>, akan digunakan oleh tumbuhan untuk merombak bahan – bahan anorganik menjadi bahan organik yang kemudian akan digunakan tumbuhan untuk melangsungkan kehidupannya. Pertukaran gas ini dapat terjadi di seluruh bagian tumbuhan. Pada daun, saluran pertukaran gas ini adalah melalui stomata, sedangkan pada akar dan batang saluran pertukaran gas ini adalah melalui lentisel. Ada beberapa tumbuhan yang memiliki organ tambahan sebagai alat respirasinya. Contohnya adalah akar nafas yang dimiliki oleh pohon beringin. Akar nafas ini keluar melalui cabang – cabang tanaman tersebut dan membantu tanaman dalam hal proses respirasi.

##### **2. Proses pertukaran gas pada tumbuhan**

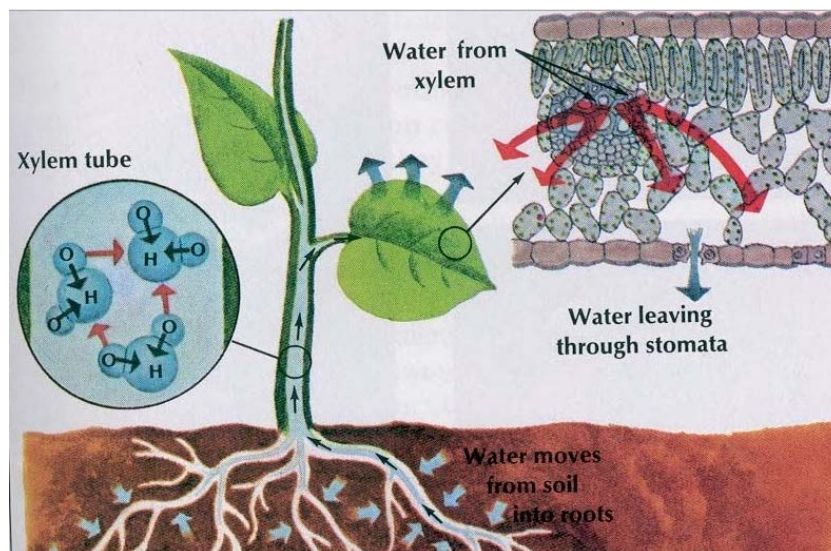
Secara singkat, tahapan respirasi atau pertukaran gas pada tumbuhan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Penangkapan oksigen hasil fotosintesis tumbuhan dari udara.
- b. Proses transport gas-gas dalam tumbuhan secara keseluruhan yang berlangsung secara difusi.
- c. Oksigen masuk ke dalam setiap sel tumbuhan secara difusi melalui rongga antarsel, sitoplasma, dan membran sel.
- d. Oksigen ini kemudian digunakan dalam proses pernapasan dengan melewati beberapa siklus, antara lain glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs, dan transport elektron.
- e. CO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan berdifusi ke luar sel dan masuk ke dalam ruang antarsel untuk mengikuti proses fotosintesis tumbuhan.

Pada tumbuhan tingkat tinggi, alat pertukaran gas terdapat pada akar, batang, dan daun. Pertukaran gas terjadi melalui stomata atau mulut daun. Stomata merupakan celah-celah yang sangat kecil pada permukaan daun. Membuka dan menutupnya stomata dipengaruhi oleh kadar air dari sel-sel yang terdekat dengan stomata atau biasa disebut dengan sel

penjaga. Jika sel penjaga menerima banyak air, sel tersebut akan mengembang dan stomata membuka. Sebaliknya, jika sel penjaga kekurangan air, sel tersebut akan mengkerut dan stomata menutup.

Alat pertukaran gas pada tumbuhan yang terdapat pada batang adalah *lentisel*. *Lentisel* adalah celah-celah pada jaringan gabus yang terdapat pada kulit batang tumbuhan yang sudah tua. Pada batang yang masih muda, susunannya masih renggang sehingga digunakan untuk menyimpan udara. Pada batang yang sudah tua, hanya terjadi melalui lentisel pada batang. Sedangkan pada akar, bagian yang berfungsi sebagai alat pertukaran gas adalah lapisan epidermis yang masih muda, yaitu bagian ujung akar yang masih terdapat bulu-bulu akar.



Beberapa jenis tumbuhan memiliki alat bantu pertukaran gas yang menjadi tempat masuk dan keluarnya gas. Contohnya adalah :

1. Tumbuhan bakau yang hidup didaerah rawa atau berlumpur memiliki akar yang mencuat kepermukaan. Akar ini berfungsi untuk mengambil oksigen dan mencengkram tanah yang berlumpur agar batang tetap kokoh.
2. Tumbuhan anggrek memiliki akar nafas yang berfungsi mengambil oksigen dari udara.
3. Pohon beringin juga meimiliki akar gantung yang tumbuh dibagian batang atau cabang. Fungsi akar ini untuk mengambil oksigen dari udara.setelah akar ini mencapai tanah , akar berfungsi untuk meyerap air dan mineral dalam tanah

Pada tumbuhan tingkat rendah proses pertukaran gasnya dapat terjadi dengan membutuhkan oksigen dari luar. Pertukaran gas yang membutuhkan udara dari luar di sebut

pernafasan '*aerob*. Pertukaran gas yang tanpa membutuhkan oksigen dari luar disebut pernafasan *anaerob*. Tumbuhan bersel satu yang proses pertukaran gasnya memerlukan udara dari luar, contohnya: bakteri *Nitrosococcus*. Untuk memenuhi kebutuhan oksigennya bakteri tersebut membutuhkan proses nitrifikasi, yaitu mengoksidasi amonia menjadi nitrat.

Pada monera pertukaran gas aerob terjadi melalui selaput sel secara difusi. Proses difusi dapat berlangsung dengan cara oksigen didalam sel digunakan untuk oksidasi yang menghasilkan energi dan melepaskan CO<sub>2</sub>. Dengan demikian, kadar oksigen dalam semakin berkurang dan kadar CO<sub>2</sub> semakin bertambah. Oleh karena kadar oksigen dan karbon dioksida diluar sel (lingkungan) tetap terjadilah perbedaan antara kadar oksigen dengan karbon dioksida diluar sel dengan didalam sel. Sedangkan karbon dioksida berdifusi keluar sel.<sup>20</sup>

### **3.2. MEKANISME TRANSPIRASI**

#### **1. Pengertian Transpirasi**

Transpirasi dapat diartikan sebagai proses kehilangan air dalam bentuk uap dari jaringan tumbuhan melalui stomata. Kemungkinan kehilangan air dari jaringan tanaman melalui bagian tanaman yang lain dapat saja terjadi, tetapi porsi kehilangan tersebut sangat kecil dibanding dengan yang hilang melalui stomata. Oleh sebab itu, dalam perhitungan besarnya jumlah air yang hilang dari jaringan tanaman umumnya difokuskan pada air yang hilang melalui stomata. Transpirasi merupakan bagian dari siklus air, dan itu adalah hilangnya uap air dari bagian tanaman (mirip dengan berkeringat), terutama pada daun tetapi juga di batang, bunga dan akar. Permukaan daun yang dihiasi dengan bukaan yang secara kolektif disebut stomata, dan dalam kebanyakan tanaman mereka lebih banyak pada sisi bawah dedaunan.

Proses transpirasi akan menyebabkan potensial air lebih rendah dibandingkan batang ataupun akar. Akibatnya, daun seolah-olah menghisap air dari akar. Untuk menguapkan air, tumbuhan butuh energi baru atau berubah energy menjadi panas. Dengan demikian, transpirasi menimbulkan pengaruh pendinginan pada daun. Kebutuhan panas untuk menguapkan air berasal dari sinar matahari yang disalurkan melalui cahaya langsung, radiasi dan konveksi. Air merupakan bagian terbesar dari jaringan tumbuhan, semua proses tumbuh dan berkembang terjadi karena adanya air. Ada tiga jenis transpirasi, yaitu :

#### **a. Transpirasi Kutikula.**

---

<sup>20</sup>Dwijoseputro, D. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. (Jakarta : Gramedia. 1983)



Adalah evaporasi air yang terjadi secara langsung melalui kutikula epidermis. Kutikula daun secara relatif tidak tembus air, dan pada sebagian besar jenis tumbuhan transpirasi kutikula hanya sebesar 10%. Oleh karena itu, sebagian besar air yang hilang terjadi melalui stomata.

b. Transpirasi Stomata

Sel-sel mesofil daun tidak tersusun rapat, tetapi diantara sel-sel tersebut terdapat ruang-ruang udara yang dikelilingi oleh dinding-dinding sel mesofil yang jenuh air. Air menguap dari dinding-dinding basah ini ke ruang-ruang antar sel, dan uap air kemudian berdifusi melalui stomata dari ruang-ruang antar sel ke atmosfer di luar. Sehingga dalam kondisi normal evaporasi membuat ruang-ruang itu selalu jenuh uap air. Asalkan stomata terbuka, difusi uap air ke atmosfer pasti terjadi kecuali bila atmosfer itu sendiri sama-sama lembap.

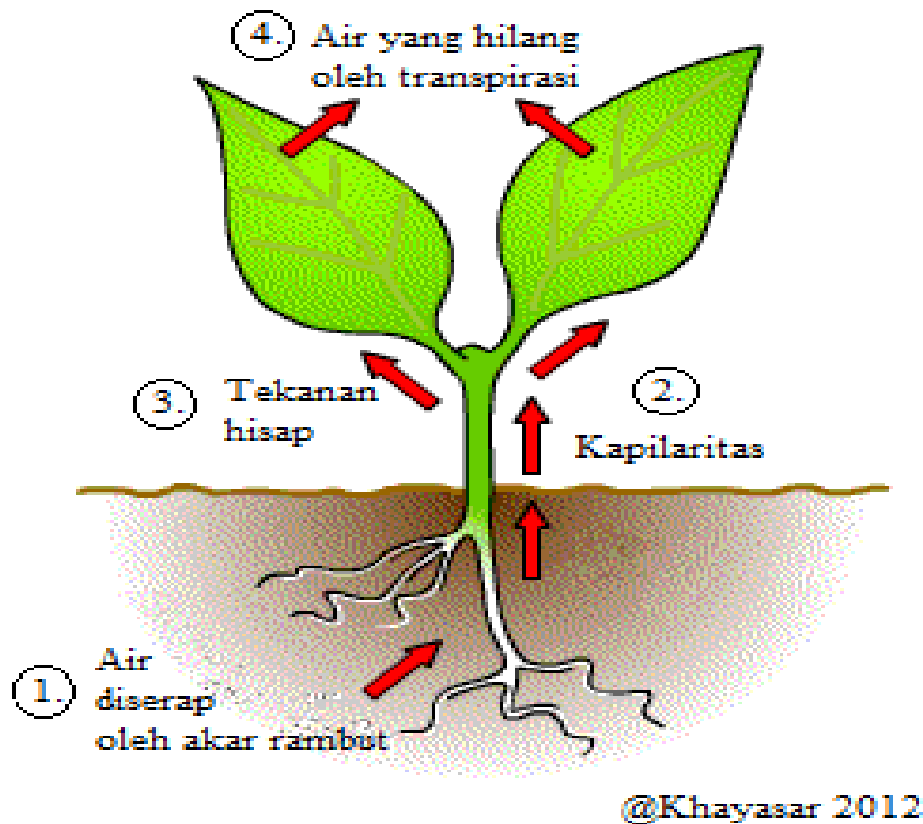
c. Transpirasi Lentisel

Yaitu pada daerah kulit kayu yang berisi sel-sel. Uap air yang hilang melalui jaringan ini adalah 0,1%.

## **2. Proses Transpirasi Pada Tumbuhan**

Transpirasi dimulai dengan penguapan air oleh sel sel mesofil ke rongga antar sel yang ada dalam daun. Dalam hal ini rongga antar sel jaringan bunga karang merupakan rongga yang besar, sehingga dapat menampung uap air dalam jumlah banyak. Penguapan air ke rongga antar sel akan terus berlangsung selama rongga antar sel belum jenuh dengan uap air. Sel-sel yang menguapkan airnya ke rongga antar sel, tentu akan mengalami kekurangan air sehingga potensial airnya menurun. Kekurangan ini akan diisi oleh air yang berasal dari xilem tulang daun, yang selanjutnya tulang daun akan menerima air dari batang dan batang menerima dari akar dan seterusnya. Uap air yang terkumpul dalam rongga antara sel akan tetap berada dalam rongga antar sel tersebut, selama stomata pada epidermis daun tidak membuka. Apabila stomata membuka, maka akan ada penghubung antara rongga antar sel dengan atmosfer kalau tekanan uap air di atmosfer lebih rendah dari rongga antar sel maka uap air dari rongga antar sel akan keluar ke atmosfer dan prosesnya disebut transpirasi. Jadi syarat utama untuk

berlangsungnya transpirasi adalah adanya penguapan air didalam daun dan terbukanya stomata.



### 3. Faktor yang mempengaruhi Transpirasi

Kegiatan transpirasi terpengaruh oleh banyak faktor baik faktor-faktor dalam ataupun faktor-faktor luar, yang terhitung sebagai faktor-faktor dalam adalah:

- Besar kecilnya daun
- Tebal tipisnya daun
- Berlapisan lilin atau tidaknya permukaan daun
- Banyak sedikitnya bulu di permukaan daun
- Banyak sedikitnya stomata
- Bentuk dan lokasi stomata

Adapun faktor dari luar yang mempengaruhi transpirasi adalah

- a. Sinar matahari. Seperti yang telah dibicarakan di depan, maka sinar menyebabkan membukanya stoma dan gelap menyebabkan tertutupnya stoma, jadi banyak sinar berarti juga mempergiat transpirasi. Karena sinar itu juga mengandung panas (terutama sinar infra-merah), maka banyak sinar berarti juga menambah panas, dengan demikian menaikkan temperatur. Kenaikan temperatur sampai pada suatu batas yang tertentu menyebabkan melebarnya stoma dan dengan demikian memperbesar transpirasi
- b. Temperatur, Merupakan faktor lingkungan yang terpenting yang mempengaruhi transpirasi daun yang ada dalam keadaan turgor.
- c. Kelembaban udara, udara yang basah menghambat transpirasi, sedang udara kering melancarkan transpirasi.
- d. Angin, angin cenderung untuk meningkatkan laju transpirasi, baik di dalam naungan atau cahaya, melalui penyapuan uap air. Akan tetapi, di bawah sinar matahari, pengaruh angin terhadap penurunan suhu daun, dengan demikian terhadap penurunan laju transpirasi, cenderung lebih penting daripada pengaruhnya terhadap penyingkiran uap air
- e. Keadaan air dalam tanah, air di dalam tanah ialah satu-satunya sumber yang pokok dari mana akar-akar tanaman mendapatkan air yang dibutuhkannya.

### **3.3. MEKANISME MENUTUP DAN MEMBUKANYA STOMATA**

#### **1. Definisi Stomata**

Stomata merupakan modifikasi dari sel epidermis daun berupa sepasang (dua buah) sel penjaga yang bisa menimbulkan celah (lubang) sehingga uap air dan gas dapat dipertukarkan antara bagian dalam dari stomata dengan lingkungan luarnya. Sel penjaga memiliki bentuk yang berbeda dari sel-sel epidermis lainnya, yaitu bentuknya lebih kecil dan agak memanjang. Umumnya sel penjaga memiliki bentuk seperti halter disertai dengan sepasang sel subsider, bentuk sel penjaga seperti ini terjadi pada rumput-rumputan. Bentuk lainnya adalah seperti sepasang ginjal. Bentuk ini biasanya tidak disertai dengan sel subsider. Kedua jenis sel penjaga tersebut biasanya memiliki penebalan dinding sel yang berbeda antara di bagian ujung dan tengahnya karena adanya benang mikrofibril dari selulosa. Bentuk yang khusus inilah yang mendukung fungsi dari stomata yang bisa membuka dan menutup.

#### **2. Bagian – bagian Stomata**

- a. Bagian Sel Penutup / Sel Penjaga (*Guard Cell*)

Sel penutup terdiri dari sepasang sel yang kelihatannya semetris, umumnya berbentuk ginjal, pada dinding sel atas dan bawah tampak adanya alat yang berbentuk birai (ledges), kadang-kadang birai tersebut hanya terdapat pada dinding sel bagian atas. Adapun fungsi birai pada dinding sel bagian atas itu adalah sebagai pembatas ruang depan (Front Cavity) di atas porusnya sedangkan pembatas ruang belakang (Basic Cavity) antara porus dengan ruang udara yang terdapat dibawahnya.

Keunikan dari sel penjaga adalah serat halus sellulosa (cellulose microfibril) pada dinding selnya tersusun melingkari sel penjaga, pola susunan ini dikenal sebagai miselasi Radial (Radial Micellation). Karena serat sellulosa ini relatif tidak elastis, maka jika sel penjaga menyerap air mengakibatkan sel ini tidak dapat membesar diameternya melainkan memanjang. Akibat melekatnya sel penjaga satu sama lain pada kedua ujungnyamemanjang akibat menyerap air maka keduanya akan melengkung ke arah luar. Kejadian ini yang menyebabkan celah stomata membuka.

Keadaan letak sel penutup yang berbeda dapat menentukan macammacam stomata seperti :

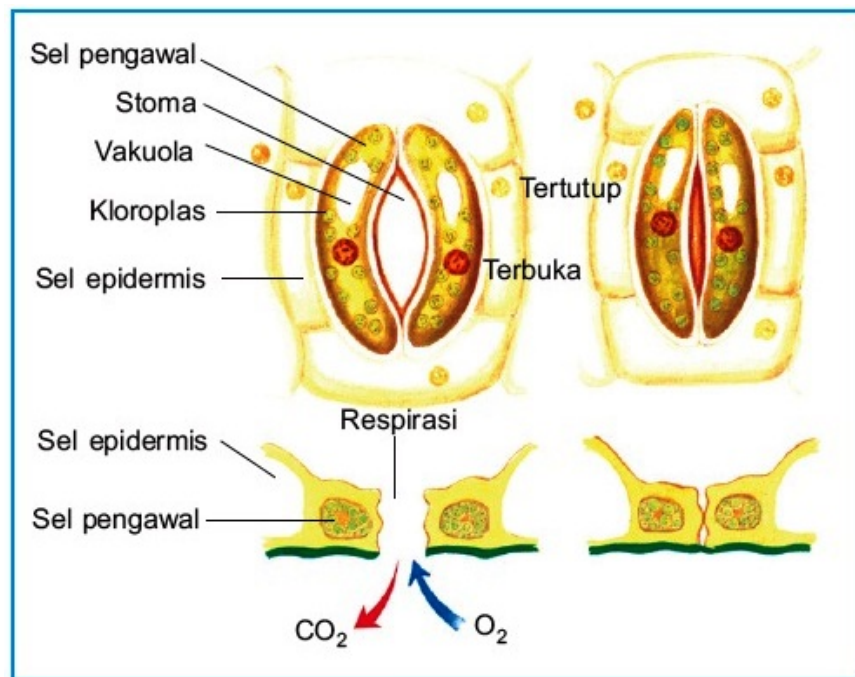
- Stoma phanerophore yaitu stoma yang sel-sel penutupnya terletak pada permukaan daun, seperti pada tumbuh-tumbuhan hidrophyt. Stoma yang letaknya dipermukaan daun ini dapat menimbulkan banyaknya pengeluaran secara mudah dan selain itu epidermisnya tidak mempunyai lapisan kutikula.
- Stoma kriptophore yaitu stoma yang sel penutupnya berada jauh dipermukaan daun, biasanya terdapat pada tumbuhan yang hidup di daerah kering yang dapat langsung menerima radiasi matahari. Dengan demikian fungsinya untuk mengurangi penguapan yang berlebihan, membantu fungsi epidermis, mempunyai lapisan kutikula yang tebal serta rambut-rambut. Biasanya sering terdapat pada tumbuhan golongan kaktus.

#### b. Bagian Sel Tetangga

Sel tetangga pada stomata adalah sel-sel yang mengelilingi sel penutup (guard cell). Sel-sel tetangga ini terdiri dari dua buah sel atau lebih yang secara khusus melangsungkan fungsi secara berasosiasi dengan sel-sel penutup.

#### c. Ruang Udara Dalam

Ruang udara dalam (substomatal chamber) merupakan suatu ruang antar sel (intersellular space) yang besar, yang berfungsi ganda bagi fotosintesis dan transpirasi.<sup>21</sup>



Sumber: *Dunia Tumbuhan, Tira Pustaka*

### 3. Mekanisme Kerja Stomata

Stomata akan membuka jika kedua sel penjaga meningkat. Peningkatan tekanan turgor sel penjaga disebabkan oleh masuknya air ke dalam sel penjaga tersebut. Pergerakan air dari satu sel ke sel lainnya akan selalu dari sel yang mempunyai potensi air lebih tinggi ke sel ke potensi air lebih rendah. Tinggi rendahnya potensi air sel akan tergantung pada jumlah bahan yang terlarut (solute) didalam cairan sel tersebut. Semakin banyak bahan yang terlarut maka potensi osmotik sel akan semakin rendah. Dengan demikian, jika tekanan turgor sel tersebut tetap, maka secara keseluruhan potensi air sel akan menurun. Untuk memacu agar air masuk ke sel penjaga, maka jumlah bahan yang terlarut di dalam sel tersebut harus ditingkatkan.<sup>22</sup>

Aktivitas stomata terjadi karena hubungan air dari sel-sel penutup dan sel-sel pembantu. Bila sel-sel penutup menjadi turgid dinding sel yang tipis menggelembung dan dinding

<sup>21</sup> Kartasaputra, A.G. *Pengantar Anatomi Tumbuh-tumbuhan, tentang Sel dan Jaringan* (Jakarta : Bina Aksara. 1988) Hal : 144 – 149

<sup>22</sup> Lakitan. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. (Jakarta : Raja Grafindo Persada. 1993). Hal : 58 – 60

sel yang tebal yang mengelilingi lobang (tidak dapat mengembang cukup besar) menjadi sangat cekung, karenanya membuka lobang. Oleh karena itu membuka dan menutupnya stomata tergantung pada perubahan-perubahan turgiditas dari sel-sel penutup, yaitu kalau sel-sel penutup turgid lobang membuka dan sel-sel mengendor pori/lobang menutup.<sup>23</sup>

Stomata membuka karena sel penjaga mengambil air dan mengembang dimana sel penjaga yang mengembang akan mendorong dinding bagian dalam stomata hingga merapat. Stomata bekerja dengan caranya sendiri karena sifat khusus yang terletak pada anatomi submikroskopik dinding selnya. Sel penjaga dapat bertambah panjang, terutama dinding luarnya, hingga mengembang ke arah luar. Kemudian, dinding sebelah dalam akan tertarik oleh mikrofibril tersebut yang mengakibatkan stomata membuka. Pada saat stomata membuka akan terjadi akumulasi ion kalium ( $K^+$ ) pada sel penjaga. Ion kalium ini berasal dari sel tetangganya. Cahaya sangat berperan merangsang masuknya ion kalium ke sel penjaga dan jika tumbuhan ditempatkan dalam gelap, maka ion kalium akan kembali keluar sel penjaga. Ketika ion kalium masuk ke dalam sel penjaga, sejumlah yang sama ion hydrogen keluar, dimana ion hydrogen tersebut berasal dari asam-asam organik yang disintesis ke dalam sel penjaga sebagai suatu kemungkinan faktor penyebab terbukanya stomata. Asam organik yang disintesis umumnya adalah asam malat dimana ion-ion hydrogen terkandung didalamnya. Asam malat adalah hasil yang paling umum didapati pada keadaan normal. Karena ion hydrogen diperoleh dari asam organik, pH di sel penjaga akan turun (akan menjadi semakin asam), jika  $H^+$  tidak ditukar dengan  $K^+$  yang masuk.

Stomata tumbuhan pada umumnya membuka pada saat matahari terbit dan menutup saat hari gelap sehingga memungkinkan masuknya  $CO_2$  yang diperlukan untuk fotosintesis pada siang hari. Umumnya, proses pembukaan memerlukan waktu 1 jam dan penutupan berlangsung secara bertahap sepanjang sore. Stomata menutup lebih cepat jika tumbuhan ditempatkan dalam gelap secara tiba-tiba.<sup>24</sup>

Loveless (1991) dalam literturnya menyebutkan terbukanya stomata pada siang hari tidak terhambat jika tumbuhan itu berada dalam udara tanpa karbon dioksida, yaitu keadaan fotosintesis tidak dapat terlaksana. Tidak semua stomata pada spesies sangat peka terhadap kelembaban atmosfer. Stomata menutup bila selisih kandungan uap air di udara dan di ruang

---

<sup>23</sup>Pandey, S. N. dan B. K. Sinha. *Fisiologi Tumbuhan. Terjemahan dari Plant Physiologi 3 Th Edition.* (Yogyakarta : Agustinus ngatijo. 1983). Hal : 92 – 98

<sup>24</sup>Salisbury, F. B. dan Cleon. W. Ross. *Fisiologi Tumbuhan, Jilid 1. Terjemahan dari Plant Physiologi 4 th Edition oleh Diah R. Lukman dan Sumaryono.* (Bandung : ITB. 1995) Hal : 84 - 87

antar sel melebihi titik kritik. Hal itu mungkin disebabkan gradien uap yang tajam mendorong penutupan stomata, respon paling cepat terhadap kelembaban yang rendah terjadi pada saat tingkat cahaya rendah. Suhu tinggi (30 – 35<sup>o</sup>C) biasanya menyebabkan stomata menutup. Mungkin hal ini sebagai respon tak langsung tumbuhan terhadap keadaan rawan air, atau mungkin karena laju respirasi naik sehingga CO<sub>2</sub> dalam daun juga naik.

Penutupan stomata terjadi setelah tumbuhan mengakumulasi ABA (Asam Absisat). Pada daun asam absisat dapat berada pada tiga bagian sel yang berbeda, yaitu : 1. Pada sitosol, dimana ABA disintesis 2. Pada kloroplast, dimana ABA diakumulasikan 3. Pada dinding sel, yang dapat merangsang penutupan stomata. ABA pada dinding sel berasal dari sel-sel mesophyl daun dimana ABA disintesis. Jika asam absisat di aplikasikan pada daun tumbuhan pada konsentrasi yang sangat rendah maka akan menyebabkan stomata menutup.

Bila zat pengatur tumbuh asam absisat diberikan pada konsentrasi rendah, stomata akan menutup. Selanjutnya bila daun mengalami rawan air, ABA di jaringannya akan meningkat. Bila daun mengering secara normal perlahan-lahan ABA meningkat sebelum akhirnya stomata tertutup, diduga penutupan stomata ini karena responnya terhadap rawan air melalui peranan ABA.

Pori stomata berfungsi untuk pertukaran gas antara atmosfer dengan sistem ruang antara sel yang berada pada jaringan mesofil di bawah epidermis yang disebut rongga substomata. Sebagian besar air diserap oleh akar tidak disimpan dalam tumbuhan atau digunakan dalam berbagai proses metabolisme, tetapi hilang ke udara melalui evaporasi. Proses evaporasi pada tumbuhan disebut transpirasi. Walaupun transpirasi terjadi pada setiap bagian tumbuhan (biarpun hanya sedikit), pada umumnya kehilangan air terbesar melalui daun. Dan transpirasi stomata. Transpirasi kutikula hanya 10% dan selebihnya melalui stomata.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup>Loveless, A.R. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk daerah tropik dari Principles of Plant Biology For The Tropics* oleh Kuswara Kartawinata. (Jakarta : Gramedia Pustaka Utama. 1991). Hal : 118 – 160

## BAB IV

### RESPIRASI PADA TUMBUHAN

#### 4.1. RESPIRASI

##### 1. Pengertian Respirasi

Respirasi adalah proses utama dan penting yang terjadi pada hampir semua makhluk hidup, seperti halnya buah. Proses respirasi pada buah sangat bermanfaat untuk melangsungkan proses kehidupannya. Proses respirasi ini tidak hanya terjadi pada waktu buah masih berada di pohon, akan tetapi setelah dipanen buah-buahan juga masih melangsungkan proses respirasi. Pada tumbuhan, respirasi dapat berlangsung melalui permukaan akar, batang, dan daun. Respirasi yang berlangsung melalui permukaan akar dan batang sering disebut respirasi lentisel. Sedang respirasi yang berlangsung melalui permukaan daun disebut respirasi stomata

Menurut Santosa (1990), “Respirasi adalah reaksi oksidasi senyawa organik untuk menghasilkan energi yang digunakan untuk aktivitas sel dan kehidupan tumbuhan dalam bentuk ATP atau senyawa berenergi tinggi lainnya. Selain itu respirasi juga menghasilkan senyawa-senyawa antara yang berguna sebagai bahan sintesis berbagai senyawa lain. Hasil akhir respirasi adalah CO<sub>2</sub> yang berperan pada keseimbangan karbon dunia. Respirasi berlangsung siang-malam karena cahaya bukan merupakan syarat”.

Respirasi merupakan proses katabolisme atau penguraian senyawa organik menjadi senyawa anorganik. Respirasi sebagai proses oksidasi bahan organik yang terjadi didalam sel dan berlangsung secara aerobik maupun anaerobik. Dalam respirasi aerob diperlukan oksigen dan dihasilkan karbondioksida serta energi. Sedangkan dalam respirasi anaerob dimana oksigen tidak atau kurang tersedia dan dihasilkan senyawa selain karbondioksida, seperti alkohol, asetaldehida atau asam asetat dan sedikit energi.<sup>26</sup>

Seperti yang diuraikan diatas, respirasi berlangsung baik ketika ada maupun tidak ada oksigen. Ketika tidak ada oksigen terjadi fermentasi, yang merupakan penguraian gula yang terjadi tanpa oksigen. Akan tetapi, jalur katabolik yang paling dominan dan efisien adalah respirasi aerobik, yang menggunakan oksigen sebagai reaktan bersama dengan bahan-bahan organik (*aerobic* berasal dari kata Yunani *aer*, udara dan *bios*, kehidupan). Beberapa prokariota menggunakan zat selain oksigen sebagai reaktan dalam suatu proses yang serupa yang memanen energi kimia tanpa menggunakan oksigen sama sekali. Proses ini disebut

---

<sup>26</sup> Dwidjoseputro, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*, (Jakarta: PT.Gramedia,1988),hal.112



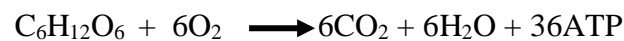
respirasi anaerobik (awalan *an-* berarti 'tanpa'). Secara teknis, istilah respirasi seluler mencakup proses aerobik dan anaerobik. Akan tetapi, istilah tersebut berasal dari sinonim untuk respirasi aerobik karena adanya hubungan antara proses tersebut dengan respirasi organisme, dimana sebagian besar organisme menggunakan oksigen<sup>27</sup>

## 2. Jenis-jenis Respirasi

Berdasarkan kebutuhannya terhadap oksigen, respirasi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

### a. Respirasi Aerob

Respirasi Aerob adalah respirasi yang memerlukan oksigen, penguraiannya lengkap sampai menghasilkan energi, karbondioksida, dan uap air.<sup>28</sup> Reaksi yang terjadi pada Respirasi Aerob adalah:



### b. Respirasi Anaerob

Respirasi Anaerob adalah respirasi yang tidak memerlukan oksigen tetapi penguraian bahan organiknya tidak lengkap. Respirasi ini jarang terjadi, hanya dalam keadaan khusus. Respirasi anaerob adalah respirasi yang tidak melibatkan oksigen. Respirasi anaerob menggunakan penafasan rantai transport elektron yang tidak membutuhkan oksigen. Agar transport elektron berfungsi, akseptor eksogen elektron akhir harus tersedia supaya memungkinkan elektron untuk melewati system.

Dalam respirasi anaerob menggunakan substansi pengurang oksidasi lain, seperti sulfat, nitrat, belerang atau fumarate. Akseptor elektron memiliki kemampuan mereduksi yang lebih rendah dari pada oksigen, yang berarti lebih sedikit energy yang dihasilkan molekul pengoksidasi. Pada kondisi ini, satu sel akan bisa mengubah asam piruvat menjadi CO<sub>2</sub> dan etil alcohol juga membebaskan energy ATP atau oksidasi asam piruvat dalam sel otot menjadi CO<sub>2</sub> dan asam laktat juga

---

<sup>27</sup> Campbell, *Biologi*, (Jakarta: Penerbit Erlangga,2010),hal.130

<sup>28</sup> Fauziyah Harahap,*Fisiologi Tumbuhan Suatu Pengantar*, (Medan:UNIMED PRES,2012),hal.118

ATP. Bentuk reaksi terakhir dari respirasi anaerob adalah fermentasi yang melibatkan berbagai enzim. Respirasi anaerob menghasilkan 2ATP.<sup>29</sup>

Perbedaan antara respirasi aerob dan respirasi anaerob dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Respirasi Aerob, Umum terjadi pada semua makhluk hidup termasuk tumbuhan, berlangsung seumur hidup, energi yang dihasilkan besar, tidak merugikan tumbuhan, memerlukan oksigen, hasil akhir berupa karbondioksida dan uap air.
2. Respirasi Anaerob : Hanya terjadi dalam keadaan khusus, bersifat sementara (hanya pada fase tertentu saja), energi yang dihasilkan kecil, jika terjadi terus menerus akan menghasilkan senyawa yang bersifat racun bagi tumbuhan, tidak memerlukan oksigen, hasil akhirnya berupa alkohol atau asam laktat dan karbondioksida.<sup>30</sup>

## 4.2. MEKANISME RESPIRASI

### 1. Mekanisme Respirasi Aerob

Reaksi respirasi (disebut juga oksidasi biologis) suatu karbohidrat, misalnya glukosa, berlangsung dalam empat tahapan, yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif piruvat, daur sitrat, dan oksidasi terminal dalam rantai respiratoris.

#### a. Glikolisis

Glikolisis adalah serangkaian reaksi biokimia dimana glukosa dioksidasi menjadi molekul asam piruvat glikolisis adalah salahsatu proses metabolisme yang paling universal yang kita kenal, dan terjadi (dengan berbagai variasi) di banyak jenis sel dalam hampir seluruh bentuk organisme. Proses glikolisis sendiri menghasilkan lebih sedikit energi per molekul glukosa dibandingkan dengan oksidasi aerobik yang sempurna. Energi yang dihasilkan disimpan dalam senyawa organik berupa *adenosine triphosphate* atau yang lebih umum dikenal dengan istilah ATP dan NADH.

Istilah glikolisis yang berarti pemecahan gula, diperkenalkan pada tahun 1909 untuk maksud perombakan gula menjadi etil alkohol (etanol). Tapi sebagian besar sel akan menghasilkan asam piruvat bukan etanol. Jika mendapat aerasi secara

---

<sup>29</sup>Lilisari,Rahmatan, *Pengetahuan Awal Calon Guru Biologi Tentang Konsep Katabolisme Karbohidrat (Respirasi Seluler)*,(Bandung:Universitas Pendidikan Indonesia,2012)

<sup>30</sup> Khairiah Ata, *Respirasi Tumbuhan*, (Medan: UNIMED,2011)

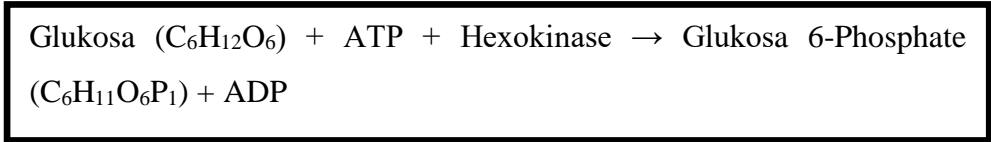
normal. Gula yang lazim dirombak adalah heksosa, sehingga glikolisis berarti perombakan heksosa menjadi asam piruvat.

Glikolisis yang sama juga dengan pembongkaran ini disebut jalur EMP atau jalur pusat. Hal ini terjadi di sitosol atau di matrix plastida (khusus pada tumbuhan).

**Tahap-tahap glikolisis adalah:**

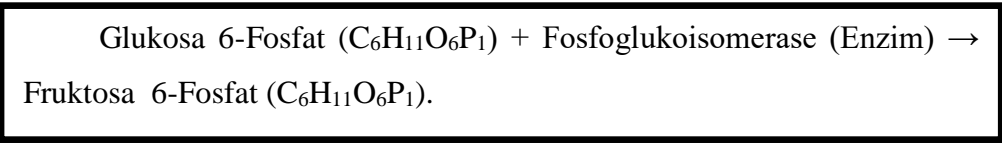
1) Langkah 1 : fosfolisasi glukosa

Langkah pertama adalah fosfolisasi glukosa (penambahan gugus fosfat). Reaksi ini dimungkinkan oleh enzim heksokinase, yang memisahkan satu gugus fosfat dari ATP (Adenosine Triphosphate) dan menambahkannya ke glukosa, mengubahnya menjadi glukosa-6-fosfat. Dalam proses satu molekul ATP, yang merupakan sumber energi tubuh, digunakan dan akan berubah menjadi ADP (adenosin difosfat), karena pemisahan satu gugus fosfat. Seluruh reaksi dapat diringkas sebagai berikut:



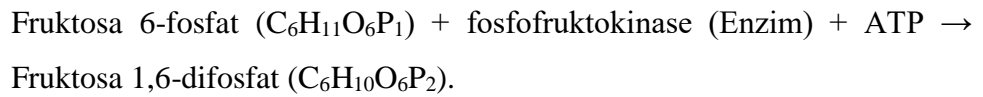
2) Langkah 2: Produksi fruktosa 6-fosfat

Langkah kedua adalah produksi fruktosa 6-fosfat. Hal ini dimungkinkan oleh aksi dari enzim fosfoglukoisomerase. Kerjanya pada produk dari langkah sebelumnya, glukosa 6-fosfat dan mengubahnya menjadi fruktosa 6-fosfat yang merupakan isomernya (isomer adalah molekul yang berbeda dengan rumus molekul yang sama tetapi pengaturan yang berbeda dari atom). Seluruh reaksi di ringkas sebagai berikut:



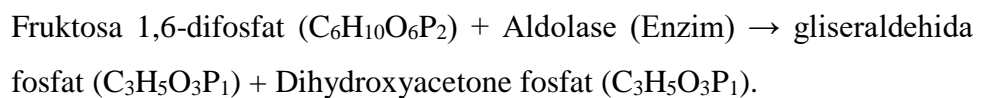
3) Langkah 3: Produksi Fruktosa 1,6-difosfat

Pada langkah berikutnya, isomer fruktosa 6-fosfat diubah menjadi fruktosa 1,6-difosfat dengan penambahan gugus fosfat lain. Konversi ini dimungkinkan oleh enzim fosfofruktokinase yang memanfaatkan satu lagi ATP molekul dalam proses. Reaksi dapat diringkas sebagai berikut:



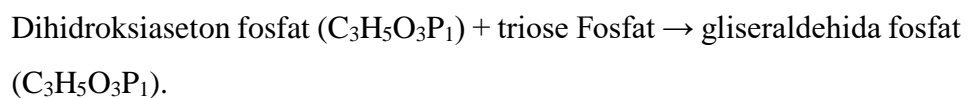
4) Langkah 4: Memisahkan dari Fruktosa 1,6-difosfat

Pada langkah keempat, enzim aldolase melahirkan satu pemisahan fruktosa 1,6-difosfat menjadi dua molekul gula yang berbeda yang keduanya isomer satu sama lain. Kedua gula yang terbentuk adalah gliseraldehid 3-fosfat dan dihidroksi-aseton fosfat. Reaksi berjalan sebagai berikut:



5) Langkah 5: Interkonversi dari Dua Gula

Dihidroksiaseton fosfat adalah molekul berumur pendek. Begitu dibuat, itu akan dikonversi menjadi gliseraldehida fosfat oleh enzim yang disebut fosfat triose. Jadi dalam totalitas, langkah keempat dan kelima dari glikolisis menghasilkan dua molekul gliseraldehida fosfat.



6) Langkah 6: Pembentukan NADH & asam 1,3-Diphosphoglyceric

Langkah keenam melibatkan dua reaksi penting. Pertama adalah pembentukan NADH dari NAD<sup>+</sup> (nikotinamida adenin dinukleotida) dengan menggunakan enzim fosfat dehidrogenase triose dan kedua adalah penciptaan asam 1,3-

diphosphoglyceric dari molekul fosfat dua gliseraldehida dihasilkan pada langkah sebelumnya. Kedua reaksinya adalah sebagai berikut:

Fosfat dehidrogenase triose (enzim) + 2 NAD<sup>+</sup> + 2 H<sup>-</sup> → 2NADH (reduksi nikotinamida adenin dinukleotida) + 2 H<sup>+</sup> Triose fosfat dehidrogenase + 2 gliseraldehida fosfat (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>3</sub>P<sub>1</sub>) + 2P (dari sitoplasma) → 2 molekul asam 1,3-difosfogliserat (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>P<sub>2</sub>).

7) Langkah 7: Produksi ATP & Asam 3-fosfogliserat

Langkah ketujuh melibatkan penciptaan 2 molekul ATP bersama dengan dua molekul asam 3-fosfogliserat dari reaksi phosphoglycerokinase pada dua molekul produk asam 1,3-difosfogliserat, dihasilkan dari langkah sebelumnya.

Dua molekul asam 1,3-difosfogliserat (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>P<sub>2</sub>) + 2ADP phosphoglycerokinase → 2 molekul asam 3-fosfogliserat (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>4</sub>P<sub>1</sub>) + 2ATP (Adenosin trifosfat).

8) Langkah 8: Relokasi Atom Fosfor

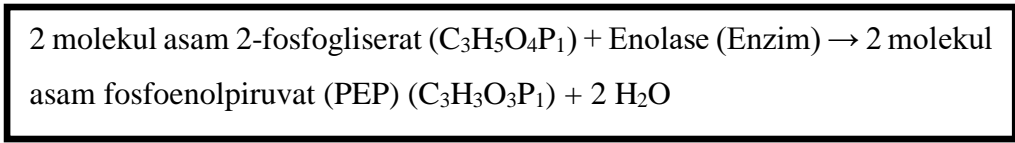
Langkah delapan adalah reaksi penataan ulang sangat halus yang melibatkan relokasi dari atom fosfor dalam asam 3-fosfogliserat dari karbon ketiga dalam rantai untuk karbon kedua dan menciptakan 2-asam fosfogliserat. Seluruh reaksi diringkas sebagai berikut:

2 molekul asam 3-fosfogliserat (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>4</sub>P<sub>1</sub>) + phosphoglyceromutase (enzim) → 2 molekul asam 2-fosfogliserat (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>4</sub>P<sub>1</sub>).

9) Langkah 9: Penghapusan Air

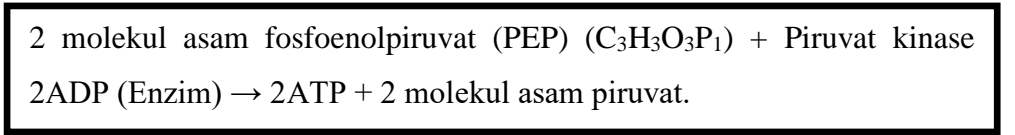
Enzim enolase berperan penting dan menghilangkan sebuah molekul air dari asam 2-fosfogliserat untuk membentuk asam lain yang disebut asam

fosfoenolpiruvat (PEP). Reaksi ini mengubah kedua molekul asam 2-fosfogliserat yang terbentuk pada langkah sebelumnya.

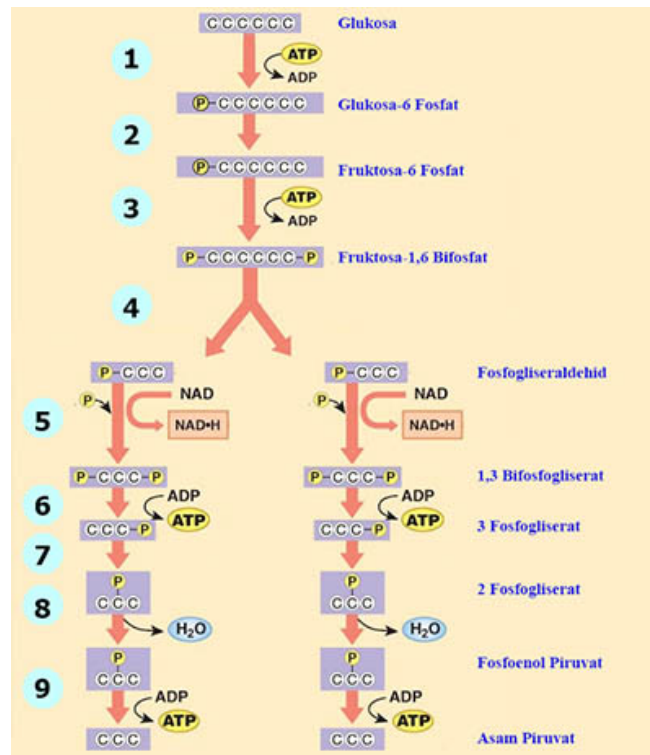


10) Langkah 10: Penciptaan piruvat Asam & ATP

Langkah ini melibatkan pembentukan dua molekul ATP bersama dengan dua molekul asam piruvat dari aksi piruvat kinase enzim pada dua molekul asam fosfoenolpiruvat yang dihasilkan pada langkah sebelumnya. Hal ini dimungkinkan oleh transfer atom fosfor dari asam fosfoenolpiruvat (PEP) menjadi ADP (Adenosin trifosfat).<sup>31</sup>



**Gambar: Skema Glikolisis**

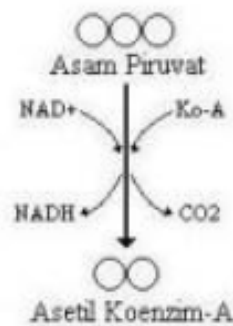


**b. Dekarboksilasi Oksidatif**

<sup>31</sup> Neni hasnunidah, *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*, (Bandar Lampung : Universitas Lampung, 2012), hal.72

Dekarboksilasi oksidatif yaitu tahapan pembentukan CO<sub>2</sub> melalui reaksi oksidasi reduksi dengan O<sub>2</sub> sebagai penerima elektronnya. Proses ini terjadi pada mitokondria sebelum masuk kedalam siklus krebs. Oleh karena itu, tahapan ini disebut sebagai tahapan lanjutan antara glikolisis dengan siklus krebs. Asam piruvat hasil glikolisis dari sitosol diubah menjadi asetil KoA di dalam Mitokondria.

- Pada tahap 1: molekul piruvat melepaskan CO<sub>2</sub> (piruvat pecah menjadi CO<sub>2</sub> dan molekul berkarbon 2)
- Pada tahap 2: NAD<sup>+</sup> direduksi (menerima electron menjadi NADH)
- Pada tahap 3: molekul berkarbon 2 dioksidasi dan mengikat KoA sehingga terbentuk asetil KoA.
- Hasil akhir: Asetil KoA, CO<sub>2</sub> dan 2NADH



**Gambar:** Tahapan Proses Dekarboksilasi Oksidatif

### c. Siklus Krebs

Siklus krebs disebut juga dengan siklus asam sitrat. Tahap awal dari siklus krebs ini adalah 2 molekul asam piruvat yang dibentuk pada glikolisis meninggalkan sitoplasma dan memasuki mitokondria. Siklus krebs terjadi dalam mitokondria yang selama reaksi melepaskan 3 molekul CO<sub>2</sub>, 4NADH, 1FADH<sub>2</sub> dan 1 ATP. Reaksi ini terjadi dua kali karena pada glikolisis, glukosa pecah menjadi 2 molekul asam piruvat. Sehingga siklus krebs menghasilkan 8NADH, 2FADH dan 2ATP. Tahap terjadinya siklus krebs adalah:

- Tahap 1 : asam piruvat hasil glikolisis memasuki mitokondria
- Tahap 2 : asam piruvat melepaskan gugus karboksil dalam bentuk CO<sub>2</sub>, asam piruvat juga memberikan hydrogen dan electron kepada NAD dan

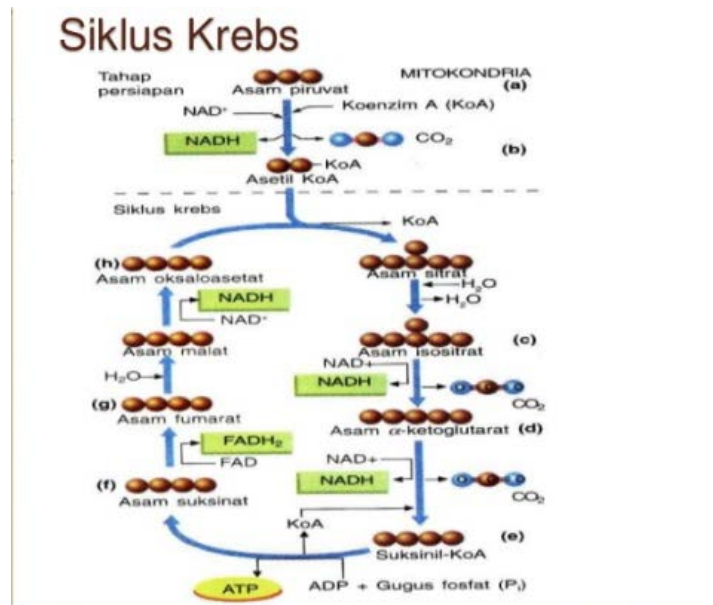
membentuk NADH. Selanjutnya Koenzim bergabung dengan sisa 2 atom karbon dari asam piruvat membentuk asetil-KoA

- Tahap 3 : asetil-KoA mentransfer 2 atom karbonnya ke oksaloasetat membentuk sitrat. Koenzim A dilepaskan dari Asetil KoA. Penambahan dan pelepasan H<sub>2</sub>O mengubah sitrat menjadi asam sitrat.
- Tahap 4 : Asam isositrat melepaskan gugus karboksil dalam bentuk CO<sub>2</sub> dan terbentuk asam aketoglutarat. Hydrogen dan electron ditransfer kepada NAD membentuk NADH
- Tahap 5 : Asam a-ketoglutarat melepaskan gugus karboksil dalam bentuk CO<sub>2</sub> dan NADH terbentuk. Asam a-ketoglutarat berikatan dengan molekul koenzim A membentuk suksinil-KoA
- Tahap 6 : Koenzim A dilepaskan dan digantikan oleh fosfat (berasal dari GTP). Fosfat terikat pada ADP membentuk ATP. Suksil KoA berubah menjadi asam suksinat.
- Tahap 7 : elektron dan hydrogen dari asam suksinat ditransfer ke FAD membentuk FADH<sub>2</sub>. Asam suksinat menjadi asam fumarate.
- Tahap 8 : Asam fumarate menggunakan H<sub>2</sub>O membentuk asam malat. Asam malat mentransfer hydrogen dan electron ke NAD membentuk NADH. Asam malat berubah menjadi asam oksaloasetat yang akan digunakan menjadi asam siklus krebs selanjutnya.<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup>*Ibid*,hal.125-127





**Gambar:** Tahapan Siklus Krebs

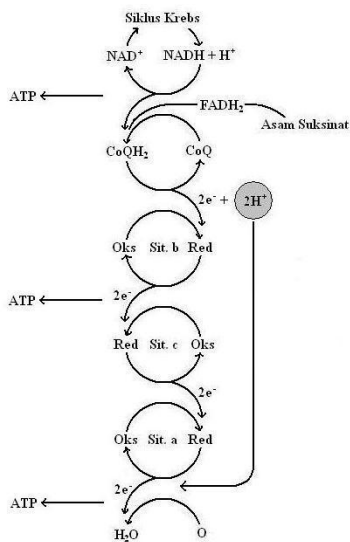
#### d. Transport Elektron

Rantai transport elektron adalah tahapan terakhir dari reaksi respirasi aerob. Transport elektron sering disebut juga sistem rantai respirasi. Transport elektron terjadi pada mitokondria, molekul yang berperan penting dalam reaksi ini adalah NADH dan FADH<sub>2</sub> yang dihasilkan pada reaksi Glikolisis, Dekarboksilasi Oksidatif dan Siklus Krebs. Dari proses Glikolisis diperoleh 2 NADH, dari Dekarboksilasi Oksidatif diperoleh 2 NADH dan dari Siklus Krebs diperoleh 6NADH dan 2FADH<sub>2</sub>. Selain itu, molekul lain yang juga berperan adalah Oksigen, Koenzim Q, Sitokorm b, c dan a.

- Tahap 1 : NADH dan FADH<sub>2</sub> mengalami oksidasi dan elektron yang berasal dari oksidasi ditransfer ke koenzim Q. energi yang dihasilkan ketika NADH dan FADH<sub>2</sub> melepaskan elektronnya cukup besar untuk menyatukan ADP dan Fosfat Anorganik menjadi ATP
- Tahap 2 : Koenzim Q dioksidasi oleh sitokrom b dan melepaskan elektron dan 2 ion H<sup>+</sup>. kemudian, sitokrom b dioksidasi oleh sitokrom c yang menghasilkan cukup energi untuk menyatukan ADP dan Fosfat Anorganik menjadi ATP. Kemudian Sitokrom c mereduksi sitokrom a yang kemudian akan dioksidasi oleh atom Oksigen. Setelah menerima elektron dari sitokrom a, oksigen bergabung dengan Ion H<sup>+</sup> yang dihasilkan dari oksidasi koenzim Q oleh sitokrom b membentuk air. Oksidasi yang terakhir

menghasilkan energi yang cukup besar untuk menyatukan ADP dan gugus fosfat organik menjadi ATP

- Sejak reaksi glikolisis hingga siklus krebs telah dihasilkan sebanyak 10 NADH dan 2 FADH<sub>2</sub>. Jadi, dalam transport elektron diperoleh 34 ATP ditambah dengan 2 ATP Hasil Glikolisis dan 2 ATP Siklus Krebs. Maka, secara keseluruhan reaksi respirasi seluler menghasilkan 38 ATP namun karena pada glikolisis dibutuhkan 2 ATP untuk melakukan transport aktif, maka hasil bersih adalah 36ATP <sup>33</sup>



**Gambar:** Tahapan Transport Elektron

## 2. Mekanisme Respirasi Anaerob

Pada kebanyakan tumbuhan dan hewan respirasi yang berlangsung adalah respirasi aerob, namun demikian dapat saja terjadi respirasi aerob terhambat pada suatu hal, maka hewan dan tumbuhan tersebut akan melangsungkan respirasi anaerob untuk dapat bertahan hidup. Pada umumnya respirasi anaerob pada makhluk hidup hanya terjadi jika persediaan oksigen bebas ada di bawah batas minimum. Respirasi anaerob lazim disebut sebagai fermentasi.

### a. Fermentasi

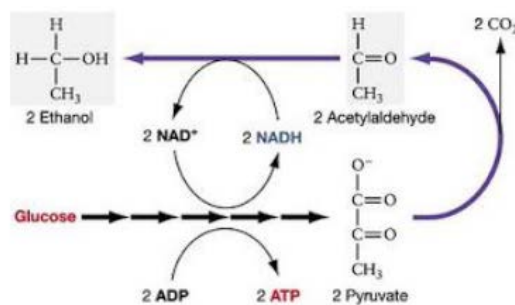
Fermentasi adalah proses produksi energi dalam sel tanpa membutuhkan oksigen. Gula adalah bahan yang umum dalam fermentasi. Beberapa contoh hasil fermentasi adalah etanol, asam laktat, dan hidrogen. Akan tetapi beberapa

<sup>33</sup>Ni Made Suci Sukmawati, *BIOENERGITIKA*, (Bali:Universitas Udayana,2016),hal.20

komponen lainnya dapat juga dihasilkan dari proses fermentasi ini seperti asam butirat dan aseton. Ragi dikenal sebagai bahan yang umum digunakan dalam fermentasi untuk menghasilkan etanol dalam bir, anggur dan minuman beralkohol lainnya.

Pada banyak tumbuhan yang biasa tumbuh di darat, penggenangan dalam air dalam waktu yang lama merupakan ancaman bagi kehidupannya. Hal ini dikarenakan respirasi aerob akan terhenti sama sekali, sehingga terjadilah respirasi anaerob yang terkadang tidak mencukupi energi yang dibutuhkannya, dan akumulasi zat beracun akibat respirasi anaerob dalam waktu yang lama akan mengakibatkan kematian bagi tumbuhan tersebut.

Fermentasi yang umum terjadi pada tumbuhan adalah fermentasi alkohol atau fermentasi etanol. Pada proses fermentasi, satu molekul glukosa diubah menjadi dua molekul etanol dan dua molekul karbondioksida. Seperti pada glikolisis, glukosa diubah menjadi asam piruvat selama proses fermentasi. Kemudian asam piruvat diubah menjadi etanol dan karbondioksida dengan bantuan enzim karboksilase dan alkohol dehidrogenase. Berikut ini adalah gambar proses fermentasi etanol.



Gambar : Proses Fermentasi Etanol

### b. Respirasi Intra-Molekul

Respirasi antar atau intramolekul terjadi sama seperti pada proses fermentasi. Respirasi anaerob pada tumbuhan disebut juga respirasi intramolekul, mengingat, bahwa respirasi ini hanya terjadi di dalam molekul saja. dalam respirasi anaerob, oksigen tidak diperlukan; juga di dalam proses ini hanya ada perubahan zat organik yang satu menjadi zat organik yang lain. Contohnya perubahan gula

menjadi alkohol, di mana pada hakikatnya hanya ada pergeseran tempat-tempat antara molekul glukosa dan molekul alkohol.

Beberapa spesies bakteri dan mikroorganisme dapat melakukan respirasi intramolekuler. Oksigen yang diperlukan tidak diperoleh dari udara bebas, melainkan dari suatu persenyawaan. Contoh :



Respirasi anaerob dapat berlangsung pada biji-bijian seperti jagung, kacang, padi, biji bunga matahari dan lain sebagainya yang tampak kering. Akan tetapi pada buah-buahan yang basah mendaging pun terdapat respirasi anaerob. Hasil dari respirasi anaerob di dalam jaringan-jaringan tumbuhan tinggi tersebut kebanyakan bukanlah alkohol, melainkan bermacam-macam asam organik seperti asam sitrat, asam malat, asam oksalat, asam tartarat dan asam susu.<sup>34</sup>

#### **4.3. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI RESPIRASI**

##### 1) Ketersediaan Substrat

Laju respirasi tergantung pada ketersediaan substrat, maka apabila ketersediaan substrat sedikit maka rendah pula laju respirasinya. Demikian sebaliknya bila substrat yang tersedia cukup banyak maka laju respirasi akan meningkat.

##### 2) Ketersediaan Oksigen

Ketersediaan oksigen akan mempengaruhi laju respirasi, namun besarnya pengaruh tersebut berbeda bagi masing-masing spesies dan bahkan berbeda antara organ pada tumbuhan yang sama. Fluktuasi normal kandungan oksigen di udara tidak banyak mempengaruhi laju respirasi, karena jumlah oksigen yang dibutuhkan tumbuhan untuk berrespirasi jauh lebih rendah dari oksigen yang tersedia di udara.

##### 3) Suhu

Pengaruh faktor suhu bagi laju respirasi tumbuhan sangat terkait dengan faktor Q<sub>10</sub>, dimana C, namun umumnya laju reaksi respirasi akan meningkat untuk setiap kenaikan suhu sebesar 10 hal ini tergantung pada masing-masing spesies.

---

<sup>34</sup> Benyamin Lakitan, *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*, (Jakarta: PT. Raja Grafindo, 2018), hal. 188

4) Tipe dan umur tumbuhan.

Masing-masing spesies tumbuhan memiliki perbedaan metabolisme, dengan demikian kebutuhan tumbuhan untuk berespirasi akan berbeda pada masing-masing spesies. Tumbuhan muda menunjukkan laju respirasi yang lebih tinggi dibanding tumbuhan yang tua. Demikian pula pada organ tumbuhan yang sedang dalam masa pertumbuhan.

5) Kadar CO<sub>2</sub> dalam udara

Kurangnya O<sub>2</sub> atau kelebihan CO<sub>2</sub> tampak pada kegiatan respirasi biji-bijian, akar maupun batang yang terpendam dalam tanah. Jika kadar CO<sub>2</sub> naik sampai 10% dan kadar O<sub>2</sub> turun sampai 0% maka respirasi akan berhenti.

6) Persediaan air

Jika kadar air sedikit maka respirasi kecil. Jika biji (direndam air) maka respirasi menjadi lebih giat. Pada daun yang layu maka respirasi lebih giat ++ gula (timbunan tepung/KH).

7) Cahaya

Cahaya fotosintesis dan substrat respirasi. Cahaya menambah panas, panas menambah kegiatan respirasi.<sup>35</sup>

8) Enzim Dalam Respirasi

Enzim-enzim respirasi dapat kita bagi atas golongan-golongan seperti transpoforilase, desmolase, karboksilase, hidrase, dehidrogenase, oksidase, peroksidase, katalase.

- Transpoforilase: Enzim ini kegiatannya berupa memberi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dari molekul yang satu ke molekul yang lain. Dalam pemberian pospat tersebut beberapa transpoforilase membutuhkan bantuan ion-ion Mg<sup>2+</sup>.
- Desmolase: Enzim ini membantu dalam pemindahan atau penggabungan ikatanikatan karbon seperti aldolase dalam pemecahan fruktosa menjadi gliseraldehida dan dihidroksiaseton
- Karboksilase: Enzim ini dapat membantu perubahan asam organik secara bolak-balik. Perubahan asam piruvat menjadi asetaldehida dengan bantuan karboksilase piruvat. Perubahan asam oksalosuksinat menjadi asam a-ketoglutarat, berlangsung karena bantuan karboksilase dan ion-ion Mn<sup>2+</sup>

---

<sup>35</sup> Salisbury dan Cleon W Ross, *Fisiologi Tumbuhan Jilid 2*, (Bandung: ITB,1995),hal. 106

- Hidrase: Enzim ini berupa penambahan dan pengurangan air dari suatu senyawa tanpa menyebabkan perubahan terurainya senyawa tersebut. Enolase, fumarase, akonitase adalah enzim-enzim yang termasuk dalam golongan hidrase.
- Dehidrogenase: Enzim ini berupa pemindahan hidrogen dari zat yang satu ke zat yang lain. Dehidrogenase dapat menjalankan dua fungsi sekaligus yaitu mengambil hidrogen dari zat yang satu serta menambahkan zat tersebut ke zat yang lain. Zat yang memberikan hidrogen disebut donor sedangkan yang menerima disebut aceptor.
- Oksidase: Enzim oksidase berupa suatu protein yang mengandung besi atau tembaga. Tirosinase dan oksidase asam askorbin mengandung tembaga sebagai koenzim sedangkan oksidase sitokrom dapat berupa besi atau tembaga. Fungsi oksidase adalah mempergiat penggabungan  $O_2$  dengan suatu substrat, sedangkan pada saat itu mereduksi  $O_2$  sehingga terjadi Hp.
- Peroksidase: Enzim ini mempunyai besi sebagai gugus prostetikanya. Fungsi enzim ini adalah membantu mengoksidasikan senyawa-senyawa fenolat. Oksigen yang digunakan diambil dari  $H_2O_2$ .
- Katalase: Enzim ini terdapat pada sel-sel tanaman maupun hewan. Katalase mempunyai gugus prostetik berupa besi. Enzim ini dapat diperoleh dalam bentuk hablur. Fungsi katalase adalah membantu pengubahan hidrogenperoksida menjadi air dan oksigen. Molekul-molekul  $H_2O_2$  selalu terdapat dalam jumlah yang besar dalam berbagai jaringan. Akan tetapi, jika molekul tersebut dalam keadaan banyak dapat menyebabkan keracunan pada jaringan.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> *Ibid*, hal.131

## BAB V

### FOTOSINTESIS

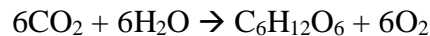
#### 5.1. PENGERTIAN FOTOSINTESIS

Fotosintesis berasal dari kata *fotos* yang artinya cahaya dan *sisntesis* yang artinya penyusunan atau membuat bahan kimia. Jadi, Fotosintesis adalah peristiwa dimana penyusunan zat organik yang terdiri dari gula dan zat anorganik yang terdiri dari air dan karbondioksida dengan bantuan cahaya.<sup>37</sup>

Fotosintesis adalah suatu sifat fisiologi yang hanya dimiliki khusus oleh tumbuhan yang merupakan kemampuannya menggunakan zat karbon dari udara untuk diubah menjadi bahan organik serta diasimilasikan di dalam tubuh tanaman. Peristiwa fotosintesis hanya berlangsung jika adanya cukup cahaya.

Secara keseluruhan, fotosintesis adalah asimilasi zat karbon yang mana zat-zat anorganik H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> oleh klorofil diubah menjadi zat organik karbohidrat dengan pertolongan sinar.

Peristiwa fotosintesis dinyatakan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut:



Peristiwa ini hanya berlangsung jika ada klorofil dan ada cukup cahaya. Diantara sarjana-sarjana yang banyak melakukan eksperimen-eksperimen untuk membuktikan kebenaran peristiwa ini ialah ingenhousz<sup>38</sup>

#### 5.2. MEKANISME FOTOSINTESIS

##### 1. Proses Fotosintesis

Tumbuhan bersifat autotrof. Autotrof artinya dapat mensintesis makanan langsung dari senyawa anorganik. Tumbuhan menggunakan karbon dioksida dan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang diperlukan sebagai makanannya. Energi untuk menjalankan proses ini berasal dari fotosintesis. Berikut ini adalah persamaan reaksi fotosintesis yang menghasilkan glukosa:

Glukosa dapat digunakan untuk membentuk senyawa organik lain seperti selulosa dan dapat pula digunakan sebagai bahan bakar. Proses ini berlangsung melalui respirasi seluler

---

<sup>37</sup> Indayana Febriani Tanjung, *Biologi Umum*, (Medan: FITK UINSU, 2017), hal. 77

<sup>38</sup> Dwidjoseputro, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*, (Jakarta: PT. Gramedia, 1988), hal. 6

yang terjadi baik pada hewan maupun tumbuhan. Secara umum reaksi yang terjadi pada respirasi seluler berkebalikan dengan persamaan di atas. Pada respirasi, gula (glukosa) dan senyawa lain akan bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan karbon dioksida, air, dan energi kimia.

Tumbuhan menangkap cahaya menggunakan pigmen yang disebut klorofil. Pigmen inilah yang memberi warna hijau pada tumbuhan. Klorofil terdapat dalam organel yang disebut kloroplas. klorofil menyerap cahaya yang akan digunakan dalam fotosintesis.

Meskipun seluruh bagian tubuh tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, namun sebagian besar energi dihasilkan di daun. Di dalam daun terdapat lapisan sel yang disebut mesofil yang mengandung setengah juta kloroplas setiap milimeter persegi. Cahaya akan melewati lapisan epidermis tanpa warna dan yang transparan, menuju mesofil, tempat terjadinya sebagian besar proses fotosintesis. Permukaan daun biasanya dilapisi oleh kutikula dari lilin yang bersifat anti air untuk mencegah terjadinya penyerapan sinar Matahari ataupun penguapan air yang berlebihan.

Fotosintesis berlangsung pada jaringan palisade dan jaringan bunga karang, terutama pada jaringan palisade. Fotosintesis merupakan penyusunan/pembuatan makanan yang terjadi di daun, dilakukan oleh klorofil dengan bantuan energi cahaya. Secara alami fotosintesis berlangsung dengan bantuan energi cahaya matahari dan terjadi di siang hari. Fotosintesis bisa juga terjadi pada malam hari dengan bantuan cahaya lampu atau cahaya lainnya. Fotosintesis menggunakan energi cahaya matahari untuk menyusun glukosa. Bahan baku fotosintesis adalah air ( $H_2O$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ). Air berasal dari dalam tanah, sedangkan karbon dioksida berasal dari udara bebas yang merupakan hasil dari proses pernapasan makhluk hidup. Hasil fotosintesis berupa glukosa dan oksigen.

Fotosintesis hanya dapat dilakukan oleh tumbuhan dan beberapa jenis bakteri. Tumbuhan menggunakan pigmen hijau yang disebut klorofil untuk mengubah energi sinar matahari (energi fisik) menjadi energi kimia. Tanaman mengambil dan menggabungkan energi cahaya dengan enam molekul karbon dioksida dan enam molekul air untuk membentuk satu molekul glukosa dan enam molekul oksigen.

Pada proses fotosintesis, energi diperoleh dari cahaya matahari yang diserap oleh klorofil. Energi tersebut digunakan untuk memecah molekul air menjadi oksigen dan hidrogen.



Oksigen dikeluarkan oleh daun, meskipun sebagian digunakan untuk bernapas. Hidrogen bergabung dengan karbon dioksida membentuk glukosa.

## **2. Tempat Terjadinya Fotosintesis**

Tempat terjadinya fotosintesis adalah:

### **a. Daun**

Pada batang tumbuhan tingkat tinggi, biasanya kloroplas terbatas pada sel-sel batang muda, buah-buah belum matang dan daun. Daun inilah yang merupakan pabrik fotosintesis yang sebenarnya pada tumbuhan. Irisan melintang dari daun yang khas menyingkapkan beberapa lapisan-lapisan jaringan yang berbeda-beda. Permukaan atas daun tertutup selapis sel tunggal yang menyusun epidermis atas. Sel-sel ini sedikit atau tidak memiliki kloroplas. Karena itu agak transparan dan membiarkan sebagian cahaya yang mengenainya melewati sel-sel di bawahnya.

Sel-sel tersebut juga mengeluarkan suatu zat yang transparan seperti lilin yang dinamakan kitin. Bahan ini membentuk kutikula, yang berfungsi sebagai penghalang lembab dipermukaan tas daun tersebut, jadi mengurangi hilangnya air dari daun. Dibawah sel-sel epidermis atas tersusun satu atau lebih barisan sel yang membentuk lapisan palisade. Sel-selnya berbentuk tabung dan tersusun sedemikian hingga sumbu panjang tegak lurus pada bidang daunnya. Setiapsel penuh dengan kloroplas, dan sel-sel inilah yang melakukan fotosintesis paling banyak di dalam daun.

Di bawah lapisan palisade terdapat lapisan bunga karang. Sel-selnya tidak beraturan bentuknya dan tersusun tidak rapat. Walau hanya berisi sedikit kloroplas, fungsi utamanya menyimpan sementara molekul-molekul makanan yang dihasilkan sel-sel lapisan palisade. Juga membantu pertukaran gas diantara daun dan sekitarnya. Selama siang hari sel-sel ini mengeluarkan oksigen dan uap air ke ruang udara diambalnya. Ruang-ruang udara ini saling berhubungan dan akhirnya ke bagian luar daun-daun melalui pori-pori khusus yang dinamai stomata.

### **b. Kloroplas**

Kloroplas adalah plastida berwarna hijau, umumnya berbentuk lensa, terdapat di dalam sel tumbuhan lumut, paku-pakuan dan tumbuhan berbiji. Garis tengah dari lensa tersebut 2-6 mm, sedangkan tebalnya 0,5-1,0 mm. jika dilihat dengan mikroskop cahaya dengan perbesaran yang paling kuat, kloroplas sering kelihatan berbentuk butir.

Bagian-bagiannya yang kelihatan berwarna tua disebut grana, sedangkan bagian-bagian yang kelihatan berwarna muda disebut stroma. Sejalan dengan permukaannya yang lebar, di dalam kloroplas terdapat lamella. Secara umum suatu sel mesofil daun mengandung 30-500 butir kloroplas yang berbentuk cakram atau gelendong. Bentuk kloroplas yang beraneka ragam ditemukan pada ganggang (Algae). Kloroplast berbentuk jala ditemukan pada *Cladophora*, yang berbentuk pita spiral ditemukan pada *Spirogyra*, sedangkan yang bentuk bintang ditemukan pada *Zygnema*.<sup>39</sup>

### 3. Reaksi Fotosintesis

Reaksi fotosintesis terbagi menjadi 2 tahapan, yaitu:

#### a) Reaksi Terang

Reaksi terang adalah proses penangkapan energi surya atau proses yang langsung bergantung pada keberadaan cahaya. Reaksi cahaya berlangsung pada bagian grana kloroplas. Sebagian energi matahari yang diserap akan diubah menjadi energi kimia, yaitu berupa zat kimia berenergi tinggi. Selanjutnya, zat itu akan digunakan untuk proses penyusunan zat gula. Sebagian energi matahari juga digunakan untuk fotolisis air ( $H_2O$ ) sehingga dihasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) dan  $O_2$ . Ion hidrogen tersebut akan digabungkan dengan  $CO_2$  membentuk zat gula  $(CH_2O)_n$ , sedangkan  $O_2$  nya akan dikeluarkan.

Reaksi terang terjadi di membran tilakoid dan mengkonversi energi cahaya ke energi kimia. Reaksi kimia ini dapat berlangsung jika terdapat cahaya. Klorofil dan beberapa pigmen lain seperti beta-karoten yang terorganisir dalam kelompok-kelompok di membran tilakoid dan terlibat dalam reaksi terang. Bagian tengah struktur kimia dari molekul klorofil adalah sebuah cincin porfirin, yang terdiri dari beberapa gabungan cincin karbon dan nitrogen dengan ion magnesium di tengah.

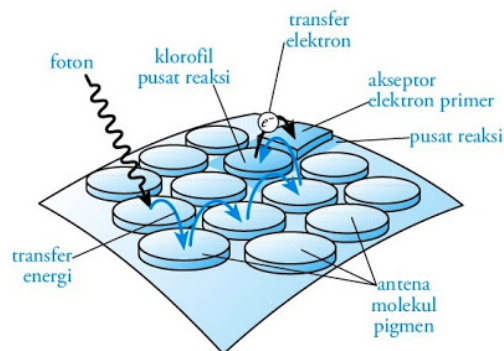
Beberapa ratus klorofil a, klorofil b, dan karotenoid membentuk suatu kumpulan sebagai “pengumpul cahaya” yang disebut kompleks antena. Sebelum sampai ke pusat reaksi, energi dari partikel-partikel cahaya (foton) akan dipindahkan dari satu molekul pigmen ke molekul pigmen yang lain. Pusat reaksi

---

<sup>39</sup> Fauziyah Harahap, *Fisiologi Tumbuhan Suatu Pengantar*, (Medan: UNIMED PRES, 2012), hal. 105

merupakan molekul klorofil pada fotosistem, yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi kimiawi (reaksi cahaya) fotosintesis pertama kalinya.

Di dalam membrane tilakoid terdapat 2 macam fotosistem berdasarkan urutan penemuannya, yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Setiap fotosistem mempunyai klorofil pusat reaksi yang berbeda, tergantung dari kemampuan menyerap panjang gelombang cahaya. Klorofil pusat reaksi pada fotosistem I disebut P700, karena mampu menyerap panjang gelombang cahaya 700 nm (spektrumnya sangat merah), sedangkan pada fotosistem II disebut P680 (spektrum merah).



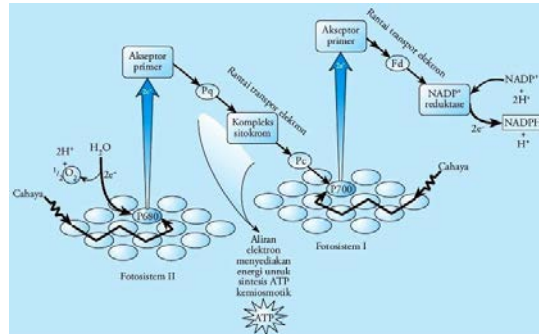
**Gambar:** Kerja Fotosistem

### 1) Aliran Elektron Non-siklik

Langkah awal dari reaksi terang adalah transfer elektron tereksitasi dari klorofil pusat reaksi menuju molekul khusus yang disebut akseptor elektron primer. Air diuraikan menjadi 2 ion hidrogen dan 1 atom oksigen kemudian melepaskan  $O_2$ . Elektron yang berasal dari air menggantikan elektron yang hilang pada P680. Sebagaimana sistem transportasi elektron pada respirasi aerobik, Transport elektron pada reaksi terang ini melalui rantai transport elektron menuju fotosistem I P700. Secara berturut-turut rantai elektron tersebut yaitu: plastokuinon (Pq), merupakan pembawa elektron; kompleks sitokrom; dan plastosianin (Pc), merupakan protein yang mengan dung tembaga. Adanya aliran elektron ini akan menghasilkan energi- energi yang kemudian tersimpan sebagai ATP. Pembentukan ATP yang menggunakan energi cahaya melalui aliran elektron non siklis pada reaksi terang ini disebut fotofosforilasi non siklis.

Setelah elektron mencapai fotosistem I (P700), elektron ditangkap oleh akseptor primer fotosistem I. Elektron melalui rantai transport elektron ke-dua, yaitu melalui

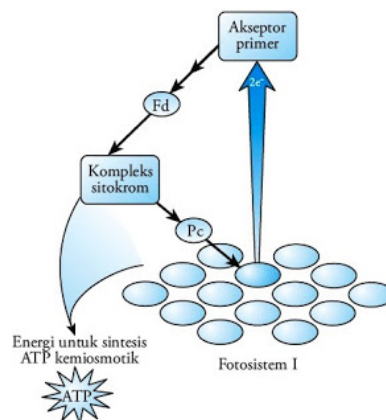
protein yang mengandung besi atau feredoksin (Fd). Selanjutnya, enzim NADP<sup>+</sup> reduktase mentransfer elektron ke NADP<sup>+</sup> sehingga membentuk NADPH yang menyimpan elektron berenergi tinggi dan berfungsi dalam sintesis gula dalam siklus berikutnya yaitu siklus Calvin. Dengan demikian, reaksi terang menghasilkan ATP dan NADPH.



**Gambar:** Aliran elektron nonsiklik reaksi terang

## 2) Aliran Elektron Siklik

Pada aliran elektron siklis ini, elektron dari akseptor primer fotosistem I dikembalikan ke fotosistem I (P700) melalui feredoksin, kompleks sitokrom, dan plastosianin. Oleh karena itu, pada aliran siklis ini menyebabkan produksi ATP bertambah tetapi tidak terbentuk NADPH serta tidak terjadi pelepasan molekul O<sub>2</sub>. Proses pembentukan ATP melalui aliran siklis ini disebut fotofosforilasi siklis.



**Gambar:** Aliran elektron siklik reaksi terang

Reaksi terang terjadi dalam empat proses yang berbeda yang terus berjalan jika kondisi memungkinkan:

- Energi cahaya diserap oleh molekul klorofil dan ditransfer untuk membuat elektron energi tinggi.
- Elektron energi tinggi memasuki rantai transpor elektron di mana energi mereka ditransfer ke akseptor elektron.
- Air teroksidasi untuk menghasilkan ion hidrogen dan gas limbah, oksigen.
- Senyawa energi tinggi, ATP dan NADH, terbentuk.

Mekanisme untuk empat proses melibatkan interaksi antara struktur dan fungsi. Dalam membrane tilakoid adalah kelompok molekul berpigmen (disebut fotosistem), selain klorofil, yang bekerja sama untuk menangkap dan memproses energy cahaya. Ada dua fotosistem yang mengandung 200 hingga 400 molekul klorofil dan pigmen pendukung lainnya yang secara kolektif mentransfer energy cahaya untuk menciptakan electron energy tinggi (s).

Ketika sebuah foton cahaya mengenai fotosistem, molekul berpigmen menyerap energi dan transfer ke salah satu dari dua molekul klorofil pusat: P700, yang mengaktifkan fotosistem I atau P680, yang mengaktifkan fotosistem II. P700 dan P680 referensi dua jenis molekul klorofil. P singkatan dari “pigmen” dan angka mengacu pada panjang gelombang cahaya yang mengaktifkan mereka.

Dalam model saat ini, fotosistem II menciptakan ATP dan NADH, keduanya senyawa energy tinggi. Setiap kali sebuah foton cahaya yang terperangkap oleh molekul P680, mereka mentransfer energy ke salah satu elektron. Rantai transport elektron, yang terletak pada membrane tilakoid, adalah serangkaian molekul yang secara sistematis menghilangkan energy dari electron ketika bergerak dari molekul ke molekul. Energi yang dikurangi dari electron digunakan untuk memindahkan proton dalam tilakoid tersebut. Proton tambahan (yang diciptakan ketika air dioksidasi) dalam membrane tilakoid membentuk gradient energy potensial.

Singkatnya, dalam reaksi terang, ada aliran kontinu electron dari air ke fotosistem II, yang menciptakan ATP kaya energy dan menyediakan energy habis electron untuk fotosistem I, yang kemudian menggantikan elektron yang masuk rantai transport elektron

yang berbeda untuk membuat NADH. Reaksi terang memanfaatkan energi cahaya dan transfer ke energi kimia dari molekul.<sup>40</sup>

#### b) Reaksi Gelap

Reaksi gelap adalah proses yang tidak langsung bergantung pada cahaya. Reaksi gelap terjadi pada bagian stroma kloroplas. Pada bagian tersebut terdapat seluruh perangkat untuk reaksi penyusunan zat gula. Reaksi tersebut memanfaatkan zat berenergi tinggi yang di hasilkan pada reaksi terang. Reaksi penyusunan tersebut tidak lagi langsung bergantung pada keberadaan cahaya, walaupun prosesnya berlangsung bersamaan dengan proses reaksi cahaya.

Reaksi gelap dapat terjadi karena adanya enzim fotosintesis. Sesuai dengan nama penemunya, yaitu Benson dan Calvin, daur reaksi penyusunan zat gula itu di sebut daur Benson-Calvin. Reaksi gelap berlangsung di dalam stroma kloroplas, serta mengkonversi CO<sub>2</sub> untuk gula. Reaksi ini tidak membutuhkan cahaya secara langsung, tetapi itu sangat membutuhkan produk-produk dari reaksi terang (ATP dan bahan kimia lain yang disebut NADPH).

Bahan-bahan yang dihasilkan dari reaksi terang akan digunakan dalam siklus Calvin. ATP digunakan sebagai sumber energi dan NADPH sebagai tenaga pereduksi untuk penambahan elektron berenergi tinggi. Siklus Calvin terjadi pada bagian kloroplas yaitu stroma. Pada reaksi gelap ini, bahan untuk fotosintesis (CO<sub>2</sub>) nantinya akan dibentuk menjadi molekul gula setelah melalui 3 tahapan, antara lain:

##### 1) *Fiksasi Karbon*

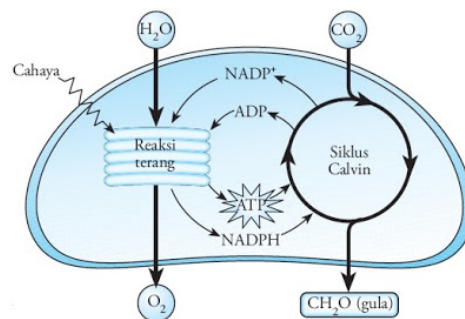
Pada tahap ini, gula berkarbon 5 yang disebut ribulosa 1,5 bisfosfat (RuBP) mengikat CO<sub>2</sub> membentuk senyawa intermediate yang tidak stabil, sehingga terbentuk 3-fosfoglisarat. Pembentukan tersebut dikatalisis oleh enzim RuBP karboksilase atau rubisko. Sebagian besar tumbuhan dapat melakukan fiksasi karbon dan menghasilkan senyawa (produk) pertama berkarbon 3, yaitu 3-fosfoglisarat. Oleh karena itu, tumbuhan yang dapat memfiksasi CO<sub>2</sub> ini disebut tumbuhan C<sub>3</sub>. Pada beberapa tumbuhan, fiksasi

---

<sup>40</sup> Salisbury dan Cleon W Ross, *Fisiologi Tumbuhan Jilid 2*, (Bandung: ITB,1995),hal. 38

karbon mendahului siklus Calvin dengan cara membentuk senyawa berkarbon 4 sebagai produk pertamanya. Tumbuhan seperti ini disebut tumbuhan C4.

Tidak seperti pada tumbuhan C3 dan C4, tumbuhan kaktus dan nanas membuka stomatanya pada malam hari dan menutupnya pada siang hari. Pada saat stomata terbuka, tumbuhan mengikatkan CO<sub>2</sub> pada berbagai asam organik. Cara fiksasi karbon ini pertama kali ditemukan pada tumbuhan famili Crassulaceae (tumbuhan penyimpan air) dan disebut metabolisme asam krasulase sehingga tumbuhannya disebut tumbuhan CAM. Asam organik (senyawa intermediate) yang dibuat pada malam hari disimpan dalam vakuola sel mesofil sampai pagi hari. Pada siang hari (stomata tertutup), reaksi terang dapat memasok ATP dan NADPH untuk siklus Calvin. Pada saat itu, asam organik melepaskan CO<sub>2</sub> dan memasuki molekul gula (RuBP) dalam kloroplas. Dengan demikian, baik tumbuhan C3, C4, maupun CAM akan menggunakan siklus Calvin setelah fiksasi CO<sub>2</sub>, untuk membentuk molekul gula dari karbondioksida.



**Gambar:** Masuknya produk reaksi terang ke siklus Calvin

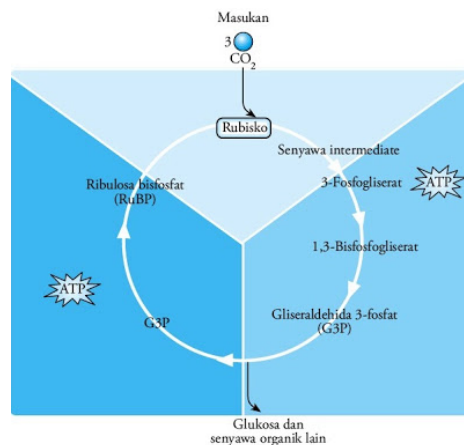
## 2) Reduksi

Setiap molekul 3-PGA menerima gugus fosfat dari ATP maka terbentuk 1,3 bifosfogliserat. Electron dari NADPH mereduksi 1,3 bifosfogliserat dan terbentuk 6 molekul gliseraldehid 3-fosfat (G3P) yang dikatalisasi oleh G3P dehidrogenase. Satu molekul G3P akan keluar sebagai molekul gula atau glukosa dan senyawa organik lain yang diperlukan tumbuhan, sedangkan 5 molekul G3P yang lain akan masuk ke tahapan regenerasi.

### 3) Pembentukan kembali (regenerasi) RuBP

Pada tahapan terakhir siklus calvin ini, RuBP sebagai pengikat CO<sub>2</sub> dibentuk kembali oleh 5 molekul G3P. RuBP siap untuk mengikat CO<sub>2</sub> kembali dan siklus calvin dapat berlanjut kembali. Dengan demikian, molekul gula tidak akan terbentuk hanya dengan reaksi terang atau siklus calvin saja. Oleh karena itu, kedua proses tersebut merupakan gabungan proses untuk terjadinya fotosintesis. Gula yang dibuat dalam kloroplas tersebut akan digunakan untuk proses respirasi digunakan untuk proses respirasi tumbuhan atau menyusun senyawa organik lainnya dalam sel tumbuhan.

Gula tersebut akan diedarkan ke seluruh bagian tumbuhan, dalam bentuk gula sederhana seperti glukosa. Molekul-molekul gula berlebih yang terbentuk selama fotosintesis dan tidak diedarkan, akan menumpuk atau disimpan di dalam plastida sebagai sumber cadangan energi dalam bentuk amilum atau pati (polisakarida).



**Gambar:** Tahapan Siklus Calvin

Sebagaimana telah kita ketahui bahwa proses fotosintesis memerlukan cahaya dan CO<sub>2</sub>. Oleh karena itu, faktor lingkungan seperti cahaya dan pasokan CO<sub>2</sub> didalam sel dapat mempengaruhi kecepatan fotosintesis. Faktor-faktor tersebut dapat saling berinteraksi dalam mempengaruhi fotosintesis. Jika intensitas cahaya rendah, maka kecepatan fotosintesis akan rendah pula. Pada keadaan ini, cahaya dikatakan sebagai faktor pembatas. Salah satu cara untuk menentukan kecepatan fotosintesis adalah dengan mengamati pembentukan Oksigen. Pada saat intensitas cahaya mencapai titik tertentu (jenuh cahaya pada kondisi percobaan) maka tidak akan mempengaruhi produksi oksigen.



Keadaan tersebut kemungkinan disebabkan CO<sub>2</sub> menjadi faktor pembatas. Nah, jika konsentrasi CO<sub>2</sub> tersebut ditingkatkan maka kecepatan fotosintesis akan meningkat dengan meningkatnya intensitas cahaya. Selain cahaya dan CO<sub>2</sub> suhu juga dapat mempengaruhi kecepatan fotosintesis jika cahaya bukan sebagai faktor pembatas.

Menurut F.F. Blackman (tahun 1905), fotosintesis dapat berlangsung jika ada cahaya dan akan berhenti jika tidak ada cahaya. Fotosintesis terdiri dari reaksi fotokimia dan reaksi enzimatik. Kondisi tanpa cahaya (gelap) dapat menghambat pembentukan O<sub>2</sub> melalui reaksi fotokimia. Selain faktor lingkungan, faktor dalam juga dapat mempengaruhi kecepatan fotosintesis, antara lain: konsentrasi enzim, kekurangan air dan konsentrasi klorofil.

Siklus Calvin disebut reaksi gelap karena tidak perlu cahaya untuk membuat biomolekul dari energi dibuat dalam reaksi terang. Siklus Calvin dijelaskan dalam tiga langkah:

1. Pembentukan PGA, sebuah molekul tiga karbon
2. Konversi PGA ke PGAL
3. Pemulihan bahan awal dan pembentukan senyawa organik

Pada Langkah 1, ikatan karbon dioksida dengan RUDP lima karbon (difosfat ribulosa) molekul untuk membuat sebuah molekul enam karbon sementara yang segera terbagi menjadi dua, molekul tiga-C disebut PGA.

Pada Langkah 2, PGA menerima gugus fosfat berenergi tinggi dari ATP (de-energizing ATP menjadi ADP, yang kemudian dapat digunakan kembali dalam reaksi terang). Selanjutnya, NADH menambahkan proton (ion hidrogen) dan melepaskan gugus fosfat, sehingga menciptakan PGAL dan sekarang molekul miskin energi NADP.

Pada Langkah 3, sebagian besar PGAL yang baru dibuat diubah menjadi RUDP, yang kemudian bisa kembali masuk dan restart siklus Calvin. Namun, satu dari setiap enam molekul PGAL diubah menjadi senyawa organik yang dibutuhkan di tempat lain oleh sel.<sup>41</sup>



---

<sup>41</sup> Benyamin Lakitan, *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*, (Jakarta: PT. Raja Grafindo, 2018), hal. 135

### 5.3. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI FOTOSINTESIS

Berikut adalah beberapa faktor utama yang menentukan laju fotosintesis

- 1) Intensitas cahaya. Laju fotosintesis maksimum ketika banyak cahaya.
- 2) Konsentrasi karbondioksida. Semakin banyak karbondioksida di udara, makin banyak jumlah bahan yang dapat digunakan tumbuhan untuk melangsungkan fotosintesis.
- 3) Suhu. Enzim-enzim yang bekerja dalam proses fotosintesis hanya dapat bekerja pada suhu optimalnya. Umumnya laju fotosintesis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu hingga batas toleransi enzim.
- 4) Kadar air. Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis.
- 5) Kadar fotosintat (hasil fotosintesis). Kadar fotosintat seperti karbohidrat berkurang, laju fotosintesis akan naik. Bila kadar fotosintat bertambah atau bahkan sampai jenuh, laju fotosintesis akan berkurang.<sup>42</sup>

### 5.4. SIKLUS CALVIN

Pada siklus calvin dalam fotosintesis pada tumbuhan memiliki bahan yang serupa dengan beberapa mekanisme yang bergantung pada tumbuhannya. Mekanisme siklus calvin dalam fotosintesis ada tiga macam yaitu; pada tumbuhan C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> dan C<sub>am</sub>. Perbedaannya adalah pada tahapan reaksi gelap dari fotosintesis, sedangkan reaksi terangnya memiliki reaksi yang serupa.

#### 1. Tumbuhan C<sub>3</sub>

Tumbuhan ini disebut tumbuhan C<sub>3</sub> karena enzim *rubisco* yang menangkap CO<sub>2</sub> dan menggabungkannya dengan *ribulosa* dipospat menjadi *3-pospogliserat* yang merupakan molekul berkarbon 3. Molekul tersebut akan menjalani serangkaian siklus *calvin* dan melepaskan glukosa sebagai hasil. Siang hari tumbuhan C<sub>3</sub> menutup sebagian stomata untuk mengurangi penguapan. Akibatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> pada jaringan akan berkurang dan konsentrasi O<sub>2</sub> hasil fotosintesis akan meningkat. Dari kejadian tersebut memicu terjadinya photo respirasi yang kurang menguntungkan pada tumbuhan. photo respirasi akan mengikat O<sub>2</sub> dan mengolahnya sehingga menghasilkan CO<sub>2</sub> dengan menggunakan ATP yang justru hanya membuang-buang

---

<sup>42</sup> *Ibid*, hal.155

energi tumbuhan. Photo respirasi pada tumbuhan C3 rentan terjadi di siang hari yang sangat panas.

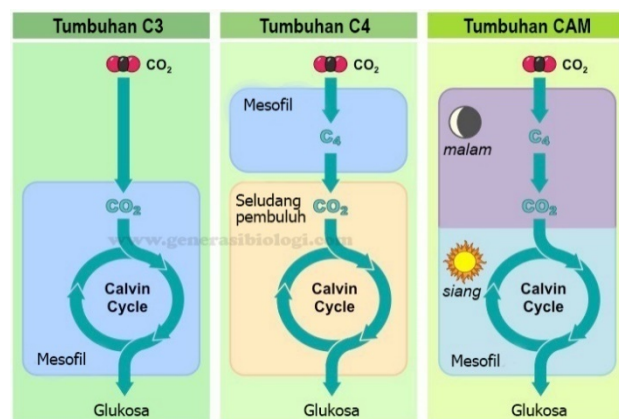
## 2. Tumbuhan C4

Disebut tumbuhan C4 karena enzim pekarboksilase yang menangkap CO<sub>2</sub> dan di gabungkan dengan pospoenolpiruvat menjadi oksaloasetat yang merupakan molekul berkarbon empat (4). Penangkapan CO<sub>2</sub> terjadi pada mesofil daun, lalu molekul berkarbon 4 di ubah menjadi malat kemudian menuju sel seludang pembuluh untuk melepas CO<sub>2</sub>. Setelah di lepas, CO<sub>2</sub> mengalami siklus *calvin* pada sel seludang pembuluh dan akan menghasilkan karbohidrat. CO<sub>2</sub> yang di tangkap pada mesofil daun dan siklus *calvin* yang terjadi pada sel seludang pembuluh. Dari kejadian tersebut konsentrasi CO<sub>2</sub> pada sel seludang pembuluh akan selalu tinggi. Sehingga dapat mencegah terjadinya photo respirasi yang kurang menguntungkan. Tumbuhan C4 biasanya hidup di tempat cuaca panas dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi.<sup>43</sup>

## 3. Tumbuhan CAM

Cam singkatan dari *Crassuacean acid metabolism*, merupakan proses yang pertama kalinya di jumpai pada keluarga *crassulaceae*. Tumbuhan Cam mampu menangkap CO<sub>2</sub> dan menggabungkannya pada molekul lain untuk menghasilkan asam organik. Stomata pada tumbuhan Cam terbuka pada malam hari dan tertutup pada siang hari. Malam hari CO<sub>2</sub> akan ditangkap supaya bisa membentuk asam organik dan disimpan sampai pagi hari. Pada pagi harinya stomata akan tertutup, CO<sub>2</sub> akan terlepas guna menjalani siklus *calvin* dengan menghasilkan karbohidrat.

Tumbuhan C4 dan Cam memiliki kemiripan yakni CO<sub>2</sub> masuk tidak langsung menjalani siklus *calvin*, namun ditangkap untuk membentuk molekul terlebih dahulu. Tetapi pada tumbuhan C4 CO<sub>2</sub> yang ditangkap dan siklus *calvin* terjadi pada sel yang berbeda, namun pada tumbuhan Cam CO<sub>2</sub> yang ditangkap dan siklus *calvin* terjadi pada waktu yang berbeda.



<sup>43</sup>Artikel *Mekanisme Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman*,(BB Biogen:Bogor,2012), <http://biogen.litbang.deptan.go.id>

## **BAB VI**

### **NUTRISI TUMBUHAN**

#### **6.1. MINERAL YANG DIBUTUHKAN TUMBUHAN**

Secara garis besar, tanaman atau tumbuhan memerlukan 2 (dua) jenis unsur hara untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan yang optimal. Dua jenis unsur hara tersebut disebut Unsur Hara Makro dan Unsur Hara Mikro.

##### **1. Unsur Hara Makro**

Unsur Hara Makro adalah unsur-unsur hara yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah yang relatif besar. Adapun unsur hara Makro Primer, yaitu sebagai berikut:

##### **a. Nitrogen (N).**

Unsur Nitrogen dengan lambang unsur N, sangat berperan dalam pembentukan sel tanaman, jaringan, dan organ tanaman. Nitrogen memiliki fungsi utama sebagai bahan sintesis klorofil, protein, dan asam amino. Oleh karena itu unsur Nitrogen dibutuhkan dalam jumlah yang cukup besar, terutama pada saat pertumbuhan memasuki fase vegetatif. Bersama dengan unsur Fosfor (P), Nitrogen ini digunakan dalam mengatur pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Mekanisme penyerapannya: Mekanisme aliran massa, diserap perakaran tanaman dalam bentuk ion nitrat, kation ammonium dan bahan lebih kompleks dan mampu menyerap dan menggunakan nitrat dan ammonium.

Gejala kekurangan Nitrogen (N) yaitu dapat dilihat pada daun bagian bawah. Daun pada bagian tersebut menguning karena kekurangan klorofil. Pada proses lebih lanjut, daun akan mengering dan rontok. Tulang-tulang di bawah permukaan daun muda akan tampak pucat. Pertumbuhan tanaman melambat, kerdil dan lemah. Akibatnya produksi bunga dan biji pun akan rendah.

Gejala kelebihan Nitrogen (N) yaitu, warna daun yang terlalu hijau, tanaman rimbun dengan daun. Proses pembuangan menjadi lama. Adenium bakal bersifat sekulen karena mengandung banyak air. Hal itu menyebabkan tanaman rentan terhadap serangan jamur dan penyakit, serta mudah roboh. Produksi bunga pun akan menurun.



### **b. Fosfor atau Phosphor (P)**

Berfungsi sebagai Pembentukan nukleoprotein, fitin dan fosfolipid - Mempercepat pembungaan, pembuahan dan pembentukan biji - Mendorong pertumbuhan akar dan anakan - Penting dalam proses fotosintesis, perubahan karbohidrat, metabolisme lemak. Mekanisme penyerapannya: Melalui mekanisme difusi. Penyerapan ini dapat balik dan berhubungan linier dengan kapasitas tukar kationnya.

Gejala kekurangan Phosphor (P) yaitu, daun tua menjadi keunguan dan cenderung kelabu. Tepi daun menjadi cokelat, tulang daun muda berwarna hijau gelap. Hangus, pertumbuhan daun kecil, kerdil, dan akhirnya rontok. Fase pertumbuhan lambat dan tanaman kerdil.

Gejala kelebihan Phosphor (P) yaitu, menyebabkan penyerapan unsur lain terutama unsur mikro seperti besi (Fe), tembaga (Cu), dan seng (Zn) terganggu. Namun gejalanya tidak terlihat secara fisik pada tanaman.



### **c. Kalium (K)**

Berfungsi sebagai Metabolisme karbohidrat: pembentukan, pemecahan dan translokasi pati, metabolisme N dan sintesis protein, mengaktifkan enzim, mempercepat pertumbuhan jaringan meristematik. mengatur pergerakan stomata, mempertinggi

ketahanan terhadap kekeringan dan penyakit. Mekanisme penyerapannya dengan Mekanisme difusi.

Gejala kekurangan Kalium yaitu, terlihat dari daun paling bawah yang kering atau ada bercak hangus. Kekurangan unsur ini menyebabkan daun seperti terbakar dan akhirnya gugur. Bunga mudah rontok dan gugur. Tepi daun 'hangus', daun menggulung ke bawah, dan rentan terhadap serangan penyakit.

Gejala kelebihan Kalium yaitu, menyebabkan penyerapan Ca dan Mg terganggu. Pertumbuhan tanaman terhambat. sehingga tanaman mengalami defisiensi.



Adapun unsur hara Makro Sekunder, yaitu sebagai berikut:

#### **a. Magnesium (Mg)**

Magnesium adalah aktivator yang berperan dalam transportasi energi beberapa enzim di dalam tanaman. Berfungsi sebagai Penyusun klorofil, Transportasi fosfat, Aktivator beberapa enzim dalam sel, Bersama sulfur dapat menaikkan kadar minyak beberapa tanaman.

Gejala kekurangan Magnesium, yaitu muncul bercak-bercak kuning di permukaan daun tua. Hal ini terjadi karena Mg diangkut ke daun muda. Daun tua menjadi lemah dan akhirnya mudah terserang penyakit terutama embun tepung (powdery mildew). Gejala kelebihan Magnesium, yaitu tidak menimbulkan gejala ekstrim. Daun berwarna kuning.



#### **b. Kalsium (Ca)**

Unsur ini yang paling berperan adalah pertumbuhan sel. Ia komponen yang menguatkan , dan mengatur daya tembus , serta merawat dinding sel. Perannya sangat penting pada titik tumbuh akar. Bahkan bila terjadi defisiensi Ca , pembentukan dan pertumbuhan akar terganggu , dan berakibat penyerapan hara terhambat. Ca berperan dalam proses pembelahan dan perpanjangan sel , dan mengatur distribusi hasil fotosintesis. Mekanisme penyerapannya melalui aliran massa dan intersepsi akar.

Gejala kekurangan Kalsium, yaitu titik tumbuh lemah, terjadi perubahan bentuk daun , mengeriting , kecil , dan akhirnya rontok. Kalsium menyebabkan tanaman tinggi tetapi tidak kekar. Karena berefek langsung pada titik tumbuh maka kekurangan unsur ini menyebabkan produksi bunga terhambat. Bunga gugur juga efek kekurangan kalsium. Gejala kelebihan Kalsium, yaitu tidak berefek banyak, hanya mempengaruhi pH tanah.<sup>44</sup>



### c. Belerang atau Sulfur (S)

Berfungsi sebagai pembentukan asam amino, Mengaktifkan enzim, Menaikkan kadar minyak, Unsur pembentuk minyak. Mekanisme penyerapan: Mekanisme aliran massa, Unsur hara sulfur diserap tanaman dalam bentuk ion sulfat.

---

<sup>44</sup>Jovita, Debora. 2018. *Analisis Unsur Makro (K, Ca, Mg) Mikro (Fe, Zn, Cu) Pada Lahan Pertanian Dengan Metode Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrofotometry*. Skripsi. Universitas Lampung.

Gejala kekurangan Sulfur, yaitu daun muda berwarna hijau muda tidak merata menjadi kekuning- kuningan, Tanaman kerdil, batang kecil dan kurus, Pada tanaman legum jumlah bintil akar berkurang.



## 2. Unsur Hara Mikro

Unsur mikro adalah unsur yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit . Walaupun hanya diserap dalam jumlah kecil , tetapi amat penting untuk menunjang keberhasilan proses-proses dalam tumbuhan.

Adapun yang termasuk kedalam unsur hara Mikro, yaitu:

### a. Boron (B)

Boron memiliki kaitan erat dengan proses pembentukan , pembelahan dan diferensiasi , dan pembagian tugas sel. Hal ini terkait dengan perannya dalam sintesis RNA , bahan dasar pembentukan sel. Boron diangkut dari akar ke tajuk tanaman melalui pembuluh xylem. Di dalam tanah boron tersedia dalam jumlah terbatas dan mudah tercuci. Kekurangan boron paling sering dijumpai pada adenium. Cirinya mirip daun variegata.



Gejala kekurangan Boron, yaitudaun berwarna lebih gelap dibanding daun normal , tebal , dan mengkerut. Namun apabila kelebihan Boron, maka ujung daun kuning dan mengalami nekrosis.<sup>45</sup>



#### **b. Tembaga (Cu)**

Fungsi penting tembaga adalah aktivator dan membawa beberapa enzim. Dia juga berperan membantu kelancaran proses fotosintesis. Pembentuk klorofil ,dan berperan dalam fungsi reproduksi.

Gejala kekurangan Tembaga (Cu), yaitu daun muda berwarna kuning pucat, daun berwarna hijau kebiruan, pada tanaman sayuran menjadi layu, tunas daun mengkuncup dan tumbuh kecil. Gejala kelebihan Tembaga (Cu), yaitu tanaman tumbuh kerdil , percabangan terbatas , pembentukan akar terhambat, akar menebal dan berwarna gelap.



---

<sup>45</sup><http://dtphp.luwuutarakab.go.id/berita/3/unsur-hara-makro-dan-mikro-yang-dibutuhkan-oleh-tanaman.html>

### c. Seng atau Zinc (Zn)

Berfungsi sebagai metabolisme auksin, mendorong pembentukan cytochrome, aktivator enzim, pembentukan klorofil, membantu proses fotosintesis. Kekurangan Zinc (Zn), yaitu khlorosis di antara tulang daun muda, pertumbuhan melambat, jarak antar buku pendek, daun kerdil, mengkerut atau menggulung dan disusul kerontokan, pertumbuhan tunas berkurang, bentuk buah tidak sempurna. Adapun kelebihanannya, yaitu dapat menaikkan tinggi tanaman.



### d. Besi atau Ferro (Fe)

Besi berperan dalam proses pembentukan protein, sebagai katalisator pembentukan klorofil. Besi berperan sebagai pembawa elektron pada proses fotosintesis dan respirasi, sekaligus menjadi aktivator beberapa enzim.

Gejala kekurangan Besi, yaitu ditunjukkan dengan gejala klorosis dan daun menguning atau nekrosa. Daun muda tampak putih karena kurang klorofil. Selain itu terjadi karena kerusakan akar. Jika adenium dikeluarkan dari potnya akan terlihat potongan-potongan akar yang mati.

Kelebihan Besi, yaitu Pemberian pupuk dengan kandungan Fe tinggi menyebabkan nekrosis yang ditandai dengan munculnya bintik-bintik hitam pada daun.



#### **e. Molibdenum (Mo)**

Berfungsi sebagai Penyusun enzim yang terlibat dalam fiksasi N dan reduksi nitrat. Gejala kekurangan Molibdenum, yaitu ditunjukkan dengan munculnya klorosis di daun tua, kemudian menjalar ke daun muda. Selain itu gejala kelebihan Molibdenum, yaitu tidak menunjukkan gejala yang nyata pada adenium.



#### **f. Mangan (Mn)**

Berperan dalam fotosintesis, berperan dalam proses oksidasi-reduksi, dan berperan dalam reaksi enzimatik menjadi siklus asam sitrat. Gejala kekurangan Mangan (Mn), yaitu adanya gejala khlorosis di antara tulang daun pada daun muda. Adanya bintik nekrotik pada daun. Menguningnya bagian daun diantara tulang-tulang daun, sedangkan tulang daun berwarna hijau. Adapun gejala kelebihannya, yaitu menghambat penyerapan seng dan besi oleh tanaman. Munculnya bercak hams yang dikelilingi warna kuning daun pada daun dewasa.



#### **g. Klor (Cl)**

Berfungsi sebagai menjaga turgor daun serta untuk osmosis dan keseimbangan ionik sel bagian dari regulasi. Berperan juga dalam fotosintesis. Gejala kekurangan Klor, yaitu pertumbuhan daun tidak normal terutama pada tanaman sayur-sayuran,

daun tampak kurang sehat dan berwarna tembaga, contohnya pada tanaman tomat, kapas dan gandum. Gejala kelebihan (Cl), yaitu keseimbangan ion yang diperlukan bagi tanaman untuk mengambil elemen mineral dan dalam fotosintesis.

Penyerapan pada umumnya dilakukan oleh air dan zat-zat hara tanah yang kemudian diserap melalui akar. Sebagian zat yang lain terutama gas  $O_2$  dan  $CO_2$ , diserap melalui daun. Selanjutnya, zat-zat tersebut akan dibawa ke daun karena daun merupakan pusat aktivitas penyusunan zat-zat yang dibutuhkan tumbuhan.

Pada tumbuhan darat, sebagian besar air dan zat hara diserap dari tanah melalui akarnya. Zat yang lain seperti  $O_2$  dan  $CO_2$  banyak diserap melalui daun, terutama melalui mulut-mulut daun (stomata). Air dan zat hara dapat juga diserap melalui daun yaitu karena pada daun terdapat celah-celah atau pori yang dapat dijadikan pintu masuknya zat-zat dan juga sekaligus pintu pelepasan zat-zat. Dengan demikian daun dapat dikatakan sebagai alat pertukaran zat.

## 6.2. MEKANISME PENYERAPAN NUTRISI TUMBUHAN

Ada 3 cara penyerapan air dan zat-zat hara dari dalam tanah yaitu :

### 1. Difusi

Secara umum, gerak zat menyebar dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi yang lebih rendah, atau dari daerah bertekanan tinggi ke daerah yang tekanannya lebih rendah, disebut **difusi**.

Agar akar dapat menyerap zat maka air tanah atau larutan tanah harus mencapai daerah rizhosfer. Ada dua faktor penting yang memungkinkan akar memperoleh air dan hara tanah, yaitu :

- Intersepsi akar atau adanya kontak dengan akar

- Adanya aliran massa (mass flow) dalam tanah, yaitu aliran air (zat) yang terjadi melalui prinsip difusi.

## 2. Osmosis

Difusi terjadi pada semua jenis zat, termasuk gas-gas, ion-ion dan air. Masuknya air dari luar ke jaringan akar juga merupakan peristiwa difusi. Air bergerak dari daerah yang airnya lebih banyak ke daerah yang airnya lebih sedikit. Kandungan air dalam tanah relatif tidak terbatas dari pada air jaringan akar. Adanya perbedaan kadar air ini mendorong air berdifusi masuk ke dalam akar. Air yang masuk ke dalam akar akan mengisi ruang-ruang antar sel atau masuk ke dalam sel. Air dapat masuk ke dalam sel-sel akar setelah air menembus dinding dan membran sel. Air yang bergerak menembus membran sel inilah yang disebut **osmosis**. Dengan kata lain, osmosis adalah difusi air menembus membran sel.

## 3. Transfor Aktif

Penyerapan ion-ion adalah paling sulit, karena permeabilitas membran terhadap ion adalah paling rendah. Walaupun molekul sukrosa jauh lebih besar, namun lebih mudah menembus membran, sehingga lebih mudah diserap atau diangkut.

Untuk itu, pengangkutan ion melewati membran membutuhkan bantuan dari :

- Protein pembawa yang terdapat pada membran sel
- Tenaga (energi). Energi diperoleh dari hidrolisis ATP, ADP. Contoh: pengangkutan glukosa dalam tubuh. Glukosa tidak dapat menembus membran sel sebelum diaktifkan oleh ATP atau ADP. Dengan mengubah glukosa menjadi glukosa fosfat. Untuk membentuk glukosa fosfat diperlukan energi pengaktifan yang tersimpan dalam ATP.<sup>46</sup>

Mekanisme penyerapan zat ada 2 aktif dan pasif yaitu:

### 1. Aktif

Dalam penyerapan air aktif air, sel-sel rambut akar tanaman menyerap air dari akar bahkan ketika tingkat transpirasi rendah. Di air ini dilakukan dan kemudian didistribusikan ke seluruh tanaman, akhirnya mencapai daun. ATP digunakan dalam transpor aktif untuk

---

<sup>46</sup> Haryono Supriyo dan Daryono Prehaten, Jurnal Ilmu Kehutanan : *Kandungan Unsur Hara dalam Daun Jati yang Baru Jatuh pada Tapak yang Berbeda*, ( Yogyakarta : Fakultas Kehutanan UGM, 2014)

memompa molekul melawan gradien konsentrasi, dari daerah rendah terlarut ke konsentrasi tinggi zat terlarut. Proses ini membutuhkan energi sel. Pada transpor aktif, partikel seperti protein, sel besar, ion dan gula diangkut. Jenis transportasi aktif endositosis, eksositosis, membran sel / natrium-kalium pompa. Ini mengangkut molekul melalui membran sel melawan gradien konsentrasi sehingga lebih nutrisi memasuki sel.

## 2. Pasif (Tarikan Transpirasi)

Dalam penyerapan air pasif, akar sel-sel rambut tetap pasif dan mereka tidak mengambil bagian dalam menyerap air dari tanah. Transport pasif terjadi ketika tingkat transpirasi adalah benar-benar tinggi, karena aktivitas dari bagian atas tanaman seperti tunas dan daun. Transpirasi aktif terjadi pada bagian atas tanaman dalam penyerapan air pasif. Dalam transportasi pasif, gerakan konsentrasi terjadi turun gradien. Dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah, untuk menjaga keseimbangan.

### **6.3. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENEYERAPAN MINERAL**

Faktor-Faktor yang mempengaruhi penyerapan mineral/air pada tumbuhan dipengaruhi oleh faktor luar dan faktor dalam yaitu :

1. Faktor Dalam (disebut juga faktor tumbuhan) yaitu:
  - a. Kecepatan Transpirasi. Penyerapan air hampir setara dengan transpirasi (penguapan lewat daun) bila penyediaan air tanah cukup. Hal itu terjadi karena adanya transpirasi menyebabkan terbentuknya daya isap daun sebagai akibat kohesi yang diteruskan lewat sistem hidrostatis pada xilem. Kecepatan transpirasi antara lain ditentukan oleh banyaknya stomata dan keadaan permukaan daun.
  - b. Sistem Perakaran. Berbagai tumbuhan menunjukkan perakaran yang berbeda, baik pada pertumbuhan maupun kemampuannya menembus tanah. Karena penyerapan terutama berlangsung di bulu akar yang terutama terjadi akibat percabangan akar, menentukan penyerapan. Tumbuhan yang mempunyai akar dengan percabangan banyak tetapi hanya meliputi daerah perakaran yang sempit disebut mempunyai perakaran intensif. Sebaliknya yang akarnya sedikit tetapi tumbuh memanjang dan masuk jauh ke dalam tanah disebut perakaran ekstensif.
  - c. Pertumbuhan Pucuk. Bila bagian pucuk tumbuh baik, akan memerlukan banyak air menyebabkan daya serap bertambah.
  - d. Metabolisme. Karena penyerapan memerlukan tenaga metabolisme, maka kecepatan metabolisme terutama respirasi akan menentukan besarnya penyerapan. Metabolisme yang baik juga memungkinkan pertumbuhan akar yang lebih baik, sehingga semakin banyak cabang akar / bulu akar yang terbentuk.
2. Faktor luar ada beberapa macam yaitu:
  - a. Ketersediaan air tanah. Tumbuhan dapat menyerap air tanah bila kandungan air tanah terletak antara kapasitas lapang dan titik layu tetap. Bila air berada pada keadaan di atas kapasitas lapang, penyerapan akan terhambat karena akar berada dalam lingkungan anaerob.

- b. Konsentrasi/potensial osmotik air tanah. Karena kedalam air tanah terlarut berbagai ion dan molekul maka potensial osmotiknya kan berubah bila yang larut berkurang atau bertambah. Bila ion atau molekul yang larut terlalu banyak sehingga potensial osmotiknya terlalu tinggi, sel tidak akan mampu menyerap, atau kalau mampu perlu menggunakan energi lebih besar. Tumbuhan halofit mampu menyerap air dari larutan dengan potensial osmotik yang lebih besar dari tumbuhan msofit.
- c. Temperatur tanah. Temperatur tanah berpengaruh terhadap penyerapan melalui berbagai cara, yaitu bila temperatur rendah, air menjadi lebih kental sehingga lebih sukar bergerak, permeabilitas plasma berkurang dan pertumbuhan akar terhambat.
- d. Aerasi. Aerasi yang tidak baik menghambat metabolisme dan pertumbuhan akar. Kurangnya oksigen akan menghambat respirasi aerob sehingga energi untuk penyerapan berkurang. Bila respirasi anaerob terjadi, hasil akhir berupa alkohol yang dapat melarutkan lipoprotein membran plasma sehingga akar busuk. Aerasi yang jelek juga menyebabkan kadar CO<sub>2</sub> naik dan permeabilitas akar terhadap air berkurang.<sup>47</sup>

#### **6.4. MEKANISME PENYERAPAN MINERAL**

Mekanisme dasar angkutan keseluruhan pada tumbuhan yang memungkinkan tumbuhan dapat bertahan hidup antara lain penyerapan air dan mineral oleh akar, naiknya cairan xilem, pengendalian transpirasi, dan angkutan nutrisi organik dalam floem. Apabila dibedakan dari penggunaan pembuluh angkutnya, transportasi pada tumbuhan ada 2 jenis, yaitu transportasi ekstrasikuler dan transportasi intravasikuler.

##### **1. Transportasi Ekstravaskular**

Transportasi ekstravaskular adalah pengangkutan tanpa melalui pembuluh angkut. Contoh transportasi ekstravaskular adalah penyerapan air dan mineral oleh akar. Air dan garam mineral dari tanah masuk ke tumbuhan melalui epidermis akar melewati korteks, melalui silinder pusat dan naik ke atas dalam saluran xilem ke sistem. Pada angkutan ini difokuskan pada tanah – epidermis – korteks – akar.

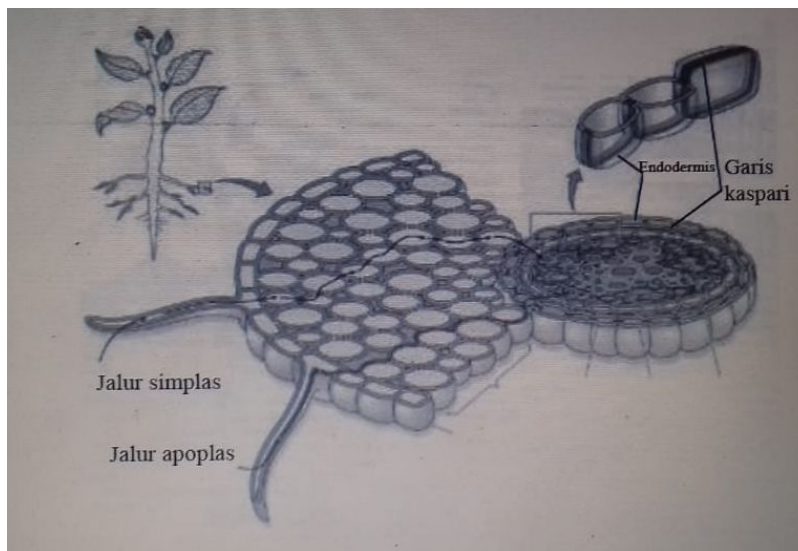
---

<sup>47</sup> Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulagi Manado, 95115



Transportasi ekstravaskular terbagi menjadi 2 mekanisme, yaitu simplas dan apoplas. Simplas yaitu penyerapan air dan garam mineral melalui sel dengan jalan menerobos membran sel, sedangkan apoplas adalah penyerapan air dan garam mineral melalui luar dinding sel (ruang sel). Kedua mekanisme ini bisa sama-sama terjadi selama masih dalam jaringan korteks akar. Namun, ketika sampai pada jaringan endodermis, air dan garam mineral tidak lagi dapat melewati ruang-ruang antarsel (jalur apoplas) karena pada jaringan endodermis terdapat garis kaspari.

Garis kaspari atau yang disebut pita kaspari adalah penebalan dinding sel yang mengandung suberin pada endodermis pada posisi radial. Adanya garis kaspari menyebabkan air dan mineral yang masuk melalui jalur apoplas menjadi terputus. Dengan demikian ketika sampai pada jaringan endodermis, air hanya bergerak melalui jalur simplas, yaitu masuk ke dalam sel, dan bukan lagi melalui ruang-ruang antarsel. Adanya jaringan yang bersuberin ini, terutama pada jaringan endodermis akar yang sudah tidak mengalami pertumbuhan (daerah diferensiasi). Sedangkan pada jaringan endodermis akar yang masih muda belum terbentuk suberin.



**Gambar:** Jalur masuknya air ke dalam jaringan akar tumbuhan mungkin melewati ruang-ruang antarsel (apoplas) atau langsung masuk ke dalam sel (simplas).

Setelah melewati endodermis, air dan mineral akan sampai di jaringan pembuluh xilem akar. Xilem adalah jaringan yang tersusun oleh sel-sel yang mati yang berperan seperti pipa-pipa kapiler yang banyak. Melalui jaringan xilem inilah air akan diangkut ke bagian atas tumbuhan, yaitu ke batang dan daun.<sup>48</sup>

Apoplas adalah suatu kontinum tak hidup yang terbentuk melalui jalur ekstraseluler yang disediakan oleh matriks kontinu dinding sel dan berfungsi untuk mengangkut air dari akar ke xilem. Definisi lainnya menyebutkan bahwa apoplas adalah suatu sistem yang menyangkut antara dinding sel yang saling berhubungan dengan unsur xilem berisi air. Apoplas meliputi semua dinding sel pada korteks akar (kecuali dinding endodermis dan eksodermis dengan pita kaspariannya karena kedua jaringan tersebut tidak permeabel terhadap air), semua trakeid dan pembuluh pada xilem, semua dinding sel daun, floem, dan sel lain. Perambatan cairan dari bawah ke bagian atas tumbuhan dapat terjadi seluruhnya melalui apoplas, terutama di xilem.

Simplas adalah kontinum sitoplasma yang berhubungan oleh plasmodesmata pada tumbuhan dan berfungsi untuk mengangkut air dan mineral dari akar ke xilem.. Simplas mencakup sitoplasma semua sel tumbuhan dan vakuola. Simplas merupakan kesatuan unit karena protoplas sel yang berdampingan saling berhubungan melalui plasmodesmata. Bahan seperti glukosa dapat melewati plasmodesmata dari sel ke sel ribuan kali lebih cepat daripada dengan menembus membran dan dinding sel. Tapi partikel yang lebih besar dari 10 nm tidak dapat melewati plasmodesmata.<sup>49</sup>

Pengangkutan simplas dan apoplas dimulai dari rambut akar yang berfungsi untuk memperluas permukaan akar, sehingga partikel dan tanah yang biasanya diliputi air dan mineral akan melekat pada rambut-rambut akar. Larutan tanah bergerak menuju dinding hidrofilik dari sel-sel epidermis dan lewat secara bebas sepanjang apoplas menuju korteks akar. Sejalan dengan pergerakan larutan sepanjang apoplas ke akar, sel epidermis dan korteks juga menjalankan jalur simplas.

Air dan mineral dari tanah setelah sampai di korteks tidak akan bisa diangkut ke atas sebelum tiba di xilem. Sebelum sampai xilem terdapat endodermis yang terdapat pita kaspari yang menghalangi angkutan apoplas dari korteks ke silinder pusat. Adanya endodermis akan menghalangi angkutan air dan mineral melalui apoplas. Air dan mineral yang diangkut melalui

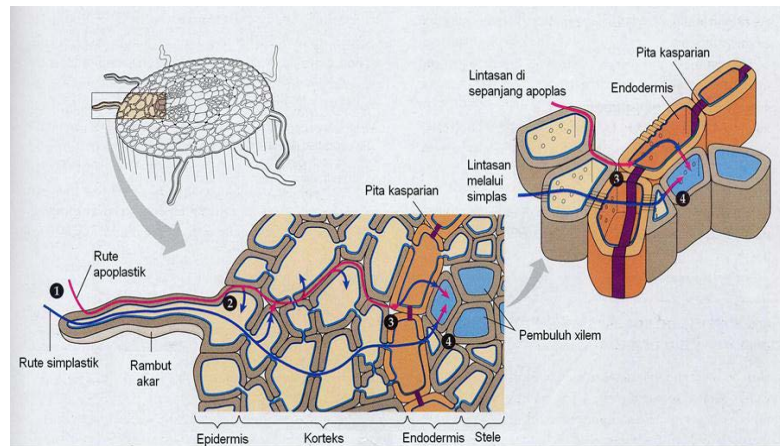
---

<sup>48</sup> Hamim, Modul 1 Fisiologi Tumbuhan, (Tangerang Selatan : Universitas Terbuka, 2019) hal 1.25 -1.26

<sup>49</sup> Wayan Wiraatmaja, I, Suhu, Energi Matahari, Dan Air Dalam Hubungan Dengan Tanaman, ( Denpasar : Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Unud, 2017), hal 32

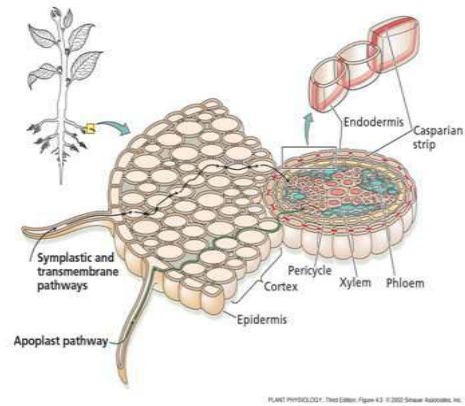
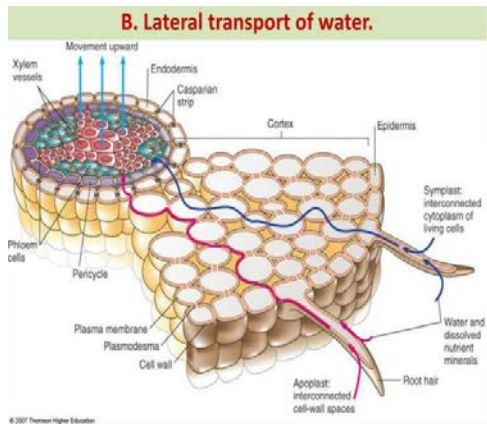
apoplas saat sampai di endodermis akan diseleksi oleh membran plasma untuk sampai ke sitoplasma sel. Jika mineral dapat masuk ke sel endodermis maka akan diteruskan melalui simplas ke xilem. Bila ditolak masuk endodermis, maka mineral tidak akan diteruskan ke jaringan pembuluh. Jadi, endodermis berfungsi sebagai penghalang/struktur penyeleksi mineral yang akan diangkut oleh xilem.

**Gambar:** Pengangkutan air simplas dan apoplas (sumber : Campbell *et al.*, 2008:354)



Secara ringkas lintasan air dan mineral ke dalam akar adalah sebagai berikut:

- Molekul air dan ion mineral masuk ke akar melalui sel-sel epidermal rambut akar dan bergerak ke sel-sel korteks (simplas) secara osmosis. Air juga bergerak di antara sel-sel korteks (apoplas).
- Pengambilan mineral ke dalam sel akar dengan transpor aktif sehingga potensial solut sel meningkat. Pengambilan mineral ini difasilitasi oleh transpirasi. Bila laju transpirasi rendah maka pengambilan mineral didukung oleh tekanan akar. Tekanan akar dapat menaikkan air dalam tumbuhan sampai ketinggian 20 m.
- Zat nutrisi terlarut di air mengalir di antara sel-sel parenkim langsung menuju korteks akar dan melintasi sel-sel endodermis.
- Endodermis : satu lapis sel-sel yang dindingnya memiliki pita kaspari yang tersusun dari senyawa suberin sehingga lintasan apoplas beralih ke lintasan simplas melalui membran yang selektif mengontrol jumlah dan tipe ion dan mineral yang masuk ke dalam xilem akar.



**Gambar:** Lintasan antar membrane dan pergerakan air tanah masuk ke akar<sup>50</sup>

## 2. Transportasi Intravaskular

Transportasi intravaskular adalah pengangkutan zat yang terjadi melalui pembuluh angkut, yaitu xilem dan floem. Mineral yang melalui membran plasma dari transportasi ekstrasikuler selanjutnya masuk ke xilem dengan cara difusi atau angkutan aktif lalu dialirkan ke bagian atas tumbuhan melalui xilem. Pergerakan cairan xilem ke atas dan melawan gravitasi untuk mencapai ketinggian tidak akan terjadi tanpa bantuan pompa mekanik. Pompa mekanik tersebut adalah mekanisme yang membantu pergerakan ke atas dari cairan xilem.<sup>51</sup> Pengangkutan intravaskular berlangsung dari akar menuju bagian atas tumbuhan melalui berkas pembuluh, yaitu xilem.

Ada beberapa teori tentang pengangkutan air dan mineral dari bawah ke atas tubuh tumbuhan oleh xilem, antara lain :

- a. Teori tekanan akar menyatakan bahwa air dan mineral terangkat keatas jika adanya tekanan akar;
- b. Teori vital mengemukakan perjalanan air dari akar menuju daun dapat terlaksana karena pertolongan sel-sel hidup;

<sup>50</sup> Mastuti, Retno, Modul 1 *Keseimbangan Air pada Tumbuhan*, ( Brawijaya: Jurusan Biologi Fakultas MIPA , 2016), hal 5

<sup>51</sup> Permana, Agus, dkk, *Biologi*, ( Jakarta : TOBI Tim Olimpiade Biologi Indonesia, 2012), hal 92

- c. Teory *dixion-joly*, naiknya air ke atas dikarenakan tarikan dari atas, yaitu daun yang melakukan transpirasi.<sup>52</sup>

Faktor yang mempengaruhi pengangkutan intravasikuler antara lain :

- a. Daya Isap Daun.

Daya isap daun berhubungan dengan transpirasi (penguapan). Penguapan yang terjadi melalui stomata mengakibatkan air di pembuluh tertarik menuju daun. Pengurangan penguapan misalnya adalah dengan pengguguran daun pada pohon jati atau adanya kutikula pada tumbuhan kaktus.

- b. Kapilaritas Pembuluh Angkut (Xilem)

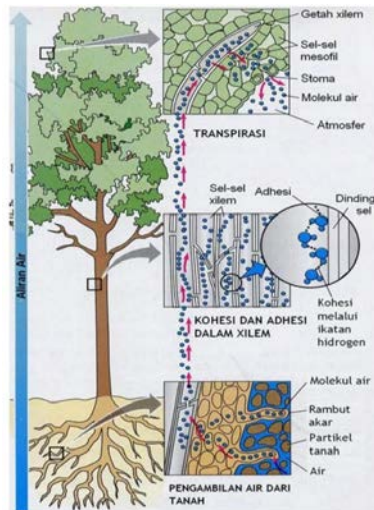
Xylem tersusun atas deretan sel mati yang membentuk pipa-pipa kapiler. Daya kapilaritas xylem menyebabkan air merembes dari bawah ke atas. Kapilaritas xylem dapat terlihat pada pelepah batang pisang yang mengeluarkan getah saat ditebang.

- c. Tekanan Akar

Transportasi masuknya air ke dalam akar terjadi melalui proses osmosis. Osmosis adalah gerak air dari larutan yang encer (hipotonik) ke larutan yang lebih pekat (hipertonik) melalui membrane semipermeabel, sehingga rambut akar dapat menyerap air. Pergerakan air dari sel ke sel secara osmosis menimbulkan gaya dorong akar yang disebut daya tekan akar/tekanan akar.

---

<sup>52</sup> *Ibid*, h. 33



**Gambar:** Pengangkutan Intravaskular

## 6.5. Peranan dan Gejala Defisiensi Mineral

Adapun peranan mineral bagi tumbuhan serta dampak yang ditimbulkan akibat kekurangan mineral, meliputi :

### a. Nitrogen

Nitrogen adalah mineral yang sangat dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah besar. Nitrogen sangat penting bagi tumbuhan karena merupakan komponen sel, asam amino, asam nukleat, hormon tertentu (misal: IAA, sitokinin), dan klorofil. Kekurangan nitrogen dengan cepat dapat menghambat pertumbuhan tumbuhan. Jika tetap terjadi kekurangan nitrogen, maka terjadi klorosis (menguningnya daun), terutama daun-daun yang lebih dewasa. Klorosis menyebar dari daun dewasa ke daun yang lebih muda.

### b. Sulfur

Sulfur diserap oleh tumbuhan dalam bentuk sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan hanya sebagian kecil. Sulfur dalam bentuk gas sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) yang diserap langsung oleh tumbuhan dari tanah dan atmosfer. Sulfur ditemukan dalam dua jenis asam amino yaitu sistein dan metionin, yang merupakan unsur beberapa koenzim, dan vitamin penting bagi metabolisme. Defisiensi jarang terjadi di alam, namun jika terjadi defisiensi sulfur maka gejalanya sama dengan defisiensi nitrogen, seperti: klorosis pada daun, pada

seludang pembuluh, pertumbuhan yang sangat cepat, dan akumulasi antosianin. Meskipun demikian, klorosis yang disebabkan oleh defisiensi sulfur umumnya diawali pada daun yang lebih muda dan akhirnya daun dewasa, hal ini merupakan kebalikan dari defisiensi nitrogen.

c. Fosfor

Fosfor (fosfat,  $\text{PO}_4^{-3}$ ) adalah komponen integral dari senyawa penting tumbuhan, termasuk intermediet gula fosfat dalam respirasi dan fotosintesis, serta fosfolipid yang membangun membran sel. Fosfor juga komponen nukleotida yang digunakan sebagai energi metabolisme (seperti ATP), dan dalam DNA serta RNA. Gejala defisiensi fosfor adalah pertumbuhan kerdil dari tumbuhan muda dan daunnya berwarna hijau gelap, terkadang terlihat adanya noda kecil-kecil karena jaringannya mati yang disebut *necrotic spots*.

d. Silikon

Tumbuhan menabsorpsi silikon dalam bentuk asam salisilat dari dalam tanah. Saat ini dikenal tumbuhan famili Equisetaceae, Cyperaceae, dan Poaceae yang membutuhkan silikon untuk melengkapi siklus hidupnya. Meskipun demikian beberapa spesies lainnya juga mengakumulasi silikon dalam jaringannya, dan jika tersedia dalam jumlah yang cukup dapat meningkatkan pertumbuhan serta kesuburan tumbuhan tersebut. Silikon disimpan terutama dalam retikulum endoplasma, dinding sel, ruang antar sel dalam bentuk  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Silikon juga membentuk kompleks dengan polifenol dan bertindak sebagai alternatif pembuatan lignin sebagai penguat dari dinding sel. Tumbuhan yang kekurangan silikon akan lebih peka terhadap infeksi jamur. Silikon dapat melindungi tumbuhan dari *powdery mildew disease* (penyakit embun tepung), yang disebabkan oleh *Sphaerotheca fuliginea*.

e. Boron

Boron berperan dalam pemanjangan sel, sintesis asam nukleat, respon imun, dan fungsi membran. Tumbuhan kekurangan boron dapat memperlihatkan gejala yang luas, tergantung spesies dan umur tumbuhan. Karakteristik gejala kekurangan boron adalah nekrotik kehitaman pada daun muda dan tunas-tunas terminal. Struktur buah, akar, dan umbi memperlihatkan nekrotik juga atau abnormal sehubungan dengan perubahan jaringan internal.

f. Potasium

Potasium ada di dalam tumbuhan sebagai kation  $K^+$ , berperan penting dalam pengaturan potensial osmotik sel tumbuhan. Potasium juga terlibat dalam aktivitas sejumlah enzim yang berperan dalam respirasi dan fotosintesis. Gejala awal yang tampak pada tumbuhan defisiensi potasium adalah klorosis di daerah pinggiran daun dan perkembangan selanjutnya terjadi nekrosis terutama pada bagian ujung daun. Batang tumbuhan yang kekurangan potasium mungkin kurus dan lemah, dan internodulnya pendek tidak normal.

g. Kalsium

Kalsium diserap oleh tumbuhan dalam bentuk ion kalsium ( $Ca^{2+}$ ) digunakan tumbuhan untuk sintesis dinding sel baru, terutama lamela tengah. Kalsium juga berperan pada gelendong mitosis selama pembelahan sel. Karakteristik gejala defisiensi kalsium pada tumbuhan meliputi nekrosis di daerah meristematik, seperti ujung akar atau daun muda, dimana pembelahan sel dan pembentukan dinding sel terjadi lebih cepat. Sistem perakaran tumbuhan yang defisiensi kalsium tampak kecoklatan, pendek, dan banyak cabang.

h. Magnesium

Magnesium diserap oleh tumbuhan dalam bentuk ion magnesium ( $Mg^{2+}$ ) mempunyai peran spesifik, yaitu dalam aktivitas enzim yang berperan dalam respirasi, fotosintesis, dan sintesis DNA dan RNA. Magnesium juga bagian dari struktur cincin molekul klorofil. Gejala yang terlihat pada tumbuhan defisiensi magnesium adalah klorosis dimulai dari daun tua ke muda, karena sifat mobil dari elemen ini. Gejala awal berupa warna hijau kekuningan yang dimulai dari ujung helaian daun. Pada gejala yang lebih berat daun akan berwarna coklat kuning cerah. Selain itu, tumbuhan yang defisiensi magnesium dapat mengalami absisi daun lebih awal.

i. Klorin

Unsur klorin diserap oleh tumbuhan dalam bentuk ion klorida ( $Cl^-$ ). Ion ini diperlukan untuk reaksi pemecahan air pada proses fotosintesis guna menghasilkan oksigen.  $Cl^-$



adalah anion utama yang penting dalam nutrisi tumbuhan, karena berperan untuk menyeimbangkan muatan positif dari potasium (kalium). Bersama dengan potasium (kalium),  $\text{Cl}^-$  dibutuhkan dalam perbesaran sel, membukanya stomata untuk pertukaran gas, dan turgiditas sel. Tumbuhan kekurangan  $\text{Cl}^-$  akan terlihat ujung daunnya layu yang selanjutnya memperlihatkan gejala klorosis dan nekrosis. Namun kekurangan  $\text{Cl}^-$  jarang terjadi, karena selalu tersedia cukup dalam air hujan. Akar dari tumbuhan defisiensi  $\text{Cl}^-$  tampak kerdil dan mengecil hingga ujung akar.

j. Mangan

Mangan diserap oleh tumbuhan dalam bentuk ion mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ ) mengaktifkan beberapa enzim dalam sel tumbuhan. Enzim dekarboksilase dan dehidrogenase yang terlibat dalam siklus Krebs diaktifkan dengan adanya mangan. Fungsi utama mangan ini adalah dalam reaksi fotosintesis yang mana oksigen dihasilkan dari pemecahan air. Gejala utama kekurangan mangan adalah terjadi klorosis pada daerah diantara tulang daun, dan berkembang dengan terbentuknya noda-noda kecil nekrotik.

k. Sodium

Sebagian besar spesies tumbuhan yang menggunakan jalur C4 dan CAM dalam fiksasi karbon memerlukan ion sodium ( $\text{Na}^+$ ). Dalam kedua kelompok tumbuhan ini, sodium amat penting untuk regenerasi fosfofenolpiruvat, suatu substrat untuk karboksilasi utama dalam jalur C4 dan CAM. Pada kondisi defisiensi sodium, tumbuhan memperlihatkan gejala klorosis dan nekrosis, atau gagal dalam pembentukan bunga.

l. Besi

Besi berperan penting sebagai komponen dari enzim yang terlibat dalam transfer elektron (reaksi redoks), misalnya sitokrom. Peran ini adalah dalam reaksi dapat balik dari oksidasi  $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$  selama transfer elektron. Sama seperti defisiensi magnesium karakteristik gejala defisiensi besi adalah klorosis diantara pertulangan daun. Pada kondisi ekstrim atau defisiensi besi yang lama, pertulangan daun juga dapat mengalami klorosis dan akhirnya semua daun berubah menjadi putih.

m. Seng

Seng (Zn) adalah mikronutrien penting yang dibutuhkan tumbuhan untuk pertumbuhan dan perkembangan normal. Seperti logam berat lainnya, keberadaan Zn selalu

menunjukkan perubahan yang ditandai pada transpor elektron, permeabilitas membran, pengangkutan dan translokasi unsur hara. Defisiensi seng mengakibatkan reduksi pertumbuhan ruas-ruas antar batang, dan menghasilkan tumbuhan berbentuk roset.<sup>53</sup>

Mineral diperlukan dalam tanah terutama pada transport. Misalkan suatu zat mineral berupa larutan hinggap pada salah satu daun, maka dalam hitungan detik, zat tersebut diserap oleh ektoderm yang ada pada permukaan daun. Dan tidak lama kemudian zat tersebut dialirkan kebagian-bagian tanaman. Kejadian ini berkaitan erat dengan dengan adanya proses fotosintesis di daun.

Gejala-gejala dari suatu defisiensi mineral dipengaruhi sebagian oleh fungsi nutrisi tersebut didalam tumbuhan. Sebagai contoh defisiensi magnesium suatu unsur penyusun klorofil, menyebabkan klorosis. Pada beberapa kasus hubungan antara suatu defisiensi mineral dengan gejalanya tidak sesederhana itu.<sup>54</sup>

Gejala-gejala defisiensi pada tumbuhan bergantung pada :

a. Fungsi atau peran Mineral Sebagai Nutrien

Fungsi atau peran mineral sebagai nutrient misalnya, defisiensi magnesium, salah satunya komponen klorofil, yang dapat menyebabkan klorosis, yaitu penguningan daun-daun. Pada beberapa kasus, hubungan antara defisiensi mineral dan gejala-gejalanya tidak berjalan secara langsung. Misalnya, defisiensi besi dapat menyebabkan klorosis walaupun klorofil tidak mengandung besi, karena ion-ion besi dibutuhkan sebagai kofaktor pada salah satu langkah enzimatis dari sintesis klorofil.

b. Mobilitas Mineral di Dalam Tumbuhan

Jika suatu nutrisi bergerak bebas, gejala-gejalanya akan timbul terlebih dahulu pada organ-organ yang lebih tua karena jaringan-jaringan yang lebih muda dan sedang tumbuh memiliki daya menarik nutrisi yang lebih besar namun jumlahnya terbatas.

---

<sup>53</sup> Linda Advinda, *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*, (Yogyakarta : Deepublish, 2018) hal : 64-70

<sup>54</sup> Dwidjoseputro, *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*, (Jakarta: PT. Gramedia, 1985)

Jika defisiensi mineral yang relatif tidak bergerak memengaruhi bagian-bagian tumbuhan muda terlebih dahulu. Jaringan-jaringan yang lebih tua bisa memiliki mineral dalam jumlah cukup yang dipertahankan selama periode kekurangan suplai.

Hal-hal yang berkaitan dengan defisiensi mineral :

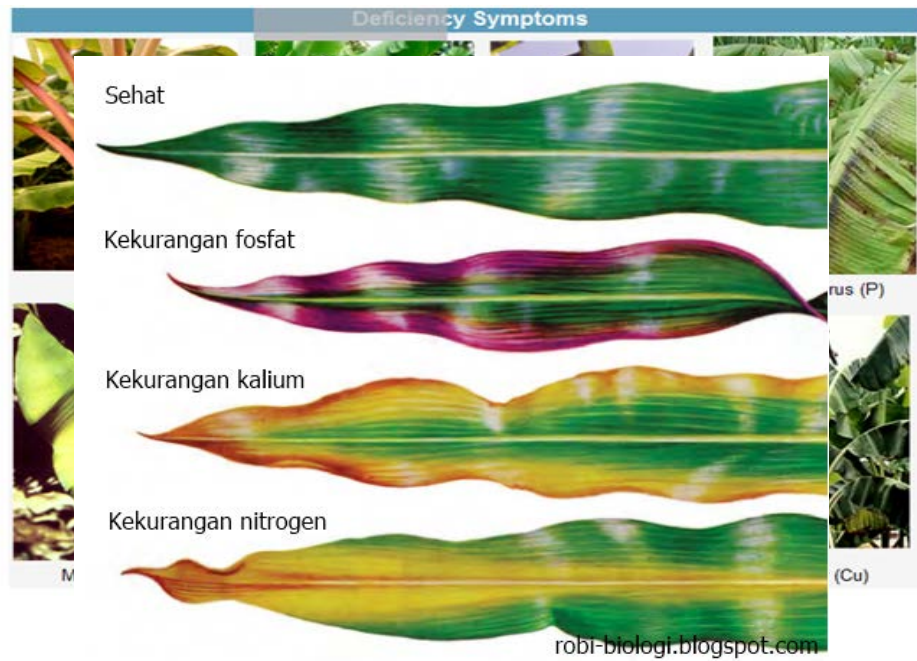
- Defisiensi fosfor, kalium, dan terutama nitrogen paling sering terjadi.
- Kelangkaan mikronutrien jarang terjadi, dan cenderung terjadi di wilayah-wilayah geografis tertentu akibat perbedaan komposisi tanah.
- Defisiensi seng pada pohon-pohon buah biasanya dapat disembuhkan dengan memakukan beberapa paku seng ke dalam setiap batang pohon.
- Overdosis nutrisi dapat merugikan atau meracuni tumbuhan. Terlalu banyak nitrogen, misalnya dapat menyebabkan pertumbuhan sulur yang berlebihan pada tanaman tomat, sehingga produksi buah yang baik justru menurun.

Gejala defisiensi mineral seringkali cukup jelas bagi seorang ahli fisiologi tumbuhan atau petani untuk mendiagnosis penyebabnya. Salah satu cara yang memperkuat diagnosis mengenai defisiensi yang spesifik adalah dengan menganalisis kandungan mineral dari tumbuhan tanah dimana tumbuhan tersebut tumbuh.

Salah satu cara untuk menjamin nutrisi mineral yang optimum adalah dengan menanam tumbuhan secara hidroponik di atas larutan-larutan nutrisi yang jumlahnya dapat diatur secara tepat. Hidroponik saat ini dilakukan secara komersial, akan tetapi hanya dalam skala terbatas karena kebutuhan akan peralatan dan tenaga kerja membuat pertanian hidroponik masih relatif lebih mahal daripada penanaman tumbuhan di atas tanah.

Gejala kekurangan nutrisi ini cepat atau lambat akan terlihat pada tanaman, terlihat pada jenis dan sifat tanaman. Ada tanaman yang cepat sekali memperlihatkan tanda-tanda kekurangan atau sebaliknya ada yang lambat. Pada umumnya pertama-tama akan terlihat pada

bagian tanaman yang melakukan kegiatan fisiologis terbesar yaitu pada bagian yang ada diatas tanah terutama pada daun-daunan.



**Gambar:** diatas merupakan gambar penampakan morfologis tumbuhan yang mengalami defisiensi pada bagian daun dan biji.

## BAB VII

### ZAT TUMBUH DAN HORMON PERTUMBUHAN TANAMAN

#### 7.1. KONSEP ZAT TUMBUH DAN DEFINISI HORMON

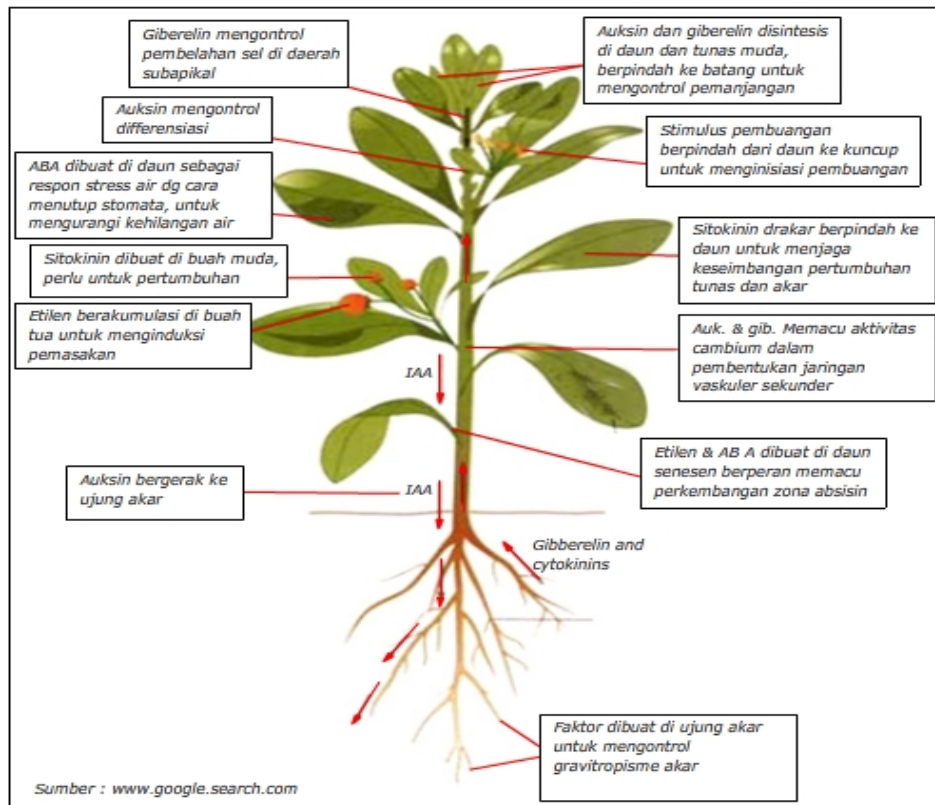
Kebanyakan ahli fisiologi tumbuhan menggunakan istilah zat pengatur tumbuh tanaman daripada istilah hormon tanaman. Karena istilah tersebut dapat mencakup baik zat-zat endogen maupun zat eksogen (sintetik) yang dapat mengubah pertumbuhan tanaman. Zat pengatur tumbuhan yang dihasilkan oleh tanaman disebut *Fitohormon*, sedangkan yang sintetik disebut zat pengatur tumbuhan sintetik.

Terdapatnya atau peran zat pengatur tumbuh di tumbuhan pertama kali dikemukakan oleh Charles Darwin dalam bukunya "*The Power of movement in plants.*" Beliau melakukan percobaan dengan rumput Canari (*Phalaris canariensis*) dengan memberinya sinar dari samping dan ternyata terjadi pembengkokan ke arah datangnya sinar. Bagian yang tidak mendapat sinar terjadi pertumbuhan yang lebih cepat daripada yang mendapat sinar sehingga terjadi pembengkokkan. Tetapi jika ujung kecambah dari rumput Canari dipotong akan tidak terjadi pembengkokkan. Sehingga dianalisa bahwa jika ujung kecambah mendapat cahaya dari samping akan menyebabkan terjadi pemindahan "pengaruh atau sesuatu zat" dari atas ke bawah yang menyebabkan terjadinya pembengkokkan.

**Hormon** merupakan zat pengatur tumbuh, yaitu molekul organik yang dihasilkan oleh satu bagian tumbuhan dan ditransportasikan ke bagian lain yang dipengaruhi. Hormon tumbuhan merupakan bagian dari sistem pengaturan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Kehadirannya di dalam sel pada kadar yang sangat rendah menjadi pemicu proses transkripsi RNA Hormon tumbuhan sendiri dirangsang pembentukannya melalui signal berupa aktivitas senyawa-senyawa reseptor sebagai tanggapan atas perubahan lingkungan yang terjadi di luar sel. Kehadiran reseptor akan mendorong reaksi pembentukan hormon tertentu.

Penggunaan istilah "hormon" sendiri menggunakan analogi fungsi hormon pada hewan. Hormon dalam konsentrasi rendah menimbulkan respons fisiologis. Terdapat 2 kelompok hormon yaitu :

- a. Hormon pemicu pertumbuhan (auksin, Giberelin dan sitokinin)
- b. Hormon penghambat pertumbuhan (asam absisat, gas etilen, hormon kalin dan asam traumalin)



**Gambar:** Lokasi kerja hormon

## 7.2. AUKSIN

Auksin merupakan senyawa asetat (gugus indol) yang terdapat pada indol, contohnya pada tanaman bawang merah (*Allium cepa*). Konsentrasi auksin lebih banyak terdapat pada daerah yang tidak terkena cahaya. Bagi tanaman (batang) yang tidak terkena cahaya akan mengalami pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan bagian lain yang terkena cahaya matahari akibat adanya auksin ini. Pada tumbuhan, auksin dapat ditemukan di embrio biji, meristem tunas apical, dan daun-daun muda.

### 1. Pengaruh Fisiologis dari Auksin

IAA dan Auksin lain berperan pada berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Beberapa aspek diuraikan secara singkat sebagai berikut:

- Pembesaran sel, Studi mengenai pertumbuhan koleoptil menunjukkan bahwa IAA dan auksin- auksin yang lain mendorong pembesaran sel tersebut. Perpanjangan koleoptil atau batang merupakan hasil dari pembesaran sel tersebut. Penyebaran yang tidak sama dari auksin ini menyebabkan pembesaran sel yang tidak merata

dan terjadi pembengkokan dari koleoptil atau organ tanaman (geotropisme dan fototropisme)

- b. Penghambatan mata tunas samping, Pertumbuhan dari mata tunas samping dihambat oleh IAA yang diproduksi pada meristem apical yang diangkut secara basipetal. Konsentrasi auksin yang tinggi menghambat pertumbuhan mata tunas tersebut.
- c. Absisi (pengguguran daun), terjadi sebagai akibat dari proses absisi (proses-proses fisik dan biokimia) yang terjadi di daerah absisi. Daerah absisi adalah kumpulan sel yang terdapat pada pangkal tangkai daun. Proses absisi ada hubungannya dengan IM pada sel-sel di daerah absisi.
- d. Aktivitas daripada kambium, Pertumbuhan sekunder termasuk pembelahan sel-sel di daerah kambium dan pembentukan jaringan xylem dan floem dipengaruhi oleh IM. Pembelahan sel-sel di daerah kambium dirangsang oleh IM.
- e. Pertumbuhan akar, Selang konsentrasi auksin untuk pembesaran sel-sel pada batang, menjadi penghambat pada pembesaran sel-sel akar. Selang konsentrasi yang mendorong pembesaran sel-sel pada akar adalah sangat rendah.

## **2. Cara Kerja Auksin**

Cara kerja hormon Auksin adalah menginisiasi pemanjangan sel dan juga memacu protein tertentu yang ada di membran plasma sel tumbuhan untuk memompa ion  $H^+$  ke dinding sel. Ion  $H^+$  mengaktifkan enzim tertentu sehingga memutuskan beberapa ikatan silang hidrogen rantai molekul selulosa penyusun dinding sel. Sel tumbuhan kemudian memanjang akibat air yang masuk secara osmosis. Auksin merupakan salah satu hormon tanaman yang dapat mengatur banyak proses fisiologi, seperti pertumbuhan, pembelahan dan diferensiasi sel serta sintesa protein.

Auksin diproduksi dalam jaringan meristematik yang aktif (yaitu tunas, daun muda dan buah). Kemudian auksin menyebar luas dalam seluruh tubuh tanaman, penyebarluasannya dengan arah dari atas ke bawah hingga titik tumbuh akar, melalui jaringan pembuluh tapis (floem) atau jaringan parenkim. Auksin atau dikenal juga dengan IAA = Asam Indolasetat (yaitu sebagai auksin utama pada tanaman), disintesis dari asam amino prekursor triptopan, dengan hasil perantara sejumlah substansi yang secara alami mirip auksin (analog) tetapi mempunyai aktifitas lebih kecil dari IAA seperti IAN = Indolaseto nitril, TpyA = Asam

Indolpiruvat dan IAAld = Indolasetatdehid. Proses biosintesis auxin dibantu oleh enzim IAA-oksidadase.

Cara pengangkutan auksin memiliki keistimewaan yang berbeda dengan pengangkutan floem, di antaranya :

- Pergerakan auksin itu lambat, hanya sekitar 1 cm jam<sup>-1</sup> di akar dan batang.
- Pengangkutan auksin berlangsung secara polar. Pada batang auksin ditransport secara basipetal (away from apex), sedangkan pada akar, transport auksin secara akropetal ke arah ujung melalui parenkim vaskuler.
- Pergerakan auksin memerlukan energi metabolisme, seperti ditunjukkan oleh kemampuan zat penghambat sintesis ATP atau keadaan kurang oksigen dalam menghambat pergerakan itu.

### 7.3. SITOKININ

Sitokinin merupakan senyawa derivat adenin yang dicirikan oleh kemampuannya menginduksi pembelahan sel (cell division) pada jaringan (dengan adanya auxin). Bentuk dasar dari sitokinin adalah adenin (6-amino purine). Selain dapat ditemukan di batang, sitokinin juga dapat di hasilkan di dalam akar dan akan diangkut ke organ yang lain.

#### 1. Pengaruh Fisiologis dari Sitokinin

Peranan Fisiologis sitokinin secara umum meliputi :

- Pembelahan sel (*cell division*). Pemberian sitokinin eksogen menginduksi pembelahan sel dalam kultur jaringan bersama- sama dengan adanya auxin. Secara endogen juga terjadi pada tanaman yg mengalami tumor *Crown Gall*.
- Morphogenesis. Dalam kultur jaringan dan *Crown Gall*, sitokinin menginduksi terbentuknya organ pucuk.
- Pertumbuhan tunas lateral (*growth of lateral buds*). Pemberian sitokinin menyebabkan terbebasnya pucuk lateral dari pengaruh “*Apical dominance*”
- Mendorong terbukanya stomata pada beberapa spesies, misalnya pada Solanaceae.
- Mendorong perluasan daun (*leaf expansion*), dihasilkan karena adanya pembesaran sel.



- Mendorong perkembangan kloroplast. Aplikasi sitokinin eksogen menyebabkan terakumulasinya klorofil dan mendorong konversi etioplast menjadi kloroplast.

## **2. Transport Sitokinin**

Secara sederhana sitokinin diangkut melalui xylem ke bagian pucuk tanaman. Namun demikian, floem merupakan jalan transport sitokinin yang lebih efektif dibandingkan dengan xylem yang dipengaruhi oleh proses transpirasi. (Balqis, 2002:12). Hal ini sesuai dengan pernyataan (Jameson dkk, 1987 dalam Salisbury and Ross, 1992) bahwa, pengangkutan berbagai jenis sitokinin pasti terjadi di dalam xylem. Namun, tabung tapis juga mengandung sitokinin. Hal ini dapat dibuktikan dengan menggunakan daun dikotil yang dipetik. Ketika sehelai daun dewasa dipetik dari tumbuhan spesies tertentu dan dijaga kelembabannya, sitokinin bergerak ke pangkal tangkai daun dan tertimbun di situ. Pergerakan ini mungkin terjadi melalui floem, bukan melalui xylem, karena transpirasi sangat mendukung aliran xylem dari tangkai ke helai daun. Penimbunan sitokinin di tangkai menunjukkan bahwa helai daun dewasa dapat memasok sitokinin ke daun muda lainnya melalui floem, asalkan daun tersebut mampu mensintetis sitokinin atau menerimanya.

Selain itu, menurut Krishnamoorthy (1981), tidak seperti auksin dan giberelin, sitokinin ditranslokasikan sangat buruk pada jaringan hidup dari tanaman, hal ini dapat ditunjukkan dengan memberikan benzyl adenine  $^{14}\text{C}$  pada daun kacang. Bekas tetesan pemberian sitokinin pada daun ini tidak terlihat berpindah, namun tetap bertahan di tempat semula. Namun sitokinin terbawa secara pasif sepanjang jalur transpirasi xylem menuju bagian aerial dari tubuh tumbuhan. Akibatnya jaringan xylem pada beberapa tumbuhan menunjukkan konsentrasi tinggi untuk hormon ini. Namun pada segmen akar, petiole dan hipokotil telah menunjukkan bahwa pemberian kinetin bergerak pada floem dengan arah basipetal (ke kutub) perpindahan ini tergantung pada keberadaan auksin. Yang kedua jumlah yang dipindahkan sangat kecil yang tidak tampak mempengaruhi fisiologi secara signifikan.

## **7.4. GIBERELIN**

Giberelin merupakan hormon yang mirip dengan auksin. Hormone ini ditemukan Oleh P. kurosawa (tahun 1926, di Jepang) pada jamur *Giberella fujikuroi*. Giberelin di produksi oleh tumbuhan di meristem tunas apical, akar, daun muda, dan embrio.

### **1. Pengaruh Fisiologis dari Giberelin**

Fungsi giberelin bagi tumbuhan adalah sebagai berikut:

- a. Memacu pertumbuhan buah tanpa biji (partenokarpi)
- b. Menyebabkan tanaman mengalami pertumbuhan raksasa
- c. Meyebabkan tanaman berbunga sebelum waktunya (tidak pada musimnya)
- d. Memacu pembentukan cambium pada tanaman dikotil
- e. Mematahkan dormansi buah dan biji
- f. Memperbesar ukuran buah

### **2. Cara Kerja Giberelin**

Cara hormon giberelin bekerja adalah dengan mengenai bagian embrio atau tunas agar terkena air. Hal ini bisa menyebabkan tunas embrio menjadi aktif, yang mana memicu munculnya hormone giberelin (GA). Keluarnya hormone ini bisa memicu keluarnya aleuron yang nantinya mensintesis dan mengeluarkan enzim. Enzim yang bisa keluar berupa enzim amylase, maltase, serta enzim yang mampu memecah protein. Selain itu, jika anda menambahkan hormone giberelin pada tanaman yang sedang berbunga pada bagian-bagian bunga, maka tumbuhlah buah tanpa biji. Sekarang ini sudah banyak berkembang adanya buah tanpa biji, seperti yang ada pada semangka.<sup>55</sup>

## **7.5. ASAM ABSISAT**

Hormon ini ditemukan pada tahun 1963 oleh Frederick Addicott. Addicott berhasil mengisolasi senyawa absisin I dan II dari tumbuhan kapas. Senyawa abscisin II kelak disebut dengan asam absisat, disingkat ABA. Pada saat yang bersamaan, dua kelompok peneliti lain yang masing-masing dipimpin oleh Philip Wareing dan Van Steveninck juga melakukan penelitian terhadap hormon tersebut. Semua jaringan tanaman terdapat hormon ABA yang

---

<sup>55</sup> Heddy, S. . *Hormon Tumbuhan*. (Jakarta, Grapindo Persada : 1996) hal : 99-107

dapat dipisahkan secara kromatografi Rf 0.9. Senyawa tersebut merupakan inhibitor B – kompleks. Senyawa ini mempengaruhi proses pertumbuhan, dormansi dan absisi.

### **1. Pengaruh Fisiologis dari Asam Absisat**

Salah satu fungsi asam absisat adalah menghambat pertumbuhan tumbuhan. Pada musim tertentu pertumbuhan akan terhambat. Hal itu merupakan adaptasi pertumbuhan terhadap perubahan lingkungan yang tidak memungkinkan bagi tumbuhan untuk tumbuh. Asam absisat dapat ditemukan pada daun, batang, akar, dan buah biji.

Fungsi lain asam absisat adalah membantu tumbuhan mengatasi dan bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (masa dormansi). Dalam keadaan dorman, tumbuhan terlihat seperti mati, tetapi setelah kondisi lingkungan menguntungkan, ia akan tumbuh lagi dan muncul tunas-tunas baru. Contohnya adalah pohon jati yang meranggas pada musim kemarau.

### **2. Cara Kerja Asam Absisat**

Cara kerja dari asam absisat ini seperti merangsang penutupan stomata pada waktu kekurangan air, mempertahankan dormansi dan biasanya terdapat di daun, batang, akar, buah berwarna hijau. Pengangkutan hormon ABA dapat terjadi baik di xilem maupun floem dan arah pergerakannya bisa naik atau turun. Transportasi ABA dari floem menuju ke daun dapat dirangsang oleh salinitas (kegaraman tinggi). Pada tumbuhan tertentu, terdapat perbedaan transportasi ABA dalam siklus hidupnya. Daun muda memerlukan ABA dari xilem dan floem, sedangkan daun dewasa merupakan sumber dari ABA dan dapat ditranspor ke luar daun.

Daun dan buah pada tumbuhan dapat menjadi rontok karena adanya pengaruh kerja hormon Asam Absisat (ABA). hormon ini menghambat pertumbuhan dan pembelahan sel. karena itu, jika hormon ini bekerja, proses yang terjadi di dalam sel akan berkurang dan kelamaan akan berhenti. berhentinya aktivitas sel, berarti juga berhentinya asupan nutrisi ke dalam sel tumbuhan tersebut, sehingga, bagian tumbuhan seperti daun akan kekurangan nutrisi, dan kering karena penguapan terus terjadi, namun tidak ada asupan air, dan kelamaan daun akan rontok.

Hormon ini dapat menutup stomata pada daun dengan menurunkan tekanan osmotik dalam sel dan menyebabkan sel turgor. Akibatnya, cairan tanaman hilang yang disebabkan oleh transpirasi melalui stomata dapat dicegah. ABA juga mencegah kehilangan air dari tanaman

dengan membentuk lapisan epikutikula atau lapisan lilin. Selain itu, ABA juga dapat menstimulasi pengambilan air melalui akar. Selain untuk menghadapi kekeringan, ABA juga berfungsi dalam menghadapi lingkungan dengan suhu rendah dan kadar garam atau salinitas yang tinggi. Peningkatan konsentrasi ABA pada daun dapat diinduksi oleh konsentrasi garam yang tinggi pada akar.. Dalam menghadapi musim dingin, ABA akan menghentikan pertumbuhan primer dan sekunder. Hormon yang dihasilkan pada tunas terminal ini akan memperlambat pertumbuhan dan memicu perkembangan primordia daun menjadi sisik yang berfungsi melindungi tunas dorman selama musim dingin. ABA juga akan menghambat pembelahan sel kambium pembuluh.<sup>56</sup>

## 7.6. ETILEN

Etilen merupakan satu-satunya hormone tumbuhan yang berbentuk gas. Gas etilen mempercepat pemasakan buah, contohnya pada buah tomat, pisang, apel, dan jeruk. Buah-buah tersebut dipetik dalam keadaan masih mentah dan berwarna hijau. Selanjutnya, buah-buah tersebut dikemas dalam bentuk kotak berventilasi dan diberi gas etilen untuk mempercepat pemasakan buah sehingga buah sampai ditempat tujuan dalam keadaan masak. Selain itu, gas etilen juga menyebabkan penebalan batang dan memacu pembungaan. Oleh karena itu, etilen dapat ditemukan pada jaringan buah yang sedang matang, buku batang, daun, dan bunga yang menua.

Telah diketahui bahwa etilen menjadi penyebab beberapa respons tanaman seperti pengguguran daun, pembengkakan batang, pemasakan buah dan hilangnya warna buah. Etilen menghambat pertumbuhan ke arah memanjang (longitudinal) dan mendorong pertumbuhan ke arah melintang (transversal) sehingga batang kecambah terlihat membengkak. Etilen juga merubah respons geotropisma, mendorong pengguguran daun, bunga dan buah. Respons geotropisma bukan saja dipengaruhi oleh etilen tetapi juga oleh auksin, demikian juga dengan proses penuaan (senescence).

Pembentukan ethylene dalam jaringan-jaringan tanaman dapat dirangsang oleh adanya kerusakan-kerusakan mekanis dan infeksi. Oleh karena itu adanya kerusakan mekanis pada buah-buahan yang baik di pohon maupun setelah dipanen akan dapat mempercepat pematangannya. Penggunaan sinar-sinar radioaktif dapat merangsang produksi ethylene. Pada buah Peach yang disinari dengan sinar gama 600 krad ternyata dapat mempercepat

---

<sup>56</sup> Emanuel, A.P. *Biologi*, ( Jakarta : PT Galaxy Puspa Mega, 1997) hal : 103-121

pembentukan ethylene apabila dibeika pada saat pra klimakterik, tetapi penggunaan sinar radioaktif tersebut pada saat klimakterik dapat menghambat produksi ethylene.

Produksi ethylene juga dipengaruhi oleh faktor suhu dan oksigen. Suhu rendah maupun suhu tinggi dapat menekan produk si ethylene. Pada kadar oksigen di bawah sekitar 2 % tidak terbentuk ethylene, karena oksigen sangat diperlukan. Oleh karena itu suhu rendah dan oksigen rendah dipergunakan dalam praktek penyimpanan buah-buahan, karena akan dapat memperpanjang daya simpan dari buah-buahan tersebut. Aktifitas ethylene dalam pematangan buah akan menurun dengan turunnya suhu, misalnya pada Apel yang disimpan pada suhu 30°C, penggunaan ethylene dengan konsentrasi tinggi tidak memberikan pengaruh yang jelas baik pada proses pematangan maupun pernafasan.

### **7.7. ASAM TRAUMALIN**

Hormon asam traumalin disebut juga sebagai hormon luka atau kambium luka, yakni sejenis hormon yang berbentuk cair tetapi dalam kondisi normal, asam traumalin ini berbentuk padat, kristal dan tak mudah larut dalam air. Asam traumalin ini merupakan sejenis hormon hipotetik, yakni gabungan dari beberapa aktivitas hormon seperti hormon giberelin, hormon auksin, sitokinin, etilen dan yang lainnya. Pada umumnya, tanaman yang kekurangan asam traumalin ini akan sulit untuk bergenerasi.

Apabila tumbuhan mengalami luka atau perlukaan karena gangguan fisik, maka akan segera terbentuk kambium gabus. Pembentukan kambium gabus itu terjadi karena adanya pengaruh hormon luka (asam traumalin). Sebenarnya, peristiwa ini merupakan hasil kerja sama antahormon pada tumbuhan yang disebut restitusi (regenerasi). Awalnya, luka pada tumbuhan akan memacu pengeluaran hormon luka yang kemudian merangsang pembentukan kambium gabus. Pembentukan kambium gabus dilakukan oleh hormon giberelin. Selanjutnya, karena pengaruh hormon sitokinin, terbentuklah sel-sel baru yang akan membentuk jaringan penutup luka yang disebut kalus. Asam traumalin ini dapat ditemukan pada dinding sel tumbuhan. Fungsi asam traumalin adalah, merangsang sel-sel daerah luka menjadi bersifat meristmatik sehingga mampu mengadakan penutupan bagian yang luka.<sup>57</sup>

---

<sup>57</sup> Isbandi, J.. *Pertumbuhan dan perkembangan Tanaman*. (Yogyakarta : Fakultas Pertanian UGM,1983 ) hal : 74-83

## **BAB VIII**

### **GERAK TUMBUHAN**

#### **8.1. DEFINISI GERAK**

Gerak merupakan salah satu bentuk tanggapan organisme terhadap rangsang. Rangsang dapat datang dari luar (eksternal) atau dari dalam (internal) tubuhnya sendiri. Pada makhluk primitif, kemampuan menanggapi rangsang masih sangat sederhana yang disebut daya iritabilitas. Tumbuhan mempunyai kepekaan tertentu untuk menanggapi rangsang yang diterimanya. Setiap rangsangan yang mengenai tumbuhan akan ditanggapi oleh tumbuhan tersebut. Tanggapan ini berupa gerakan dari bagian-bagian tumbuhan.

Beberapa gerak yang dilakukan oleh tumbuhan, dihasilkan sebagai respon tumbuhan terhadap sejumlah rangsangan dari luar atau dari lingkungannya. Berdasarkan atas penyebab timbulnya gerak, dapat dibedakan antara gerak tumbuh dan gerak turgor. Gerak tumbuh adalah gerak yang ditimbulkan oleh adanya pertumbuhan, sehingga menimbulkan perubahan plastis atau "irreversible". Gerak turgor adalah gerak yang timbul karena terjadi perubahan turgor pada sel-sel tertentu, dan sifatnya elastis atau "reversible".

#### **8.2. MACAM-MACAM GERAK TUMBUHAN**

Berdasarkan sumber rangsangan, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi 2 macam, yaitu: Gerak endonom dan Gerak etionom / Esionom.

##### **1. Gerak Endonom**

Gerak autonom (endonom) adalah gerak yang belum diketahui penyebabnya secara pasti, namun diperkirakan gerak ini disebabkan oleh rangsangan yang berasal dari dalam tubuh tumbuhan itu sendiri. Dengan kata lain, gerak autonom adalah gerak yang tidak disebabkan oleh rangsangan dari luar. Contoh:

- Gerak mengalirnya sitoplasma dalam sel
- Gerak melengkungnya kuncup daun karena perbedaan kecepatan tumbuh.
- Gerak yang diperlihatkan tumbuhan ketika tumbuh seperti tumbuhnya akar, batang, daun, dan bunga.
- Gerak kloroplas memutar mengelilingi isi sel pada sel-sel daun *Hydrilla sp.*

### Macam-Macam Gerak Endonom

- a. **Nutasi**, yaitu Gerak spontan dari tumbuhan yang tidak disebabkan adanya rangsangan dari luar. Contoh gerak nutasi adalah gerak pertumbuhan daun dan gerak rotasi sitoplasma (siklosis) pada sel-sel daun *Hydrilla verticillata* (ganggang) yang dapat dideteksi dari gerak sirkulasi klorofil di dalam sel.
- b. **Higroskopis**, yaitu Gerak bagian tumbuhan yang terjadi karena adanya perubahan kadar air pada tumbuhan secara terus menerus, akibatnya kondisi menjadi sangat kering pada kulit buah atau kotak spora sehingga kulit biji atau kotak spora pecah. Misalnya: Pecahnya kulit buah kacang polong dan kacang kedelai. Gerak higroskopis juga terjadi pada membukanya kotak spora pada tumbuhan paku dan tumbuhan lumut.<sup>58</sup>



**Gambar:** Pecahnya kulit buah kacang kedelai (kiri) dan kacang polong (kanan) karena gerak higroskopis

### **2. Gerak Etionom**

Gerak Etionom atau gerak esionom adalah gerak yang dipengaruhi oleh rangsangan dari luar tubuh tumbuhan. Salah satu contoh gerak etionom adalah gerak yang dipengaruhi oleh tekanan turgor. Tekanan turgor adalah tekanan air pada dinding sel. Tekanan turgor disebabkan oleh masuknya air ke dalam sel. Sehingga menimbulkan tekanan pada dinding sel. Faktor penyebab gerak etionom bisa berasal dari faktor rangsang sentuhan, air, cahaya, suhu, zat kimia, gravitasi, dan lain-lain.

### Macam-Macam Gerak Etionom

---

<sup>58</sup> Anggorowati, Sulastri. *Fisiologi Tumbuhan*. (Tangerang Selatan: Pusat Penerbit Universitas Terbuka, 2010)

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

### **8.3. GERAK TROPISME**

Gerak Tropisme adalah gerak bagian tumbuhan yang arah gerakannya dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan. Tropisme berasal dari bahasa Yunani, yaitu trope, yang berarti membelok. Bila gerakannya mendekati arah rangsangan disebut tropisme positif sedangkan jika gerak responnya menjauhi arah datangnya rangsangan disebut tropisme negatif. Contoh:

- Gerak batang tumbuhan ke arah cahaya,
- Gerak akar tumbuhan ke pusat bumi,
- Gerak akar menuju air
- Gerak membelitnya ujung batang atau sulur pada jenis tumbuhan bersulur.

#### **Macam-Macam Gerak Tropisme**

##### **1. Fototropisme**

Fototropisme adalah gerak tropisme yang disebabkan oleh rangsangan berupa cahaya matahari. Contoh dari fototropisme adalah pertumbuhan koleoptil rumput menuju arah datangnya cahaya. Koleoptil merupakan daun pertama yang tumbuh dari tanaman monokotil yang berfungsi sebagai pelindung lembaga yang baru tumbuh. Fototropisme disebut juga heliotropisme. Fototropisme berkaitan erat dengan zat tumbuh yang terdapat pada ujung tumbuhan yang disebut auksin. Pada sisi batang yang terkena cahaya, zat tumbuh lebih sedikit daripada sisi batang yang tidak terkena cahaya. Akibatnya, sisi batang yang terkena cahaya mengalami pertumbuhan lebih lambat daripada sisi batang yang tidak terkena cahaya sehingga batang membelok ke arah cahaya.

Beberapa hipotesis menyebutkan fototropisme disebabkan kecepatan pemanjangan sel-sel pada sisi batang yang lebih gelap lebih cepat dibandingkan dengan sel-sel pada sisi lebih terang karena adanya penyebaran auksin yang tidak merata dari ujung tunas. Hipotesis lainnya menyatakan bahwa ujung tunas merupakan fotoreseptor yang memicu respons pertumbuhan. Fotoreseptor adalah molekul pigmen yang disebut kriptokrom dan sangat sensitif terhadap cahaya biru. Namun, para ahli menyakini bahwa fototropisme tidak hanya dipengaruhi oleh fotoreseptor, tetapi juga dipengaruhi oleh berbagai macam hormon dan jalur signaling.



Cahaya yang paling efektif dalam merangsang fototropisme adalah cahaya gelombang pendek, sedangkan cahaya merah tidak efektif. Di duga respon fototropis ini ada kaitannya dengan karoten dan riboflavin, karena kombinasi penyerapan spectrum oleh karoten dan



riboflavin mirip dengan pola kerja spektrum terhadap fototropisme.

**Gambar:** Gerak tanaman menuju lubang cahaya (fototropisme)

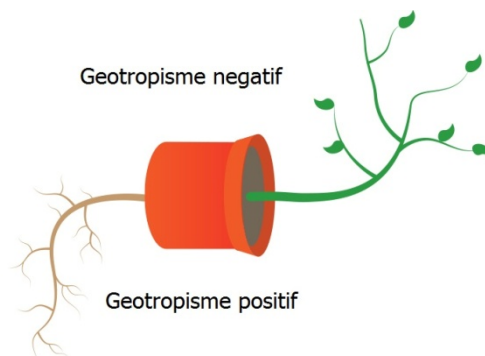
## 2. Geotropisme

Geotropisme adalah gerak tropisme yang disebabkan oleh rangsangan gaya gravitasi bumi. Geotropisme disebut juga gravitropisme. Geotropisme positif jika gerak responnya menuju ke bumi atau menuju ke bawah, Misalnya: gerak pertumbuhan akar. Geotropisme negatif jika gerak responnya menjauhi bumi atau menuju ke atas, Misalnya: gerak pertumbuhan batang.

Tumbuhan dapat membedakan arah atas dan bawah dengan pengendapan statolit. Statolit adalah plastida khusus yang mengandung butiran pati padat dan terletak pada posisi rendah, misalnya pada bagian tudung akar. Adanya penumpukan statolit pada akar dapat memicu distribusi kalsium dan auksin. Namun, tanaman yang tidak memiliki statolit pun masih dapat mengalami gravitropisme yang disebabkan kinerja sel akar yang dapat berfungsi sebagai indera dan menginduksi perenggangan protein sel ke atas dan penekanan protein sel tanaman ke sisi bawah akar.

Istilah geotropisme digunakan untuk fenomena yang mana bagian-bagian tanaman multiseluler mengasumsikan orientasi pada sudut yang secara khusus yang berhubungan dengan arah tali pengukur tegak lurus. Jadi sebagian besar organ tanaman mencapai keseimbangan stabil pada sebuah sudut tertentu terhadap vektor gaya berat dan dari situ setiap keberangkatan yang dipaksakan akan menyebabkan tanaman melengkung balik kepada apa yang mungkin disebut orientasi yang disukai. Pelengkungan timbul dengan ekspansi diferensiasi dari kedua sisi organ yang bersangkutan, hampir selalu hal ini permanen, ekspansi

pertumbuhan yang tidak dapat balik meskipun perubahan volume yang dapat balik, misalnya pada pulvini dari *Phaseolus vulgaris* yang diinduksikan oleh tekanan hidrostatik (turgor)



kandungan isi sel bias menjadi dasar respon-respon itu.

**Gambar:** Geotropisme negatif pada batang dan geotropisme positif pada akar

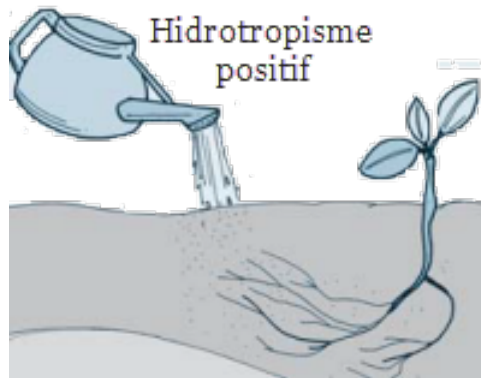
### 3. Hidrotropisme

Hidrotropisme adalah gerak tropisme yang disebabkan adanya rangsangan berupa air. Gerak akar tumbuhan selalu menuju ke tempat yang basah (berair). Hidrotropisme merupakan gerak tumbuhan akar yang dipengaruhi oleh ketersediaan air tanah. Pada umumnya, akar tumbuhan lurus ke bawah, tetapi jika pada arah ini tidak terdapat cukup air, maka akar akan tumbuh membelok ke arah yang cukup air. Misalnya: Gerakan akar kaktus untuk mencari air.

Hidrotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan air. Jika gerakan itu mendekati air maka disebut hidrotropisme positif. Misalnya, akar tanaman tumbuh bergerak menuju tempat yang banyak airnya di tanah. Jika tanaman tumbuh menjauhi air disebut hidrotropisme negatif. Misal gerak pucuk batang tumbuhan yang tumbuh ke atas air.

Respon tumbuhan tanaman ditentukan oleh stimulus gradient atau konsentrasi air (kelembaban). Kelembaban menyebabkan membeloknya akar ke daerah yang mengandung air dengan konsentrasi yang lebih besar.

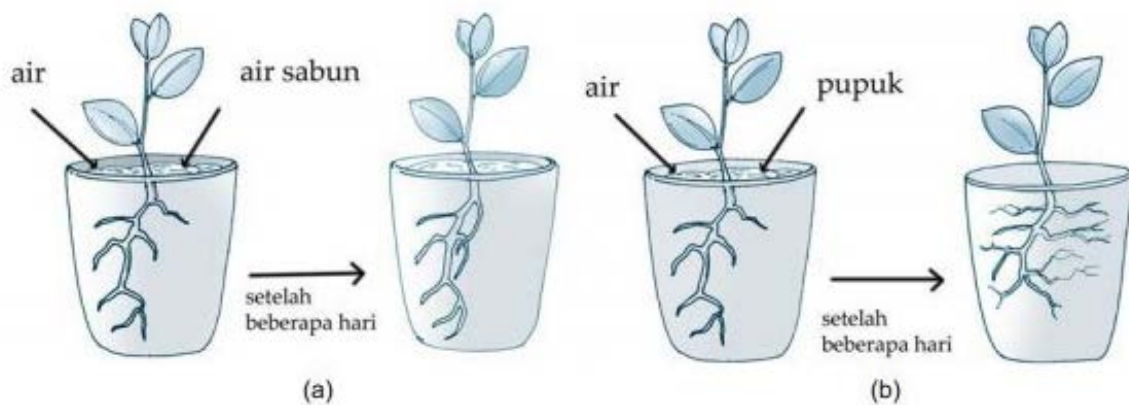
Pengamatan terkait hidrotropisme belum banyak berkembang, karena bagian tumbuhan yang mendapat pengaruh adalah akar. Tetapi jika dibandingkan dengan pengaruh gravitasi, pertumbuhan akar ke bawah lebih dimungkinkan karena adanya rangsangan gravitasi dibandingkan rangsangan air.



**Gambar:** Hidrotropisme positif pada akar tanaman

#### 4. Kemotropisme

Kemotropisme adalah gerak tropisme yang disebabkan adanya rangsangan berupa zat kimia. Jika gerakannya mendekati zat kimia tertentu disebut kemotropisme positif. Misalnya gerak akar menuju zat di dalam tanah. Jika gerakannya menjauhi zat kimia tertentu disebut kemotropisme negatif. Contohnya gerak akar menjauhi racun.



**Gambar 9.2** (a) Gerak kemotropisme negatif, (b) Gerak kemotropisme positif  
**Sumber:** Dokumen penerbit

**Gambar:** Gerak kemotropisme negatif dan gerak kemotropisme positif

#### 5. Tigotropisme

Tigmotropisme adalah pergerakan pertumbuhan sel tanaman yang dirangsang oleh sentuhan. Kata ini berasal dari bahasa Yunani "thigma" yang berarti "sentuhan". Contoh dari tigmotropisme adalah pertumbuhan tanaman sulur seperti anggur dan tanaman yang pertumbuhannya merambat dan memiliki sulur yang membelit bagian penopangnya dan pada *Brunnichia ovate*.

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

Contoh lainnya adalah sentuhan angin kencang pada tebing bukit membuat pohon-pohon yang tumbuh di sekitarnya memiliki batang yang lebih pendek dan gemuk apabila dibandingkan dengan pohon yang sama pada daerah yang terlindungi dari angin kencang. Respon perkembangan tumbuhan terhadap gangguan mekanis ini biasa disebut tigmomorfogenesis dan umumnya disebabkan peningkatan produksi etilen. Gas etilen ini merupakan hormon yang dibentuk sebagai respons terhadap rangsangan sentuhan yang hebat.



**Gambar:** Gerakan lilitan sulur tanaman anggur

## 6. Termotropisme

Termotropisme adalah pergerakan pertumbuhan tanaman yang dipengaruhi oleh rangsangan berupa panas atau perubahan panas. Salah satu contoh termotropisme adalah pertumbuhan daun tanaman *Rhododendron* yang dapat menjadi keriting dan menunduk ke bawah.

Apabila suhu lingkungan mencapai  $-1^{\circ}\text{C}$ . Hal ini diduga merupakan salah satu cara menghindari kekeringan daun di musim dingin dan mencegah pembukaan stomata.<sup>59</sup> Pada pagi hari di musim dingin, daun *Rhododendron* akan menunduk ke arah bawah karena adanya kenaikan suhu yang disebabkan sinar matahari pagi. Akibatnya, membran selulayang membeku akan mencair dan peristiwa ini terjadi berulang-ulang setiap hari pada musim dingin. Untuk menghindari kerusakan membrane selular karena peristiwa pencairan-beku berulang, daun tanaman ini akan menghadap ke bawah dan keriting.

Sebagian dari ujung batang tanaman akan tumbuh dan bergerak ke arah sumber panas apabila suhunya rendah, namun bila suhunya tinggi, ujung batang akan menjauhi sumber panas tersebut. Sementara itu, pertumbuhan akar terhadap rangsangan panas belum ditemukan dengan jelas karena setiap tanaman memiliki karakteristik pergerakan pertumbuhan yang berbeda-beda antara yang satu dengan yang lain.

## **7. Gravitropisme**

Gravitropisme merupakan gerak pertumbuhan ke arah atau menjauhi tarikan gravitasi. Gravitropisme bersifat positif jika pertumbuhan mengarah ke bawah dan bersifat negatif jika pertumbuhan mengarah ke atas. Bagian tumbuhan yang dapat menerima rangsangan gravitasi adalah tudung akar dan pucuk batang. Batang dan tangkai bunga biasanya bersifat gravitropis negatif, namun responnya sangat beragam. Batang utama akan tumbuh  $180^{\circ}$  dari arah gravitasi sedangkan cabang, tangkai daun, rimpang dan stolon biasanya lebih mendatar.

Berdasarkan arah pertumbuhan terhadap gravitasi, gravitropisme terbagi menjadi orthogravitropisme (pertumbuhan tegak lurus ke atas ataupun ke bawah), diagravitropisme (pertumbuhan mendatar), plagiogravitropisme (pertumbuhan membentuk sudut tertentu). Sedangkan organ yang tidak mendapat pengaruh gravitasi disebut agravitropis.

---

<sup>59</sup> Noggle, R.R. and G.J. Fritz. 1997. *Introductory Plant Physiology*. Printice Hall of India Prive Limited. New Delhi

Rangsangan gravitasi diterima oleh sel melalui dua cara yaitu menerima perbedaan tekanan pada sel sebagai akibat terjadinya distribusi partikel-partikel ringan dan berat yang tidak merata di dalam sel. Kedua adalah timbulnya tekanan sebagai akibat adanya fluktuasi perubahan status air dalam sel, akan menimbulkan tekanan yang disebabkan kandungan sel.

Pada Percobaan R Went dan N. Cholodny menjelaskan adanya pembelokan pucuk ke arah atas di sebabkan distribusi auksin yang asimetris (tidak merata) pada tanaman dalam posisi horizontal. Pengaruh gravitasi menyebabkan konsentrasi auksin bagian bawah menjadi bertambah. Peningkatan kadar auksin akan merangsang pertumbuhan lebih cepat, sehingga pucuk akan membelok ke atas. Begitupun pada akar yang memiliki asam absisat (ABA) pada tudung akar. Akibat pengaruh gravitasi menyebabkan akumulasi ABA lebih banyak pada bagian bawah, sehingga meningkatkan penghambatan pertumbuhan. Akibatnya bagian sebelah atas yang ABA lebih sedikit, akan tumbuh lebih cepat dan akar akan membelok ke bawah.<sup>60</sup>

#### **8.4. GERAK NASTI**

Gerak nasti adalah gerak bagian tumbuhan yang dipengaruhi oleh rangsangan. namun arahnya tidak dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan. Kata nasti berasal dari bahasa Yunani, yaitu *nastos* yang berarti dipaksa mendekat. Oleh karena itu, arah gerak dari bagian tubuh tumbuhan yang melakukan gerak nasti ditentukan oleh tumbuhan itu sendiri. Contoh:

- Menutupnya daun putri malu dan tumbuhan Venus karena sentuhan
- Menutupnya daun majemuk pada tanaman polong saat malam hari
- Membuka dan menutupnya bunga pukul empat
- Membuka serta menutupnya stomata

#### **Macam-Macam Gerak Nast**

##### **1. Fotonasti**

Fotonasti adalah gerak nasti pada tumbuhan yang disebabkan oleh rangsangan cahaya matahari. Misalnya:

- Bunga pukul Sembilan (*Portulaca grandiflora*) yang mekar sekitar pukul sembilan.

---

<sup>60</sup> Harahap, Fauziah. *Fisiologi Tumbuhan : Suatu Pengantar*. (Medan : Unimed Press, 2012) hal: 48-53

- Bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*) yang akan mekar pada sore hari dan menutup esok paginya.

## 2. Niktinasti

Niktinasti adalah gerak nasti yang disebabkan oleh suasana gelap. Istilah niktinasti berasal dari bahasa Yunani, *nux* yang berarti malam. Umumnya, daun-daun tumbuhan polong-polongan (*Leguminosaceae*) akan menutup pada waktu malam. Daun-daun tersebut akan membuka kembali pada pagi hari. Selain disebabkan oleh suasana gelap, gerak “tidur” daun-daun tersebut dapat terjadi akibat perubahan tekanan turgor di dalam persendian daun.

A.W.Galston dan kawan-kawan mendeteksi adanya perpindahan ion kalium dari bagian atas ke bagian bawah pulvinus dan sebaliknya. Perpindahan ion kalium telah menyebabkan perubahan potensial osmotik yang besar pada sel-sel motor yang mengakibatkan daun bergerak ke atas atau ke bawah. Diduga auksin terlibat dalam kegiatan ini. IAA yang diproduksi pada siang hari terutama diangkut ke bagian bawah petiol. Ion kalium akan bergerak ke arah di mana memiliki kandungan IAA lebih tinggi, air masuk ke bagian bawah pulvinus dan daun bangun. Angkutan auksin berkurang pada malam hari, terjadi reaksi sebaliknya. Auksin yang diberikan ke bagian atas atau bagian bawah pulvinus akan menyebabkan tidur dan bangunnnya daun secara berturut-turut. Sejumlah sel di pulvinus yang mengembung saat membuka disebut ekstensor, sedangkan sel yang mengerut dinamakan fleksor. Gerak ini terjadi pada tumbuhan polong-polongan.

Misalnya: Gerak tidur daun pohon turi di malam hari, yang mengatupkan daunnya saat hari mulai gelap. Tanaman Kembang Turi yang daunnya membuka lebar sepanjang hari (pagi hingga menjelang sore hari). Tanaman Kembang Turi yang daunnya menutup (gerak tidur) menjelang malam hari sampai menjelang pagi hari.

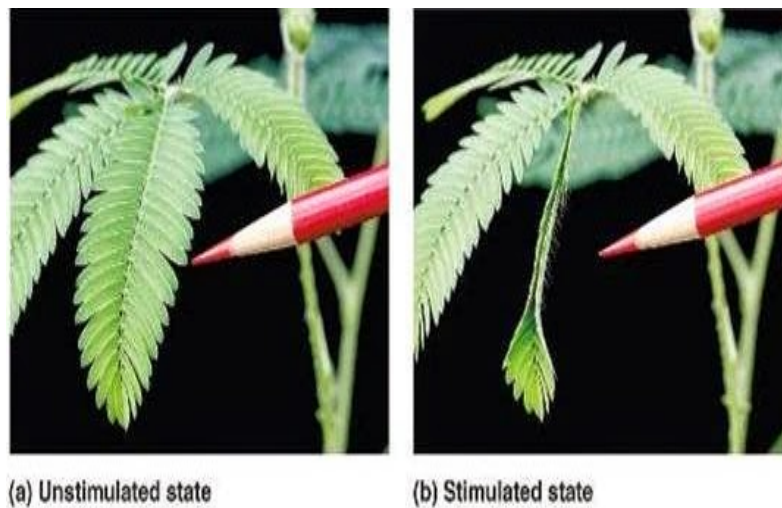
## 3. Seismonasti

Seismonasti adalah gerak nasti yang disebabkan oleh rangsangan mekanis berupa sentuhan atau tekanan. Istilah tigmonasti berasal dari bahasa Yunani, yaitu *thigma* yang berarti sentuhan. Gerak tigmonasti disebut juga dengan seismonasti.

Jika hanya satu anak daun dirangsang, rangsangan itu diteruskan ke seluruh tumbuhan, sehingga anak daun lain ikut mengatup. Kegunaan respon ini diduga bahwa pelipatan anak daun akan mengagetkan dan mengusir serangga sebelum mereka sempat memakan daunnya.

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

Misalnya: Gerak mengatupnya daun putri malu (*Mimosa pudica*) karena terkena sentuhan. Respon mengatup (seperti layu) akan terjadi dalam waktu singkat sekitar 1-2 detik. Untuk kembali ke posisi semula, tumbuhan putri malu membutuhkan waktu lebih kurang 10 menit. Mekanisme gerak ini juga disebabkan oleh pengaruh perubahan tekanan turgor di dalam sel-sel padapersendian daun.



**Gambar:** Gerak mengatupnya daun putri malu (*Mimosa pudica*)

#### 4. Termonasti

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

#### 5. Haptonasti



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

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

Misalnya: menutupnya daun tanaman kantung semar dan Venus ketika tersentuh serangga kecil. Jika seekor serangga mendarat di permukaan daun, daun serangga tersebut terperangkap dan tidak dapat keluar.

## **6. Nasti Kompleks**

Nasti kompleks adalah gerak nasti yang disebabkan oleh beberapa faktor sekaligus. Rangsangan yang diterima dapat berupa: cahaya matahari, suhu, air dan zat kimia. Contoh gerak nasti kompleks adalah gerakan membuka dan menutup pada stomata<sup>61</sup>.

## **8.5. GERAK TAKSIS**

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

---

<sup>61</sup> Lakitan, Benyamin. 2018. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. (Jakarta: PT Raja Grafindo Persada. Hal 53-56

## Macam-Macam Gerak Taksis

### **1. Fototaksis**

Fototaksis adalah gerak taksis yang disebabkan oleh adanya rangsangan berupa cahaya. Arah pergerakan juga ditentukan dengan arah datangnya cahaya. Contoh dari gerak Taksis yaitu: Contohnya pada ganggang hijau yang langsung menuju cahaya yang intensitasnya sedang. Tetapi bila intensitas cahayameningkat, maka akan tercapai batas tertentu dan ganggang hijau tiba-tiba akan berbalik arah dan berenang menuju cahaya. Sehingga terjadi perubahan yang semula gerak fototaksis positif menjadi fototaksis negatif.

Fototaksis dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

- a. Fototaksis positif, yaitu gerak pada tumbuhan yang mendekati rangsangan cahaya.  
Contoh : gerak euglena yang mendekati sumber rangsangan cahaya dengan intensitas rendah.
- b. Fototaksis negatif, yaitu gerak pada tumbuhan yang menjauhi rangsangan cahaya.  
Contoh : gerak euglena yang menjauhi sumber rangsangan cahaya yang intensitasny tinggi.

### **2. Kemotaksis**

Kemotaksis merupakan gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan zat kimia. Contohnya : gerak garnet jantan berflagela (spermatozoid) yang dihasilkan oleh anteridium lumut ke arah garnet betina (sel telur) di dalam arkegonium. Spermatozoid bergerak karena tertarik oleh sukrosa atau asam malat. Pergerakan ini terjadi karena adanya zat kimia pada sel gamet betina.<sup>62</sup>

---

<sup>62</sup> Salisbury, Frank B dan Cleon W Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid Tiga (Perkembangan Tumbuhan dan Fisiologi Lingkungan)*. (Bandung: ITB, 1992). Hal. 97-106

## **BAB IX**

### **PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN**

#### **9.1. PENGERTIAN PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN**

Tumbuhan mengalami pertumbuhan dari kecil menjadi besar dan berkembang dari zigot menjadi embrio, kemudian menjadi individu yang mempunyai perangkat akar, batang, dan daun. Salah satu ciri organisme yaitu tumbuh dan berkembang. **Pertumbuhan** diartikan sebagai suatu proses penambahan ukuran atau volume serta jumlah sel, proses ini terjadi secara tidak bolak-balik (irreversibel). **Perkembangan** didefinisikan sebagai suatu proses menuju keadaan yang lebih dewasa. Namun jika kita mengkajinya lebih dalam, proses ini tidak berjalan sendiri-sendiri, tetapi berjalan seiring. Diawali dengan pertumbuhan, lalu dilanjutkan dengan perkembangan.

Pertumbuhan dan perkembangan itu sendiri merupakan hasil interaksi antara faktor dalam dan faktor luar. Faktor yang terdapat dari dalam, antara lain sifat genetik (yang ada di dalam = gen) dan hormon yang merangsang pertumbuhan. Sedangkan faktor luar adalah lingkungan. Potensi genetik ini hanya akan berkembang jika ditunjang oleh lingkungan yang cocok. Dengan demikian, karakter/sifat yang ditampilkan oleh tumbuhan merupakan gabungan faktor genetik dan faktor lingkungan secara bersama-sama.<sup>63</sup>

Peranan gen dalam mempengaruhi pertumbuhan dapat dijelaskan sebagai berikut, gen penentu pertumbuhan dan perkembangan terdapat dalam sel. Sel merupakan kesatuan hereditas karena di dalamnya terdapat gen yang bertanggung jawab dalam pewarisan sifat untuk pembentukan protein, enzim dan hormon. Pembentukan enzim dan hormon mempengaruhi berbagai reaksi metabolisme untuk mengatur dan mengendalikan pertumbuhan. Hormon berpengaruh dalam proses pembelahan dan pemanjangan sel, namun ada pula hormon yang menghambat pertumbuhan. Hormon yang menginduksi pertumbuhan adalah auksin, giberelin, sitokinin, gas etilen. Asam absisat merupakan senyawa penghambat pertumbuhan. Asam traumalin merupakan hormon luka untuk menumbuhkan sel-sel jika terjadi luka.

Pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan biji diawali dari perkecambahan. Pada embrio atau lembaga terdapat plumula yang tumbuh menjadi batang dan radikula yang tumbuh menjadi akar. Perkecambahan pada akhir pertumbuhan membentuk akar, batang dan daun.

---

<sup>63</sup>Bambang Guritno, *Analisis Pertumbuhan Tanaman*, (Yogyakarta: Gadjah Mada University, 1995), hlm 2-5

Pada ujung-ujung akar dan batang terdapat sel-sel yang senantiasa membelah diri (meristematis), dikenal sebagai jaringan meristem ujung.

Proses pertumbuhan dan perkembangan itu sendiri adalah merupakan suatu koordinasi dari banyak peristiwa dan berlangsung pada tahap yang berbeda, yaitu dari tahap biofisika dan biokimia ke tahap organisme yang utuh dan lengkap. Prosesnya berlangsung sangat kompleks dan banyak cara yang berbeda untuk dapat memahaminya. Pertumbuhan menunjukkan suatu penambahan dalam ukuran dengan menghilangkan konsep-konsep yang menyangkut perubahan kualitas seperti halnya kedewasaan (maturity), yang tidak relevan dengan pengertian proses penambahan. Pertumbuhan dapat dicontohkan dalam bentuk volume, massa atau berat (segar atau kering). Perkembangan merupakan suatu perwujudan dari perubahan-perubahan yang bertahap ataupun yang berjalan cepat. Pada kategori perkembangan, dapat diukur sebagai penambahan panjang, lebar atau luas. Namun tidak hanya perubahan kuantitatif saja yang dilihat, tetapi menyangkut perubahan kualitatif sel, jaringan dan organ yang elise but sebagai diferensiasi.

Merupakan suatu contoh yang konkrit misalnya dalam peristiwa perkecambahan, perbungaan atau penuaan yang menghasilkan perubahan yang mendadak di dalam kehidupan atau pola pertumbuhan tumbuhan. Proses perkembangan lainnya berlangsung secara lambat atau bertahap selama proses seluruh hidup tumbuhan.<sup>64</sup>

## **9.2. POLA PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN**

Tanaman mempunyai ciri anantara lain tumbuh dan berkembang. Pertumbuhan adalah proses penambahan jumlah dan ukuran sel yang bersifat permanen (tetap), tidak bisa balik, dan dapat dinyatakan secara kuantitatif. Cara melihat pertumbuhan yang terjadi pada tanaman dapat dilakukan pengukuran-pengukuran ditingkat seluler, jaringan, organ atau tubuh tanaman pada interval waktu tertentu. Pertumbuhan ditingkat seluler dapat diukur pada peningkatan panjang, volume ataupun kecepatan pembelahannya, sedangkan ditingkat organ dan tanaman utuh dapat menggunakan parameter masa (berat kering dan berat basah), panjang atau tinggi, luas permukaan atau volume. Pertumbuhan biasanya diikuti dengan perubahan bentuk.

Pertumbuhan terdiri dari 2 yaitu:

---

<sup>64</sup> Darmawan. *Dasar-dasar Fisiologi Tanaman*. (Jakarta: SITC, 2010) hlm 1-20

## **1. Pertumbuhan primer**

Pertumbuhan primer adalah yang menyebabkan batang dan akar tumbuhan bertambah tinggi atau panjang pertumbuhan primer ini diawali dengan pembelahan sel di daerah meristem apical. Meristem apical terbagi atas 3 daerah yaitu daerah pembelahan, daerah pemanjangan, dan daerah diferensiasi.

## **2. Pertumbuhan sekunder**

Pertumbuhan sekunder adalah pertumbuhan yang menyebabkan akar dan batang bertambah lebar. Pertumbuhan ini disebabkan adanya pembelahan pada jaringan meristem sekunder (meristem lateral). Ada dua macam meristem lateral yaitu: cambium vaskuler (terletak diantara xylem dan floem yang menyebabkan pembelahan sel kearah dalam membentuk sekunder, dan membelah kearah luar membentuk floem sekunder sehingga batang tambah membesar dan cambium gabus disebut juga felogen terletak dibawah epidermis dekat kolenkima yang berfungsi menebalkan batang.

Ada dua teori yang menerangkan tentang perkembangan meristem apikal yaitu:

### **1. Teori tunika korpus**

Teori yang menyatakan bahwa titik tumbuh akar dan batang pada tumbuhan terdiri dari 2 zona yang terpisah susunannya, yaitu tunika dan korpus, tunika merupakan lapisan terluar, yang selanjutnya berkembang menjadi jaringan primer. Korpus adalah bagian pusat titik tumbuh yang memiliki kemampuan pembelahan kesegala arah. Teori tunika korpus dikemukakan oleh ahli botani Schmidt.

### **2. Teori histogen**

Titik tumbuh akar dan batang disebut dengan histogen. Histogen terdiri dariplerom (bagian pusat akar dan batang yang akan menjadi empulur dan fasis), gematogen (lapisan terluar yang akan membentuk epidermis) dan pribiem (lapisan yang akan menjadi korteks).

Besarnya pertumbuhan dalam satuan waktu tertentu dinamakan laju tumbuh. Laju tumbuh jaringan, organ atau tanaman utuh berubah menurut waktu, sehingga bila digambarkan dengan grafik (laju tumbuh pada ordinat dan waktu pada absisa) akan merupakan kurva berbentuk huruf S atau dikenal dengan nama kurva sigmoid. Kurva pertumbuhan dapat berbentuk sigmoid bila pengukuran parameter dilakukan dalam interval waktu tertentu sampai satu siklus hidup sel, organ ataupun tanaman lengkap. Kurva sigmoid berguna untuk

melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena dari kurva tersebut dapat dilihat tingkatan perkembangan. Perkembangan adalah proses perubahan dalam bentuk menuju ke tingkat yang lebih sempurna bersifat kualitatif dan *irreversible*.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman yaitu:

1. Faktor Eksternal:
  - a. Cahaya
  - b. Kelembapan
  - c. Unsur hara
  - d. Suhu
  - e. Air
  - f. Ph
  
2. Faktor Internal:
  - a. Genetik (hereditas)
  - b. Enzim
  - c. Hormon (fitohormon)<sup>65</sup>

### **9.3. LOKASI PERTUMBUHAN**

#### **1. Pertumbuhan Primer**

Aktivitas sel-sel meristem menyebabkan batang dan akar tumbuh memanjang yang disebut proses pertumbuhan primer. Pada akhir proses perkecambahan tumbuhan membentuk akar, batang, dan daun. Pada ujung batang dan akar terdapat sel-sel meristem yang dapat berdiferensiasi menjadi sel-sel yang memiliki struktur dan fungsi khusus. Daerah pertumbuhan pada ujung batang dan akar menurut aktivitasnya dapat dibedakan menjadi tiga bagian:

- a. Daerah pembelahan, terdapat dibagian ujung yang sel-selnya aktif membelah dan sifatnya tetap meristem.
- b. Daerah perpanjangan sel, terletak dibelakang daerah pembelahan yang merupakan daerah dimana setiap sel memiliki aktivitas untuk membesar dan memanjang.

---

<sup>65</sup> Isnaini, *Penuntun Praktikum Fisiologi Tumbuhan*, (Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam USU) hlm 17-20

- c. Daerah diferensiasi merupakan daerah yang sel-selnya memiliki struktur dan fungsi khusus. Meristem ujung batang membentuk primordia daun. Pada sudut daun dan batang terdapat sel-sel yang dipertahankan sebagai sel-sel meristematis yang akan berkembang menjadi cabang.

## **2. Pertumbuhan Sekunder**

Pada tumbuhan dikotil, selain terdapat jaringan meristem primer di ujung akar dan ujung batang, juga terdapat jaringan meristem sekunder. Jaringan meristem tersebut berupa kambium dan kambium gabus. Aktivitas kambium dan kambium gabus mengakibatkan pertumbuhan sekunder yaitu bertambah besarnya batang dan akar tanaman.

Adapun proses pertumbuhan sekunder adalah sebagai berikut:

- a. Kambium vaskuler membelah ke arah dalam membentuk xilem dan ke arah luar membentuk floem
- b. Parenkim batang atau akar di antara vasis berubah menjadi kambium intervaskuler
- c. Felogen membelah ke arah luar membentuk feloderm.<sup>66</sup>

Pertumbuhan sekunder pada pohon dikotil tidak tetap sepanjang tahun. Pada saat musim hujan dan cukup hara, pertumbuhan sangat cepat sedangkan pada saat musim kemarau, pertumbuhan sekunder akan lambat atau terhenti.

Aktivitas kambium membentuk xilem dan floem yang lebih cepat dari pada pembentukan kulit mengakibatkan kulit pohon (korteks dan epidermis) pecah. Untuk mengatasinya felogen membentuk feloderm ke arah dalam dan felem ke arah luar. Feloderm merupakan sel hidup, sedangkan sel felem merupakan sel mati.

## **9.4. PENGATURAN PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN**

### **1. Pengaturan Genetika**

Setiap sel pada tumbuhan mempunyai perangkat genetik yang diturunkan dari induknya ke keturunannya dan merupakan sumber informasi untuk melaksanakan kegiatan pertumbuhan

---

<sup>66</sup> Fauziyah, *Fisiologi Tumbuhan Suatu Pengantar*, (Medan: UNIMED PRESS, 2012) hal 39

dan perkembangan. Informasi genetik diterima oleh setiap sel pada saat pembelahan sel terjadi, sehingga setiap organ pada tumbuhan dapat berkembang pada jalur yang tepat.

Dalam pemanfaatan informasi yang berkaitan dengan proses perkembangan, akan menyangkut proses pengaktifan gen dari DNA, selanjutnya akan dilakukan transkripsi mRNA dan kemudian diterjemahkan menjadi susunan asam amino yang akan membentuk protein enzim tertentu, yang kemudian enzim ini akan digunakan pada kegiatan metabolisme dalam sel yang sesuai dengan arah perkembangannya.

Secara umum mekanisme proses pengaktifan, dilaksanakan dan diusulkan oleh F. Jacob dan J. Monod yang disebut dengan sistem operon, yakni pengontrolan sintesis protein yang diatur oleh gen pengatur, gen operator dan gen struktur. Kombinasi gen pengatur dan gen struktur disebut operon.

Mekanisme operon ini adalah bahwa gen struktur memprogram mRNA untuk enzim yang spesifik, yang berkombinasi dengan suatu gen operator yang berfungsi mengatur gen struktur menjadi aktif atau tidak. Gen pengatur membentuk suatu molekul pengatur (protein) yang disebut repressor yang menekan kerja gen operator; sehingga operon tidak aktif. Penambahan suatu molekul yang disebut inducer dapat membuka gen operator sehingga operon dapat diaktifkan. Beberapa molekul lain yang disebut korepresor dapat menutup gen dengan mengaktifkan repressor kembali sehingga operon menjadi tertutup dan tidak aktif.

Proses pengaktifan satu atau kelompok operon yang spesifik akan selalu mengarah pada satu pola perkembangan, pada satu tingkat perkembangan dapat sangat berbeda dengan arah perkembangan pada tingkat yang lain.

## **2. Pengaturan Organisme**

Banyak perkembangan tumbuhan diperantarai oleh rangsangan dari dalam. Perkembangan dipengaruhi oleh hormon yaitu senyawa-senyawa kimia yang disintesis pada suatu lokasi, kemudian ditransportasikan ke tempat lain untuk selanjutnya bekerja melalui suatu cara yang spesifik, kebutuhan akan hormon hanya dalam konsentrasi yang sangat rendah. Hormon berperan untuk mengatur pertumbuhan, perkembangan dan metabolisme.

Beberapa kelompok hormon telah diketahui dan beberapa di antaranya bersifat sebagai zat perangsang pertumbuhan dan perkembangan (promoter), sedang yang lain bersifat sebagai penghambat (inhibitor), antara lain: Auksin, Gibberelin, Sitokinin, Etilen, Asam Absisat, dll.



### 3. Pengaturan Lingkungan

Banyak rangsangan lingkungan atau eksternal mempengaruhi perkembangan tumbuhan. Rangsangan utama lingkungan yang mempengaruhi perkembangan tumbuhan adalah:

- a. Cahaya: banyaknya cahaya yang dibutuhkan tidak selalu sama pada setiap tumbuhan, dimana cahaya dapat menguraikan auksin sehingga menghambat pertumbuhan meninggi.
- b. Suhu: tumbuhan membutuhkan suhu yang optimum untuk berkembang dengan baik, suhu paling rendah namun masih memungkinkan tumbuhan untuk tumbuh disebut suhu minimum.
- c. Gravitasi: dimana arah dari pertumbuhan bagian organ tubuh ditentukan.
- d. Kelembaban
- e. Nutrien
- f. Air<sup>67</sup>

### 9.5. PERKECAMBAHAN

Perkecambahan merupakan proses dimana pertumbuhan dan perkembangan dari embrio yang mengalami perubahan dimana plumula tumbuh dan berkembang menjadi batang dan radikula tumbuh menjadi akar.

Berdasarkan letak kotiledon saat berkecambah ada dua tipe perkecambahan, yaitu:

#### 1. Perkecambahan hypogeal.

Pada perkecambahan hipogeal terjadi pertumbuhan memanjang dari epikotil yang menyebabkan plumula keluar menembus kulit biji dan muncul di atas tanah. Kotiledon dan endosperma berada dalam tanah. Contohnya kacang merah dan kacang kapri.

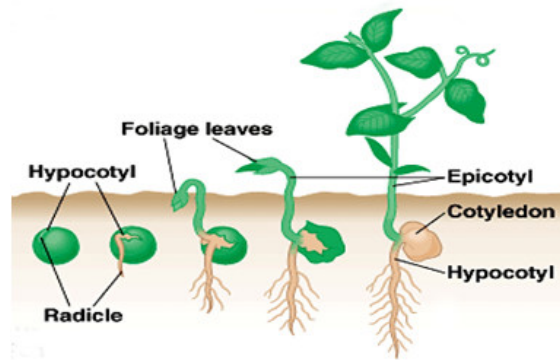
#### 2. Perkecambahan epigeal. Pada perkecambahan epigeal terjadi pertumbuhan yang memanjang akibat kotiledon dan plumula terdorong ke permukaan tanah. Kotiledon berada di atas permukaan tanah. Contohnya kacang hijau dan kacang tanah.<sup>68</sup>

---

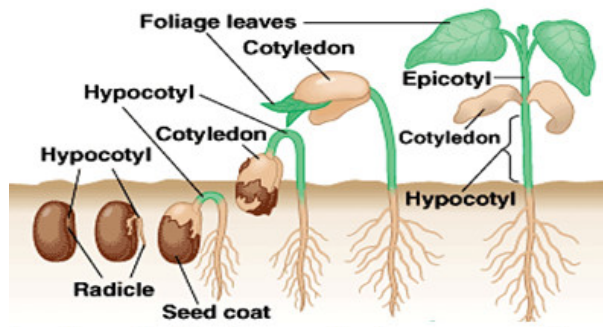
<sup>67</sup>Fauziyah, *Fisiologi Tumbuhan Suatu Pengantar*, (Medan: UNIMED PRESS, 2012) hal 43

<sup>68</sup>Lakitan. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. (Jakarta: Raja Grafindo Persada, 2004) hlm 201

Pertumbuhan aksis embrionik kecambah terjadi karena dua peristiwa yaitu pembesaran sel yang telah ada sebelumnya dan pembentukan sel-sel baru. Sel-sel baru terbentuk karena proses pembelahan sel yang terjadi pada titik tumbuh radikula dan plumula. Saat pembesaran sel terjadi proses-proses biokimia, transportasi air, gula, asam amino, dan perubahan ion-ion organik menjadi protein, asam nukleat, polisakarida serta molekul-molekul kompleks lainnya. Senyawa yang dihasilkan akan diubah menjadi organela, dinding sel, membran sel dan lain-lain sampai terbentuk jaringan dan organ.



**Gambar:** Perkecambahan hipogeal



**Gambar:** Perkecambahan epigeal

## 9.6. DORMANSI PADA BIJI

Ada kalanya, biji yang disemai lambat berkecambah, bahkan tidak berkecambah sama sekali, walaupun media semainya sudah cocok. Hal ini disebabkan oleh dormansi, yaitu keadaan terbungkusnya lembaga biji oleh lapisan kulit atau senyawa tertentu. Sebenarnya, dormansi merupakan cara embrio biji mempertahankan diri dari keadaan lingkungan yang tidak menguntungkan, tetapi berakibat pada lambatnya proses perkecambahan.

## 1. Pengertian Dormansi

Dormansi didefinisikan sebagai suatu keadaan pertumbuhan dan metabolisme yang terpendam, dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang tidak baik atau oleh faktor dari dalam tumbuhan itu sendiri. Seringkali banyak tumbuhan yang dorman gagal tumbuh meskipun berada dalam kondisi yang ideal.

Dormansi adalah suatu keadaan berhenti tumbuh yang dialami organisme hidup atau bagiannya sebagai tanggapan atas suatu keadaan yang tidak mendukung pertumbuhan normal. Dengan demikian, dormansi merupakan suatu reaksi atas keadaan atau lingkungan tertentu. Pemicu dormansi dapat bersifat mekanisme, keadaan fisik atau lingkungan, atau kimiawi.

## 2. Penyebab Terjadinya Dormansi

- a. Rendahnya/tidak adanya proses imbibisi air.
- b. Proses respirasi tertekan/terhambat.
- c. Rendahnya proses mobilisasi cadangan makanan.
- d. Rendahnya proses metabolisme cadangan makanan.

Adapun yang menyebabkan benih tersebut mengalami Dormansi ialah:

### a. Faktor Lingkungan

Salah satu faktor penting yang merangsang dormansi faktor fotoperioda. Hari pendek merangsang banyak tumbuhan kayu dorman. Dalam hal respon perbungaan, daun harus diinduksi untuk menghasilkan zat penghambat (inhibitor) atau hormone, yang diangkut ke tunas-tunas dan menghambat pertumbuhan. Penghambat ini dapat dihilangkan dengan induksi hari panjang atau dengan memberikan asam giberelat.

### b. Asam Absitat (ABA)

Ahli Fisiologi Inggris, P.F. Wareing dkk, menemukan bahwa ekstrak daun *Betula pubescens* yang dipelihara dalam kondisi hari pendek, yang mengandung zat yang sangat menghambat perpanjangan koleoptil *Avena*. Pada tahun 1963, mereka berhasil mengisolasi zat penghambat tersebut dari tanaman *Acer pseudoplatanus*, yang mereka sebut dengan nama dormin.

Berbagai gejala dormansi dan penuaan yang dapat diinduksi dengan pemberian ABA yaitu: memelihara dormansi, menghambat perkecambahan, menghambat

sintesis enzim pada biji yang diinduksi giberilin, menghambat perbungaan, perbungaan tunas, perbungaan buah, penebaran daun, dan lain-lain.

c. Interaksi ABA dengan Zat Tumbuh lainnya

Pemberian ABA harus terus menerus bila efek yang diinginkan tetap dipelihara, apabila pemberian ABA dihentikan, pertumbuhan dan metabolisme yang aktif akan kembali. Hal ini akan disebabkan oleh beberapa zat yang merangsang pertumbuhan akan mengantagoniskan efek ABA. Banyak percobaan menunjukkan bahwa asam giberelat (GA) memberikan efek mengantagoniskan ABA. Apabila organ yang dorman, misalnya biji *Lactuca* yang disimpan di tempat gelap dan diberi ABA ekstra, pemberian GA dengan konsentrasi yang tinggi sekalipun, tidak akan menanggulangi penghambatan oleh ABA. Dalam keadaan seperti ini, pemberian konetin dapat melawan efek ABA, dan GA dapat merangsang perkecambahannya.

Berikut ini adalah jenis-jenis dormansi pada biji dan cara mengatasinya.

### **1. Dormansi Fisik**

Dormansi fisik yang sering terjadi pada biji tanaman sayur dan beberapa jenis tanaman kehutanan seperti sengon, akasia, jambu mete, dan kaliandra. Penyebabnya adalah kulit biji yang tidak dapat dilewati air. Cara mengatasinya, siram dan rendam biji di dalam air panas selama 2-5 menit sampai kulitnya menjadi lebih lunak, kemudian rendam biji di dalam air dingin selama 1-2 hari agar air dapat menembus pori-pori kulit biji dan sampai ke embrionya.

### **2. Dormansi Mekanis**

Dormansi mekanis sering terjadi pada biji jati, kemiri, kenari dan mangga. Penyebabnya adalah kulit biji yang terlalu keras sehingga sulit ditembus calon akar dan tunas. Pada biji mangga, dormansi ini dapat diatasi dengan menyayat dan membuang kulit bijinya. Sementara itu, pada biji yang terbungkus tempurung seperti biji kemiri dan kenari, dormansi mekanis dapat diatasi dengan membuat tempurungnya menjadi lebih tipis, rusak, atau retak agar mudah ditembus calon akar dan tunas. Caranya dengan mengetok-pukul, mengikir-asah,

menggesekkan pada lantai kasar, menggesek menggunakan kertas pasir, atau dengan membakarnya sebelum disemai.

### **3. Dormansi Kimia**

Dormansi kimia sering terjadi pada biji yang mengandung lapisan *pektin* seperti biji pepaya. Penyebabnya adalah adanya kandungan zat tertentu didalam biji yang menghambat perkecambahan. Cara mengatasinya, rendam biji didalam larutan Atonik dengan dosis 1 cc per dua liter air selama satu jam. Kemudian, peram biji dengan gulungan kain basah selama 24 jam.<sup>69</sup>

---

<sup>69</sup> Mulyani. *Fisiologi Tanaman (Alih Bahasa)*.(Jakarta: PT. Bina Aksara) hlm 18-19

## BAB X

### KONSEP FISILOGI TUMBUHAN TERINTEGRASI AL-QUR'AN

#### 10.1. AYAT AL QURAN YANG BERKAITAN DENGAN TUMBUHAN DAN AIR

1. Q.S. An-Naba': 14-16

وَأَنْزَلْنَا مِنَ الْمُعْصِرَاتِ مَاءً ثَجَّاجًا ﴿١٤﴾ لِنُخْرِجَ بِهِ حَبًّا وَنَبَاتًا ﴿١٥﴾ وَجَنَّاتٍ أَلْفَافًا ﴿١٦﴾

Artinya:

*(14) dan Kami turunkan dari awan air yang banyak tercurah, (15) supaya Kami tumbuhkan dengan air itu biji-bijian dan tumbuh-tumbuhan, (16) dan kebun-kebun yang lebat?*

Tafsir Quraish Shihab:

Dan Kami menurunkan dari awan--di saat hujan--air yang tercurah dengan deras. Hujan adalah sumber air tawar satu-satunya bagi bumi. Sebenarnya, hujan merupakan hasil kumpulan uap-uap air lautan dan samudera yang membentuk awan dan kemudian berubah--setelah semakin membesar--menjadi tetesan-tetesan air atau salju atau kedua-duanya. Uap-uap air yang terkumpul tadi akan tercurah dalam bentuk hujan atau embun. Agar, dengan air itu, Kami mengeluarkan biji-bijian serta tumbuh-tumbuhan sebagai bahan makanan untuk manusia dan hewan. Juga kebun-kebun yang dipenuhi oleh pepohonan lebat yang dahan-dahannya saling berkelindan.

2. Q.S. Al-An'aam: 99

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ

حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالزُّمَّانَ

مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ أَنْظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ



Artinya:

*dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan Maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.*

Tafsir Quraish Shihab:

Dialah yang menurunkan air hujan dari awan untuk menumbuhkan berbagai jenis tanaman. Dia mengeluarkan buah-buahan segar dari bermacam tumbuhan dan berbagai jenis biji-bijian. Dari pucuk pohon korma, Dia mengeluarkan pelepah kering, mengandung buah yang mudah dipetik. Dengan air itu, Dia menumbuhkan berbagai macam kebun: anggur, zaitun dan delima. Ada kebun-kebun yang serupa bentuk buahnya, tetapi berbeda rasa, aroma dan kegunaannya. Amatilah buah-buahan yang dihasilkannya, dengan penuh penghayatan dan semangat mencari pelajaran. Juga, amatilah proses kematangannya yang melalui beberapa fase. Sungguh, itu semua mengandung bukti yang nyata bagi orang-orang yang mencari, percaya dan tunduk kepada kebenaran(1). (1) Ayat tentang tumbuh-tumbuhan ini menerangkan proses penciptaan buah yang tumbuh dan berkembang melalui beberapa fase, hingga sampai pada fase kematangan. Pada saat mencapai fase kematangan itu, suatu jenis buah mengandung komposisi zat gula, minyak, protein, berbagai zat karbohidrat dan zat tepung. Semua itu terbentuk atas bantuan cahaya matahari yang masuk melalui klorofil yang pada umumnya terdapat pada bagian pohon yang berwarna hijau, terutama pada daun. Daun itu ibarat pabrik yang mengolah komposisi zat-zat tadi untuk didistribusikan ke bagian-bagian pohon yang lain, termasuk biji dan buah. Lebih dari itu, ayat ini menerangkan bahwa air hujan adalah sumber air bersih satu-satunya bagi tanah. Sedangkan matahari adalah sumber semua kehidupan. Tetapi, hanya

tumbuh-tumbuhan yang dapat menyimpan daya matahari itu dengan perantaraan klorofil, untuk kemudian menyerahkannya kepada manusia dan hewan dalam bentuk bahan makanan organik yang dibentuknya. Kemajuan ilmu pengetahuan telah dapat membuktikan kemahaesaan Allah. Zat hemoglobin yang diperlukan untuk pernapasan manusia dan sejumlah besar jenis hewan, berkaitan erat sekali dengan zat hijau daun. Atom karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen, mengandung atom zat besi di dalam molekul hemoglobin. Hemoglobin itu sendiri mengandung atom magnesium dalam molekul klorofil. Di dunia kedokteran ditemukan bahwa klorofil, ketika diasimilasi oleh tubuh manusia, bercampur dengan sel-sel manusia. Percampuran itu kemudian memberikan tenaga dan kekuatan melawan bermacam bakteri penyakit. Dengan demikian, ia berfungsi sebagai benteng pertahanan tubuh dari serangan segala macam penyakit. Di bagian akhir ayat ini disebutkan "Unzhurû ilâ tsamarihi idzâ atsmara wa yan'ih" (amatilah buah- buahan yang dihasilkannya). Perintah ini mendorong perkembangan Ilmu Tumbuh-tumbuhan (Botanik) yang sampai saat ini mengandalkan metode pengamatan bentuk luar seluruh organnya dalam semua fase perkembangannya.

## 10.2. AYAT AL-QURAN YANG BERKAITAN DENGAN PERTUKARAN GAS

Q.S. Luqman: 10

خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا ۚ وَأَلْقَىٰ فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَن تَمِيدَ بِكُمْ وَبَثَّ فِيهَا مِن كُلِّ دَابَّةٍ

وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِن كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿١٠﴾

Artinya:

*Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu; dan memperkembang biakkan padanya segala macam jenis binatang. dan Kami turunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik.*

Tafsir Quraish Shihab:

Allah menciptakan langit tanpa tiang-tiang yang dapat kalian lihat. Dan menjadikan gunung-gunung yang kokoh di bumi agar tidak menggoyangkan kalian dan mengembangbiakkan segala macam hewan yang melata dan bergerak. Dan Kami turunkan



hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengannya di bumi segala macam yang baik dan bermanfaat.

Dari Q.S. Luqman : 10 dapat diketahui bahwa tidak ada yang Allah SWT yang tidak berguna. Salah satunya ialah air, dimana air merupakan kebutuhan utama makhluk hidup baik manusia, hewan, dan tumbuhan. Dalam dunia tumbuhan air sangat berperan penting dalam kelangsungan hidup tumbuhan. Dalam proses pertukaran gas pada tumbuhan dimana terjadi pergerakan air di dalam tubuh tumbuhan melibatkan proses fisika yang berkaitan dengan sifat fisika dan kimia air. Pergerakan ini terjadi karena adanya perbedaan (gradien) potensial air, potensial tekanan, dan tekanan uap. Air masuk ke dalam akar melalui jalur apoplas dan simplas hingga ke korteks, kemudian memasuki endodermis secara simplas hingga ke xilem akar. Pergerakan air ke atas terjadi melalui xilem dengan tenaga penggerak utama aliran transpirasi dan sifat kohesi air mempertahankan kolom air dari daun hingga ke akar, sehingga mempermudah proses pertukaran gas.

### 10.3. AYAT AL-QUR'AN YANG BERKAITAN DENGAN NUTRISI TUMBUHAN

#### 1. QS. Al-An'am: 95

﴿ إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَىٰ ۗ يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَيُخْرِجُ الْمَيِّتَ مِنَ الْحَيِّ ۗ ذَٰلِكُمْ اللَّهُ ۗ ۝۹۵﴾

فَأَنِّي تُؤفِكُونَ ﴿٩٥﴾

Artinya:

*Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup. (Yang memiliki sifat-sifat) demikian ialah Allah, maka mengapa kamu masih berpaling? (Qs. Al-An'am : 95)*

Dalam salah satu tafsir Quraish Shihab mengatakan bahwa ayat ini menunjukkan salah satu bukti kekuasaan Allah SWT., yaitu penciptaan biji dan embrio tanaman di setiap tempat yang sempit. Sedangkan bagian lain biji itu, terdiri atas zat-zat tidak hidup terakumulasi. Ketika embrio itu mulai bernyawa dan tumbuh, zat-zat yang terakumulasi itu berubah menjadi zat

yang dapat memberi makan embrio. Ketika mulai pertumbuhan, dan sel-sel hidup mulai terbentuk, biji kedua berubah pula dari fase biji/bibit ke fase tunas. Saat itu tumbuhan mulai dapat memenuhi kebutuhan makanannya sendiri, dari zat garam yang larut dalam air di dalam tanah dan diserap oleh akar serabut, dan terbentuknya zat hijau daun dari karbohidrat, seperti gula dengan bantuan cahaya matahari. Ketika siklus itu sampai pada titik akhirnya, buah-buahan kembali mengandung biji-bijian yang merupakan bahan kehidupan baru lagi. Dan begitu seterusnya.

Allah menghidupkan biji menjadi tanaman dengan kekuasaan-Nya. Pada lahan dimana telah terjadi kebakaran misalnya, untuk memulihkan kembali ekosistem yang telah rusak harus ada tanaman yang ditanami dengan menyemai biji. Lahan yang semula hangus terbakar lambat laun akan tumbuh tanaman-tanaman kecil. Taman kecil tersebut tumbuh dari biji yang disemaikan.

## 2. QS. An-Naml: 60

أَمَّنْ خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَأَنْزَلَ لَكُمْ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا بِهِ حَدَائِقَ ذَاتَ  
بَهْجَةٍ مَا كَانَ لَكُمْ أَنْ تُنْبِتُوا شَجَرَهَا أَإِلَهٌ مَّعَ اللَّهِ بَلْ هُمْ قَوْمٌ يَعِدُونَ ﴿٦٠﴾

Artinya:

*Atau siapakah yang telah menciptakan langit dan bumi dan yang menurunkan air untukmu dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu kebun-kebun yang berpemandangan indah, yang kamu sekali-kali tidak mampu menumbuhkan pohon-pohonnya? Apakah disamping Allah ada tuhan (yang lain)? Bahkan (sebenarnya) mereka adalah orang-orang yang menyimpang (dari kebenaran).(QS. An-Naml: 60)*

Ayat ini termasuk mukjizat tentang tumbuh-tumbuhan di dalam al-Qur'an. Yakni mengaitkan mengaitkan antara air dan proses penumbuhan, karena air merupakan syarat utama dan pokok dari proses penumbuhan. Benih atau biji yang telah berada di tanah selama bertahun-tahun tidak tumbuh dan tidak bergerak, sampai turunnya air, lalu proses yang mengagumkan mulai terjadi, yaitu proses penumbuhan.

Saat air menetesinya benih atau biji tersebut, maka ia menyerap air dengan daya serap. Beberapa benih ada yang memiliki kulit yang keras dan tidak tembus air secara sempurna seperti benih pohon jarak. Tetapi, Allah yang menciptakan segala sesuatu dengan baik itu membekali benih ini dengan lobang di bagian atas benih sehingga air dapat tembus melalui lobang tersebut dan sampai ke janin.

Ketika benih atau biji dimasuki air, maka disini terjadi perubahan-perubahan fisika yaitu dimana biji merobek selaputnya karena mengembang dan bertambah ukurannya akibat daya serap tersebut. Dan pada waktu yang sama juga terjadi proses-proses kimiawi yang besar, yaitu dimana Artikel-Artikel nutrisi yang tersimpan di dalam benih dan biji diuraikan oleh janin dengan mengeluarkan enzim-enzim pengurai. Untuk mengubahnya menjadi makanan, janin mengubah Artikel-Artikel yang kompleks susunannya, besar volumenya, tidak bisa menembus sel-sel janin, dan janin tidak bisa mendayagunakannya menjadi Artikel yang lebih sederhana susunannya, kecil partikel-partikelnya, bisa menembus melalui selaput dan dinding sel, sehingga sumber makanan dapat diserap oleh janin.

Proses ini terjadi dengan sangat tenang. Pembelahan sel dan kromosom merupakan awal dari proses kehidupan yang mengagumkan itu memulai, jaringan mulai terbentuk dan dinding mulai dibangun. Kemudian perkembangan terjadi seperti terbentuknya hormon, bekerjanya vitamin, keluarnya organ tumbuh, akar menghujam ke tanah, batang tumbuh ke atas, tumbuh tangkai, tumbuh daun, tumbuh bunga, dan buah bermunculan, serta proses kehidupan lainnya.<sup>70</sup>

---

<sup>70</sup> Ali, Muhammad. 2014. *Metodologi dan Aplikasi Riset Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara

## DAFTAR PUSTAKA

- Advinda, Linda. 2018. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Yogyakarta : Deepublish.
- Ali, Muhammad. 2014. *Metodologi dan Aplikasi Riset Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara
- Anggorowati, Sulastri.2010. *Fisiologi Tumbuhan*. Tangerang Selatan,Pusat Penerbit Universitas Terbuka.
- Ata,Khairiah. 2011. *Respirasi Tumbuhan*. Medan: UNIMED
- Campbell. 2010. *Biologi*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Darmawan. 2010.*Dasar-dasar Fisiologi Tanaman*. Jakarta. SITC.
- Dwidjoseputro. 1988. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT. Gramedia
- Emanuel, A.P.1997. *Biologi*. Jakarta : PT Galaxy Puspa Mega.
- Fauziyah. 2012. *Fisiologi Tumbuhan Suatu Pengantar*.Medan. UNIMED PRESS.
- Guritno Bambang. 1995.*Analisis Pertumbuhan Tanaman*.Yogyakarta. Gadjah Mada University.
- Hamim. 2019. *Modul 1 Fisiologi Tumbuhan*. Tangerang Selatan : Universitas Terbuka.
- Harahap, F dan Nusyirwan.2007 *Fisiologi Tumbuhan, Suatu Pengantar*. Medan;UNIMED Press
- Harahap, Fauziyah. 2012. *Fisiologi Tumbuhan Suatu Pengantar*. Medan:UNIMED PRES
- Hasnunidah, Neni. 2012. *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*. Bandar Lampung : Universitas Lampung
- Heddy, S. 1996. *Hormon Tumbuhan*. Jakarta: Grapindo Persada.
- Isbandi, J. 1983. *Pertumbuhan dan perkembangan Tanaman*. Yogyakarta : Fakultas Pertanian UGM.
- Isnaini. 2012.*Penuntun Praktikum Fisiologi Tumbuhan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. USU.

- Kartasaputra, A.G. 1988. *Pengantar Anatomi Tumbuh-tumbuhan, tentang Sel dan Jaringan*. Jakarta: Bina Aksara
- Lakitan, B. 2008. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Lakitan, Benyamin. 2018. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT. Raja Grafindo
- Loveless, A.R. 1991. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk daerah tropik dari Principles of Plant Biology For The Tropics oleh Kuswara Kartawinata*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama
- Mastuti, Retno. 2016. *Modul 1 Keseimbangan Air pada Tumbuhan*. Brawijaya : Jurusan Biologi Fakultas MIPA.
- Mudakir, Imam. 2004. *Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Gramedia.
- Mulyani. 2000. *Fisiologi Tanaman (Alih Bahasa)*. Jakarta. PT. Bina Aksara
- Noggle, R.R. and G.J. Fritz. 1997 *Introductory Plant Physiology*. Printice Hall of India Prive Limited. New Delhi.
- Pandey, S. N. dan B. K. Sinha. 1983. *Fisiologi Tumbuhan. Terjemahan dari Plant Physiology 3 Th Edition oleh Agustinus ngatijo*. Yogyakarta
- Permana, Agus, dkk. 2012. *Biologi*. Jakarta : TOBI Tim Olimpiade Biologi Indonesia.
- Rahmatan, Lilisari. 2012. *Pengetahuan Awal Calon Guru Biologi Tentang Konsep Katabolisme Karbohidrat (Respirasi Seluler)*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Salisbury, F. B. dan Cleon. W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan, Jilid 1. Terjemahan dari Plant Physiology 4 Th Edition oleh Diah R. Lukman dan Sumaryono*. Bandung : ITB
- Sari, Meilia Puspita. 2013. *Jurnal Anabolisme dan Katabolisme*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah
- Sukmawati, Ni Made Suci. 2016. *BIOENERGITIKA*. Bali: Universitas Udayana

- Supriyo H., Daryono Prehaten. 2014. *Jurnal Ilmu Kehutanan : Kandungan Unsur Hara dalam Daun Jati yang Baru Jatuh pada Tapak yang Berbeda*. Yogyakarta : Fakultas Kehutanan UGM.
- Sutopo. 2002. *Teknologi Benih*. Malang. Fakultas Pertanian UNBRAW.
- Tanjung, Indayana Febriani dan Enni Halimatussa'diyah. 2017. *Diktat Biologi Umum*. Medan: FITK Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Tjitrosoepomo, Gembong. 1985. *Morfologi Tumbuhan*. (Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada)
- Utomo, Budi. 2007. *Karya Ilmiah: Fotosintesis pada Tumbuhan*. Medan: Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Wiraatmaja, I. W., 2017. *Suhu, Energi Matahari, Dan Air Dalam Hubungan Dengan Tanaman*. Denpasar : Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Unud.
- Yudiarti, Turrini,dkk. 2004. *Bahan Ajar Biologi*. Semarang: Universitas Diponegoro.