

FISIOLOGI TUMBUHAN

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, sebagaimana yang telah diatur dan diubah dari Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002, bahwa:

Kutipan Pasal 113

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,- (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,- (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,- (empat miliar rupiah).

FISIOLOGI TUMBUHAN

Nurdiana, S.P., M.P.

**Editor:
Muhammad, M.Pd.I.**



FISIOLOGI TUMBUHAN

Edisi Pertama

Copyright © 2022

ISBN

15 x 23 cm

xviii, 142 hlm

Cetakan ke-1, 2022

Prenada. 2022.

Penulis

Nurdiana, S.P., M.P.

Editor

Muhammad, M.Pd.I.

Desain Sampul

.....

Penata Letak

Lintang Novita

Penerbit

PRENADA

Jl. Tandra Raya No. 23 Rawamangun-Jakarta 13220

Telp: (021) 478-64657 Faks: (021) 475-4134

Divisi dari PRENADAMEDIA GROUP

e-mail: pmg@prenadamedia.com

www.prenadamedia.com

INDONESIA

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apa pun, termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit.



KATA PENGANTAR DEKAN

Bismillahirrahmanirrahim

Buku referensi yang ada di hadapan pembaca ini adalah salah satu usaha bersifat substantif. Buku ini berisi materi kuliah “Fisiologi Tumbuhan” yang berlandaskan pada paradigma keilmuan baru integratif dan interkonektif. Artinya pengkajian masing-masing materi tidak secara sains murni, tetapi juga diintegrasikan dengan disiplin ilmu keilmuan lainnya. Dalam konteks ini adalah ilmu keislaman sebagai ciri dan karakter yang melekat pada perguruan tinggi yang bernuansa Islam (*Islamic studies*) seperti UIN Mataram. Pendekatan integrasi di perguruan tinggi sekarang perlu diadakan. Hal ini tidak lain juga berangkat dari respons masyarakat dan kritik mereka bahwa ada ketimpangan yang terjadi ketika sains dan agama tidak bersimbiosis.

Dalam bahasa yang lebih praktis antara ilmu, iman, dan amal harus dipadukan. Karena ketiganya menjadi satu rangkaian sistemik dan struktur kehidupan manusia sehingga manusia menjadi makhluk yang bermanfaat. Lebih mementingkan satu dari yang lain, melahirkan kehidupan yang timpang. Karena itu, dalam konteks pengembangan pendidikan Islam, iman, ilmu, dan amal harus dijadikan domain kognitif, efektif, normatif, dan psikomotorik dari taksonomi bloom yang sudah demikian terkenal. Substansi pendidikan Islam yang selama ini terseret dalam alam pikiran modern dan sekuler, telah terbelah antara pendidikan keimanan akhlak (etika). Dampaknya terjadi kemunduran umat Islam yang dalam perspektif Al-Qur'an, Allah tidak akan mengangkat derajat mereka.

Pendidikan modern memang mengembangkan disiplin ilmu dengan spesialisasi secara ketat, sehingga keterpaduan ketiganya menjadi hilang, dan melahirkan dikotomi kelompok ilmu-ilmu agama di satu pihak dan kelompok sains di pihak lain. Dikotomi itu berimplikasi pada terbentuknya perbedaan sikap di kalangan umat Islam secara tajam terhadap kedua kelompok ilmu-ilmu agama disikapi dan diperlukan sebagai ilmu Allah Swt., yang bersifat sakral dan wajib untuk dipelajari. Sebaliknya kelompok ilmu-ilmu sains (kealaman dan sosial) disikapi dan diperlakukan sebagai ilmu manusia yang bersifat profane, dan tidak wajib untuk dipelajari. Akibatnya, terjadi reduksi ilmu agama dan dalam waktu yang sama juga terjadi pendangkalan ilmu pengetahuan.

Situasi seperti ini membawa dampak pada ilmu-ilmu agama menjadi tidak menarik karena terlepas dari kehidupan nyata, sementara sains berkembang tanpa sentuhan etika dan spritualitas agama, sehingga di samping kehilangan makna juga bersifat destruktif. Pendidikan tinggi perlu mengembangkan pendidikan yang bersifat Qur'ani, yakni pendidikan yang utuh menyentuh seluruh domain yang disebut Allah Swt. dalam kitab suci tersebut secara akademik yang dikembangkan melalui konsep iman, ilmu, dan amal dalam satu tarikan napas dengan tujuan atau anyaman yang berhubungan antara yang satu dan yang lainnya secara integratif. Kami menyambut baik buku *Fisiologi Tumbuhan* karya Ibu Nurdiana, S.P., M.P. pengampu matakuliah Fisiologi Tumbuhan di UIN Mataram ini, mudah-mudahan dapat diikuti oleh dosen-dosen yang lain sebagai usaha membangun tradisi ilmiah di kampus kita ini. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi yang ingin mendalami fenomena kealaman perspektif sains dan agama.

Mataram, Mei 2022

Dekan FTK UIN Mataram



PRAKATA PENULIS

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. *Al-hamdulillah* puji syukur ke hadirat Allah Swt., atas segala perkenan-Nya, sehingga penyusunan buku *Fisiologi Tumbuhan* ini dapat terselesaikan dengan baik. Sebagai bahan ajar, karya ini boleh dikatakan *simple* dan sangat sederhana, akan tetapi paling tidak karya ini dapat memberikan gambaran mengenai konsepsi-konsepsi dasar tentang fenomena tumbuhan dalam perspektif sains dan agama (Islam). Penulisan karya ini didasari oleh obsesi penulis untuk menjelaskan fenomena-fenomena tumbuhan dilihat dari sains dan agama. Sebagaimana diketahui bahwa setelah melewati periode pandangan pesimistik dari perspektif-perspektif sains dan agama di lingkungan akademik pada paruh pertama abad ke-20, dewasa ini, utamanya dalam beberapa dekade mutakhir, kecenderungan-kecenderungan religius mulai menampak pada sejumlah ahli fisika dan biologi. Maka, berlangsunglah diskusi-diskusi yang bermutu di kalangan mereka (saintis) di satu pihak dan para filsuf dan teolog di pihak lain, yang mewujudkan dalam bentuk karya-karya ilmiah.

Hubungan antara sains dan agama kini menjadi pertimbangan penting di kalangan pemikir, dan penyelenggaraan kuliah-kuliah akademik tentang “sains dan agama” merupakan petunjuk kuat tentang hal itu. Karya ini adalah salah satu bentuk apresiasi terhadap tren baru studi keilmuan di lingkungan perguruan tinggi kekinian, yakni tema-tema kealaman yang terkait dengan silabus matakuliah Fisiologi Tumbuhan diintegrasikan dengan perspektif Qur’ani. Inilah titik beda karya ini dengan karya-karya lain

yang membahas wacana fisiologi tumbuhan. Spirit integrasi interkoneksi antara sains dan agama yang menjadi pendekatan karya ini menambah nuansa tersendiri bagi para pengkaji fenomena kosmos ini.

Karya ini diharapkan menjadi referensi dan pegangan wajib mahasiswa dalam perkuliahan materi fisiologi tumbuhan. Lebih dari target akademik, diharapkan akan terpancar mahasiswa sebagai output lembaga yang menjadi sosok alumni dan manusia beragama Islam yang terampil menganalisis dan menangani isu-isu tumbuhan di era pascamodern ini secara integratif. Hal ini implikasi dari penguasaan mereka terhadap berbagai pendekatan baru yang diberikan oleh ilmu-ilmu kealaman, serta ilmu-ilmu kontemporer. Selain itu, di balik semua yang ditempuh dan dilakukannya selalu dilandasi etika moral keagamaan yang objektif dan kukuh, karena keberadaan Al-Qur'an dan as-Sunnah yang dimaknai secara kontekstual menjadi landasan pijak dan pandangan hidup keagamaan manusia yang menyatu dalam atmosfer keilmuan dan keagamaannya. Semua tindakannya didasarkan ilmu, iman dan amal. Semua tindakan ini didedikasikan untuk kesejahteraan manusia secara bersama tanpa memandang latar belakang etnis, agama, ras maupun golongan.

Kami menyadari bahwa dalam proses penyusunan karya ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi pemikiran sehingga penyusunan karya ini selesai. Untuk itu penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak, terutama Ayahanda K.H. Ahmad Usman, yang telah dengan tekun naskah awal buku ini dan memberikan berbagai sumbangan pemikiran. Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Rektor UIN Mataram; Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, dan segenap civitas akademika UIN Mataram. Semoga Allah Swt. berkenan membalas dengan pahala yang setimpal. Aamiin. Akhirnya, semoga karya ini bermanfaat bagi mahasiswa dan masyarakat umum. Tidak lupa kami mengharapkan kritik dan saran konstruktif untuk penyempurnaan karya ini.

Mataram, Mei 2022

Nurdiana, S.P., M.P.



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR DEKAN	v
PRAKATA PENULIS	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR DAN TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB 1 HUBUNGAN AIR DENGAN TUMBUHAN	1
A. Pendahuluan	1
B. Sifat Air	2
C. Struktur dan Fungsi Membran Sel Tumbuhan	4
D. Transportasi Transmembran	7
E. Transpirasi	14
F. Potensi Air pada Tumbuhan	15
BAB 2 FOTOSINTESIS	19
A. Pendahuluan	19
B. Pengertian Fotosintesis	21
C. Faktor Memengaruhi Fotosintesis	22
D. Proses Fotosintesis	23
E. Reaksi Fotosintesis	25
F. Fotosintesis Tanaman C3, C4, dan CAM	28
BAB 3 RESPIRASI	33
A. Pendahuluan	33

B.	Jenis Respirasi	34
C.	Mekanisme Respirasi	36
D.	Faktor yang Memengaruhi Respirasi	41
E.	Respirasi Tumbuhan Tingkat Tinggi	44
F.	Respirasi Tumbuhan Tingkat Rendah	45
BAB 4	FOTOPERIODISME	47
A.	Pendahuluan	47
B.	Fotoperiodisme	48
C.	Induksi Fotoperiodisme	54
BAB 5	NUTRISI TUMBUHAN	55
A.	Pendahuluan	55
B.	Unsur Hara Makro	56
C.	Unsur Hara Mikro	62
D.	Mekanisme Penyerapan Nutrisi Tanaman	65
E.	Faktor Penyerapan Mineral	66
BAB 6	ENZIM	69
A.	Pengertian	69
B.	Enzim di Dalam Sel	70
C.	Sifat Enzim	72
D.	Cara Kerja Enzim	72
E.	Faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim	74
BAB 7	GERAK TUMBUHAN	77
A.	Pengertian	77
B.	Macam-macam Gerak Tumbuhan	78
C.	Gerak Tropisme	79
D.	Gerak Nasti	84
E.	Gerak Taksis	87
BAB 8	HORMON TUMBUHAN	89
A.	Pendahuluan	89
B.	Hormon Auksin	90
C.	Hormon Sitokinin	93

D. Hormon Giberelin	95
E. Asam Absisat	97
F. Etilen	99
G. Asam Traumalin	101
BAB 9 KEGIATAN PRAKTIKUM	103
Susunan Acara Kegiatan Praktikum	103
DAFTAR PUSTAKA	135
INDEKS	139
TENTANG PENULIS	141





DAFTAR GAMBAR DAN TABEL

Gambar

Gambar 1.1	Hubungan Air dan Tanaman	2
Gambar 1.2	Air di dalam Tumbuhan	3
Gambar 1.3	Air bagi Tanaman	4
Gambar 1.4	Struktur dan membran sel	5
Gambar 1.5	Transmembran Tumbuhan	7
Gambar 1.6	Difusi pada Tumbuhan	8
Gambar 1.7	Osmosis	11
Gambar 1.8	Xylem	11
Gambar 1.9	Imbibisi	12
Gambar 1.10	Transpor aktif Tumbuhan	13
Gambar 1.11	Transpirasi	14
Gambar 1.12	Potensi Air pada Tumbuhan	15
Gambar 1.13	Floem	16
Gambar 1.14	Sel Tumbuhan	17
Gambar 2.1	Organisme Autotrof	19
Gambar 2.2	Kegiatan Fotosintesis	21
Gambar 2.3	Proses Fotosintesis	22
Gambar 2.4	Faktor yang memengaruhi Fotosintesis	23
Gambar 2.5	Proses Fotosintesis 1	24
Gambar 2.6	Reaksi Fotosintesis	25
Gambar 2.7	Reaksi Terang dan Gelap	27

Gambar 2.8.	Tumbuhan C3 (<i>Oryza sativa</i>)	28
Gambar 2.9	Tumbuhan C4(<i>Zea mays</i>)	29
Gambar 2.10	Tumbuhan CAM (<i>Ananas s</i>)	32
Gambar 3.1	Respirasi pada Tumbuhan	33
Gambar 3.2	Respirasi Aerob dan Anaerob	35
Gambar 3.3	Mekanisme Respirasi	36
Gambar 3.4	Glikolisis	37
Gambar 3.5	Faktor Respirasi Tumbuhan	42
Gambar 3.6	Tumbuhan Tingkat Tinggi	45
Gambar 3.7	Tumbuhan Tingkat Rendah	45
Gambar 4.1	Fotoperiodisme	47
Gambar 4.2	Ilustrasi Kegiatan Fotoperiodisme	49
Gambar 4.3	Tanaman Waktu Pendek (<i>Gossipium sp</i>)	50
Gambar 4.4	Tanaman Hari Netral (<i>Heliantus a</i>)	50
Gambar 4.5	Tanaman Hari Panjang (<i>Ammarantus hibridus</i>)	51
Gambar 4.6	Tanaman Hari Sedang (<i>Saccarum officinarum</i>)	52
Gambar 5.1	Nutrisi Tanaman	55
Gambar 5.2	Unsur Hara yang Dibutuhkan Tanaman	56
Gambar 5.3	Unsur Hara	57
Gambar 5.4	Nitrogen Sintetik	58
Gambar 5.5	Tubuh Tumbuhan dan Pengaruh hara	58
Gambar 5.6	Poshpor	59
Gambar 5.7	Kekurangan Kalium	60
Gambar 5.8	Kekurangan Magnesium	60
Gambar 5.9	Kalsium Tercukupi	61
Gambar 5.10	Kekurangan Sulfur	62
Gambar 5.11	Unsur Hara Mikro	62
Gambar 5.12	Mekanisme Penyerapan	65
Gambar 5.13	Penyerapan Hara	67
Gambar 6.1	Aktivitas Enzim pada Tanaman	69
Gambar 6.2	Enzim di dalam Sel (sitoplasama)	71
Gambar 6.3	Cara Kerja Enzim	73
Gambar 7.1	Gerak pada Tumbuhan	77
Gambar 7.2	Gerak Tropisme	80
Gambar 7.3	Gerak Nasti	85
Gambar 7.4	Gerak Taksis	88

Gambar 8.1	Hormon pada Tumbuhan	89
Gambar 8.2	Hormon Auksin	91
Gambar 8.3	Aktivitas Hormon Auksin	92
Gambar 8.4	Hormon Sitokinin	94
Gambar 8.5	Fungsi Hormon Sitokinin	94
Gambar 8.6	Hormon Giberelin	96
Gambar 8.7	Asam Absisat	97
Gambar 8.8	Rantai Atom Asam Absisat	98
Gambar 8.9	Etilen	99
Gambar 8.10	Rantai Atom Etilen	100
Gambar 8.11	Asam Traumalin	101
Gambar 8.12	Rantai Atom Asam Traumalin	102
Gambar 9.1	Ilustrasi Kegiatan	113
Gambar 9.2	Model Kegiatan	114
Gambar 9.3	Percobaan Respirasi	120
Gambar 9.4	Gambar Percobaan	125
Gambar 9.5	Contoh kegiatan	126

Tabel

Tabel 9.1	Tabel Pengamatan*	107
Tabel 9.2	Tabel Pengamatan Percobaan 1	114
Tabel 9.3	Tabel Pengamatan percobaan 2	114
Tabel 9.4	Tabel Pengamatan	120
Tabel 9.5	Tabel Pengamatan Percobaan 1	126
Tabel 9.6	Tabel Pengamatan percobaan 2	127
Tabel 9.7	Tabel Pengamatan	132





DAFTAR SINGKATAN

ABA	=	Asam Absisat
atm	=	atmosfer
ATP	=	Adenosin Trifosfat
B bar	=	Boron, Pengukur Tekanan
C3	=	Tumbuhan Intensitas cahaya sedang
C4	=	Tumbuhan daerah Panas
cal	=	kalori
CAM	=	Tumbuhan daerah Kering
Cl	=	carbonil
CO ₂	=	Karbondioksida
Cu	=	Tembaga
DNA	=	Deoxyribonukleat Acid al
2FADH	=	2 Flavin Adenin Dinokleotida
Fe	=	Besi
Fe-S	=	Besi
GA	=	Giberaline
H ₂ O	=	Air
IAA	=	Asam Indolasetat
IAAld	=	Indolasetat dehid
IAN	=	Indolaseto nitril
K ⁺	=	kaliaum
LDP	=	Tumbuhan hari Panjang
Mn	=	Mangan

Mo	=	Molibdenum
Na	=	Natrium
NADPH	=	Nicotinamide Adenine Dinucleotida Phosphate
nm	=	Nanometer
O ₂	=	Oksigen
PA	=	Potensial Air
PC	=	Plastosianin
PEP	=	Enzim Pengikat
pH	=	Keasaman
PQ	=	Plastokuinon
PS	=	fotosistem
RNA	=	Ribonuclead acid
RuBP	=	Pembentuk Karbohidrat
SDP	=	Tubuhan hari pendek
SO ₂	=	Sulfur dioksida
TpyA	=	Asam Indopiruvat
Zn	=	seng
Ψ _p	=	potensial tekanan
Ψ _s	=	potensial osmotik

1

HUBUNGAN AIR DENGAN TUMBUHAN

A. PENDAHULUAN

Tumbuhan dalam proses transportasi mineral di dalam tanah membutuhkan air sebagai salah satu media untuk mengantarkan materiel yang ada ke seluruh bagian tubuh tumbuhan. Air merupakan molekul terbesar dalam kehidupan. Terdapat 90-95% air pada tubuh tumbuhan. Tumbuhan membutuhkan air, gas-gas serta zat hara yang diambil dari tanah. Al-Qur'an surah *Thaha* ayat 53 yang berbunyi:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَ سَلَكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا مِّنْ نُّبَاتٍ شَتَّىٰ .

Yaitu telah menjadikan bagimu bumi sebagai hamparan dan yang telah menjadikan bagimu di bumi itu jalan-jalan dan menurunkan dari langit air hujan. Maka kami tumbuhkan dengan air hujan tersebut berjenis-jenis dari tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam (Thaha: 53).

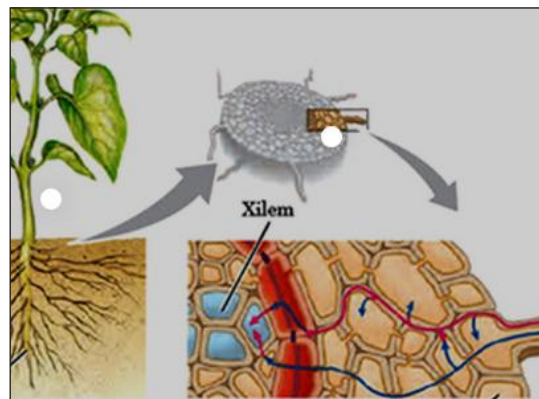
Tumbuhan dihidupkan oleh Allah dengan air. Hubungan yang erat antara air dengan tumbuhan menghasilkan interaksi fenomena ekologi yang terdapat di alam yaitu interaksi antara organisme dengan lingkungannya (al-Jazairi, 2007).

Air memiliki kemampuan untuk mengikat molekul lain seperti pati dan selulosa, sifat yang sangat membantu dalam proses pengangkutan di dalam jaringan *xylem*. Perlu diketahui bahwa tumbuhan merupakan organisme multiseluler. Sel pada tumbuhan memiliki organel-organel dan

struktur yang masing-masing memiliki fungsi dan bentuk yang berbeda, sel memiliki struktur penyusun sel berupa organel-organel sel.

Tumbuhan memiliki akar, batang, dan daun dengan fungsi masing-masing sebagai sistem transpor untuk mengangkut bahan-bahan dari satu sel ke sel yang lain, dari jaringan ke jaringan yang lain, dari organ ke organ yang lain sehingga terpenuhi kebutuhan dan transportasi materiel ke seluruh bagian tubuh tumbuhan. Proses yang dilalui terdiri dari berbagai macam proses metabolisme yang kompleks, sehingga menjadi salah satu objek studi yang unik untuk dipelajari dan dikaji secara ilmiah melalui spesialis fisiologi tumbuhan (*physiology of plantae*).

Transportasi tumbuhan adalah proses pengambilan dan pengeluaran zat-zat ke seluruh bagian tubuh tumbuhan. Pada tumbuhan tingkat rendah penyerapan air dan zat hara yang terlarut di dalamnya dilakukan melalui seluruh bagian tubuh, sedangkan pada tumbuhan tingkat tinggi proses pengangkutan yang dilakukan oleh jaringan angkut. Mekanisme penyerapan dapat berlangsung karena adanya proses-proses seperti imbibisi, difusi, osmosis, dan transpor aktif (Isnaini N *et al.*, 2016).



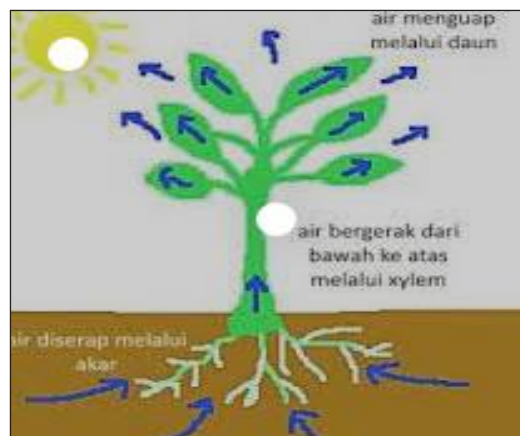
GAMBAR 1.1 HUBUNGAN AIR DAN TANAMAN

(Sumber : Kompas.com/akses Mei 2020)

B. SIFAT AIR

Air memiliki sifat-sifat fisik yang penting bagi kehidupan tumbuhan maupun semua organisme hidup, di antaranya seperti:

1. Titik didih air jauh lebih tinggi dibandingkan jenis cairan yang lain dan merupakan cairan yang paling umum. Sehingga air dapat menyerap sejumlah besar energi tanpa banyak menaikkan suhu, sehingga tubuh organisme menjadi lebih stabil dan metabolisme akan stabil pula.
2. Air mempunyai titik densitas maksimum pada 4 derajat Celcius. Hal ini yang menyebabkan kenapa air jarang membeku di dalam lautan atau danau. Sehingga, organisme dapat hidup di dalamnya.
3. Molekul air mempunyai kemampuan untuk berikatan dengan molekul lain (adhesi), sedangkan kemampuan molekul tersebut untuk saling berikatan, disebut kohesi. Hal ini sangat membantu dalam proses pengangkutan air di dalam tubuh tumbuhan.
4. Air memiliki panas penguapan (*heats of vaporization*). Cukup tinggi, sekitar 540 cal gm^{-1} . Angka tersebut sangat membantu dalam pemeliharaan temperatur organisme.
5. Air tegangan muka sangat tinggi. Sehingga air ini boleh naik di dalam suatu kapiler sampai ketinggian sekitar 120 cm, dan sangat bermanfaat bagi tumbuhan, di mana memungkinkan air untuk pindah atau bergerak secara ekstensif antar ruang partikel dan dalam dinding sel tumbuhan.

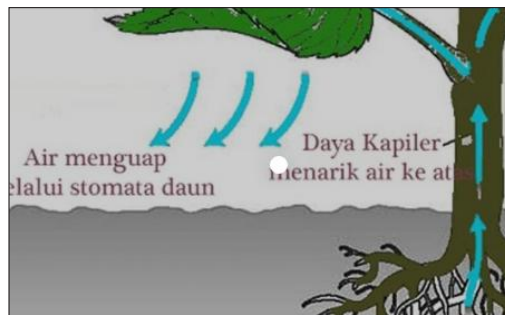


GAMBAR 1.2 AIR DI DALAM TUMBUHAN

(Sumber: Panehutan.com/akses Mei 2022)

gambar pecah, apakah ada gambar 3 yang lebih jelas?

6. Air mempunyai kemampuan yang tinggi untuk mentransmisikan cahaya, sehingga membantu tumbuhan di dalam fotosintesis terutama pada tumbuhan yang berada di dalam air. Selain itu dapat memampukan cahaya untuk menembus dan menjangkau jaringan daun-daun yang lebih dalam.
7. Air berbentuk cair dalam suhu ruang, sehingga kehadiran air yang cair pada suhu kamar dan tidak bersifat toksik merupakan sifat air yang penting bagi kehidupan, selain itu air tidak dapat dimampatkan.
8. Air memiliki viskositas (kekentalan) yang rendah, sehingga dapat dengan mudah mengalir. Hal ini sangat penting bagi kehidupan tanaman, karena dengan demikian air dengan mudah berpindah ke dalam tubuh.
9. Semua sifat fisik air di atas membuat air merupakan suatu medium ideal untuk pelaksanaan berbagai proses hidup (Parwati, 2013).

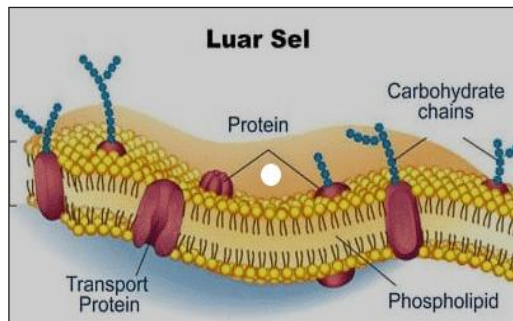


GAMBAR 1.3 AIR BAGI TANAMAN

(Sumber :learniseasy.com/akses Mei 2022)

C. STRUKTUR DAN FUNGSI MEMBRAN SEL TUMBUHAN

Membran sel umumnya memiliki ketebalan antara 7.5 sd 10.0 nm. Senyawa utama penyusun membran adalah protein dan lipida. Protein mencapai 1/5 sd 2/3 dari total berat kering membran. Pengamatan dengan menggunakan alat bantu seperti mikroskop elektron dapat menampilkan visualisasi benjolan-benjolan pada membran, benjolan tersebut merupakan molekul protein penyusun membran (Lakitan, 1993).



GAMBAR 1.4 STRUKTUR DAN MEMBRAN SEL

(Sumber: Gurupendidikan.co.id/akses Mei 2022)

Proporsi membran yang beragam dan jenis molekul yang terkandung di dalam membran dipengaruhi oleh jenis membran dan kondisi fisiologi dari sel tumbuhan yang diamati. Perbedaan tersebut dapat diamati dari *membrane plasma*, *tonoplas*, *reticulum endoplasma*, *dictisom*, *cloroplas*, *nucleus*, *mitochondria*, *proksisom*, dan *glioksisom*. Komposisi protein dan lipida yang berbeda antara spesies satu dengan spesies yang lain, dengan demikian jenis lipida yang sering dijumpai adalah *fosfolipid*, *glikolipida*, dan *sterol* (Lakitan B., 1993).

Empat jenis *fosfolipid* yang sering dijumpai antara lain *fosfatidil kolin*, *fosfatidil etanolamin*, *fosfatidil gliserol* dan *fosfatidil inositol*. Dua jenis *glikolipida* yang sering dijumpai antara lain: *monogalaktosildigliserida* (yang mengandung 1 molekul galaktosa) dan *digalaktosildigliserida* (mengandung 2 molekul galaktosa). *Glikolipida* terutama ditemukan pada membran kloroplas, di mana fosfolipida jarang dijumpai.

Struktur dari lipida-lipida tersebut memiliki karakteristik yang khas, yakni lipida tersebut memiliki gliserol dengan 3 atom karbon sebagai tulang punggung. Pada 2 dari 3 atom karbon tersebut akan tersertifikasi asam-asam lemak dengan 16 atau 18 atom karbon. Asam-asam lemak ini bersifat hidrofobik (menjauhi air) sedangkan gliserol dengan atom-atom oksigennya bersifat *hidrofilik* (menarik air) karena oksigen dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air.

Fungsi membran sel pada sel tumbuhan dan makhluk hidup lainnya sangat penting sekali. Satu sifat sel yang universal adalah membran pembatas di luar. Membran sel berfungsi sebagai interase antara mesin-mesin di bagian dalam sel dan fluida cair yang membasahi semua sel. Membran

sel demikian tipisnya tebalnya sekitar 10 nm. Pemeriksaan yang teliti menyingkapkan bahwa membran terdiri atas tiga lapisan, yang tampak sebagai dua garis gelap dan dipisahkan oleh ruang yang jernih. Analisis kimiawi menyingkapkan bahwa membran mengandung kira-kira 50% lipid dan 50% protein (Kimball *et al.*, 1992).

Membran sering dikatakan bersifat semi permeabel, yang artinya molekul air dapat menembus membran tersebut, sedangkan bahan-bahan yang terlarut dalam air tersebut tidak dapat menembus membran tersebut. Pada kenyataannya, bersama-sama molekul air akan ikut ion atau senyawa tertentu yang terlarut di dalam dan bergerak menembus membran. Berdasarkan kenyataan tersebut F. B. Salisbury dan C. W Ross mengusulkan sesungguhnya membran tembus terkendali (Lakitan, 1993).

Fungsi membran pada dasarnya mengatur lalu lintas molekul air dan ion atau senyawa yang terlarut dalam air untuk keluar masuk sel atau organel-organel sel. Walaupun membran bersifat semi permeabel tetap saja molekul-molekul air leluasa untuk menembus membran di banding dengan ion-ion atau senyawa lain. Membran sel merupakan pembatas antara bagian dalam sel dengan lingkungan luarnya. Fungsinya antara lain melindungi isi sel, pengatur keluar-masuknya molekul-molekul, dan juga reseptor rangsangan dari luar.

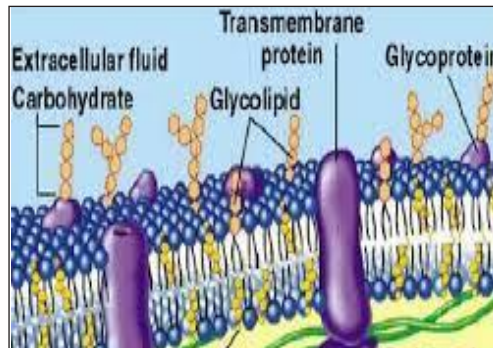
Menurut Lakitan bahwa ada 4 teori yang menyatakan air lebih mudah menembus membran dibandingkan dengan ion lainnya atau senyawa yang ada. Hal tersebut karena:

1. Membran tersusun dari bahan yang lebih mudah berasosiasi dengan molekul air di banding senyawa lain, sehingga air lebih mudah menembus membran.
2. Adanya gelembung udara yang mengisi celah-celah membran sehingga air akan lebih mudah menembus membran.
3. Terdapatnya pori-pori yang sangat kecil yang hanya dapat dilalui oleh molekul air.
4. Air bergerak lebih cepat karena pergerakan menembus membran tersebut disebabkan oleh difusi yang cepat pada bidang temu antara air dalam pori membran dengan cairan sitoplasma karena adanya perbedaan potensial air yang besar antara cairan sitoplasma dengan air yang ada dalam pori membran.

Perlu diketahui bahwa difusi yang sangat cepat menyebabkan tarikan bagi molekul-molekul air di dalam pori membran, sehingga menimbulkan aliran massa molekul-molekul air di dalam pori membran menuju sitoplasma.

D. TRANSPORTASI TRANSMEMBRAN

Transportasi antar membran memiliki satu fungsi membran sel yaitu sebagai lalu lintas molekul dan ion secara dua arah. Molekul yang dapat melewati membran sel antara lain ialah molekul hidrofobik (CO_2 , O_2) dan molekul polar yang sangat kecil (air, etanol) karena membran bersifat semipermeabel. Molekul lainnya seperti molekul polar dengan ukuran besar (glukosa), ion dan substansi hidrofilik membutuhkan mekanisme khusus agar dapat masuk ke dalam sel. Banyaknya molekul yang masuk ke dalam sel melalui membran sel membentuk suatu aktivitas sel yang disebut dengan transpor antar membran (Darmadi, 2012).



GAMBAR 1.5 TRANSMEMBRAN TUMBUHAN

(Sumber: Repository.Kemendikbud.go.id/Akses Mei 2022)

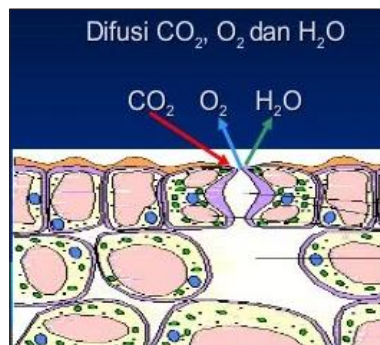
Salah satu fungsi dari membran sel adalah sebagai media transpor bagi sel. Transpor melewati membran sel cukup penting dalam menjaga homeostasis dalam sel. Transpor membran sel itu sendiri merupakan proses pengangkutan materi atau molekul dari daerah yang konsentrasinya tinggi ke daerah yang konsentrasinya rendah tanpa menggunakan ATP (Adenosin Trifosfat), atau proses pengangkutan molekul dari daerah yang konsentrasinya rendah ke daerah yang konsentrasinya tinggi dengan menggunakan energi hasil metabolisme ATP, dan kedua proses tersebut

berlangsung secara terpadu untuk menjaga keseimbangan molekul biologis di dalam sel (Sumadi *et al.*, 2007).

Transpor membran dibagi menjadi dua yaitu transpor aktif dan transpor pasif. Transportasi zat melalui membran sel terdiri dari dua macam cara yaitu transpor pasif dan transportasi aktif. Transpor pasif merupakan suatu perpindahan molekul menuruni gradien konsentrasinya. Transpor pasif ini bersifat spontan. Difusi, osmosis, dan difusi terfasilitasi merupakan contoh dari transpor pasif. Difusi terjadi akibat gerak termal yang meningkatkan entropi atau ketidak teraturan sehingga menyebabkan campuran yang lebih acak. Difusi akan berlanjut selama respirasi seluler yang mengonsumsi O_2 masuk.

Osmosis merupakan difusi pelarut melintasi membran selektif yang arah perpindahannya ditentukan oleh beda konsentrasi zat terlarut total (dari hipotonis ke hipotonis). Difusi terfasilitasi juga masih dianggap ke dalam transpor pasif karena zat terlarut berpindah menurut gradien konsentrasinya.

Difusi adalah proses perembesan senyawa kimia tertentu secara spontan dari daerah yang memiliki konsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah sehingga akan menghasilkan konsentrasi yang sama di dalam zat tersebut. Proses ini terjadi akibat mobilitas dan energi kinetik dari molekul atau ion yang berdifusi tersebut (Jati W., 2007). Arah gerakan tidak tentu, ini dikarenakan adanya hantaman molekul-molekul tersebut. Mekanisme ini menjadi penting dalam menghubungkan sel dengan lingkungannya.



GAMBAR 1.6 DIFUSI PADA TUMBUHAN

(Sumber: slideshae.net/akses Mei 2022)

Proses difusi digerakkan oleh gaya dorong yang terjadi karena adanya, beda potensial dari tinggi ke rendah baik dalam hal temperatur, listrik, tekanan hidrostatis, konsentrasi, dan lain-lain. Kecepatan transpornya dihitung dalam Flux (besarnya massa yang melewati satu luas permukaan tertentu pada satuan waktu tertentu). Difusi pada tumbuhan pada proses fotosintesis terjadi pemindahan O₂ dari daun ke udara bebas dan pemindahan CO₂ dari udara ke daun (Muliana *et al.*, 1992).

Peristiwa difusi, O₂ dapat di bebaskan dan CO₂ dapat digunakan jika kandungan O₂ daun lebih tinggi dari lingkungan sekitar dan kandungan CO₂ udara bebas lebih besar dari di daun, pada proses fotosintesis, stomata berfungsi mengambil CO₂ yang berasal dari udara dan mengeluarkan O₂ sebagai hasil fotosintesis. Laju difusi antara lain tergantung pada suhu dan idensitas (kepadatan) medium.

Pertukaran udara melalui stomata merupakan contoh dari proses difusi. Pada siang hari terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan O₂ sehingga konsentrasi O₂ meningkat. Peningkatan konsentrasi O₂ ini akan menyebabkan difusi O₂ dari daun ke udara luar melalui stomata. Sebaliknya konsentrasi CO₂ di dalam jaringan menurun (karena digunakan untuk fotosintesis) sehingga CO₂ dari udara luar masuk melalui stomata (Advinda, 2018).

Adapun faktor pengaruh kecepatan difusi yang dapat terjadi dalam kecepatan tinggi atau rendah, di antaranya:

1. Ukuran partikel, partikel yang kecil lebih mudah bergerak, membuat proses difusi semakin cepat.
2. Luas area, area yang luas memperbesar kecepatan difusi.
3. Jarak, bila jarak di antara dua konsentrasi berbeda itu besar, kecepatan difusi akan melambat.
4. Ketebalan membran, membran yang tipis membuat difusi semakin cepat.
5. Suhu tinggi akan mempercepat difusi sebab partikel mendapatkan energi dari panas.

Perpindahan molekul zat pelarut selain difusi juga terjadi peristiwa osmosis pada tumbuhan. Osmosis adalah proses perpindahan atau pergerakan molekul zat pelarut, dari larutan yang konsentrasi zat pelarutnya tinggi menuju larutan yang konsentrasi zat pelarutnya rendah melalui se-

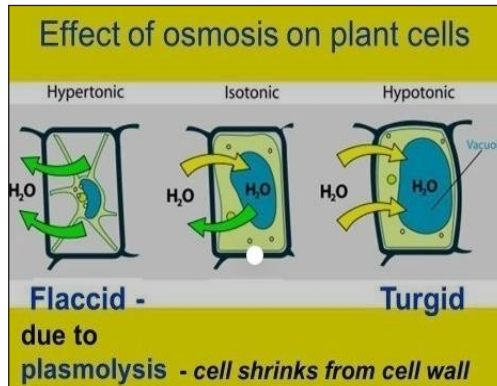
laput atau membran selektif permeabel (permeabel hanya kepada pelarut tidak kepada terlarut) atau semi permeabel (Salisbury, 1995).

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 dengan osmosis.

Osmosis adalah difusi air menembus membran sel. Larutan yang konsentrasi zat terlarutnya lebih tinggi dibandingkan dengan larutan di dalam sel dikatakan sebagai larutan hipertonis. Adapun larutan yang konsentrasinya sama dengan larutan di dalam sel disebut larutan isotonis. Air mengalir melalui osmosis dari larutan hipoosmotik ke larutan hiperosmotik (Capbell, 2010).

Faktor-faktor yang memengaruhi osmosis antara lain ukuran molekul yang meresap, keterlarutan lipid, luas permukaan membran, ketebalan membran, dan suhu.

1. Ukuran molekul yang meresap: Molekul yang lebih kecil daripada garis pusat lubang membran akan meresap dengan lebih mudah.
2. Keterlarutan lipid: Molekul yang mempunyai keterlarutan yang tinggi meresap lebih cepat daripada molekul yang kelarutan yang rendah seperti lipid.
3. Luas permukaan membran: Kadar resapan menjadi lebih cepat jika luas permukaan membran yang disediakan untuk resapan adalah lebih besar.
4. Ketebalan membran: Kadar resapan sesuatu molekul berkadar song-sang dengan jarak yang harus dilaluinya. Berbanding dengan satu membran yang tebal, kadar resapan melalui satu membran yang tipis adalah lebih cepat.
5. Suhu: pergerakan molekul dipengaruhi oleh suhu. Kadar resapan akan menjadi lebih cepat pada suhu yang tinggi dibandingkan dengan suhu yang rendah.

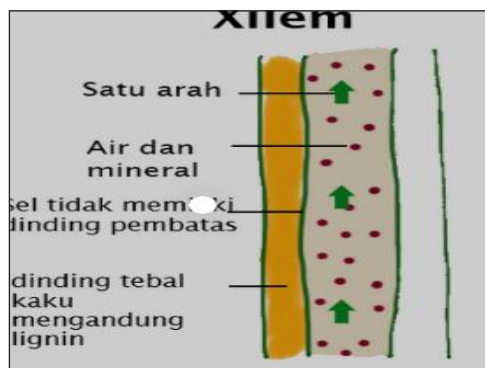


GAMBAR 1.7 OSMOSIS

(Sumber: brainly.co.id/akses Mei 2022)

Osmosis merupakan difusi air dari daerah yang memiliki potensial air lebih rendah ke daerah yang potensial airnya lebih tinggi, melalui suatu membran semi permeabel. Potensial osmotik suatu larutan selalu negatif yang ekuivalen dengan nilai tekanan osmotiknya yang sebenarnya.

Peristiwa osmosis pada tumbuhan terdapat rambut akar terbentuk dari sel epidermis yang menjulur keluar. Cara penyerapan air oleh rambut akar berlangsung secara osmosis. Air dan mineral yang terlarut di dalam tanah masuk ke dalam sel rambut secara osmosis. Setelah rambut akar menyerap air, maka cairan pada sel rambut akar menjadi kurang pekat jika dibandingkan dengan cairan pada sel korteks. Hal ini membuat air dari sel

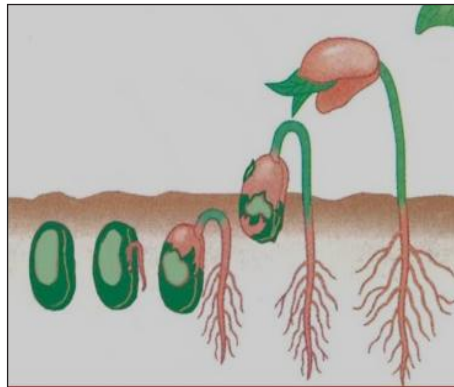


GAMBAR1.8. XYLEM

(Sumber: Kompas.com/akses Mei 2022)

rambut akar dapat mengalir ke dalam sel pada korteks secara osmosis. Air kemudian mengalir ke endodermis dengan cara yang osmosis hingga mencapai pembuluh kayu (*xylem*).

Peristiwa lainnya yang terjadi pada tumbuhan adalah **Imbibisi**. Imbibisi yaitu meresapnya air ke dalam ruangan antar dinding sel, sehingga dinding sel tumbuhan mengembang, adapun hubungan dengan pengambilan zat oleh tumbuhan imbibisi berarti kemampuan dinding sel dan plasma sel untuk menyerap air dari luar sel. Air yang diserap itulah yang disebut dengan imbibisi. Molekul-molekul air terikat di antara molekul dinding sel atau plasma sel dan menyebabkan plasma sel mengembang (Devia, 2011).

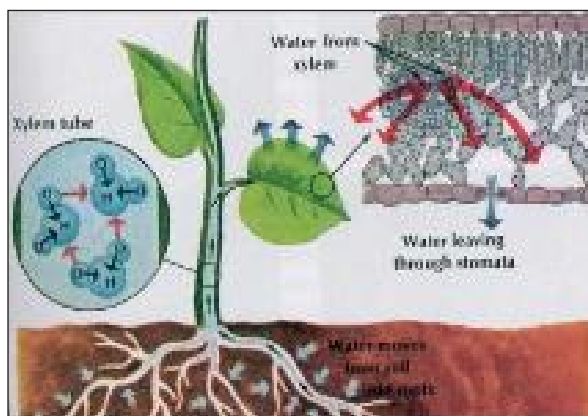


GAMBAR 1.9 IMBIBISI

(Sumber: jainiyubmee.blogspot.com/akses Mei 2022)

Perlu diketahui bahwa pada tumbuhan juga terjadi aktivitas perpindahan partikel-partikel materiel secara aktif (transpor aktif).

Transpor aktif merupakan transpor partikel-partikel melalui membran semipermeabel yang bergerak melawan gradien konsentrasi yang memerlukan energi dalam bentuk ATP. Transpor aktif berjalan dari larutan yang memiliki konsentrasi rendah ke larutan yang memiliki konsentrasi tinggi, sehingga dapat tercapai keseimbangan di dalam sel. Adanya muatan listrik di dalam dan luar sel dapat memengaruhi proses ini, misalnya ion K^+ , Na^+ dan Cl^+ .



GAMBAR 1.10 TRANSPOR AKTIF TUMBUHAN

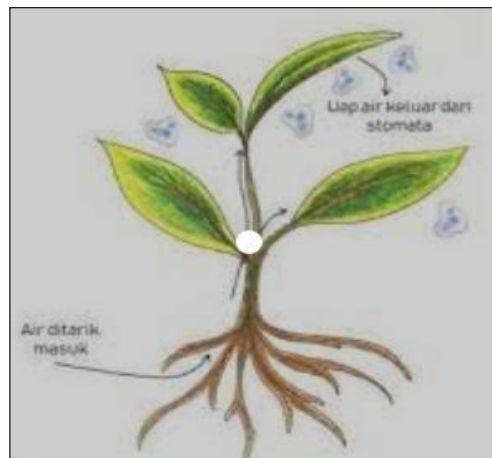
(Sumber: Ensiklopedia bebas/akses Mei 2022)

Peristiwa **transpor aktif** dapat dilihat pada peristiwa masuknya glukosa ke dalam sel melewati membran plasma dengan menggunakan energi yang berasal dari ATP. Contoh lain terjadi pada darah di dalam tubuh kita, yaitu pengangkutan ion kalium (K) dan natrium (Na) yang terjadi antara sel darah merah dan cairan ekstrasel (plasma darah). Kadar ion kalium pada sitoplasma sel darah merah tiga puluh kali lebih besar daripada cairan plasma darah. Tetapi kadar ion natrium plasma darah sebelas kali lebih besar daripada di dalam sel darah merah. Adanya pengangkutan ion bertujuan agar dapat tercapai keseimbangan kadar ion di dalam sel.

Zat yang dipindahkan dengan cara transpor aktif pada umumnya adalah zat yang memiliki ukuran molekul cukup besar sehingga tidak mampu melewati membran sel. Sel mengimbangi tekanan osmosis lingkungannya dengan cara menyerap atau mengeluarkan molekul-molekul tertentu. Dengan demikian, terjadi aliran air masuk atau keluar sel. Kemampuan mengimbangi tekanan osmosis dengan transpor aktif menjadi sangat penting untuk bertahan hidup. Transpor aktif berjalan dari larutan yang memiliki konsentrasi rendah ke larutan yang memiliki konsentrasi tinggi, sehingga dapat tercapai keseimbangan di dalam sel. Adanya muatan listrik di dalam dan luar sel dapat memengaruhi proses ini (Darmadi, 1997).

E. TRANSPIRASI

Peristiwa yang terjadi pada tumbuhan salah satunya adalah kegiatan transpirasi. Transpirasi adalah kehilangan air pada tanaman dalam bentuk uap air dari jaringan tanaman melalui stomata. Kemungkinan kehilangan air dari jaringan tanaman juga terjadi melalui bagian yang lain seperti lenti sel, tetapi dengan jumlah yang lebih kecil dibandingkan melalui stomata (Lakitan, 2007).



GAMBAR 1.11 TRANSPIRASI

(Sumber: Ensiklopedia bebas/Akses Mei 2022)

Fungsi transpirasi pada tanaman adalah untuk mengetahui kemampuan fotosintesis terkait ketersediaan air dan transpor unsur hara serta garam mineral dari akar, batang dan daun tanaman. Proses transpirasi dapat terjadi melalui proses membuka dan menutupnya stomata. Terganggunya proses transpirasi maka menurunkan turgor pada sel sehingga membuka menutupnya stomata terganggu (Berg, 2007).

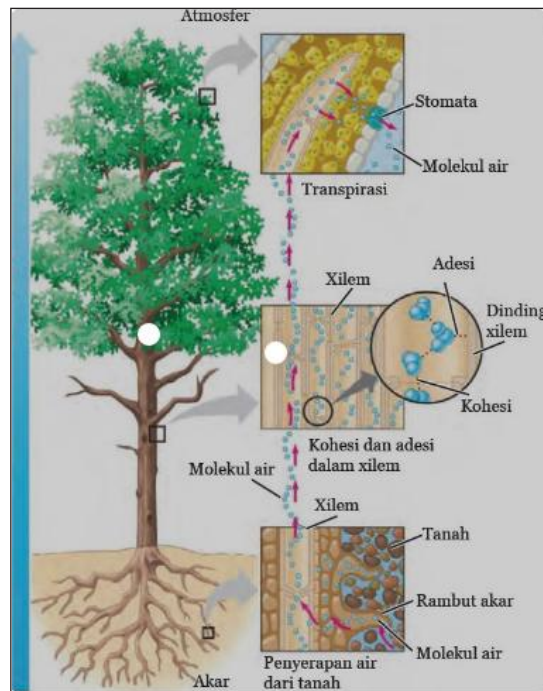
Kehilangan air pada tanaman didominasi melalui organ pokok tanaman yaitu daun, terdapat 2 tipe transpirasi yaitu transpirasi kutikula dan transpirasi stomata. Transpirasi kutikula adalah evaporasi air yang terjadi secara langsung melalui kutikula epidermis dan transpirasi stomata yaitu kehilangan air melalui stomata. Hampir 97% kehilangan air melalui stomata (Dartius, 1991).

Transpirasi dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal tanaman

(tanaman dan lingkungan tempat tumbuh tanaman). Faktor internal yang memengaruhi peristiwa transpirasi di antaranya berupa penutupan stomata, jumlah dan ukuran stomata, jumlah daun, pelipatan daun, proliferasi akar. Adapun faktor eksternal yang memengaruhi transpirasi tanaman seperti kelembapan, temperatur, sinar matahari, angin dan ketersediaan air tanah (Barid, 2007).

F. POTENSI AIR PADA TUMBUHAN

Tumbuhan akan tumbuh dan berkembang secara normal jika kebutuhan air dalam sel-selnya dapat terpenuhi. Air memiliki banyak manfaat dalam menunjang aktivitas sel, di antaranya adalah dalam hal pengaturan metabolisme sel meliputi: air berfungsi sebagai pelarut berbagai bahan materi, medium yang baik untuk reaksi biokimia, sebagai reaktan dalam berbagai reaksi kimia misalnya pada proses fotosintesis, dan lain sebagainya.

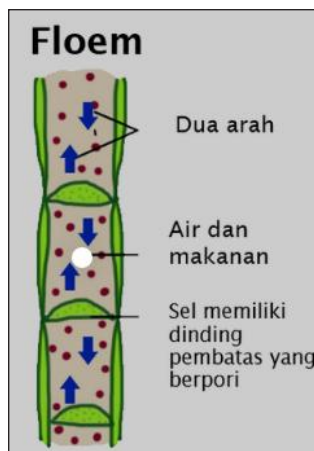


GAMBAR 1.12 POTENSI AIR PADA TUMBUHAN

Sumber: Ensiklopedia bebas/Akses Mei 2022

Dalam menjalankan fungsinya di dalam sel, jaringan, maupun organ tumbuhan maka air memerlukan pergerakan atau perpindahan dari satu tempat ke tempat lain. Perpindahan air tersebut disebabkan oleh adanya perbedaan potensial air. Potensial air biasanya dinyatakan dalam satuan bar, atm, seperti satuan tekanan. Air akan bergerak dari PA tinggi ke PA yang lebih rendah. Jadi difusi termasuk osmosis, terjadi sebagai akibat adanya gradien dalam energi bebas dari partikel-partikel yang berdifusi.

Secara umum air bergerak di dalam jaringan karena adanya perbedaan (gradien) tekanan, baik gradien potensial air, gradien tekanan hidrostatik, maupun karena gradien tekanan uap. Gradien potensial air biasanya terjadi apabila air melewati membran sel seperti dari tanah/media ke dalam sel akar, atau dari sel-sel yang satu ke sel-sel lainnya. Gradien tekanan hidrostatik terjadi manakala air bergerak tanpa melalui membran sel, misalnya di dalam pembuluh xilem, yaitu dari xilem akar ke xilem batang dan daun. Adapun gradien tekanan uap biasa terjadi di stomata daun di mana air berubah dari cairan menjadi uap. Dengan demikian, dalam sistem tumbuhan yang utuh ketiga jenis gradien ini terjadi dan saling sambung menyambung (Hamim, 2008).



GAMBAR 1.13 FLOEM

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/Akses Mei 2022)

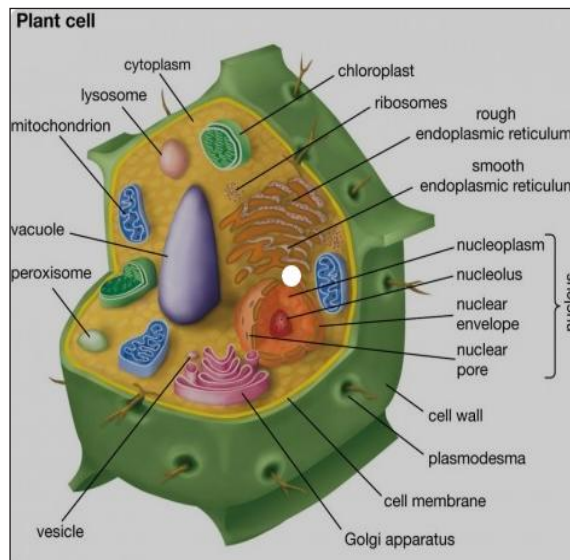
Potensial air murni adalah nol (0), adanya beberapa substansi yang terlarut di dalam air tersebut akan menurunkan potensial airnya, sehingga potensial air dari suatu larutan adalah kurang dari nol. Definisi ini hanya

berlaku pada tekanan atmosfer. Apabila tekanan di sekitar sistem di tingkatkan atau diturunkan, maka secara otomatis potensial air juga akan naik atau turun sesuai dengan perubahan tekanan tersebut (Tim Fisiologi Tumbuhan, 2018).

Potensial air biasanya dinyatakan dalam satuan bar, atm, seperti satuan tekanan. Air akan bergerak dari PA tinggi ke PA yang lebih rendah. Jadi difusi termasuk osmosis, terjadi sebagai akibat adanya gradien dalam energi bebas dari partikel-partikel yang berdifusi (Ismail, 2011).

Pengaruh gabungan dari tekanan dan konsentrasi zat terlarut ini terhadap potensial air ditulis dalam persamaan berikut ini: $\Psi = \Psi_p + \Psi_s$. Di mana Ψ_p adalah potensial tekanan (tekanan fisik suatu larutan) dan Ψ_s adalah potensial zat-zat terlarut, yang sebanding dengan konsentrasi zat-zat terlarut dari suatu larutan. (Ψ_s juga disebut potensial osmotik.) Tekanan pada suatu larutan (Ψ_p) bisa berupa suatu bilangan yang positif atau negatif (Tegangan, suatu tekanan negatif). Sebaliknya, potensial zat-zat terlarut dari suatu larutan (Ψ_s) selalu negatif, dan semakin besar konsentrasi zat-zat terlarut, semakin tinggi nilai Ψ_s (Campbell, 2004).

Potensial air sebuah sel memiliki dua komponen yaitu potensial tekanan dan potensial osmosis. Potensial tekanan dapat menambah atau



GAMBAR 1.14 SEL TUMBUHAN

(Sumber: Ensiklopedia bebas/Akses Mei 2022)

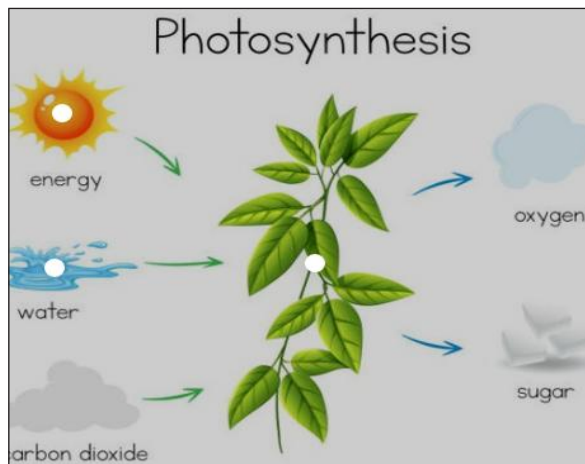
mengurangi potensial air, sedangkan potensial osmosis menunjukkan status larutan di dalam sel tersebut. Dengan memasukkan suatu jaringan tumbuhan ke dalam seri larutan yang telah diketahui potensial airnya, maka potensial air jaringan tumbuhan tersebut dapat diketahui (Tim Fisiologi Tumbuhan, 2018).

2

FOTOSINTESIS

A. PENDAHULUAN

Autotrof merupakan organisme yang dapat membuat makanannya sendiri dalam kehidupannya. Hal tersebut didukung karena adanya bagian-bagian tubuh organisme yang mampu mensintesa materiel-materiel yang ada di alam menjadi produk siap pakai dalam kehidupan organisme tersebut (tanaman).



GAMBAR 2.1 ORGANISME AUTOTROF

(Sumber: Kumparan.com/akses Mei 2022)

Tanaman mampu melakukan kegiatan fotosintesis dan mendukung kehidupan organisme lain yang tidak dapat membuat makanannya sendiri (Heterotrof) misalnya seperti manusia dan hewan. Posisi tersebut menunjukkan bahwa tanaman menduduki proses sebagai produsen dan manusia serta hewan sebagai konsumen.

Keberagaman jenis tanaman dari kekomplekan organel yang dimiliki dan genus serta spesies tanaman memengaruhi proses fotosintesis pada tanaman, selain itu tergantung dengan karakteristik lingkungan tempat tumbuh tanaman, apakah di daerah yang intensitas matahari tinggi, sedang dan rendah atau daerah yang lembab dan kering. Hal-hal tersebut tentu memengaruhi dalam proses fotosintesis pada tanaman.

Tanaman dengan organel yang dimiliki mampu mengubah gas buang yang dihasilkan oleh hewan dan manusia menjadi bahan makanan yang bermanfaat bagi kehidupan dan gas yang diperlukan oleh hewan dan manusia untuk bernapas. Buah dan sayur, oksigen dan bagian lainnya merupakan salah satu contoh produk fotosintesis pada tanaman. Pengaruh yang sangat besar dan signifikan/nyata jika organisme fotosintesis berkurang dan punah bagi lingkungan, manusia dan hewan.

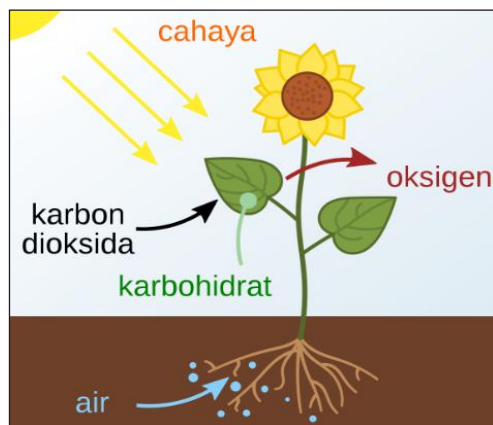
Al-Qur'an dalam surah *al-Anam* ayat 99 secara jelas Allah terangkan terkait dengan kegiatan fotosintesis yang terjadi pada tanaman:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا
وَمِنَ النَّخْلِ مِنْ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجُنتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونُ وَالرَّيْحَانُ مُمْتَسِجَةً وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انظُرُوا
إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ.

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 mayangkorma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan kami keluarkan pula zaitun dan delima yang serupa dan 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 (al-Anam ayat 99).

B. PENGERTIAN FOTOSINTESIS

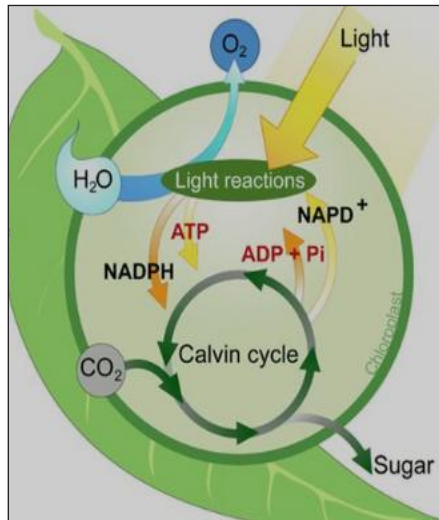
Fotosintesis yang terjadi pada organisme (tanaman) untuk memproduksi energi atau nutrisi melalui proses biokimia dengan memanfaatkan energi cahaya. Cahaya yang digunakan dapat bersumber dari cahaya matahari atau noncahaya matahari. Spektrum cahaya yang diperoleh akan membantu proses fotosintesis pada tumbuhan. Seperti yang disampaikan Darmawan (1983) dalam Fisiologi Tumbuhan (Akbar Handoko, 2020) bahwa energi cahaya matahari memiliki spektrum cahaya infra merah, merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu, dan ultra ungu.



GAMBAR 2.2 KEGIATAN FOTOSINTESIS

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/Akses Mei 2022)

Kegiatan fotosintesis berupa glukosa dan oksigen. Fotosintesis merupakan kegiatan yang sangat penting. Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena mengikat karbon bebas berupa CO_2 yang diikat/difiksasi menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi. Cara lain yang ditempuh organisme untuk mengasimilasi karbon adalah melalui kemosintesis, yang dilakukan oleh sejumlah bakteri belerang.



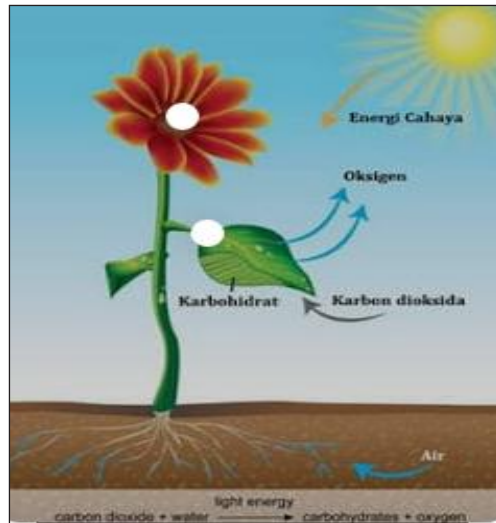
GAMBAR 2.3 PROSES FOTOSINTESIS

(Sumber: Mempelajari.com/akses Mei 2022)

Proses fotosintesis berlangsung dengan adanya spektrum cahaya tampak, dari ungu sampai merah, infra merah dan ultra ungu tidak digunakan dalam fotosintesis. Fotosintesis menghasilkan karbohidrat dan oksigen, oksigen sebagai hasil sampingan dari fotosintesis, volumenya dapat diukur, oleh sebab itu untuk mengetahui tingkat produksi fotosintesis adalah dengan mengatur volume oksigen yang dikeluarkan dari tubuh tumbuhan.

C. FAKTOR MEMENGARUHI FOTOSINTESIS

Fotosintesis merupakan aktivitas kompleks yang dipengaruhi oleh banyak faktor, baik faktor internal dan faktor eksternal tanaman. Faktor internal menyangkut kondisi jaringan/organ fotosintetik, kandungan klorofil, umur jaringan, aktifitas fisiologi yang lain seperti transpirasi, respirasi, dan adaptasi fisiologi yang lain dan saling terkait. Faktor eksternal meliputi faktor klimatik seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, hujan dan juga faktor cahaya, konsentrasi CO_2 , O_2 , Kompetitor dan organisme patogen (Suyitno, 2011).



GAMBAR 2.4 FAKTOR YANG MEMENGARUHI FOTOSINTESIS

(Sumber: rumusrumus.com/akses Mei 2022)

Faktor lain yang memengaruhi kegiatan fotosintesis tanaman, yaitu stres tanaman seperti ketersediaan air, ada polutan biosida dan zat-zat beracun. Kondisi eksis pada berbagai faktor yang dibutuhkan dari lingkungan juga berpengaruh terhadap fotosintesis, logam-logam berat beracun, biosida, SO₂ dan juga O₂.

Fotosintesis pada tanaman akan dipengaruhi oleh faktor intensitas cahaya, suhu, umur jaringan dan fotosintesis, CO₂ dan fotosintesis, oksigen dan fotosintesis.

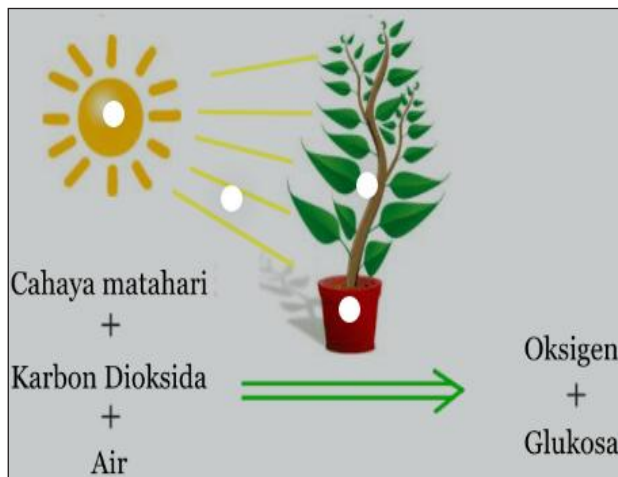
D. PROSES FOTOSINTESIS

Fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan lebih dominan terjadi di bagian tumbuhan yaitu daun. Proses fotosintesis atau masak memasak akan terus berlangsung pada tumbuhan, selama tumbuhan tersebut hidup, dalam artian persediaan materiel untuk melaksanakan kegiatan tersebut melimpah dan terpenuhi dengan baik, jika mengalami kekurangan materiel yang digunakan dalam proses fotosintesis, biasanya pada tumbuhan akan mengalami gangguan fisiologi, anatomi dan morfologi pada tumbuhan. Gangguan-gangguan tersebut yang terus diatasi oleh tanaman dengan berbagai cara, sehingga terpenuhi kebutuhan hidup tumbuhan

dan tumbuh serta berkembang biak sesuai dengan siklus kehidupan tumbuhan.

Perlu diketahui bahwa semua sel yang memiliki klorofil atau zat hijau daun dapat melakukan kegiatan fotosintesis dan lebih spesifik di bagian stroma. Hasil fotosintesis biasanya di transpor ke jaringan terdekat dan diedarkan ke seluruh bagian tubuh tumbuhan. Reaksi fotosintesis dibagi menjadi dua yaitu reaksi terang dan reaksi gelap (Cambell, 2000).

Reaksi terang terjadi pada grana (tunggal:granum), sedangkan reaksi gelap terjadi di dalam stroma. Dalam reaksi terang, terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan oksigen (O₂). Adapun dalam reaksi gelap terjadi seri reaksi siklik yang membentuk gula dari bahan dasar CO₂ dan energi ATP dan NADPH. Energi yang digunakan dalam reaksi gelap ini diperoleh dari reaksi terang. Pada proses reaksi gelap tidak dibutuhkan cahaya matahari. Reaksi gelap bertujuan untuk mengubah senyawa yang mengandung atom karbon menjadi molekul gula.



GAMBAR 2.5 PROSES FOTOSINTESIS 1

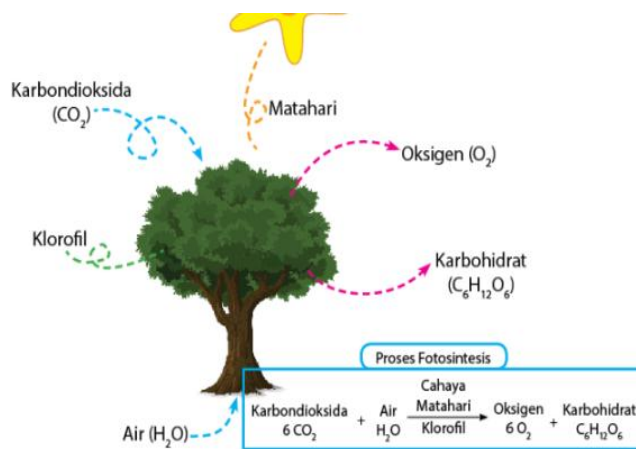
(Sumber: Ensiklopedia bebas/Akses Mei 2022)

Radiasi matahari yang dipancarkan, hanya panjang gelombang tertentu yang dimanfaatkan tumbuhan untuk proses fotosintesis, yaitu panjang gelombang yang berada pada kisaran cahaya tampak (380-700 nm). Cahaya tampak terbagi atas cahaya merah (610 - 700 nm), hijau kuning (510-600 nm), biru (410 - 500 nm) dan violet (< 400 nm). Masing-masing jenis

cahaya berbeda pengaruhnya terhadap fotosintesis. Hal ini terkait pada sifat pigmen penangkap cahaya yang bekerja dalam fotosintesis. Pigmen yang terdapat pada membran grana menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Pigmen yang berbeda menyerap cahaya pada panjang gelombang yang berbeda. Kloroplas mengandung beberapa pigmen (Lakitan, 2007).

E. REAKSI FOTOSINTESIS

Pemaparan di atas menyebutkan bahwa dalam kegiatan fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan dapat terjadi dengan dua reaksi baik reaksi gelap dan reaksi gelap. Reaksi terang terjadi di grana, sedangkan reaksi gelap terjadi di stroma. Kedua reaksi tersebut akan menghasilkan sebuah produk fotosintesis yang berguna bagi tumbuhan itu sendiri dan makhluk hidup lain yang membutuhkan produk yang dihasilkan.



GAMBAR 2.6 REAKSI FOTOSINTESIS

Sumber: Ensiklopedia bebas/Akses Mei 2022

Reaksi Terang adalah proses untuk menghasilkan ATP dan reduksi NADPH₂. Reaksi ini memerlukan molekul air dan cahaya matahari. Proses diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen sebagai antena. Reaksi terang melibatkan dua fotosistem yang saling bekerja sama, yaitu fotosistem I dan II. Fotosistem I (PS I) berisi pusat reaksi P700, yang berarti bahwa fotosistem ini optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang

700 nm, sedangkan fotosistem II (PS II) berisi pusat reaksi P680 dan optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 680 nm (Salisbury, 1995).

Mekanisme reaksi terang diawali dengan tahap di mana fotosistem II menyerap cahaya matahari sehingga elektron klorofil pada PS II tereksitasi dan menyebabkan muatan menjadi tidak stabil. Untuk menstabilkan kembali, PS II akan mengambil elektron dari molekul H₂O yang ada di sekitarnya. Molekul air akan dipecahkan oleh ion mangan (Mn) yang bertindak sebagai enzim. Hal ini akan mengakibatkan pelepasan H⁺ di lumen tilakoid. Dengan menggunakan elektron dari air, selanjutnya PS II akan mereduksi plastokuinon (PQ) membentuk PQH₂. Plastokuinon merupakan molekul kuinon yang terdapat pada membran lipid bilayer tilakoid. Plastokuinon ini akan mengirimkan elektron dari PS II ke suatu pompa H⁺ yang disebut sitokrom b₆-f kompleks (Salisbury, 1995).

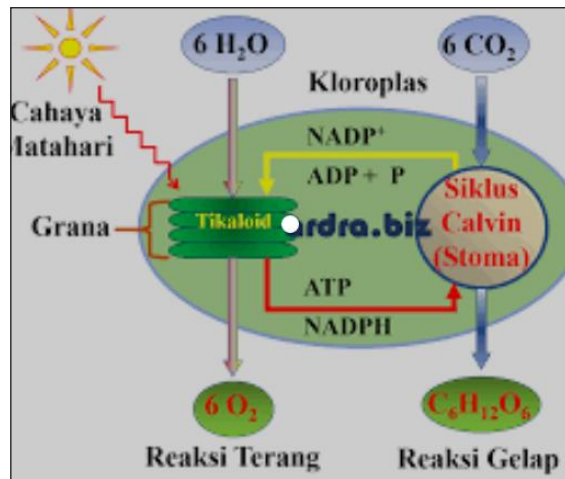
Sitokrom b₆-f kompleks berfungsi untuk membawa elektron dari PS II ke PS I dengan mengoksidasi PQH₂ dan mereduksi protein kecil yang sangat mudah bergerak dan mengandung tembaga, yang dinamakan plastosianin (PC). Kejadian ini juga menyebabkan terjadinya pompa H⁺ dari stroma ke membran tilakoid. Elektron dari sitokrom b₆-f kompleks akan diterima oleh fotosistem I. Fotosistem ini menyerap energi cahaya terpisah dari PS II, yang menerima elektron yang berasal dari H₂O melalui kompleks inti PS II lebih dahulu. Sebagai sistem yang bergantung pada cahaya, PS I berfungsi mengoksidasi plastosianin tereduksi dan memindahkan elektron ke protein Fe-S larut yang disebut feredoksin (Lakitan, 2007).

Elektron dari feredoksin digunakan dalam tahap akhir pengangkutan elektron untuk mereduksi NADP⁺ dan membentuk NADPH. Reaksi tersebut dikatalisis dalam stroma oleh enzim feredoksin NADP⁺ reduktase, ion H⁺ yang telah dipompa ke dalam membran tilakoid akan masuk ke dalam ATP sintase. ATP sintase akan menggandengkan pembentukan ATP dengan pengangkutan elektron dan H⁺ melintasi membran tilakoid. Masuknya H⁺ pada ATP sintase akan membuat ATP sintase bekerja mengubah ADP dan fosfat anorganik (Pi) menjadi ATP.

Reaksi gelap pada peristiwa fotosintesis tumbuhan dapat terjadi melalui dua jalur yaitu siklus Calvin-Benson dan siklus Hatch-Black. Siklus Calvin-Benson tumbuhan mengubah senyawa ribulosa 1,5 bisfosfat menjadi senyawa dengan jumlah atom karbon tiga yaitu senyawa 3-phosphoglisarat. Oleh karena itulah tumbuhan yang menjalankan reaksi gelap

melalui jalur ini dinamakan tumbuhan C-3. Penambahan CO_2 sebagai sumber karbon pada tumbuhan ini dibantu oleh enzim rubisco. Tumbuhan yang reaksi gelapnya mengikuti jalur Hatch-Slack disebut tumbuhan C-4 karena senyawa yang terbentuk setelah penambahan CO_2 adalah oksaloasetat yang memiliki empat atom karbon. Enzim yang berperan adalah fosfoenolpiruvat karboksilase (Lakitan, 2007).

Untuk setiap tiga molekul O_2 yang memasuki siklus Calvin, hasil bersihnya adalah satu molekul gliseraldehid-3-fosfat (G3P), yaitu suatu gula yang berkarbon 3. Untuk setiap G3P yang disintesis, siklus Calvin menghabiskan 9 molekul ATP dan 6 molekul NADPH. Reaksi terang melanjutkan siklus Calvin dengan menghasilkan kembali ATP dan NADPH. Dalam hubungannya dengan pembentukan karbohidrat dalam proses fotosintesis, karbohidrat ini merupakan hasil kerjasama antara reaksi terang dengan siklus Calvin (Lehninger, 1982).

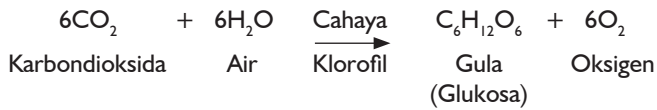


GAMBAR 2.7 REAKSI TERANG DAN GELAP

(Sumber: ardra.biz/akses Mei 2022)

Di dalam kloroplas, membran talakoid adalah tempat berlangsungnya reaksi terang, sedangkan siklus Calvin berlangsung di stroma. Reaksi terang menggunakan energi cahaya untuk membentuk ATP dan NADPH yang masing-masing berfungsi sebagai energi kimia dan tenaga pereduksi di dalam siklus Calvin. Siklus Calvin CO_2 menjadi molekul organik yang dikonversikan menjadi gula (Lehninger, 1982).

Reaksi fotosintesis pada tumbuhan secara umum sebagai berikut:



F. FOTOSINTESIS TANAMAN C3, C4, DAN CAM

Fotosintesis pada tumbuhan dengan jenis tertentu akan terjadi secara berbeda-beda. Proses fotosintesis tersebut pada jenis tumbuhan C3, C4, dan CAM. Tumbuhan C3 merupakan tumbuhan yang lebih adaptif dengan kondisi kandungan CO₂ dan atmosfer tinggi. Tumbuhan C4 dan CAM lebih adaptif di daerah panas dan kering (Akbar H. 2020).



GAMBAR 2.8. TUMBUHAN C3 (ORYZA SATIVA)

(Sumber: Ensiklopedia bebas/akses Mei 2022)

Tanaman C3 lebih adaptif pada kondisi kandungan CO₂ atmosfer tinggi. Sebagian besar tanaman pertanian, seperti gandum, kentang, kedelai, kacang-kacangan, dan kapas merupakan tanaman dari kelompok C3. Pada tanaman C3, enzim yang menyatukan CO₂ dengan RuBP (RuBP merupakan substrat untuk pembentukan karbohidrat dalam proses fotosintesis) dalam proses awal asimilasi, juga dapat mengikat O₂ pada saat yang bersamaan untuk proses fotorespirasi, fotorespirasi adalah respirasi, proses pembongkaran karbohidrat untuk menghasilkan energi dan hasil

samping, yang terjadi pada siang hari. Jika konsentrasi CO₂ di atmosfer ditingkatkan, hasil dari kompetisi antara CO₂ dan O₂ akan lebih menguntungkan CO₂, sehingga fotorespirasi terhambat dan asimilasi akan bertambah besar.

Tumbuhan C₃ tumbuh dengan karbon fiksasi C₃ biasanya tumbuh dengan baik di area di mana intensitas sinar matahari cenderung sedang, temperatur sedang dan dengan konsentrasi CO₂ sekitar 200 ppm atau lebih tinggi, dan juga dengan air tanah yang berlimpah. Tumbuhan C₃ harus berada dalam area dengan konsentrasi gas karbondioksida yang tinggi sebab Rubisco sering menyertakan molekul oksigen ke dalam RuBP sebagai pengganti molekul karbondioksida. Konsentrasi gas karbondioksida yang tinggi menurunkan kesempatan Rubisco untuk menyertakan molekul oksigen. Karena bila ada molekul oksigen maka RuBP akan terpecah menjadi molekul 3-karbon yang tinggal dalam siklus Calvin, dan 2 molekul glikolat akan dioksidasi dengan adanya oksigen, menjadi karbondioksida yang akan menghabiskan energi. Pada tumbuhan C₃, CO₂ hanya difiksasi RuBP oleh karboksilase RuBP. Karboksilase RuBP hanya bekerja apabila CO₂ jumlahnya berlimpah. Contoh tanaman C₃ antara lain: kedelai, kacang tanah, kentang, dan lain-lain.



GAMBAR 2.9 TUMBUHAN C₄(ZEA MAYS)

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/akses Mei 2022)

Tumbuhan C4 dan CAM lebih adaptif di daerah panas dan kering. Pada tanaman C4, CO₂ diikat oleh PEP (enzim pengikat CO₂ pada tanaman C4) yang tidak dapat mengikat O₂ sehingga tidak terjadi kompetisi antara CO₂ dan O₂. Lokasi terjadinya asosiasi awal ini adalah di sel-sel mesofil (sekelompok sel-sel yang mempunyai klorofil yang terletak di bawah sel-sel epidermis daun).

CO₂ yang sudah terikat oleh PEP kemudian ditransfer ke sel-sel "*bundle sheath*" (sekelompok sel-sel di sekitar xylem dan floem) di mana kemudian pengikatan dengan RuBP terjadi. Karena tingginya konsentrasi CO₂ pada sel-sel *bundle sheath* ini, maka O₂ tidak mendapat kesempatan untuk bereaksi dengan RuBP, sehingga fotorespirasi sangat kecil and G sangat rendah, PEP mempunyai daya ikat yang tinggi terhadap CO₂, sehingga reaksi fotosintesis terhadap CO₂ di bawah 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sangat tinggi. Laju asimilasi tanaman C4 hanya bertambah sedikit dengan meningkatnya CO₂. Sehingga, dengan meningkatnya CO₂ di atmosfer, tanaman C3 akan lebih beruntung dari tanaman C4 dalam hal pemanfaatan CO₂ yang berlebihan. Contoh tanaman C4 adalah jagung, sorgum dan tebu (Santosa, 1990).

Tetapi pada sintesis C4, enzim karboksilase PEP memfiksasi CO₂ pada akseptor karbon lain yaitu PEP. Karboksilase PEP memiliki daya ikat yang lebih tinggi terhadap CO₂ daripada karboksilase RuBP. Oleh karena itu, tingkat CO₂ menjadi sangat rendah pada tumbuhan C4, jauh lebih rendah daripada konsentrasi udara normal dan CO₂ masih dapat terfiksasi ke PEP oleh enzim karboksilase PEP. Sistem perangkap C4 bekerja pada konsentrasi CO₂ yang jauh lebih rendah. Tumbuhan C4 dinamakan demikian karena tumbuhan itu mendahului siklus Calvin yang menghasilkan asam berkarbon -4 sebagai hasil pertama fiksasi CO₂ dan yang memfiksasi CO₂ menjadi APG di sebut spesies C3, sebagian spesies C4 adalah monokotil (tebu, jagung, dll). Reaksi di mana CO₂ dikonversi menjadi asam malat atau asam aspartat adalah melalui penggabungannya dengan fosfoenolpiruvat (PEP) untuk membentuk oksaloasetat dan Pi. Enzim PEP- karboksilase ditemukan pada setiap sel tumbuhan yang hidup dan enzim ini yang berperan dalam memacu fiksasi CO₂ pada tumbuhan C4. Enzim PEP- karboksilase terkandung dalam jumlah yang banyak pada daun tumbuhan C4, pada daun tumbuhan C-3 dan pada akar, buah-buah dan sel-sel tanpa klorofil lainnya ditemukan suatu isozim dari PEP- karboksilase (Santosa, 1990).

Reaksi untuk mengonversi oksaloasetat menjadi malat dirangsang oleh enzim malat dehidrogenase dengan kebutuhan elektronnya disediakan oleh NADPH. Oksaloasetat harus masuk ke dalam kloroplas untuk direduksi menjadi malat. Pembentukan aspartat dari malat terjadi di dalam sitosol dan membutuhkan asam amino lain sebagai sumber gugus aminonya. Proses ini disebut transaminasi. Sel seludang berkas pembuluh disusun menjadi kemasam yang sangat padat di sekitar berkas pembuluh. Di antara seludang-berkas pembuluh dan permukaan daun terdapat sel mesofil yang tersusun agak longgar. Siklus Calvin didahului oleh masuknya CO₂ ke dalam senyawa organik dalam mesofil. Langkah pertama ialah penambahan CO₂ pada fosfoenolpiruvat (PEP) untuk membentuk produk berkarbon empat yaitu oksaloasetat, Enzim PEP karboksilase menambahkan CO₂ pada PEP.

Karbon dioksida difiksasi dalam sel mesofil oleh enzim PEP karboksilase. Senyawa berkarbon-empat-malat, dalam hal ini menyalurkan atom CO₂ ke dalam sel seludang-berkas pembuluh, melalui plasmodesmata. Dalam sel seludang berkas pembuluh, senyawa berkarbon empat melepaskan CO₂ yang diasimilasi ulang ke dalam materi organik oleh rubisco dan siklus Calvin. Dengan cara ini, fotosintesis C₄ meminimumkan fotorespirasi dan meningkatkan produksi gula. Adaptasi ini sangat bermanfaat dalam daerah panas dengan cahaya matahari yang banyak, dan di lingkungan seperti inilah tumbuhan C₄ sering muncul dan tumbuh subur (Santosa, 1990).

Tumbuhan CAM. Tumbuhan C₄ dan CAM lebih adaptif di daerah panas dan kering. Crassulacean acid metabolism (CAM), tanaman ini mengambil CO₂ pada malam hari, dan menggunakannya untuk fotosintesis pada siang harinya. Meski tidak menguarkan oksigen di malam hari, namun dengan memakan CO₂ yang beredar, tanaman ini sudah membantu kita semua menghirup udara bersih, lebih sehat, menyejukkan dan menyegarkan bumi, tempat tinggal dan ruangan. Jadi, cocok buat taruh di ruang tidur misalnya. Sayangnya, hanya sekitar 5% tanaman jenis ini. Tumbuhan CAM yang dapat mudah ditemukan adalah nanas, kaktus, dan bunga lili (Campbell, 2002).

Tanaman CAM, pada kelompok penambahan CO₂ seperti pada tanaman C₄, tetapi dilakukan malam hari dan dibentuk senyawa dengan gugus 4-C pada hari berikutnya (sianghari) pada saat stomata dalam keadaan tertutup terjadi dekarboksilase. Senyawa C₄ tersebut dan pe-

nambatan kembali CO₂ melalui kegiatan Rudp karboksilase. Jadi tanaman CAM mempunyai beberapa persamaan dengan kelompok C₄ yaitu dengan adanya dua tingkat sistem penambatan CO₂. Pada C₄ terdapat pemisahan ruang, sedangkan pada CAM pemisahannya bersifat sementara. Termasuk golongan CAM adalah Crassulaceae, Cactaceae, Bromeliaceae, Liliaceae, Agaveceae, Ananas comosus, dan *Oncidium lanceanum*. Beberapa tanaman CAM dapat beralih ke jalur C₃ bila keadaan lingkungan lebih baik.



GAMBAR 2.10 TUMBUHAN CAM (ANANAS S)
(Sumber: Ensiklopedia bebas/diakses Mei 2022)

Beberapa jenis tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda. Selama malam hari, ketika stomata tumbuhan itu terbuka, tumbuhan mengambil CO₂ dan memasukkannya ke dalam berbagai asam organik. Cara fiksasi karbon ini disebut metabolisme asam krasulase, atau *crassulacean acid metabolism* (CAM).

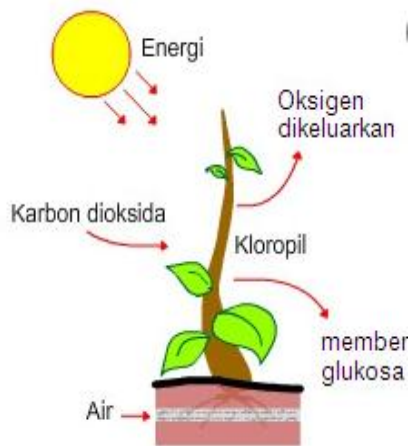
Dinamakan demikian karena metabolisme ini pertama kali diteliti pada tumbuhan dari *famili crassulaceae*. Termasuk golongan CAM adalah *Crassulaceae*, *Cactaceae*, *Bromeliaceae*, *Liliaceae*, *Agaveceae*, *Ananas comosus*, dan *Oncidium lanceanum*. Jalur CAM serupa dengan jalur C₄ dalam hal karbon dioksida terlebih dahulu dimasukkan ke dalam senyawa *organic intermediat* sebelum karbon dioksida ini memasuki siklus Calvin. Perbedaannya ialah bahwa pada tumbuhan C₄, kedua langkah ini terjadi pada ruang yang terpisah. Langkah ini dipisahkan pada dua jenis sel. Pada tumbuhan CAM, kedua langkah dipisahkan untuk sementara. Fiksasi karbon terjadi pada malam hari, dan siklus calvin berlangsung selama siang hari (Santosa, 1990).

3

RESPIRASI

A. PENDAHULUAN

Makhluk hidup melakukan kegiatan respirasi, baik hewan maupun tumbuhan. Hal tersebut bertujuan untuk menghasilkan energi. Biasanya hasil respirasi berupa CO₂ yang bermanfaat untuk keseimbangan karbon dunia, bahkan merupakan salah satu materiel yang diperlukan dalam proses fisiologi tumbuhan yang lain seperti kegiatan fotosintesis.



GAMBAR 3.1 RESPIRASI PADA TUMBUHAN

(Sumber: nuansa.web.id/akses Mei 2022)

Respirasi pada tumbuhan dapat berlangsung melalui bagian tubuh tumbuhan misalnya melalui permukaan akar, batang, dan daun. Respirasi yang berlangsung melalui permukaan akar dan batang sering disebut

dengan respirasi lentisel, sedangkan respirasi yang berlangsung melalui permukaan daun disebut dengan respirasi stomata.

Respirasi yang dilakukan makhluk hidup seperti hewan dan tumbuhan memberikan pengaruh bagi organisme tersebut, misalnya pengaruh pada kerja dan kinerja organ tubuhnya, pendukung pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup sehingga makhluk hidup tersebut dapat melalui setiap fase/siklus hidupnya.

Khairuna (2019) mengatakan bahwa respirasi adalah reaksi oksidasi senyawa organik untuk menghasilkan energi yang digunakan untuk aktivitas sel dan kehidupan tumbuhan dalam bentuk ATP atau senyawa energi tinggi lainnya. Selain itu respirasi dapat menghasilkan senyawa-senyawa antara yang berguna sebagai bahan sintesis senyawa lainnya.

Respirasi merupakan proses katabolisme atau penguraian senyawa organik menjadi senyawa anorganik. Respirasi sebagai proses oksidasi bahan organik yang terjadi di dalam sel dan berlangsung secara aerobik maupun anaerobik. Dalam respirasi aerobik diperlukan oksigen dan dihasilkan karbondioksida serta energi, sedangkan dalam respirasi anaerob di mana oksigen tidak atau kurang tersedia dan dihasilkan senyawa selain karbondioksida seperti alkohol, asetaldehida/asam asetat dan sedikit energi (Dwidjoseputro, 1988).

Allah menjelaskan di dalam Al-Qur'an surah *al-An'am* ayat 141 yang berbunyi:

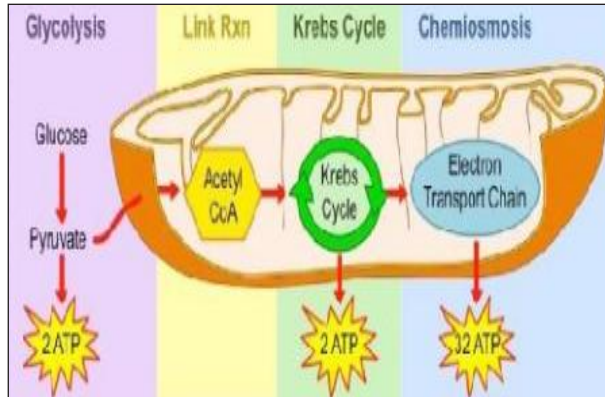
وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرِ مَّعْرُوشَاتٍ وَ النَّخْلَ وَ الرَّزَّعَ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ وَ الرَّيْسُونَ وَ الرُّمَّانَ
مُتَشَابِهًا وَ غَيْرِ مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَ آتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ وَ لَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ
الْمُسْرِفِينَ.

Yaitu dan dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanaman-tanaman yang berbagai macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). Makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin) dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan. (Al-An'Am ayat 141).

B. JENIS RESPIRASI

Respirasi berdasarkan kebutuhan terhadap oksigen dapat dibedakan

menjadi dua yaitu respirasi aerob dan respirasi anaerob. Perlu kita ketahui bahwa respirasi aerob adalah respirasi yang memerlukan oksigen, penguraiannya lengkap sampai menghasilkan energi, karbondioksida dan uap air (Lilisari R. 2012).



GAMBAR 3.2 RESPIRASI AEROB DAN ANAEROB

(Sumber: pusatilmupengetahuan.com/akses Mei 2022)

Reaksi respirasi aerob sebagai berikut:



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 pernapasan rantai transpor elektron yang tidak membutuhkan oksigen. Agar transpor elektron berfungsi, akseptor eksogen elektron akhir harus tersedia supaya memungkinkan elektron untuk melewati sistem.

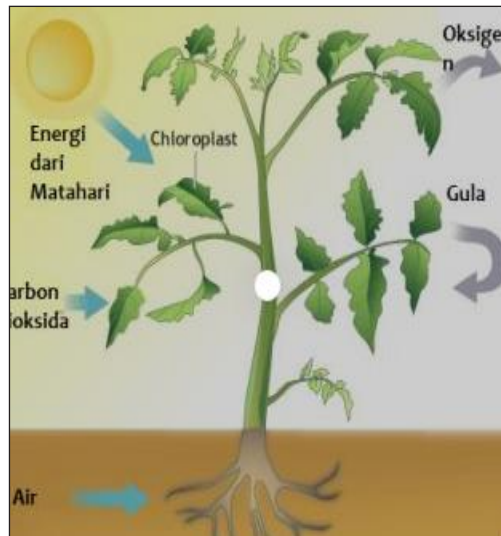
Dalam respirasi anaerob menggunakan substansi pengurang oksidasi lain, seperti sulfat, nitrat, belerang atau fumarate. Akseptor elektron memiliki kemampuan mereduksi yang lebih rendah daripada oksigen, yang berarti lebih sedikit energy yang dihasilkan molekul pengoksidasi. Pada kondisi ini, satu sel akan bisa mengubah asam piruvat menjadi CO_2 dan etil alkohol juga membebaskan energi ATP atau oksidasi asam piruvat da-

lam sel otot menjadi CO₂ dan asam laktat juga ATP. Bentuk Reaksi Terakhir dari respirasi anaerob adalah fermentasi yang melibatkan berbagai enzim. Respirasi anaerob menghasilkan 2ATP (Lilisari R. 2012).

Perbedaan antara respirasi aerob dan respirasi anaerob yaitu 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. 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 (Khairiah, 2011).

C. MEKANISME RESPIRASI

Mekanisme respirasi pada tumbuhan baik mekanisme respirasi aerob dan anaerob. Mekanisme respirasi aerob atau Reaksi respirasi (oksidasi biologi) suatu karbohidrat misalnya glukosa berlangsung dalam empat tahapan yaitu tahap glikolisis, tahap dekarboksilasi oksidatif piruvat, daur sitrat dan oksidasi terminal dalam rantai respiratoris.

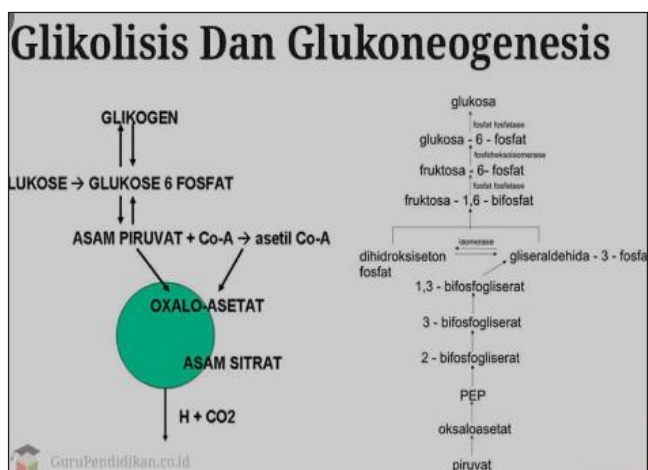


GAMBAR 3.3 MEKANISME RESPIRASI

(Sumber: pinterest.com/akses Mei 2022)

Tahap glikolisis adalah serangkaian reaksi biokimia di mana glukosa dioksidasi menjadi molekul asam piruvat. Glikolisis adalah salah satu 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.

Tahap-tahap kegiatan glikolisis di antaranya seperti tahap fosforilasi glukosa, Tahap Produksi fruktosa 6-fosfat, Tahap Produksi Fruktosa 1,6-difosfat, Tahap Memisahkan dari Fruktosa 1,6-difosfat, Tahap Interkonversi dari dua Gula, Tahap Pembentukan NADH dan Asam 1,3-diphosphoglyceric, Tahap Produksi ATP dan Asam 3-fosfoglisarat, Tahap Relokasi Atom Fosfor, Tahap Penghapusan Air dan Tahap Penciptaan Piruvat Asam & ATP.

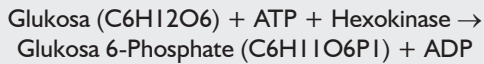


GAMBAR 3.4 GLIKOLISIS

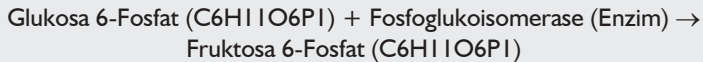
(Sumber: GuruPendidikan.co.id/akses Mei 2022)

Langkah 1 yaitu tahap fosforilasi glukosa adalah fosforilasi 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

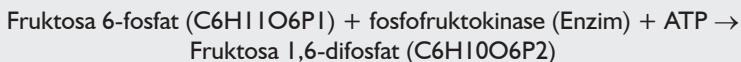
tubuh, digunakan dan akan berubah menjadi ADP (adenosin difosfat), karena pemisahan satu gugus fosfat atau langkah satu tahap fosfolisasi glukosa dapat dilihat reaksinya sebagai berikut:



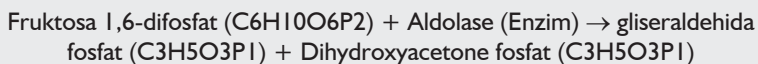
Langkah dua yaitu Tahap Produksi Fruktosa 6-Fosfat yaitu dimungkinkan oleh aksi dari enzim fosfoglukoisomerase. Kerjanya pada produk dari langkah sebelumnya, glukosa 6-fosfat dan mengubahnya menjadi fruktosa 6-fosfat yang merupakan isomernya atau dengan reaksi berikut:



Langkah ketiga yaitu tahap produksi fruktosa 1,6-difosfat yaitu 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. Reaksinya sebagai berikut:

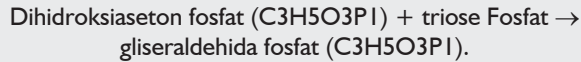


Langkah keempat yaitu tahap memisahkan dari Fruktosa 1,6-difosfat yaitu enzim aldolase melahirkan satu pemisahan fruktosa 1,6-difosfat menjadi dua molekul gula yang berbeda yang keduanya isomer satu sama lain. Kedua gula yang terbentuk adalah gliseraldehid 3-fosfat dan dihidroksi-aseton fosfat dengan reaksi sebagai berikut:

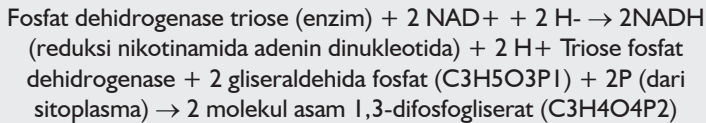


Langkah kelima yaitu tahap interkonversi dari dua gula Dihidroksi-aseton fosfat adalah molekul berumur pendek. Begitu dibuat, itu akan

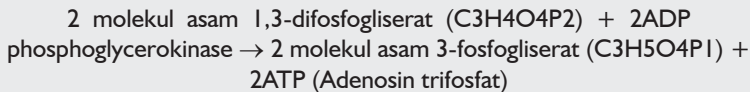
dikonversi menjadi gliseraldehida fosfat oleh enzim yang disebut fosfat triose. Jadi dalam totalitas, langkah keempat dan kelima dari glikolisis menghasilkan dua molekul gliseraldehida fosfat.



Langkah keenam yaitu Tahap Pembentukan NADH dan asam 1,3-diphosphoglyceric melibatkan dua reaksi penting yaitu pertama adalah pembentukan NADH dari NAD⁺ (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 sebagai berikut:



Langkah ketujuh yaitu tahapan Produksi ATP dan Asam 3-Fosfogliserat yang 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.



Langkah kedelapan yaitu relokasi atom fosfor 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 atau dengan reaksi.

2 molekul asam 3-fosfoglisarat ($C_3H_5O_4P$) + phosphoglyceromutase (enzim) \rightarrow 2 molekul asam 2-fosfoglisarat ($C_3H_5O_4P$)

Langkah kesembilan yaitu penghapusan air yaitu Enzim enolase berperan penting dan menghilangkan sebuah molekul air dari asam 2-fosfoglisarat untuk membentuk asam lain yang disebut asam fosfoenolpiruvat (PEP). Reaksi ini mengubah kedua molekul asam 2-fosfoglisarat yang terbentuk pada langkah sebelumnya.

2 molekul asam 2-fosfoglisarat ($C_3H_5O_4P$) + Enolase (Enzim) \rightarrow 2 molekul asam fosfoenolpiruvat (PEP) ($C_3H_3O_3P$) + 2 H_2O

Langkah kesepuluh yaitu tahap penciptaan piruvat asam dan ATP. Langkah yang membentuk dua model 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) (Neni, 2012). Reaksinya sebagai berikut:

2 molekul asam fosfoenolpiruvat (PEP) ($C_3H_3O_3P$) + Piruvat kinase 2ADP (Enzim) \rightarrow 2ATP + 2 molekul asam piruvat

Mekanisme respirasi yang kedua setelah tahap glikolisis adalah **tahap dekarboksilasi oksidatif** yaitu tahapan pembentukan CO_2 melalui reaksi oksidasi reduksi dengan O_2 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.

Tahap yang ketiga dalam mekanisme respirasi adalah **siklus kreb** yang 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_2 , 4NADH, 1FADH₂

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 selanjutnya yaitu tahap **Transpor Elektron** yang merupakan tahapan terakhir dari reaksi respirasi aerob. Transpor elektron sering disebut juga sistem rantai respirasi. Transpor elektron terjadi pada mitokondria, molekul yang berperan penting dalam reaksi ini adalah NADH dan FADH₂ 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 2FADH₂. Selain itu, molekul lain yang juga berperan adalah Oksigen, Koenzim Q, Sitokrom b, c dan a.

Mekanisme respirasi anaerob pada tumbuhan dan hewan yang berlangsung adalah respirasi aerob, akantetapi dapat saja terjadi respirasi aerob terhambat pada suatu hal, maka hewan dan tumbuhan tersebut akan melangsungkan respirasi anaerob untuk bertahan hidup. Pada umumnya respirasi anaerob pada makhluk hidup hanya terjadi jika persediaan oksigen bebas ada di bawah batas minimum. Respirasi anaerob lazim disebut dengan **fermentasi, respirasi intra molekul**. 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 (Benyamin L. 2018).

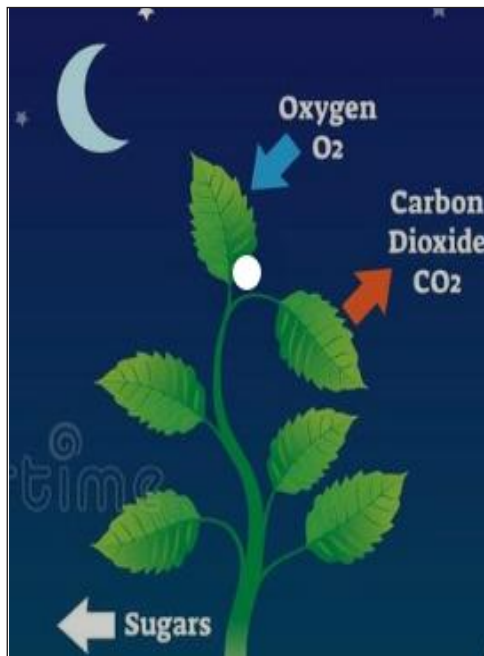
D. FAKTOR YANG MEMENGARUHI RESPIRASI

Faktor yang memengaruhi respirasi pada tumbuhan secara garis besar dapat dibagi menjadi dua faktor besar, yaitu faktor internal tumbuhan dan faktor eksternal. Proses respirasi lebih menunjukkan kepada proses pertukaran atau pembakaran zat sumber energi di dalam sel-sel tubuh untuk memperoleh energi atau tenaga. Pembakaran membutuhkan oksigen yang terjadi di dalam setiap sel yang hidup, energi yang diperoleh berupa energi kimia/ATP yang digunakan untuk berbagai aktivitas fisiologi dalam tubuh (Suyitno, 2011).

Respirasi memiliki reaksi kimia sebagai berikut:



Faktor-faktor yang memengaruhi respirasi pada tumbuhan di antaranya substrat respirasi, umur dan tipe jaringan, suhu, Oksigen, Karbon dioksida, luka dan rangsangan mekanik (Wayan, 2016).



GAMBAR 3.5 FAKTOR RESPIRASI TUMBUHAN

(Sumber: Ensiklopedia bebas/akses Mei 2022)

Ketersediaan substrat memengaruhi laju respirasi, maka apabila ketersediaan substrat sedikit maka laju respirasi juga rendah dan sebaliknya semakin banyak jumlah substrat yang tersedia, maka laju respirasi akan meningkat.

Umur dan tipe jaringan. Jaringan muda dan dewasa respirasinya lebih kuat dibandingkan dengan jaringan tua, karena jaringan tersebut lebih aktif sehingga lebih banyak memerlukan energi. Contohnya kecepatan respirasi pada daun meningkat selama pertumbuhan kemudian turun dan

tetap saat memasuki periode *maturity*/matang. Macam-macam jaringan juga memengaruhi kecepatan respirasi (Wayan, 2016).

Suhu sangat terkait dengan faktor Q10, di mana C, akan tetapi laju reaksi respirasi akan meningkat untuk setiap kenaikan suhu sebesar 10 derajat, hal ini tergantung pada masing-masing spesies tanaman (Khairuna, 2019). Wayan (2016) menyampaikan bahwa suhu sampai batas tertentu (10-30 derajat Celcius) menyebabkan kecepatan respirasi menjadi 2-2.5 kali lebih cepat untuk setiap kenaikan suhu 10 derajat Celcius. Apabila suhunya tinggi (>35 derajat Celcius maka kecepatan respirasinya menurun, hal ini disebabkan oleh rusaknya enzim yang memengaruhi proses tersebut, terbatasnya oksigen karena berkurangnya kelarutan dan lambatnya proses difusi.

Persediaan oksigen sangat memengaruhi proses respirasi, tetapi peranannya tergantung pada jenis tumbuhan. Pada umumnya sistem udara antar sel dari daun ke akar sangat penting bagi tumbuhan berbatang hampa (rumput dan teki), sehingga lebih toleran terhadap penggenangan. Perendaman dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan keracunan hampir disemua tumbuhan, terutama bila tidak ada oksigen di sekitar akar sehingga keadaan ini menjadi anaerob. Di antara tanaman budidaya, hanya padi yang dikenal toleran terhadap anoksia untuk jangka waktu yang lama (Wayan, 2016).

Pada tumbuhan bakau tropika seperti *Rhizophora mangle* dan *Avicennia nitida* akarnya yang tumbuh tegak diatas air mengangkut oksigen ke akar yang terendam. Jadi akar yang terendam bukanlah anoksik, tetapi hipoksik (berada pada tingkat oksigen yang kurang). Beberapa spesies tanaman membentuk sistem akar serabut yang banyak ketika batangnya terendam, dan akar tesebut membantu penyerapan garam mineral dan air.

Adaptasi morfologis lainnya dari akar terhadap hipoksia adalah pembentukan jaringan aerenkima, yaitu jaringan yang terbentuk bila ada kerusakan dan perombakan pada beberapa sel korteks dewasa, sehingga merupakan sebuah jaringan yang banyak ruang udara. Aerenkima memungkinkan difusi oksigen yang lebih cepat dari pucuk ke akar, yang akan membantu respirasi pada akar. Penyebab terbentuknya aerenkima tampaknya adalah etilen, dan gas ini dihasilkan dalam keadaan tanaman mengalami stres, tapi pada tanah yang tergenang etilen tidak dapat cepat

berdifusi keluar. Selain itu kekurangan oksigen menyebabkan terhambatnya pengangkutan hormon sitokinin dari akar muda ke batang.

Kekurangan oksigen juga menyebabkan terhambatnya penyerapan nitrogen sehingga menyebabkan lambatnya fotosintesis dan translokasi karbohidrat, sebab kekurangan oksigen akan menurunkan permeabilitas akar terhadap air, dan akumulasi bahan beracun yang disebabkan oleh mikroba di sekitar akar. Pasokan ATP menjadi terbatas karena pengangkutan elektron dan daur Krebs tidak dapat berfungsi tanpa oksigen.

Selanjutnya produk fermentasi, khususnya etanol, asam laktat, asam malat dan sedikit gliserol terhimpun sampai jumlah tertentu. Respirasi aerob memerlukan adanya oksigen, tetapi apabila tidak ada oksigen maka yang terjadi adalah respirasi anaerob atau fermentasi. Sebagai contoh biji melakukan fermentasi selama imbibisi air sehingga biji dapat berkecambah (Wayan, 2016).

Karbondioksida dengan kandungan yang tinggi ($>0,03\%$) maka kecepatan respirasinya menurun, hal ini disebabkan oleh terhambatnya difusi oksigen akibat menutupnya stomata. Faktor lain seperti luka dan rangsangan mekanik seperti melengkungkan batang dapat meningkatkan respirasi, karena terjadi peningkatan aktivitas enzim sehingga proses glikolisis dan katabolisme oksidatif meningkat dan memerlukan banyak energi untuk memperbaiki bagian tanaman yang rusak yang diikuti oleh pembentukan kalus (Wayan, 2016).

E. RESPIRASI TUMBUHAN TINGKAT TINGGI

Respirasi pada tumbuhan tingkat tinggi berlangsung secara aerob, pada pernapasan ini terjadi proses pembebasan energi dari sari makanan di dalam sel tubuh melalui proses oksidasi biologis, Oksidasi biologis adalah suatu reaksi antara sari makanan dengan oksigen yang menghasilkan karbon dioksida (CO_2), air (H_2O) dan energi. Reaksi kimia ini merupakan reaksi enzimatik, enzim berperan sebagai katalisator (pemercepat proses reaksi).

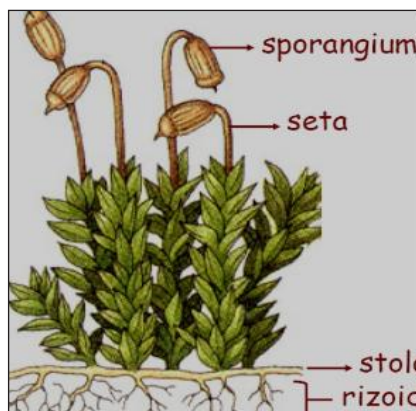


GAMBAR 3.6. TUMBUHAN TINGKAT TINGGI

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/akses Mei 2022)

Energi yang dihasilkan dari pernafasan digunakan oleh tumbuhan untuk melakukan berbagai kegiatan hidupnya, misalnya untuk pertumbuhan dan melakukan kegiatan di dalam hidupnya, misalnya untuk pertumbuhan, pembentukan protein mengangkut mineral dari dalam tanah, berkembang biak, serta melakukan proses fotosintesis (Akbar, 2020).

F. RESPIRASI TUMBUHAN TINGKAT RENDAH



GAMBAR 3.7 TUMBUHAN TINGKAT RENDAH

(Sumber: Ensiklopedia bebas/akses Mei 2022)

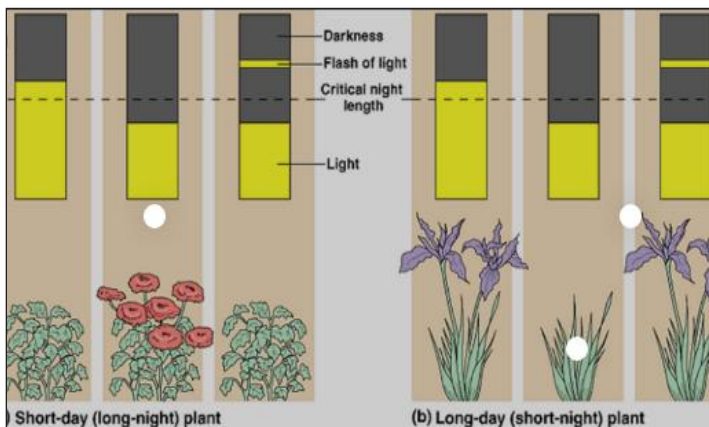
Respirasi pada tumbuhan tingkat rendah ada yang aerob dan ada yang anaerob. Respirasi anaerob disebut juga dengan fermentasi (proses perubahan senyawa utama menjadi senyawa bentuk lain dengan bantuan enzim), misalnya proses pembentukan alkohol dari glukosa dengan bantuan jamur ragi (*Saccharomyces*) seperti pembuatan tempe (Wilskins, 1993).

4

FOTOPERIODISME

A. PENDAHULUAN

Tumbuhan memberikan reaksi terhadap kondisi lingkungan terutama terkait panjangnya hari atau lama terpapar oleh cahaya. Fotoperiodisme merupakan kemampuan tanaman untuk merespons periode pencahayaan. Perkembangan bunga pada tanaman yang satu dengan yang lain dipengaruhi oleh panjang hari atau fotoperiode yang berbeda (Wilkins, 1992).



GAMBAR 4.1 FOTOPERIODISME

(Sumber: agricpedia.wordpress.com/akses Mei 2022)

Berdasarkan panjang hari, tanaman dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu tanaman hari panjang, tanaman hari pendek dan tanaman hari net-

ral. Tanaman hari pendek akan berbunga pada saat panjang hari lebih pendek dari masa kritis. Masa kritis adalah batas maksimum tanaman untuk dapat berbunga, sebaliknya tanaman hari panjang adalah tanaman yang berbunga bila mendapat penyinaran melebihi masa kritisnya.

Penambahan cahaya pada tumbuhan dapat dilakukan dengan cahaya putih dari lampu pijar atau lampu neon, karena keduanya memberikan cahaya merah. Diketahui cahaya putih mengandung semua warna spektrum cahaya tampak dari merah sampai dengan violet.

Sebagian besar kajian fotoperiodisme menekankan pada proses pembungaan. Menurut Heddy (1986) diduga cahaya merah dari spektrum cahaya lebih efektif merangsang tumbuhan berbunga dibanding dengan cahaya biru.

Allah dalam Al-Qur'an surah *Luqman* ayat 10 yang berbunyi:

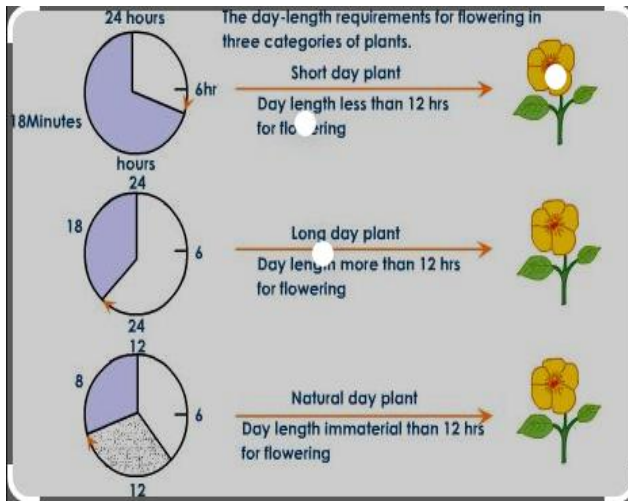
خَلَقَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا وَ أَلْفَىٰ فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَ بَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَ أَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ .

Dia menciptakan langit tanpa tiang yang kamu melihatnya dan Dia meletakkan gunung-gunung (di permukaan) bumi supaya bumi itu tidak menggoyangkan kamu, dan memperkembangbiakkan padanya segala macam jenis binatang. Dan kami turunkan air hujan dari langit, lalu kami tumbuhkan padanya segala macam tumbuh-tumbuhan yang baik (QS. Luqman ayat 10).

B. FOTOPERIODISME

Fotoperiodisme adalah respons tumbuhan terhadap lamanya penyinaran (panjang pendeknya hari) yang dapat merangsang pembungaan. Istilah fotoperiodisme digunakan untuk fenomena di mana fase perkembangan tumbuhan dipengaruhi oleh lama penyinaran yang diterima oleh tumbuhan tersebut. Beberapa jenis tumbuhan perkembangannya sangat dipengaruhi oleh lamanya penyinaran terutama terkait dengan fase generatif tumbuhan misalnya pada fase pembungaan (Utami, 2016).

Tumbuhan akan memasuki fase generatif hanya jika tumbuhan tersebut menerima penyinaran yang panjang >14 jam dalam setiap periode sehari semalam (Lakitan. 1994) sebaliknya ada juga tumbuhan yang hanya akan memasuki fase generatif jika menerima penyinaran singkat <10 jam (Mader, 1995).



GAMBAR 4.2 ILUSTRASI KEGIATAN FOTOPERIODISME

(Sumber: Ensiklopedia bebas/Akses Mei 2022)

Berdasarkan panjang hari, tumbuhan dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu : Tumbuhan hari pendek, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran kurang dari 12 jam sehari. Tumbuhan hari pendek contohnya krisan, jagung, kedelai, anggrek, dan bunga matahari. Tumbuhan hari panjang, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran lebih dari 12 jam (14 – 16 jam) sehari. Tumbuhan hari panjang, contohnya kembang sepatu, bit gula, selada, dan tembakau. Tumbuhan hari sedang, tumbuhan yang berbunga jika terkena penyinaran kira-kira 12 jam sehari. Tumbuhan hari sedang contohnya kacang dan tebu. Tumbuhan hari netral, tumbuhan yang tidak responsive terhadap panjang hari untuk pembungaannya. Tumbuhan hari netral contohnya mentimun, padi, wortel liar, dan kapas (Utami. 2016).



GAMBAR 4.3 TANAMAN WAKTU PENDEK (*GOSSYPIMUM SP*)
(Sumber: Pertanian.go.id/akses Mei 2022)

Tumbuhan hari netral percobaan yang dilakukan Garner dan Alard pada tahun 1920 di Amerika Serikat menemukan bahwa tembakau varietas Martland Mammoth adalah tumbuhan hari pendek (short day plant), karena tumbuhan ini nyatanya memerlukan suatu periode terang yang lebih pendek dibandingkan panjang siang hari yang kritis untuk pembungaan, pembungaan terjadi pada musim dingin. Krisan, poinsettia, dan beberapa varietas kacang kedelai merupakan contoh tumbuhan hari pendek yang pada umumnya berbunga pada akhir musim panas, musim gugur, atau musim dingin.



GAMBAR 4.4 TANAMAN HARI NETRAL (*HELIANTUS A*)
(Sumber: pixabay.com/akses Mei 2022)

Kelompok lain yang bergantung pada fotoperiode hanya akan berbunga ketika periode terang lebih lama beberapa jam. Tumbuhan hari panjang (*long day plant*) ini umumnya berbunga pada akhir musim semi atau awal musim panas. Bayam misalnya, memerlukan panjang siang hari 14 jam atau lebih lama. Lobak, selada, iris, dan banyak varietas sereal lain merupakan tumbuhan hari panjang. Perbungaan pada kelompok ketiga, yaitu tumbuhan hari netral, tidak dipengaruhi oleh fotoperiode. Tomat, padi, dan dandelion adalah contoh tumbuhan hari netral (*day neutral plant*) yang berbunga ketika mereka mencapai tahapan pematangan tertentu, tanpa memperdulikan panjang siang hari pada waktu itu (Haryanto, 2010).



GAMBAR 4.5 TANAMAN HARI PANJANG (*AMMARANTUS HIBRIDUS*)
(Sumber: ccindonesia.com/akses Mei 2022)

Yang dimaksud dengan panjang hari di sini bukan panjang hari secara mutlak, tetapi panjang hari kritis. Tumbuhan hari panjang (LDP) mungkin memiliki panjang hari kritis lebih panjang lebih pendek daripada tumbuhan hari pendek (SDP). Dinyatakan bahwa tumbuhan hari panjang akan berbunga apabila memperoleh induksi penyinaran yang sama atau lebih dari panjang hari kritisnya dan sebaliknya tumbuhan hari pendek akan berbunga apabila memperoleh penyinaran sama atau lebih pendek dari panjang hari kritisnya (Sasmitamihardja, 1996).



GAMBAR 4.6 TANAMAN HARI SEDANG (*SACCARUM OFFICINARUM*)
(Sumber: kampustani.com/akses Mei 2022)

Sebelumnya diduga bahwa tumbuhan dirangsang pembungaannya oleh lamanya panjang hari (*day length*). Pada tahun 1940-an peneliti menemukan bahwa sesungguhnya panjang malam atau panjang kegelapan tanpa selingan cahaya atau niktoperiode, dan bukan panjang siang hari yang mengontrol perbukaan dan respons lainnya terhadap fotoperiode (Franklin dkk., 1991).

Banyak peneliti bekerja dengan cocklebur, yaitu suatu tumbuhan hari pendek yang berbunga hanya ketika panjang siang hari 16 jam atau lebih pendek (dan panjang malam paling tidak 8 jam). Jika siang hari fotoperiode diselang dengan pemberian kegelapan singkat, tidak ada pengaruh pada perbukaan. Namun, jika bagian malam atau periode gelap dari fotoperiode di sela dengan beberapa menit penerangan cahaya redup, tumbuhan tersebut tidak akan berbunga. Cocklebur memerlukan paling tidak 8 jam kegelapan secara terus-menerus supaya dapat berbunga (Utami, 2016).

Tumbuhan hari pendek sesungguhnya adalah tumbuhan malam panjang, tetapi istilah yang lebih kuno tersebut tertanam kuat dalam jargon fisiologi tumbuhan. Tumbuhan hari panjang sesungguhnya tumbuhan malam pendek, apabila ditanam pada fotoperiode malam panjang yang biasanya tidak menginduksi perbukaan, tumbuhan hari panjang akan

berbunga jika periode kegelapan terus-menerus diperpendek selama beberapa menit dengan pemberian cahaya.

Dengan demikian, respons fotoperiode tergantung pada suatu panjang malam kritis. Tumbuhan hari pendek akan berbunga jika durasi malam hari lebih lama dibanding dengan panjang kritis (8 jam untuk cocklebur), tumbuhan hari panjang akan berbunga ketika malam hari lebih pendek dibanding dengan panjang malam kritis. Industri penanaman bunga telah menerapkan pengetahuan ini untuk menghasilkan bunga di luar musimnya.

Chrythemum misalnya adalah tumbuhan hari pendek yang biasanya berbunga pada musim gugur, tetapi pembungaannya dapat ditunda sampai hari ibu (America Serikat, red) pada bulan Mei dengan cara menyela setiap malam panjang dengan seberkas cahaya, yang mengubah satu malam panjang menjadi malam pendek. Pada banyak spesies tumbuhan hari pendek atau tumbuhan hari panjang, perbungaan cukup diinduksi dengan memaparkan sebuah daun tunggal terhadap fotoperiode yang tepat. Meskipun hanya satu daun dibiarkan bertaut pada tumbuhan, fotoperiode akan tetap terdeteksi dan tunas bunga akan diinduksi.

Namun, jika semua daun dibuang, tumbuhan akan buta terhadap fotoperiode. Transmisi meristem dari pertumbuhan vegetatif sampai ke tahap pembungaan. Apa pun kombinasi petunjuk lingkungan (seperti fotoperiode) dan sinyal internal (seperti hormon) yang diperlukan untuk perbungaan, hasilnya adalah transmisi meristem tunas dari keadaan vegetatif menjadi suatu keadaan perbungaan.

Transmisi ini memerlukan perubahan ekspresi gen-gen yang mengatur pembentukan pola. Gen identitas meristem yang menentukan bahwa tunas akan membentuk bunga terlebih dahulu dan bukan membentuk tunas vegetatif, harus diaktifkan (*di-on-kan*) terlebih dahulu. Kemudian gen identitas organ-organ bunga kelopak bunga, mahkota bunga, benang sari dan putik diaktifkan pada daerah meristem yang tepat.

Penelitian mengenai perkembangan bunga sedang berkembang pesat, yang bertujuan untuk mengidentifikasi jalur transduksi sinyal yang menghubungkan petunjuk-petunjuk seperti fotoperiode dan perubahan hormonal dengan ekspresi gen yang diperlukan untuk perbungaan (Utami, 2016).

C. INDUKSI FOTOPERIODISME

Induksi fotoperiodisme sangat penting dalam kegiatan pembungaan atau induksi panjang malam kritisnya. Respons tumbuhan terhadap induksi fotoperioda satu kali saja, tetapi tumbuhan lain memerlukan induksi lebih dari satu kali. *Xanthium strumarium* untuk perbungaan memerlukan 8x induksi fotoperioda yang harus berjalan terus-menerus.

Apabila tanaman ini sebelum memperoleh induksi lengkap, mendapat gangguan atau terputus induksi fotoperiodanya, maka tanaman itu tidak akan berbunga. Kekurangan induksi fotoperioda tidak dapat ditambahkan demikian saja, karena efek fotoperioda yang telah diterima sebelumnya akan menjadi hilang. Untuk memperoleh induksi lengkap, tanaman tersebut harus mengulanginya dari awal kembali.

Di dalam menerima rangsang fotoperioda ini, organ daun diketahui sebagai organ peneriman rangsangan. Ada 4 tahap yang terjadi dalam respons perbungaan terhadap rangsangan fotoperioda, pertama menerima rangsangan, kedua transformasi dari organ penerima rangsangan menjadi beberapa polametabolisme baru yang berkaitan dengan penyediaan bahan untuk perbungaan, ketiga pengangkutan hasil metabolisme dan keempat terjadi respons pada titik tumbuh untuk menghasilkan perbungaan.

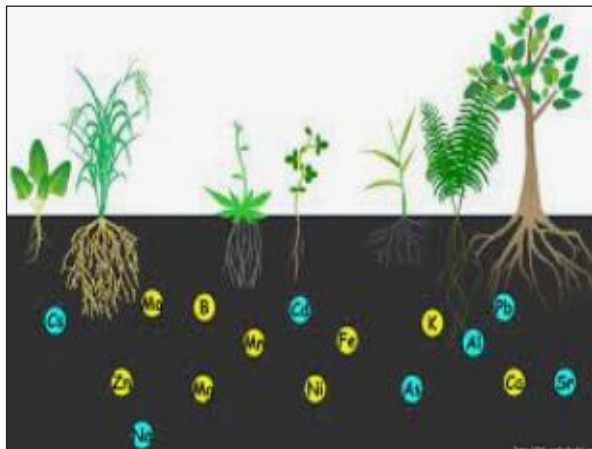
Beberapa percobaan dalam hubungan dengan rangsangan ini, menunjukkan bahwa apabila daun dibuang segera setelah induksi selesai, tidak akan terjadi perbungaan, sedangkan apabila daun dibuang setelah beberapa jam sehabis selesai induksi, tumbuhan tersebut dapat berbunga. Rangsangan yang diterima oleh satu tumbuhan dapat diteruskan pada tumbuhan lain yang tidak memperoleh induksi, melalui cara tempelan (*grafting*) sehingga tumbuhan tersebut dapat berbunga. Hormon yang berperan dalam perbungaan ini adalah florigen, yang masih merupakan hormon hipotesis (Utami, 2016).

5

NUTRISI TUMBUHAN

A. PENDAHULUAN

Tumbuhan memerlukan materiel tertentu untuk mendukung kegiatan pertumbuhan dan perkembangannya sampai dengan tahap tertentu bahkan ke tahap siklus selanjutnya dari spesies tumbuhan tersebut. Kokoh, kuat tumbuhan tergantung dari nutrisi yang dimiliki yang diperoleh dari lingkungan tempat tumbuhnya.



GAMBAR 5.1 NUTRISI TANAMAN

(Sumber: generasibiologi.com/akses Mei 2022)

Pembuahan, pembungaan, daun yang mengkilat dan tumbuh subur merupakan salah satu indikator yang harus dimiliki tumbuhan dan menjadi identitas kalau tumbuhan tersebut tercukupi kebutuhan hidupnya.

Nutrisi tumbuhan akan memengaruhi kondisi tumbuhan tersebut, apakah akan berdaun layu, segar, tumbuh kerdil, perakaran yang panjang, pembuahan, pembijian, pembungaan. Seperti yang dijelaskan oleh Allah dalam Al-Qur'an surah Yunus Ayat 24 yang berbunyi:

إِنَّمَا مَثَلُ الْحَيَاةِ الدُّنْيَا كَمَاءٍ أَنْزَلْنَاهُ مِنَ السَّمَاءِ فَاخْتَلَطَ بِهِ نَبَاتُ الْأَرْضِ مِمَّا يَأْكُلُ النَّاسُ وَالْأَنْعَامُ حَتَّى إِذَا أَخَذَتِ الْأَرْضُ زُخْرُفَهَا وَازْبَيَّتْ وَظَنَّ أَهْلِهَا أَنَّهُم قَدِرُونَ عَلَيْهَا أَنْهَاهَا آمْرًا لَيْلًا أَوْ نَهَارًا فَجَعَلْنَاهَا حَصِيدًا كَأَن لَّمْ تَغْنَ بِالْأَمْسِ كَذَلِكَ نُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ.

Sesungguhnya perumpamaan kehidupan duniawi itu, adalah seperti air (hujan) yang kami turunkan dan langit, lalu tumbuhlah dengan subur karena air itu tanam-tanaman bumi, di antaranya ada yang dimakan manusia dan binatang ternak. Hingga apabila bumi itu telah sempurna keindahannya, dan memakai pula perhiasannya dan pemilik-pemilikinya mengira bahwa mereka pasti menguasainya, tiba-tiba datanglah kepadanya azab kami di waktu malam atau siang lalu kami jadikan (tanam-tanamannya)laksana tanaman-tanaman yang sudah disabit, seakan-akan belum pernah tumbuh kemarin. Demikianlah kami menjelaskan tanda-tanda kekuasaan (kami) kepada orang-orang berpikir (QS. Yunus ayat 24)

B. UNSUR HARA MAKRO

Kebutuhan nutrisi tanaman dapat berupa unsur hara makro. Unsur hara makro merupakan unsur-unsur hara yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah yang relatif besar contohnya seperti Nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Belerang (S).



GAMBAR 5.2 UNSUR HARA YANG DIBUTUHKAN TANAMAN

(Sumber: sipindo.id/akses Mei 2022)

Unsur hara makro seperti Nitrogen (N) perlu kita ketahui memiliki peranan untuk pembentukan sel tanaman, jaringan dan organ tanaman. Nitrogen memiliki fungsi utama sebagai bahan sintesis klorofil, protein, dan asam amino. Oleh karena itu, unsur N dibutuhkan dalam jumlah yang cukup besar. Terutama tumbuhan memasuki tahap vegetatif. Nitrogen 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 (Khairuna, 2019).



GAMBAR 5.3 UNSUR HARA

(Sumber: gardencenter.co.id/akses Mei 2022)

Gejala kekurangan Nitrogen yaitu daun bagian bawah berwarna kuning kekurangan klorofil, daun mengering dan rontok, tulang-tulang daun di bawah permukaan daun muda pucat, tumbuhan kerdil dan lemah, produksi bunga dan biji rendah.



GAMBAR 5.4 NITROGEN SINTETIK

(Sumber: istockphoto.com/akses Mei 2022)

Kelebihan N akan menunjukkan warna daun terlalu hijau, tanaman rimbun dengan daun, proses pembungaan lama, tanaman rentan serangan jamur penyakit dan mudah roboh, produksi bunga menurun sehingga mengurangi aktivitas produktif tanaman (Khairuna, 2019).



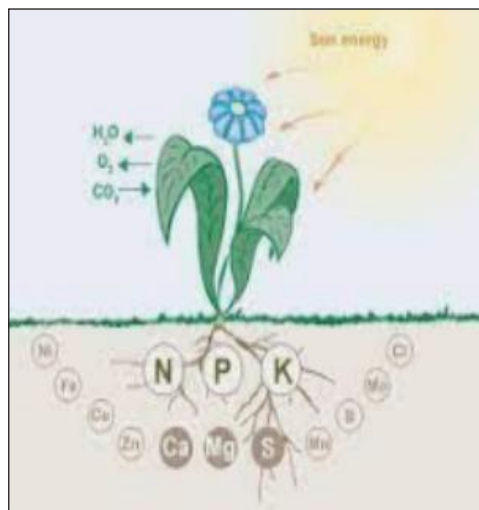
GAMBAR 5.5 TUBUH TUMBUHAN DAN PENGARUH HARA

(Sumber: ulyadaya.com/akses Mei 2022)

Unsur lainnya yaitu Phosphor (P) yang berfungsi sebagai pembentukan nukleoprotein dan fosfolipid, mempercepat pembungaan, pematangan dan pembentukan biji, mendorong pertumbuhan akar dan anakan, penting dalam proses fotosintesis, perubahan karbohidrat, metabolisme lemak dengan mekanisme penyerapannya melalui mekanisme difusi. Pe-

nyerapan dapat kembali 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 (Khairuna, 2019).



GAMBAR 5.6 POSHPOR

(Sumber: rumahpengetahuan.web.id/akses Mei 2022)

Unsur lain berupa Kalium (K) yang 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.



GAMBAR 5.7 KEKURANGAN KALIUM

(Sumber: pupuk-kujang.co.id/akses Mei 2022)

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 (Khairuna, 2019).

Unsur lainnya berupa Magnesium (Mg) yang merupakan aktivator yang berperan dalam transportasi energi beberapa enzim di dalam tanaman yang berfungsi sebagai penyusun klorofil. Transportasi fosfat, aktivator



GAMBAR 5.8 KEKURANGAN MAGNESIUM

(Sumber:ilmutani.com/akses Mei 2022)

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 (Khairuna, 2019).

Kalsium (Ca) pada tanaman berperan dalam pertumbuhan sel. Kalsium merupakan komponen yang menguatkan dan mengatur daya tembus, serta merawat dinding sel. Perannya sangat penting pada titik tumbuh akar. Kalsium berperan dalam proses pembelahan dan perpanjangan sel dan mengatur distribusi hasil fotosintesis. Mekanisme penyerapan melalui aliran massa dan intersepsi akar.



GAMBAR 5.9 KALSIUM TERCUKUPI

(Sumber: Ensiklopedia bebas/diakses Mei 2022)

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 memengaruhi pH tanah (Jovita D., 2018).

Sulfur (S) berfungsi pembentukan asam amino, mengaktifkan enzim, menaikkan kadar minyak, untuk pembentukan minyak. Mekanisme penyerapan yaitu mekanisme aliran massa, unsur hara sulfur di serap tanaman dalam bentuk ion sulfat. 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 (Khairuna, 2019).



GAMBAR 5.10 KEKURANGAN SULFUR

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/akses Mei 2022)

C. UNSUR HARA MIKRO



GAMBAR 5.11 UNSUR HARA MIKRO

(Sumber: Ensiklopedia bebas/akses Mei 2022)

Unsur hara mikro adalah unsur yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit, walau hanya diserap dalam jumlah kecil, tetapi sangat penting untuk menunjang keberhasilan proses-proses dalam tumbuhan. Contoh unsur hara mikro di antaranya seperti Boron (B), Tembaga (Cu), Seng/Zinc (Zn), Besi/Ferro (Fe), Molibdenum (Mo), Mangan (Mn), Klor.

Unsur hara mikro Boron (B) berfungsi dalam proses pembentukan, pembelahan dan diferensiasi serta pembagian tugas sel. Peran lainnya sebagai sintesis RNA, bahan dasar pementukan sel. Boron diangkut dari akar ke tajuk tanaman melalui pembuluh *xylem*. Boron ada di dalam tanah dalam jumlah terbatas dan mudah tercuci. Kekurangan boron menyebabkan warna daun lebih gelap, kelebihan boron daun menjadi kuning pada ujungnya dan mengalami nekrosis (Mukhlis, 2017).

Tembaga (Cu) memiliki fungsi sebagai aktivator dan membawa beberapa enzim, membantu kelancaran proses fotosintesis, pembentukan klorofil, berfungsi dalam reproduksi. Gejala kekurangan tembaga yaitu daun muda berwarna kuning pucat, daun berwarna hijau kebiruan, tanaman sayur akan menjadi layu, tunas daun kuncup dan kecil. Kelebihan tembaga akan menyebabkan tumbuh kerdil, percabangan terbatas, pembentukan akar terhambat, akar menebal dan berwarna gelap (Mukhlis, 2017).

Zink/seng (Zn) berfungsi sebagai metabolisme auksin, mendorong terbentuknya *cytochrome*, aktivator enzim, pembentukan klorofil, membantu proses fotosintesis. Kekurangan zink akan menyebabkan klorosis antara tulang daun muda, pertumbuhan melambat, jarak antara buku pendek, daun kerdil, mengerut atau menggulung disusul dengan kerontokan, pertumbuhan tunas berkurang, bentuk buah tidak sempurna. Kelebihan unsur Zink menyebabkan meningkatkan tinggi tanaman (Mukhlis, 2017).

Unsur besi atau ferro (Fe) berperan dalam proses pembentukan protein, sebagai katalisator pembentukan klorofil. Besi berperan sebagai pembawa elektron pada proses fotosintetis 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 mun-

culnya bintik-bintik hitam pada daun (Mukhlis, 2017).

Unsur 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 (Mukhlis, 2017).

Unsur 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 klorosis di antara tulang daun pada daun muda. Adanya bintik nekrotik pada daun. Menguningnya bagian daun di antara tulang-tulang daun, sedangkan tulang daun berwarna hijau. Adapun gejala kelebihannya, yaitu menghambat penyerapan seng dan besi oleh tanaman. Munculnya bercak hangus yang dikelilingi warna kuning daun pada daun dewasa (Mukhlis, 2017).

Unsur Klor berfungsi sebagai turgor daun, untuk osmosis, keseimbangan ionik sel, fotosintesis. Gejala kekurangan menyebabkan pertumbuhan daun tidak normal terutama pada sayur-sayuran, daun kelihatan kurang sehat dan berwarna tembaga seperti pada daun tomat, kapas, dan gandum. Gejala kelebihan yaitu elemen mineral dalam fotosintesis mengalami keseimbangan ion.

Penyerapan pada umumnya dilakukan oleh akar dan zat-zat hara tanah yang kemudian diserap melalui akar. Sebagian zat yang lain terutama gas O₂ dan CO₂, diserap melalui daun. Selanjutnya, zat-zat tersebut akan dibawa ke daun karena daun merupakan pusat aktivitas penyusunan zat-zat yang dibutuhkan tumbuhan.

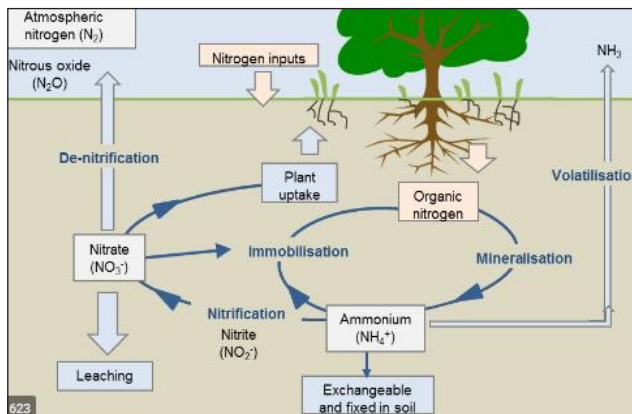
Pada tumbuhan darat, sebagian besar air dan zat hara diserap dari tanah melalui akarnya. Zat yang lain seperti O₂ dan CO₂ banyak diserap melalui daun, terutama melalui mulut-mulut daun (stomata). Air dan zat hara dapat juga diserap melalui daun yaitu karena pada daun terdapat celah-celah atau pori yang dapat dijadikan pintu masuknya zat-zat dan juga sekaligus pintu pelepasan zat-zat. Dengan demikian, daun dapat dikatakan sebagai alat pertukaran zat.

D. MEKANISME PENYERAPAN NUTRISI TANAMAN

Mekanisme penyerapan nutrisi tanaman (zat hara dan air) di dalam tanah dengan tiga cara yaitu dengan cara difusi, osmosis, dan transpor aktif.

Mekanisme penyerapan nutrisi tanaman dengan cara 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 bertekanan rendah. Agar akar dapat menyerap zat, maka air tanah harus mencapai daerah rizhosfer. Ada dua faktor penting yang memungkinkan akar memperoleh air dan hara yaitu intersepsi akar atau adanya kontak dengan akar. Selain itu adanya aliran massa (*mass flow*) dalam tanah, yaitu aliran air (zat) yang terjadi melalui prinsip difusi.

Mekanisme penyerapan nutrisi tanaman selain difusi yaitu osmosis yang merupakan sebuah kondisi air dapat masuk ke dalam sel-sel akar setelah menembus dinding dan membran sel. Mekanisme penyerapan nutrisi selain difusi dan osmosis adalah transpor aktif.



GAMBAR 5.12 MEKANISME PENYERAPAN

(Sumber: Ensiklopedia bebas/diakses Mei 2022)

Transpor aktif terjadi karena penyerapan ion-ion yang rumit diakibatkan permeabilitas membran terhadap ion yang paling rendah, walau molekul sukrosa jauh lebih besar akan tetapi mudah menembus membran sehingga mudah diserap atau diangkut.

Pengangkutan ion melewati membran membutuhkan bantuan dari protein pembawa yang terdapat pada membran sel. Selain itu tenaga

(energi) diperoleh dari hidrolisis ATP, ADP. Contohnya 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 (Haryono *et al.*, 2014).

Mekanisme penyerapan zat dapat dilakukan dengan dua cara baik pasif dan aktif. Mekanisme penyerapan air secara aktif. Sel-sel rambut akar tanaman menyerap air dari akar bahkan ketika tingkat transpirasi rendah. Penyerapan air dilakukan dan kemudian di distribusikan ke seluruh tanaman salah satunya daun.

ATP digunakan dalam transpor aktif untuk 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.

Mekanisme penyerapan zat secara pasif (tarikan transpirasi) yaitu dilakukan dengan akar sel-sel rambut tetap pasif dan mereka tidak mengambil bagian dalam menyerap air dari tanah. Transpor 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 rendah untuk menjaga keseimbangan (Mukhlis, 2017).

E. FAKTOR PENYERAPAN MINERAL

Faktor yang memengaruhi penyerapan mineral/air pada tumbuhan dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal di antaranya berupa:

1. 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 hidrostatik pada xilem. Kecepatan transpirasi antara lain ditentukan oleh

- banyaknya stomata dan keadaan permukaan daun.
2. 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.
 3. Pertumbuhan Pucuk. Hal ini bila bagian pucuk tumbuh baik akan memerlukan banyak air yang menyebabkan daya serap bertambah.



GAMBAR 5.13 PENYERAPAN HARA

(Sumber: Ensiklopedia bebas/akses Mei 2022)

4. Metabolisme. Dilakukan tumbuhan 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.

Faktor eksternal yang memengaruhi di antaranya:

1. 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.
2. Konsentrasi/potensial osmotik air tanah. Karena ke dalam air tanah terlarut berbagai ion dan molekul maka potensial osmotiknya akan 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 msotif.
3. 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.
4. 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 CO₂ naik dan permeabilitas akar terhadap air berkurang.

6

ENZIM

A. PENGERTIAN

Enzim merupakan salah satu materi yang ada di dalam makhluk hidup. Memiliki peranan yang sangat penting. Enzim adalah biomolekul yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia. Bila zat ini tidak ada maka proses-proses tersebut akan terjadi lambat atau tidak berlangsung sama sekali.



GAMBAR 6.1. AKTIVITAS ENZIM PADA TANAMAN

(Sumber: lancangkuning.com/diakses Mei 2022)

Hampir semua enzim merupakan protein. Enzim adalah biokatalisator, yang artinya dapat mempercepat reaksi-reaksi biologi tanpa

mengalami perubahan struktur kimia. Pada reaksi yang dikatalisasi oleh enzim, molekul awal reaksi disebut sebagai substrat, dan enzim mengubah molekul tersebut menjadi molekul-molekul yang berbeda, disebut produk. Hampir semua proses biologis sel memerlukan enzim agar dapat berlangsung dengan cepat (Akbar. 2020).

Menurut Kuhne (1878), enzim berasal dari kata in + zyme yang berarti sesuatu di dalam ragi. Berdasarkan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa enzim adalah suatu protein yang berupa molekul-molekul besar. Pada enzim terdapat bagian protein yang tidak tahan panas yaitu disebut dengan *apoenzim*, sedangkan bagian yang bukan protein adalah bagian yang aktif dan diberi nama *gugus prostetik*, biasanya berupa logam seperti besi, tembaga, seng atau suatu bahan senyawa organik yang mengandung logam.

Apoenzim dan gugus prostetik merupakan suatu kesatuan yang disebut *holoenzim*, tetapi ada juga bagian enzim yang apoenzim dan gugus prostetiknya tidak menyatu. Bagian gugus prostetik yang lepas kita sebut *koenzim*, yang aktif seperti halnya gugus prostetik. Contoh koenzim adalah vitamin atau bagian vitamin (misalnya: vitamin B1, B2, B6, niasin dan biotin).

Allah Swt. berfirman dalam Al-Qur'an terkait dengan aktivitas kehidupan makhluk hidup di antaranya tumbuhan dalam QS. *al-Baqarah* ayat 22 yang berbunyi:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ فِرَاشًا وَالسَّمَاءَ بِنَاءً ۖ وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَ بِهِ مِنَ الثَّمَرَاتِ رِزْقًا لَّكُمْ ۗ فَلَا تَجْعَلُوا لِلَّهِ أَنْدَادًا ۖ وَأَنْتُمْ تَعْلَمُونَ

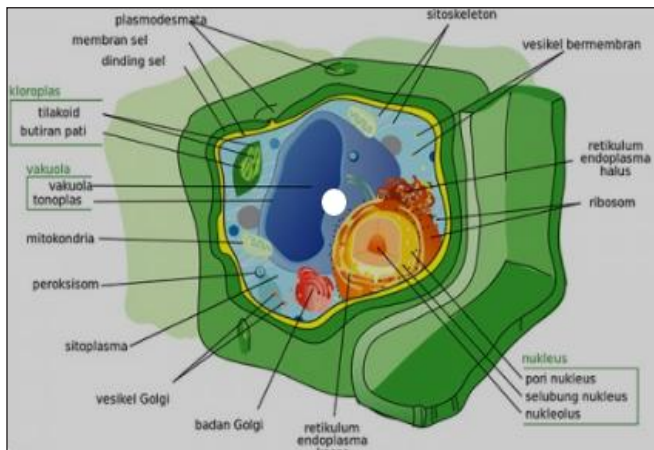
Dialah yang menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu dan langit sebagai atap, dan dia menurunkan hujan dari langit, lalu dia menghasilkan dengan hujan itu segala buah-buahan sebagai rezeki bagimu, karena itu janganlah kamu mengadakan sekutu-sekutu bagi Allah, padahal kamu mengetahui (Q.S. Al-Baqarah ayat 22).

B. ENZIM DI DALAM SEL

Sel hidup seperti sebuah pabrik yang bergantung pada energi di dalamnya. Reaksi kimia yang memungkinkan adanya kehidupan disebut metabolisme. Terdapat ribuan reaksi berkesinambungan yang terjadi di dalam setiap sel, sehingga metabolisme merupakan reaksi yang menak-

jubkan. Agar sel berfungsi dan berkembang dengan sebagaimana mestinya, lintasan metaboliknya harus diatur dengan saksama.

Sel dapat mengatur lintasan metabolik yang mana yang berjalan, dan seberapa cepat, dengan cara memproduksi katalis yang tepat yang dinamakan *Enzim*, dalam jumlah yang sesuai dan pada saat diperlukan. Hampir semua reaksi kimia kehidupan berlangsung sangat lambat tanpa katalis, dan enzim merupakan katalis yang lebih khas dan lebih kuat dibandingkan dengan ion logam atau senyawa anorganik lainnya yang dapat diserap tumbuhan dari tanah. Jadi, enzim umumnya meningkatkan kecepatan reaksi dengan faktor.



GAMBAR 6.2 ENZIM DI DALAM SEL (SITOPLASAMA)

(Sumber:popmama.com/akses Mei 2022)

Di dalam sel enzim tidak terdistribusi merata di seluruh plasma, namun terkonsentrasi pada organela-organela tempat terjadinya reaksi. Misalnya enzim yang berkaitan dengan reaksi Calvin dan Krebs berkumpul di mitokondria dan kloroplas. Enzim yang dibutuhkan dalam sintesis DNA dan RNA serta untuk proses mitosis terdapat di dalam inti sel. Enzim-enzim di dalam sel akan bekerja secara berkesinambungan. Artinya produk suatu tahap reaksi akan dibebaskan pada tempat di mana produk ini dapat segera dikonversi oleh enzim lain berikutnya. Ada beberapa enzim yang dijumpai di luar organela, namun juga tidak tersebar karena adanya retikulum endoplasma yang bercabang-cabang (Akbar, 2020).

C. SIFAT ENZIM

Sifat-sifat enzim sebagai berikut:

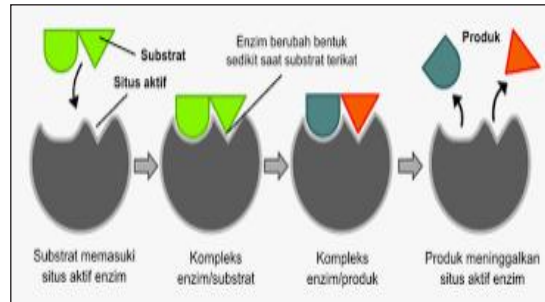
1. Enzim aktif dalam jumlah sedikit. Dalam reaksi biokimia hanya sejumlah kecil enzim yang dibutuhkan untuk mengubah sejumlah besar substrat menjadi produk hasil.
2. Enzim tidak terpengaruh oleh reaksi yang dikatalis pada kondisi stabil. Karena sifat protein dan enzim, aktivitasnya dipengaruhi antara lain oleh pH dan suhu. Pada kondisi yang dianggap tidak optimum suatu enzim merupakan senyawa relatif tidak stabil dan dipengaruhi oleh reaksi yang dikatalisnya.
3. Enzim tidak memengaruhi keseimbangan reaksi. Tanpa enzim reaksi dapat balik yang biasa terdapat dalam sistem hidup berlangsung ke arah kesetimbangan pada laju yang sangat lambat. Suatu enzim akan menghasilkan keseimbangan reaksi itu pada kecepatan yang lebih tinggi.
4. Kerja spesifik. Enzim menunjukkan kekhasan untuk reaksi yang dikatalisnya. Suatu enzim yang mengkatalisis satu reaksi, tidak akan mengkatalis reaksi yang lain (Akbar, 2020).

D. CARA KERJA ENZIM

Enzim dapat dikategorikan menjadi eksoenzim dan endoenzim berdasarkan tempat kerjanya. Ditinjau dari sel yang membentuknya, eksoenzim ialah enzim yang aktivitasnya di luar sel. Endoenzim ialah enzim yang aktivitasnya di dalam sel (Akbar, 2020).

Selain eksoenzim dan endoenzim, dikenal juga enzim konstitutif dan enzim induktif. Enzim konstitutif ialah enzim yang dibentuk terus-menerus oleh sel tanpa peduli apakah substratnya ada atau tidak. Enzim induktif (enzim adaptif) ialah enzim yang dibentuk karena adanya rangsangan substrat atau senyawa tertentu yang lain. Misalnya pembentukan enzim beta-galaktosida pada *Escherichia coli* yang diinduksi oleh laktosa sebagai substratnya. Tetapi ada senyawa lain juga yang dapat menginduksi enzim tersebut walaupun tidak merupakan substratnya, yaitu melibiosa. Tanpa adanya laktosa atau melibiosa, maka enzim beta-galaktosidase tidak disintesis, tetapi sintesisnya akan dimulai bila ditambahkan laktosa atau melibiosa.

Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan dengan demikian mempercepat proses reaksi.



GAMBAR 6.3 CARA KERJA ENZIM

(Sumber: Ensiklopedia bebas/diakses Mei 2022)

Percepatan terjadi karena enzim menurunkan energi pengaktifan yang dengan sendirinya akan mempermudah terjadinya reaksi. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh enzim amilase yang mengubah struktur pati menjadi glukosa (Akbar, 2020).

Ada dua cara kerja enzim yaitu model kunci gembok dan induksi pas. Model kunci gembok (*lock and key*). Enzim dimisalkan sebagai gembok karena memiliki sebuah bagian kecil yang dapat berikatan dengan substrat bagian tersebut disebut sisi aktif. Substrat dimisalkan sebagai kunci karena dapat berikatan secara pas dengan sisi aktif enzim (gembok).

Induksi Pas (model Inducted Fit) enzim diibaratkan dapat melakukan penyusunan bentuk untuk berikatan dengan suatu substrat. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan kecocokan dengan substrat dan membuat ikatan antara enzim dan substrat menjadi lebih reaktif. Molekul enzim mempunyai sisi aktif tempat menempelnya substrat sehingga terbentuklah molekul kompleks enzim substrat. Pengikatan substrat menginduksi penyesuaian pada enzim sehingga meningkatkan kecocokan antara keduanya dan mendorong molekul kompleks enzim-enzim substrat ada dalam kondisi yang lebih reaktif. Saat substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim, bentuk sisi aktif akan termodifikasi melingkupinya dan membentuk kompleks.

Saat produk sudah lepas dari kompleks, enzim berubah menjadi tidak aktif lagi dan menjadi bentuk yang lepas. Substrat lain kemudian kembali bereaksi dengan enzim tersebut, dan begitu seterusnya (Ichayan, 2018).

E. FAKTOR YANG MEMENGARUHI KERJA ENZIM

Enzim bekerja dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya seperti temperatur, pH, konsentrasi enzim dan substrat, kofaktor dan inhibitor. Tiap enzim memerlukan suhu dan pH (tingkat keasaman) optimum yang berbeda-beda, karena enzim adalah protein, yang dapat mengalami perubahan bentuk jika suhu dan keasaman berubah. Di luar suhu atau pH yang sesuai, enzim tidak dapat bekerja secara optimal atau strukturnya akan mengalami kerusakan. Hal ini akan menyebabkan enzim kehilangan fungsinya sama sekali. Kerja enzim juga dipengaruhi oleh molekul lain. Inhibitor adalah molekul yang menurunkan aktivitas enzim, sedangkan aktivator adalah yang meningkatkan aktivitas enzim (Akbar, 2020).

Faktor temperatur yang memengaruhi kerja enzim. Enzim sangat peka terhadap temperatur, enzim tersusun atas protein. Temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein. Temperatur yang terlalu rendah dapat menghambat reaksi. Pada umumnya temperatur optimum enzim adalah 30-40 derajat Celcius. Kebanyakan enzim tidak menunjukkan reaksi jika suhu turun sampai 0 derajat Celcius, namun enzim tidak rusak, bila suhu normal maka enzim akan aktif kembali. Enzim tahan pada suhu rendah, namun rusak di atas suhu 40 derajat Celcius.

Faktor pH sangat berpengaruh terhadap enzim. Perubahan pH dapat memengaruhi perubahan asam amino kunci pada sisi aktif enzim sehingga menghalangi sisi aktif berkombinasi dengan substratnya. pH optimum yang diperlukan berbeda-beda tergantung jenis enzimnya.

Faktor konsentrasi enzim dan substrat. Agar reaksi berjalan dengan optimum, maka perbandingan jumlah antara enzim dan substrat harus sesuai. Jika enzim terlalu sedikit dan substrat terlalu banyak, maka reaksi akan berjalan lambat bahkan ada substrat yang tidak terkatalisasi. Semakin banyak enzim, reaksi akan semakin cepat. Sehingga perlu diperhatikan keseimbangan jumlah antara enzim dan substrat sehingga prosesnya seimbang.

Inhibitor Enzim. Enzim seringkali dihambat oleh suatu zat yang di-

sebut dengan inhibitor, ada dua jenis inhibitor yang perlu diketahui yaitu inhibitor kompetitif dan inhibitor non kompetitif. Inhibitor kompetitif yaitu pada penghambatan ini zat-zat penghambat mempunyai struktur yang mirip dengan struktur substrat. Dengan demikian, baik substrat maupun zat penghambat berkompetisi atau bersaing untuk bersatu dengan sisi aktif enzim, jika zat penghambat lebih dahulu berikatan dengan sisi aktif enzim, maka substratnya tidak dapat lagi berikatan dengan sisi aktif enzim.

Inhibitor nonkompetitif. Pada penghambatan ini substrat sudah tidak dapat berikatan dengan kompleks enzim-inhibitor, karena sisi aktif enzim berubah (Akbar, 2020).



7

GERAK TUMBUHAN

A. PENGERTIAN

Gerak merupakan salah satu bentuk tanggapan organisme terhadap rangsangan. Gerak terjadi karena adanya kehidupan seperti tumbuhan, adanya kegiatan pertumbuhan dan perkembangan dari makhluk hidup. Rangsangan dapat datang dari dalam dan dari luar makhluk hidup (tumbuhan). Daya iritabilitas merupakan kemampuan makhluk hidup menanggapi rangsangan yang paling sederhana.



GAMBAR 7.1 GERAK PADA TUMBUHAN

(Sumber: Ensiklopedia bebas/Akses Mei 2022)

Tumbuhan memiliki kepekaan tertentu untuk menanggapi rangsangan yang ada. Setiap rangsangan yang mengenai tumbuhan akan ditanggapi

oleh tumbuhan, tanggapan tersebut berupa gerakan dari bagian tubuh tumbuhan.

Beberapa gerak yang dilakukan oleh tumbuhan, dihasilkan sebagai respons 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” (Khairuna, 2019).

Allah dalam Al-Qur’an surah Al-Baqarah ayat 61 yang berbunyi:

وَ إِذْ قُلْتُمْ يٰمُوسٰى لَنْ نَّصْبِرَ عَلٰى طَعَامٍ وَّاحِدٍ فَادْعُ لَنَا رَبَّكَ يُخْرِجْ لَنَا مِمَّا تُنْبِتُ الْاَرْضُ مِنْ بَقْلِهَا وَ فِثَاثِهَا وَ قَوْمِهَا وَ عُدْسِهَا وَ بَصْلِهَا قَالْ اَسْتَسْتَبِدُّوْنَ الَّذِى هُوَ اَدْنٰى بِالَّذِى هُوَ خَيْرٌ اِطْبُوْا مِصْرًا فَاِنَّ لَكُمْ مِمَّا سَاَلْتُمْ وَ ضُرِبَتْ عَلَيْهِمُ الذَّلٰثُ وَ الْمَسْكَنَةُ * وَ بَاءُوْا بِغَضَبٍ مِّنَ اللّٰهِ ذٰلِكَ بِاَنَّهُمْ كَانُوْا يَكْفُرُوْنَ بِآيٰتِ اللّٰهِ وَ يَقْتُلُوْنَ النَّبِىِّىْنَ بِغَيْرِ الْحَقِّ ذٰلِكَ بِمَا عَصَوْا وَ كَانُوْا يَعْتَدُوْنَ

dan ingatlah ketika kamu berkata “hai musa, kami tidak bisa sabar (tahan) dengan satu macam makanan saja, sebab itu mohonkanlah untuk kami kepada tuhanmu, agar dia mengeluarkan bagi kami dari apa yang ditumbuhkan di bumi. Yaitu sayur-mayurnya, ketimunnya, bawang putihnya, kacang adasnya, dan bawang merahya”. Musa berkata “maukah kamu mengambil yang rendah sebagai pengganti yang lebih baik? Pergilah kamu ke suatu kota, pasti kamu memperoleh apa yang kamu minta”, lalu ditimpakan kepada mereka nista dan kehinaan, serta mereka mendapat kemurkaan dari allah. Hal itu terjadi karena mereka selalu mengingkari ayat-ayat allah dan membunuh para nabi yang memang tidak dibenarkan. Demikian itu terjadi karena mereka selalu berbuat durhaka dan melampui batas (QS. al-Baqarah ayat 61).

B. MACAM-MACAM GERAK TUMBUHAN

Gerak pada tumbuhan dibagi menjadi 2 macam yaitu gerak endonom dan gerak esionom/etionom. 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. Gerak autonom adalah gerak yang tidak disebabkan oleh rangsangan dari luar. Contohnya seperti gerak yang diperlihatkan tumbuhan saat tumbuhnya akar, batang, daun, dan bunga (Khairuna, 2019).

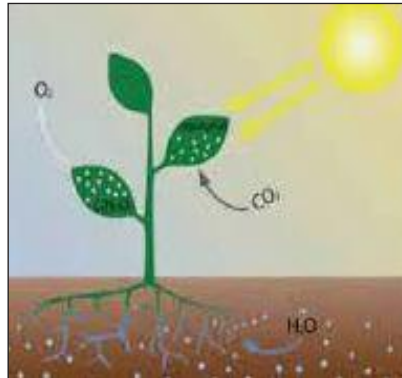
Macam-macam gerak endonom seperti nutasi dan higroskopis. Nutasi merupakan gerak spontan dari tumbuhan yang tidak disebabkan adanya rangsangan dari luar. Contoh gerak nutasi adalah gerak pertumbuhan daun dan gerak rotasi sitoplasma (siklosis) pada sel-sel daun *Hydrilla verticillata* (ganggang) yang dapat dideteksi dari gerak sirkulasi klorofil di dalam sel.

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 (Anggorowati *et al.*, 2010).

Gerak etionom atau gerak esionom adalah gerak yang dipengaruhi oleh rangsangan dari luar 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 berdasarkan hubungan antara arah respons gerakan dengan asal rangsangan dapat dibedakan menjadi gerak tropisme, nasti, dan taksis.

C. GERAK TROPISME

Gerak tropisme adalah gerak bagian tumbuhan yang arah geraknya 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 responsnya menjauhi arah datangnya rangsangan disebut tropisme negatif. Contohnya seperti gerak batang tumbuhan ke arah cahaya, gerak akar tumbuhan ke pusat bumi, gerak akar menuju air, dan gerak membelitnya ujung batang atau sulur pada jenis tumbuhan bersulur.



GAMBAR 7.2 GERAK TROPISME

(Sumber : Ensiklopedia bebas/diakses Mei 2022)

Macam-macam gerak tropisme di antaranya seperti gerak fototropisme, gerak geotropisme, gerak hidrotropisme, gerak kemotropisme, gerak tigotropisme, gerak termotropisme, dan gerak gravitropisme.

Gerak 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 meyakini 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. Diduga respons fototropis ini ada kaitannya dengan karoten dan riboflavin, karena kombinasi penyerapan spektrum oleh karoten dan riboflavin mirip dengan pola kerja spektrum terhadap fototropisme.

Gerak geotropisme adalah gerak tropisme yang disebabkan oleh rangsangan gaya gravitasi bumi. Geotropisme disebut juga gravitropisme. Geotropisme positif jika gerak responsnya menuju ke bumi atau menuju ke bawah, Misalnya: gerak pertumbuhan akar. Geotropisme negatif jika gerak responsnya 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 indra 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 biasanya menjadi dasar respons-respons tersebut.

Gerak 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. Respons tumbuhan tanaman ditentukan oleh stimulus gradien 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 (Khairuna, 2019).

Gerak 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.

Gerak 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 mengukuhkan 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 diduga 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. Respons sulur

sebagian melibatkan perubahan turgor. Diduga 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. Respons 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 (Khairuna, 2019).

Gerak 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°C . Hal ini diduga merupakan salah satu cara menghindari kekeringan daun di musim dingin dan mencegah pembukaan stomata (Noggle *et al.*, 1997).

Pada pagi hari di musim dingin, daun *Rhododendron* akan menunduk ke arah bawah karena adanya kenaikan suhu yang disebabkan sinar matahari pagi. Akibatnya, membran selular yang membeku akan mencair dan peristiwa ini terjadi berulang-ulang setiap hari pada musim dingin. Untuk menghindari kerusakan membran 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 (Khairuna, 2019).

Gerak gravitropisme adalah 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

responsnya sangat beragam. Batang utama akan tumbuh 180° 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), plagio-gravitropisme (pertumbuhan membentuk sudut tertentu). Adapun organ yang tidak mendapat pengaruh gravitasi disebut agravitropis.

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 (Khairuna, 2019).

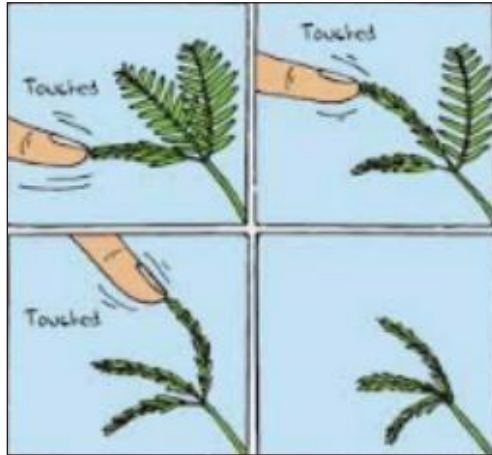
Pada Percobaan R. Went dan N. Cholodny menjelaskan adanya pembelokan pucuk ke arah atas disebabkan distribusi auksin yang asimetris (tidak merata) pada tanaman dalam posisi horizontal. Pengaruh gravitasi menyebabkan konsentrasi auksin bagian bawah menjadi bertambah. Peningkatan kadar auksin akan merangsang 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 (Harahap *et al.*, 2012).

D. GERAK NASTI

Gerak nasti pada tumbuhan 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. Contohnya seperti menutupnya daun putri malu, membuka dan menutupnya bunga pukul empat (Khairuna, 2019).

Macam-macam gerak nasti di antaranya gerak fotonasti, gerak nik-

tinasti, gerak seismonasti, gerak termonasti dan gerak haptonasti, serta gerak nasti kompleks.



GAMBAR 7.3 GERAK NASTI

(Sumber: Ensilopedia bebas/diakses Mei 2022)

Gerak fotonasti adalah gerak nasti pada tumbuhan yang disebabkan oleh rangsangan cahaya matahari. Contohnya mekarnya bunga pukul sembilan pada jam sembilan. Mekarnya bunga pukul empat yang mekar pada sore hari dan menutup pada waktu pagi hari.

Gerak 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 banggunya 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 (Khairuna, 2019).

Gerak 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 respons 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, listrik, dan kimiawi. Potensial kerja disebabkan oleh aliran sejumlah ion tertentu melintasi sel parenkim (yang dihubungkan oleh plasmodesmata) xylem dan floem, dengan kecepatan sampai sekitar 2 cm s⁻¹. Potensial kerja tidak akan melewati pulvinus dari satu anak daun ke anak daun lainnya, kecuali bila respons 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. Respons 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 pada persendian daun (Khairuna, 2019).

Gerak 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 menurun. **Gerak haptonasti** adalah 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 merangkap 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.

Gerak nasti kompleks adalah gerak nasti yang disebabkan oleh beberapa faktor sekaligus rangsangan yang diterima dapat berupa cahaya matahari suhu air dan zat kimia. Contohnya gerak nasti kompleks adalah gerakan membuka dan menutup pada stomata (Lakitan, 2018).

E. GERAK TAKSIS

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



GAMBAR 7.4 GERAK TAKSIS

(Sumber; Ensiklopedia bebas/diakses Mei 2022)

Macam-macam gerak taksis di antaranya Gerak Fototaksis dan Gerak Kemotaksis. Gerak 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 dua yaitu fototaksis positif dan fototaksis negatif. Fototaksis positif yaitu Fototaksis positif, yaitu gerak pada tumbuhan yang mendekati rangsangan cahaya. Contoh: gerak euglena yang mendekati sumber rangsangan cahaya dengan intensitas rendah. Adapun fototaksis negatif adalah gerak pada tumbuhan yang menjauhi rangsangan cahaya. Contohnya gerak eglena yang menjauhi sumber cahaya yang intensitasnya tinggi (Khairuna, 2019).

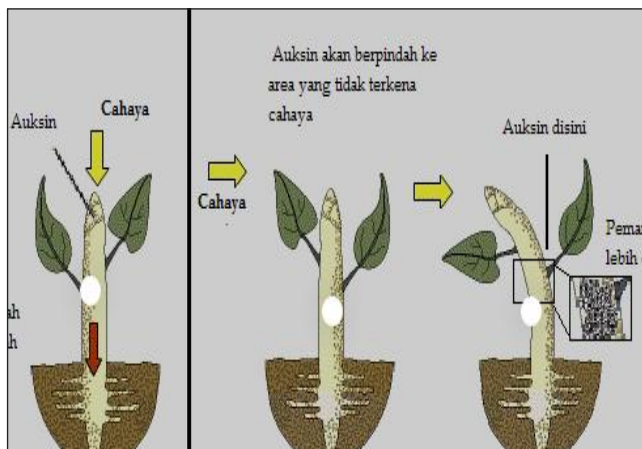
Gerak kemotaksis adalah gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan zat kimia. Contohnya: gerak garnet jantan berflagela (spermatozoid) yang dihasilkan oleh anteridium lumut ke arah garnet betina (sel telur) di dalam arkegonium. Spermatozoid bergerak karena tertarik oleh sukrosa atau asam malat. Pergerakan ini terjadi karena adanya zat kimia pada sel gamet betina (Khairuna, 2019).

8

HORMON TUMBUHAN

A. PENDAHULUAN

Tumbuhan melakukan kegiatan pertumbuhan dan perkembangan selama hidupnya. Pertumbuhan dan perkembangan yang dilakukan didukung oleh lingkungan yang memiliki hara yang mencukupi untuk melakukan kegiatan pertumbuhan dan perkembangan. Selain dukungan dengan jumlah hara yang terserap ke dalam tubuh tumbuhan, kegiatan lainnya yang ada di dalam tubuh tumbuhan didukung oleh materiel yang dinamakan dengan hormon.



GAMBAR 8.1 HORMON PADA TUMBUHAN

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/ Akses Mei 2022)

Hormon mencakup zat-zat endogen dan zat eksogen (sintetik yang dapat mengubah pertumbuhan tanaman. Zat pengatur tubuh tumbuhan yang dihasilkan oleh tanaman disebut dengan Fitohormon, sedangkan yang sintetik disebut dengan zat pengatur tumbuhan sintetik.

Hormon merupakan materiel pengatur tumbuh yaitu molekul organik yang dihasilkan oleh satu bagian tumbuhan dan ditransformasikan ke bagian yang lain yang dipengaruhinya. Hormon tumbuhan merupakan bagian dari sistem pengaturan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Kehadirannya di dalam sel pada kadar yang rendah menjadi pemicu proses transkripsi RNA.

Hormon tumbuhan sendiri dirangsang pembentukannya melalui pesan berupa aktivitas senyawa-senyawa reseptor sebagai tanggapan atas perubahan lingkungan yang terjadi di luar sel. Kehadiran reseptor akan mendorong reaksi pembentukan hormon tertentu (Khairuna, 2019).

Hormon dalam konsentrasi rendah menimbulkan respons fisiologi. Ada dua kelompok hormon yaitu seperti hormon pemicu pertumbuhan di antaranya hormon auksin, hormon giberalin, dan hormon sitokinin. Adapun hormon penghambat pertumbuhan seperti hormon asam absisat, gas etilen, hormon kalin dan asam traumalin (Khairuna, 2019).

Allah berfirman dalam Al-Qur'an surah *az-Zumar* ayat 21 yang berbunyi:

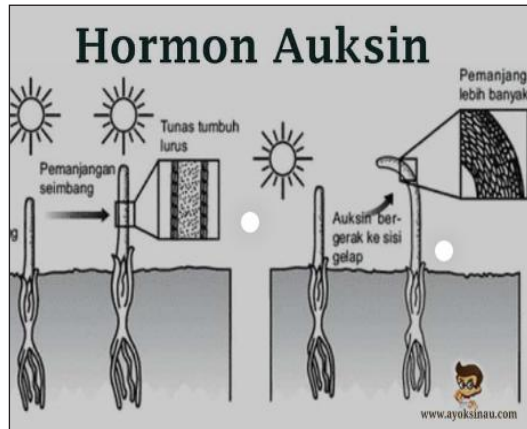
لَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُّخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهْبِطُ
فَتَرَاهُ مَصْفُورًا ثُمَّ يُجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ.

Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal. (QS. az-Zumar : 21)

B. HORMON AUKSIN

Hormon auksin memiliki peranan penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. 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 (Khairuna, 2019).



GAMBAR 8.2 HORMON AUKSIN

(Sumber: ayksinau.com/diakses Mei 2022)

Pengaruh fisiologi dari hormon auksin bagi tumbuhan mengingat memiliki peran pada aspek pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Misalnya seperti kegiatan:

1. **Pembesaran Sel.** Pengamatan terkait dengan pertumbuhan koleoptil menunjukkan bahwa IM dan auksin yang lain mendorong pembesaran sel tersebut. Perpanjangan koleoptil atau batang merupakan hasil dari perbesaran sel tersebut. Penyebaran yang tidak sama dari auksin dapat menyebabkan pembesaran sel yang tidak merata dan terjadi pembengkokan dari koleoptil atau organ tanaman (geotropisme dan fototropisme).
2. **Penghambatan Mata Tunas Samping.** Pertumbuhan dari mata tunas samping dihambat oleh IAA yang diproduksi pada meristem apikal yang diangkut secara basipetal. Konsentrasi auksin yang tinggi menghambat pertumbuhan mata tunas tersebut.
3. **Absisi (pengguguran daun)** terjadi sebagian akibat dari proses absisi

(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.

4. Aktivitas Kambium. Pertumbuhan sekunder termasuk pembelahan sel di daerah kambium dan pembentukan jaringan xylem dan floem dipengaruhi oleh IM. Pembelahan sel-sel di daerah kambium dirangsang oleh IM.
5. Pertumbuhan Akar, selang konsentrasi auksin untuk pembesaran sel pada batang, menjadi penghambat pada pembesaran sel-sel akar. Selang konsentrasi yang mendorong pembesaran sel pada akar sangat rendah.

Cara kerja hormon auksin adalah dengan menginisiasi perpanjangan sel dan 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 meregulasi banyak proses fisiologi, seperti pertumbuhan, pembelahan dan diferensiasi sel serta sintesa protein (Khairuna, 2019).



GAMBAR 8.3 AKTIVITAS HORMON AUKSIN

(Sumber: idschool.net/diakses Mei 2022)

Auksin diproduksi dalam jaringan meristematik yang aktif (yaitu tunas, daun muda dan buah). Kemudian auxin 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 auxin utama pada tanaman), dibiosintesis dari asam amino prekursor triptopan dengan hasil perantara sejumlah substansi yang secara alami mirip auxin (analog) tetapi mempunyai aktivitas lebih kecil dari IAA seperti IAN = Indolaseto nitril, TpyA = asam indolpiruvat dan IAA1d = Indolasetatdehid. Proses biosintesis auxin dibantu oleh enzim Iaa-oksidas (Khairuna, 2019).

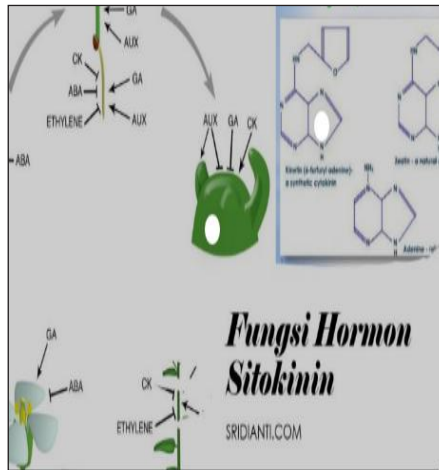
Cara pengangkutan auksin memiliki keistimewaan yang berbeda dengan pengangkutan floem di antaranya seperti pergerakan auksin lambat hanya sekitar 1 cm/jam/1 akar dan batang. Selain itu pengangkutan auksin berlangsung secara polar. Pada batang auksin ditranspor secara basipetal (*away from apex*), sedangkan pada akar transpor 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 (Khairuna, 2019).

C. HORMON SITOKININ

Hormon sitokinin adalah senyawa turunan adenin yang dicirikan oleh kemampuan 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 dihasilkan di dalam akar dan akan diangkut ke organ yang lain (Khairuna, 2019).

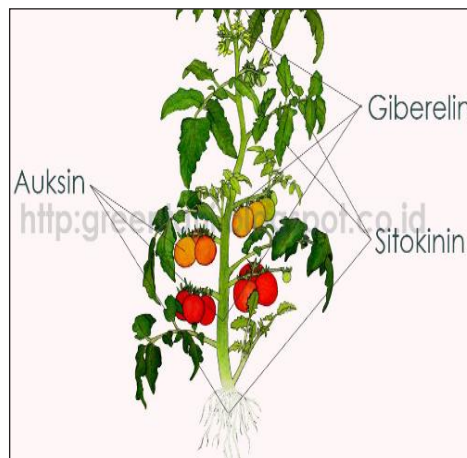
Pengaruh fisiologi tumbuhan dari hormon sitokinin secara umum seperti terjadinya pembelahan sel (*cell division*). Pemberian sitokinin ekso-gen menginduksi pembelahan sel dalam kultur jaringan bersama-sama dengan adanya auxin. Secara endogen juga terjadi pada tanaman yang mengalami tumor *Crown Gall*.

Selain itu menyebabkan morfogenesis pada tanaman. Yaitu dalam kegiatan kultur jaringan dan *crown gall* sitokinin menginduksi terbentuknya organ pucuk. Terjadi pertumbuhan tunas lateral (*growth of lateral buds*) pemberian sitokinin menyebabkan terbebasnya pucuk lateral dari pengaruh *apical dominance*.



GAMBAR 8.4 HORMON SITOKININ
 (Sumber: taninews.com/diakses Mei 2022)

Mendorong terbentuknya stomata pada beberapa spesies misalnya pada Solanaceae. selain itu mendorong perluasan daun/*leaf expansion* yang dihasilkan karena adanya pembesaran sel. Dan tentu juga mendorong perkembangan kloroplast. Aplikasi sitokinin eksogen menyebabkan terakumulasi klorofil dan mendorong konversi etioplast menjadi kloroplast (Khairuna, 2019).



GAMBAR 8.5 FUNGSI HORMON SITOKININ
 (Sumber: Pertanian Terpadu/Diakses Mei 2022)

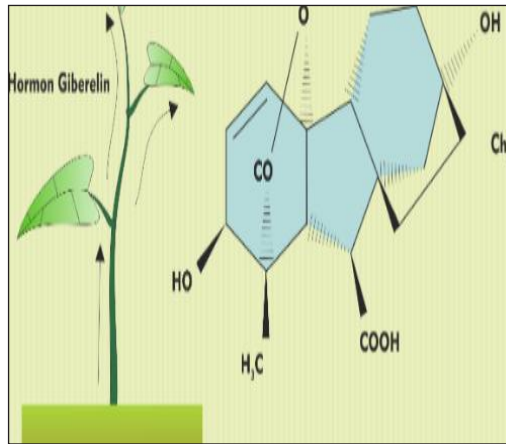
Hormon sitokinin melakukan transpor secara sederhana dengan menggunakan jaringan angkut berupa jaringan xylem ke bagian pucuk tanaman, akan tetapi floem merupakan jalan transpor sitokinin yang lebih aktif dibandingkan dengan xylem yang dipengaruhi proses transpirasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Jameson (1987) bahwa pengangkutan berbagai jenis sitokinin pasti terjadi di dalam xylem, akan tetapi pembuluh tapis memiliki 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 mensintesis sitokinin atau menerimanya.

Sitokinin ditranslokasikan sangat buruk pada jaringan hidup dari tanaman, hal ini dapat ditunjukkan dengan memberikan *benzyl adenine* 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 memengaruhi fisiologi secara signifikan (Khairuna, 2019).

D. HORMON GIBERELIN

Hormon giberelin merupakan salah satu hormon yang berperan penting bagi tumbuhan. Hormon giberelin mirip dengan hormon auksin. Hormon ini ditemukan oleh Kurosawa asal Jepang pada tahun 1926 pada jamur *Giberella fujikuroi*. Giberelin diproduksi oleh tumbuhan di meristem tunas apikal, akar, daun muda, dan melinjo (Khairuna, 2019).



GAMBAR 8.6 HORMON GIBERELIN

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/diakses Mei 2022)

Pengaruh hormon giberelin terhadap fisiologi tumbuhan di antaranya dapat memacu pertumbuhan buah tanpa biji (partenokarpi), menyebabkan tanaman mengalami pertumbuhan raksasa. Selain itu dapat menyebabkan tanaman berbunga sebelum waktunya (tidak ada musimnya). Hormon giberelin juga dapat memacu pembentukan kambium pada tanaman dikotil. Hormon dapat mematahkan dormansi buah dan biji serta memperbesar ukuran buah.

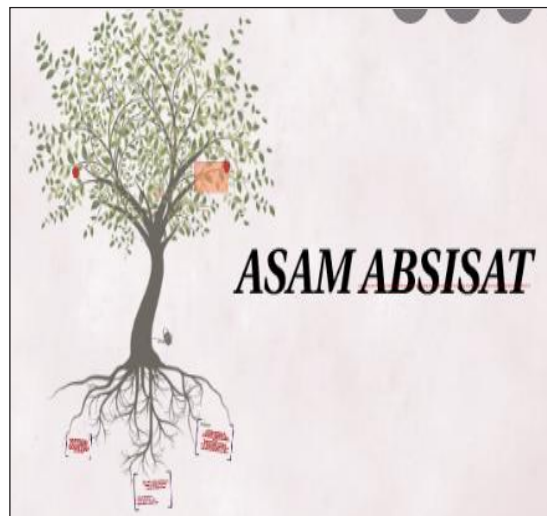
Perlu diketahui cara kerja Hormon Giberelin seperti yang sudah disampaikan. Hormon giberelin bekerja dengan bagian embrio atau tunas agar terkena air. Hal ini dapat menyebabkan tunas embrio menjadi aktif dan memicu munculnya hormone giberelin (GA). Keluarnya hormon ini bisa memicu keluarnya aleuron yang 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 (Heddy, 1996).

E. ASAM ABSISAT

Hormon asam absisat memiliki peran yang sangat penting bagi tumbuhan. Peranan yang dapat diberikan dengan adanya hormon asam absisat yaitu dapat memengaruhi proses pertumbuhan tumbuhan, kegiatan dormansi tumbuhan dan kegiatan absisi.

Perlu diketahui bahwa hormon asam absisat ditemukan oleh Frederick Addicott pada tahun 1963 dengan mengisolasi senyawa absisin I dan II dari tumbuhan kapas. Senyawa Absisin II ini yang disebut dengan Asam Absisat atau ABA.

Pengaruh dari hormon Asam Absisat memiliki salah satu fungsi sebagai penghambat 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.



GAMBAR 8.7 ASAM ABSISAT

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/Diakses Mei 2022)

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 mu-

cul tunas-tunas baru. Contohnya adalah pohon jati yang meranggas pada musim kemarau (Khairuna, 2019).



GAMBAR 8.8 RANTAI ATOM ASAM ABSISAT

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/Akses Mei 2022)

Cara kerja hormon asam absisat di antaranya 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 (Emanuel, 1997).

F. ETILEN

Hormon tumbuhan yang berbentuk gas yaitu hormon etilen. 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 di tempat tujuan dalam keadaan masak.



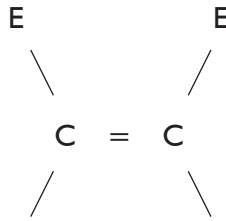
GAMBAR 8.9 ETILEN

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/diakses Mei 2022)

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.

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*).

Sintesis dari methionin
Berdifusi secara cepat ke dalam sel-
sel tanaman yang berdekatan



GAMBAR 8.10 RANTAI ATOM ETILEN

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/Diakses Mei 2022)

Pembentukan etilen 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 radioaktif dapat merangsang produksi etilen.

Produksi etilen juga dipengaruhi oleh faktor suhu dan oksigen. Suhu rendah maupun suhu tinggi dapat menekan produksi etilen. Pada kadar oksigen di bawah sekitar 2% tidak terbentuk etilen, karena oksigen sangat diperlukan. Oleh karena itu, suhu rendah dan oksigen rendah digunakan dalam praktik penyimpanan buah-buahan, karena akan dapat memperpanjang daya simpan dari buah-buahan tersebut. Aktivitas *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 pernapasan (Khairuna, 2019).

G. ASAM TRAUMALIN

Hormon asam traumalin merupakan salah satu hormon tumbuhan. Asam traumalin sebagai hormon luka atau kambium luka yaitu sejenis hormon yang berbentuk cair tetapi dalam kondisi normal, asam traumalin berbentuk padat, kristal dan tak mudah larut dalam air. Asam traumalin merupakan sejenis hormon hipotetik, yaitu gabungan dari beberapa aktivitas hormon seperti hormon giberelin, hormon auksin, sitokinin, etilen, dan lainnya.

Pada umumnya tanaman yang kekurangan asam traumalin akan sulit untuk beregenerasi. 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 antarhormon pada tumbuhan yang disebut restitusi (regenerasi).

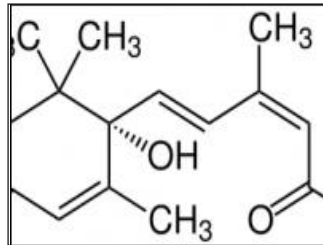


GAMBAR 8.11 ASAM TRAUMALIN

(Sumber: siswapedia.com/diakses Mei 2022)

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.



GAMBAR 8.12 RANTAI ATOM ASAM TRAUMALIN

(Sumber: Ensiklopedia Bebas/Diakses Mei 2022)

Asam traumalin ini dapat ditemukan pada dinding sel tumbuhan. Fungsi asam traumalin adalah, merangsang sel-sel daerah luka menjadi bersifat meristematik sehingga mampu mengadakan penutupan bagian yang luka (Isbandi, 1983).

9

KEGIATAN PRAKTIKUM

SUSUNAN ACARA KEGIATAN PRAKTIKUM

ACARA I TRANSPIRASI

1. Pendahuluan

Al-Qur'an surah az-zumar ayat 21 berbunyi:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُّخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيجُ فَتَرَاهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ .

Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal. (QS. az-Zumar: 21)

Transpirasi dilakukan oleh makhluk hidup (tumbuhan). Transpirasi atau penguapan air akan menyebabkan kehilangan air pada tanaman sehingga memberikan pengaruh fisiologi pada tanaman tersebut, misalnya daun pada tanaman akan lebih cepat menguning dan berguguran, misalnya pada pohon jati dan pohon mahoni ketika musim kemarau, hal tersebut juga berfungsi untuk mengurangi penguapan air, untuk mempertahankan hidup, dan menjadi sebuah karakteristik fisiologi (adaptasi). Tumbuhan yang lain juga melakukan hal yang sama.

Transpirasi adalah suatu aktivitas hidup tumbuhan yang pada hakikatnya transpirasi merupakan kegiatan penguapan air atau 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 lebih kecil dibandingkan melalui stomata, misalnya melalui lentisel. Oleh sebab itu, dalam penghitungan besarnya jumlah air yang hilang dari jaringan tanaman umumnya difokuskan pada air yang hilang melalui stomata.

Daun juga sering kali terbuka terhadap tingkat penyinaran tinggi yang melalui peningkatan suhu daun meningkatkan laju potensial kekurangan air. Kebanyakan air yang hilang sebagai uap dari suatu daun menguap ke permukaan dinding epidermis bagian dalam yang basah dan mesofil yang berdekatan dengan rongga-rongga dibawah stomata, dan hilang ke udara melalui pori stomata (transpirasi stomata) (Lubis, 2000).

Transpirasi di pengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Laju transpirasi mempunyai relasi dengan jenis tanaman dan populasi tanaman. Faktor internal yang dimaksud adalah dari kondisi tanaman itu sendiri, sehingga akan memengaruhi laju transpirasi pada tanaman. Adapun faktor eksternal dipengaruhi oleh kondisi lingkungan misalnya seperti suhu. Laju transpirasi yang dipengaruhi jenis tanaman dan populasi tanaman akan memengaruhi, misalnya antara tanaman berdaun lebar dan berdaun kecil serta jarum akan berbeda laju fisiologi yang terjadi (transpirasi), begitu juga dengan kepadatan populasi tanaman tersebut (Niken, 2020).

2. Tujuan

- a. Untuk menganalisis laju transpirasi pada tanaman.
- b. Untuk mengamati dampak fisiologi dari aktivitas transpirasi.
- c. Untuk menghitung waktu yang digunakan dalam kegiatan transpirasi.
- d. Untuk menghitung kehilangan air dalam proses fisiologi transpirasi tumbuhan.
- e. Untuk membandingkan laju transpirasi pada beberapa jenis tanaman yang digunakan sebagai spesimen uji coba.

3. Landasan Teori

Proses kehilangan air dalam bentuk uap air dari jaringan tumbuhan melalui stomata akan menyebabkan tanaman mampu menyerap gas buang berupa CO₂ dan akan menghasilkan oksigen (Haryati, 2010).

Transpirasi dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal seperti besar kecilnya daun, tebal dan tipisnya daun, ada tidaknya lapisan lilin di permukaan daun, jumlah bulu pada daun, jumlah stomata.

Faktor eksternal di antaranya seperti suhu, kelembapan, cahaya, angin, dan kandungan air. Transpirasi akan semakin besar jika banyaknya jumlah daun karena banyaknya jumlah stomata. Laju transpirasi juga dipengaruhi oleh luas permukaan daun pada tumbuhan, hal tersebut dikarenakan daun yang luas memiliki jumlah stomata yang banyak sehingga laju transpirasi akan tinggi (Papuangan, 2014).

Laju transpirasi mempunyai relasi dengan jenis tanaman dan populasi tanaman. Perbedaan jenis tanaman berpengaruh terhadap laju transpirasinya. Tiap vegetasi mempunyai struktur akar dan tajuk yang berbeda-beda. Struktur tajuk, fisiologi tanaman, indeks luas daun dan konduktance stomata berpengaruh terhadap transpirasi.

Volume air tanah yang mampu diserap oleh tanaman sangat bergantung pada pola perakaran, semakin tinggi penetrasi akar pada tanah maka akan semakin banyak air yang mampu diserap oleh tanaman sehingga volume air yang mengalami transpirasi juga semakin tinggi.

Perbedaan struktur kanopi dapat dilihat dari perbedaan struktur batang serta daun yaitu luas daun tanaman, di mana semakin tinggi indeks luas daun tanaman maka semakin tinggi pula laju transpirasi tanaman (Sugeng, 2016).

4. Alat dan Bahan

Alat

- a. Botol bermulut besar kapasitas 150 ml sebanyak 3 buah
- b. Gabus penutup botol sebanyak 3 buah
- c. Kertas aluminium foil
- d. Stopwatch
- e. Gelas ukur
- f. Timbangan digital (buat air)

- g. Kertas label
- h. Alat Tulis
- i. Kamera

Bahan

- a. Tanaman berdaun lebar sebanyak 3 buah (jumlah daunnya sama)
- b. Tanaman berdaun kecil 3 buah (jumlah daunnya sama)
- c. Panjang tanaman 40 cm (sesuai kebutuhan dan panjangnya sama)
- d. Vaseline
- d. Air sebanyak 100 ml (sesuai kebutuhan dan volume sama)

5. Cara Kerja

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum.
- b. Menyediakan botol yang dibutuhkan lalu memasukkan air yang akan digunakan.
- c. Menutup botol dengan gabus yang sudah ditentukan.
- d. Memasukkan tanaman yang digunakan, misalnya yang berdaun lebar atau yang berdaun kecil dengan karakteristik yang sudah ditentukan.
- e. Menutup gabus botol kembali dengan kertas aluminium foil.
- f. Memberikan vaselin pada lubang yang terlihat antara tanaman dan gabus penutup serta aluminium foil.
- g. Meletakkan spesimen di bawah sinar matahari (pagi, siang, sore) atau sumber cahaya lainnya (harus homogen sumber cahaya karena terkait spektrum cahaya).
- h. Menghitung waktu yang diperlukan untuk proses transpirasi (dilihat dari reaksi transpirasi yang terlihat).
- i. Mengamati ciri-ciri fisiologi yang terjadi.
- j. Menghitung berat awal dan akhir spesimen yang diamati (botol, air, gabus, aluminium foil, tanaman) setelah ditreatmen.
- k. Melakukan hal yang sama pada spesimen berdaun kecil.
- l. Analisis dan deskripsikan hasil pengamatan.

6. Analisis Data

TABEL 9.1 TABEL PENGAMATAN*

Percobaan No	Nama Spesies Tanaman Berdaun Lebar atau kecil	Berat Awal Peraga	Berat Akhir Peraga	Karakteristik Transpirasi yang terlihat	Lokasi Pengamatan di bawah Sinar Matahari	Lokasi Pengamatan di bawah sumber cahaya (lampu)	Waktu transpirasi
1.							
2.							
dst.							

Keterangan:

* Tabel disesuaikan dengan kebutuhan (dapat digunakan pada tumbuhan berdaun lebar dan berdaun kecil).

7. Diskusi

- Jelaskan perbedaan laju transpirasi pada spesimen tumbuhan berdaun lebar dan tumbuhan berdaun kecil.
- Analisis berat awal dan akhir di setiap model percobaan.
- Menganalisis karakteristik yang muncul dari percobaan yang dilakukan baik dengan menggunakan sumber panas dari cahaya dan sinar matahari.

8. Daftar Pustaka

- Al-Qur'an. 2015. Kementerian Agama Republik Indonesia.
- Cleon. WR. 1970. *Plant Physiology Laboratory manual*. Wadsworth Publ Comp.Inc: California.
- Esau.K. 1977. *Plant Anatomy of Seed Plants*. John Wiley & Sons. Sydney.
- Haryanti.S. 2010. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Daun Beberapa Spesies Tanaman Dikotil dan Monokotil*. Jurnal Buletin Anatomi dan Fisiologi. 18 (2).
- Joseph.A. 1969. *Experiment Plant Physiology*. Holt Rinehart Winston, Inc. New York.
- Lildahshiro. 2009. *Fisiologi Tumbuhan*. Kanisius: Jakarta.
- Loveless.AR. 2000. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk Daerah Tropik* 1. Gramedia: Jakarta.
- Niken. A. 2020. *Fisiologi Tumbuhan*. Jurnal Transpirasi Fakultas Sains dan

- Teknologi. UIN Syarif Hidayaulah: Jakarta.
- Papuangan. Dkk. 2014. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Tanaman Penghijauan di Kota Ternate*. Jurnal Bioedukasi, 3(1):287-292.
- Sugeng.PM. dkk. 2016. *Studi Laju Transpirasi Peltophorm dassyrachis dan Gliricidia s pada Sistem Budidaya Tanaman Pagar serta Pengaruh Terhadap Konduktivitas Hidrolik tidak Jenuh*. J-Pal 7 (1).
- Suyitno. 2006. *Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan Lanjut*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- Wilkins.MB. 1991. *Fisiologi Tanaman 1*. Bina Aksara: Jakarta.

ACARA II FOTOSINTESIS

1. Pendahuluan

Al-Qur'an surah *al-An'am* ayat 141 berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالتَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أُكْلُهُ وَالرَّيْسُونَ وَالرُّمَّانَ
مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَآتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ
الْمُسْرِفِينَ.

Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). Makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan. (QS. al-An'aam: 141)

Mahluk hidup akan terus bertahan dengan melakukan kegiatan metabolisme untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, baik pada hewan, tumbuhan dan mikroorganisme. Pada tumbuhan sering kita kenal dengan istilah organisme autotrof karena kemampuan yang dimiliki untuk membuat makanan sendiri melalui proses ilmiah yaitu proses fotosintesis.

Fotosintesis merupakan peristiwa penyusunan zat organik (gula) dari zat anorganik (H, CO₂) dengan pertolongan energi cahaya amupun sinar matahari. Karena bahan baku yang digunakan adalah zat karbon, maka sering disebut dengan asimilasi zat karbon (Digilib UNMED, 2016).

Pada dasarnya, proses foto sintesis merupakan kebalikan dari pernapasan. Proses pernapasan bertujuan untuk memecah gula menjadi karbondioksida, air, dan energi. Sebaliknya proses fotosintesis mereaksikan CO₂ dan H₂O menjadi gula dengan menggunakan energi cahaya atau sinar matahari. Proses fotosintesis umumnya hanya berlangsung pada tumbuhan yang berklorofil.

2. Tujuan

- a. Untuk membuktikan proses fotosintesis pada tumbuhan (mahluk hidup).
- b. Untuk mengetahui reaksi bagian tumbuhan (daun) dengan pemberian

- bahan tambahan/formula pada kegiatan fotosintesis.
- c. Mengetahui materiel yang diperoleh dari kegiatan fotosintesis.
 - d. Mengetahui fungsi cahaya dan sinar matahari dalam proses fotosintesis.
 - e. Untuk mengetahui hubungan intensitas cahaya dan laju fotosintesis.

3. Landasan Teori

Anabolisme adalah peristiwa penyusunan zat dari senyawa sederhana menjadi senyawa lebih kompleks yang berlangsung dalam tubuh makhluk hidup. Penyusunan senyawa kimia umumnya memerlukan energi, misalnya energi cahaya dalam fotosintesis dan energi kimia dalam kemosintesis.

Apa yang ada dalam pikiran Anda tentang sebuah daun? Puji syukur seharusnya kita panjatkan kepada Tuhan pencipta alam semesta dengan segala isinya. Mengapa? Dalam daun ini Tuhan menciptakan pengolah bahan makanan pertama di dunia melalui proses fotosintesis.

Fotosintesis merupakan aktifitas fisiologis yang khusus dilakukan oleh organisme yang memiliki pigmen fotosintetik, terutama kelompok tumbuhan. Hasil akhir dari proses fotosintesis adalah glukosa ($C_n(H_2O)_n$) dari bahan baku CO_2 dan H_2O dengan matahari sebagai sumber energi. Untuk menghasilkan glukosa, proses fotosintesis harus melalui dua tahapan penting, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap.

Fotosintesis terjadi di daun. Kloroplas pada tumbuhan tingkat tinggi biasanya terbatas pada sel-sel batang muda, buah-buah yang belum matang, dan daun. Daun merupakan pabrik fotosintesis yang sebenarnya pada tumbuhan. Irisan melintang dari daun yang khas menginformasikan 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 zat yang transparan seperti lilin yang dinamakan kutin. Bahan ini membentuk kutikula yang berfungsi sebagai penghalang lembab dipermukaan atas daun tersebut, jadi mengurangi hilangnya air dari daun.

Sel-sel epidermis di bagian bawahnya tersusun atas satu atau lebih barisan sel yang membentuk lapisan palisade. Sel-sel berbentuk tabung dan tersusun sedemikian sehingga sumbu panjang tegak lurus pada

bidang daunnya. Setiap sel penuh dengan kloroplas dan sel inilah yang melakukan fotosintesis paling banyak di dalam daun.

Lapisan palisade di bawahnya 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 di antara daun dan sekitarnya. Selama siang hari sel-sel ini mengeluarkan O₂ dan uap air ke ruang udara diambilnya. Ruang udara ini saling berhubungan dan akhirnya ke bagian luar daun melalui pori-pori khusus yang dinamai stomata.

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. Sejajar 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*.

4. Alat dan Bahan

Percobaan 1

Alat

- a. Kertas timah sebanyak 10 lembar
- b. Gelaskimia 500 ml
- c. Beker gelas 250 ml
- d. Pinset
- e. Penjepit kertas
- f. Lampu bunsen
- g. Kaki tiga
- h. Kawat kasa

Bahan

- a. Daun singkong 3 helai
- b. Alkohol 96%
- c. Air
- d. Lugol
- e. Spritus

Percobaan 2**Alat**

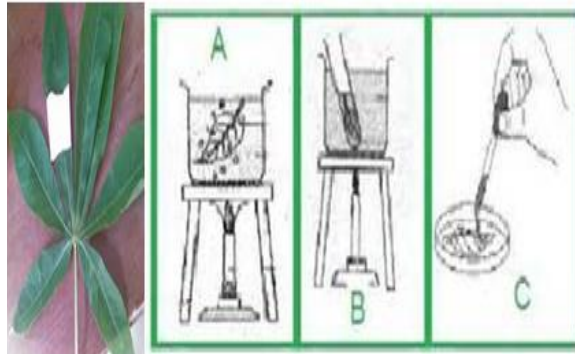
- a. Beker gelas 1 liter
- b. Tabung reaksi
- c. Corong gelas
- d. Kawat
- e. Alat Tulis
- f. Kamera

Bahan

- a. Hydrilla v
- b. Air

5. Cara Kerja**Percobaan 1**

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum.
- b. Pada malam sebelum hari praktikum, tutuplah sebagian daun singkong yang sehat dengan kertas timah, dan jepitlah dengan sebuah klip.
- c. Setelah terkena cahaya selama ± 3 jam, petiklah daun tersebut.
- d. Potong bagian daun yang tertutupi dan yang tidak, dan masukkan ke dalam air yang mendidih selama 5 menit, kemudian pindahkan daun itu ke dalam beker gelas yang berisi 100 – 150 ml alkohol.
- e. Panaskan alkohol berisi daun itu dalam air mendidih. Hentikan pemanasan jika daun sudah berwarna putih, kemudian tiriskan.
- f. Tetesilah permukaan daun dengan larutan lugol. Amatilah warna permukaan daun itu. Antara bagian daun yang tertutup dan terbuka, bagian manakah lebih gelap?



GAMBAR 9.1 ILUSTRASI KEGIATAN

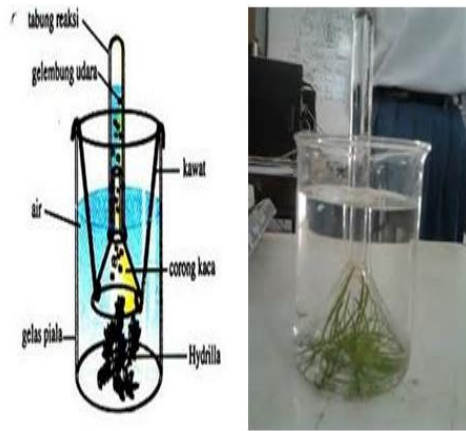
(Sumber: Ensiklopedia Bebas/Diakses Mei 2022)

Keterangan:

- Gambar A. Perebusan daun dalam air mendidih,
 B Perebusan dengan alkohol 96%
 C Larutan lugol

Percobaan 2

- Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum.
- Rakitlah alat dan bahan seperti pada gambar (buat 2 rakit).
- Masukkan 5 batang *Hydrilla verticillata* ke dalam corong yang ujungnya telah disambungkan dengan tabung reaksi.
- Seimbangkan posisi *Hydrilla verticillata* menggunakan kawat pengait.
- Letakkan gelas piala yang berisi *Hydrilla verticillata* pada tempat yang terkena cahaya, amati peristiwa yang terjadi!
- Tempatkan satu rakit di tempat kena cahaya langsung dan rakitan lainnya di dalam ruang.
- Biarkan selama 20 menit. Kemudian amati ada-tidaknya gelembung di dalam tabung.



GAMBAR 9.2 MODEL KEGIATAN

(Sumber: Ensiklopedia Bebas)

6. Analisis Data

TABEL 9.2 TABEL PENGAMATAN PERCOBAAN 1

Perlakuan	Air mendidih	Alkohol 96%	Larutan lugol
Daun singkong tertutup kertas alumunium	1. Sebelum 2. Sesudah	1. Sebelum 2. Sesudah	1. Sebelum 2. Sesudah
Daun singkong tanpa kertas alumunium	3. Sebelum 4. Sesudah	3. Sebelum 4. Sesudah	3. Sebelum 4. Sesudah

TABEL 9.3 TABEL PENGAMATAN PERCOBAAN 2

Perlakuan	Banyak Gelembung	Banyak Tangkai <i>Hydrilla Verticillata</i>
Terkena cahaya matahari langsung		
Tidak terkena cahaya matahari langsung		

7. Diskusi

- a. Amati warna fisik daun singkong sebelum dan setelah air mendidih pada daun singkong yang tertutup kertas alumunium dan yang tidak tertutup alumunium.

- b. Amati perubahan warna daun singkong yang tertutup aluminium dan tidak tertutup aluminium dengan perlakuan alkohol 96%.
- c. Amati perubahan warna daun singkong yang tertutup aluminium dan tidak tertutup aluminium dengan perlakuan pemberian lugol.

8. Daftar Pustaka

- Al-Qur'an. 2015. Kementerian Agama Republik Indonesia.
- Cleon. WR. 1970. *Plant Physiology Laboratory manual*. Wadsworth Publ Comp.Inc: California.
- Esau.K. 1977. *Plant Anatomy of Seed Plants*. John Wiley & Sons. Sydney.
- Haryanti.S. 2010. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Daun Beberapa Spesies Tanaman Dikotil dan Monokotil*. Jurnal Buletin Anatomi dan Fisiologi. 18 (2).
- Joseph.A. 1969. *Experiment Plant Physiology*. Holt Rinehart Winston, Inc. New York.
- Lildahshiro. 2009. *Fisiologi Tumbuhan*. Kanisius: Jakarta.
- Loveless.AR. 2000. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk Daerah Tropik 1*. Gramedia: Jakarta.
- Niken. A. 2020. *Fisiologi Tumbuhan*. Jurnal Transpirasi Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayauallah: Jakarta.
- Papuangan. Dkk . 2014. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Tanaman Penghijauan di Kota Ternate*. Jurnal Bioedukasi, 3(1):287-292.
- Sugeng.PM. dkk. 2016. *Studi Laju Transpirasi Peltophorm dassyrachis dan Gliricidia s pada Sistem Budidaya Tanaman Pagar serta Pengaruh Terhadap Konduktivitas Hidrolik tidak Jenuh*. J-Pal 7 (1).
- Suyitno. 2006. *Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan Lanjut*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- Digilib. 2016. *Transpirasi*. Universitas Negeri Medan: Medan.
- Wilkins.MB. 1991. *Fisiologi Tanaman 1*. Bina Aksara: Jakarta.

ACARA III RESPIRASI

1. Pendahuluan

Al-Qur'an surah Yunus ayat 24 yang berbunyi:

إِنَّمَا مَثَلُ الْحَيَاةِ الدُّنْيَا كَمَاءٍ أَنْزَلْنَاهُ مِنَ السَّمَاءِ فَاخْتَلَطَ بِهِ نَبَاتُ الْأَرْضِ مِمَّا يَأْكُلُ النَّاسُ وَالْأَنْعَامُ حَتَّى إِذَا أَخَذَتِ الْأَرْضُ زُخْرُفَهَا وَازْبَيَّتْ وَظَنَّ أَهْلِهَا أَنَّهُم قَادِرُونَ عَلَيْهَا أَتَاهَا أَمْرًا لَيْلًا أَوْ نَهَارًا فَجَعَلْنَاهَا حَصِيدًا كَأَن لَّمْ تَغْنَبِ بِالْأَمْسِ كَذَلِكَ نُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ.

Sesungguhnya perumpamaan kehidupan duniawi itu, adalah seperti air (hujan) yang Kami turunkan dan langit, lalu tumbuhlah dengan suburnya karena air itu tanam-tanaman bumi, di antaranya ada yang dimakan manusia dan binatang ternak. Hingga apabila bumi itu telah sempurna keindahannya, dan memakai (pula) perhiasannya, dan pemilik-pemilikinya mengira bahwa mereka pasti menguasainya, tiba-tiba datanglah kepadanya azab Kami di waktu malam atau siang, lalu Kami jadikan (tanam-tanamannya) laksana tanam-tanaman yang sudah disabit, seakan-akan belum pernah tumbuh kemarin. Demikianlah Kami menjelaskan tanda-tanda kekuasaan (Kami) kepada orang-orang berpikir. (QS. Yunus: 24)

Mahluk hidup melakukan kegiatan pertukaran gas dalam kehidupannya. Kegiatan tersebut merupakan kegiatan respirasi. Respirasi adalah proses pelepasan energi kimia, molekul-molekul organik dalam sel pada mitokondria. Pada proses fotosintesis terjadi pembentukan gula dari molekul CO₂ dan H₂O dengan bantuan cahaya.

Pelepasan energi kimia dalam respirasi ini terjadi melalui dua proses penting yaitu antara lain proses oksidasi, pada proses ini terjadi pelepasan hidrogen atau hidrogenase di mana pada proses aerobik penerima elektron terakhir adalah O₂.

O₂ sebagai adaptor, proses perombakan molekul di mana akibat dari oksidatif ikatan karbon dari molekul dirombak sehingga akhirnya hanya tinggal satu karbondioksida (Dermawan, 1983).

Respirasi bukanlah proses pertukaran gas sederhana saja tetapi merupakan keseluruhan proses reaksi oksidasi, yaitu senyawa organik dioksidasi menjadi karbohidrat. Adapun oksigen yang diserap direduksi membentuk karbondioksida.

Substrat respirasi yaitu pati, fruktosa, sukrosa, atau gula lain, lemak, asam organik bukan protein pada kegiatan tertentu. Adapun respirasi ae-

robic adalah suatu proses pernapasan yang membutuhkan oksigen bebas dari udara dan air. Semua sel aktif terus-menerus melakukan respirasi menyerap oksigen dan melepaskan karbondioksida dalam volume yang sama (Azki.A.P.A., 2015).

2. Tujuan

- a. Membuktikan kegiatan respirasi pada tumbuhan.
- b. Mengamati reaksi respirasi pada makhluk hidup (tumbuhan).

3. Landasan Teori

Respirasi atau oksidasi glukosa secara lengkap adalah merupakan sumber energi yang utama untuk kebanyakan sel. Pada waktu glukosa dipecah dalam suatu rangkaian reaksi enzimatik, beberapa energi dibebaskan dalam bentuk ikatan fosfat berenergi tinggi (ATP), dan sebagian lagi hilang sebagai panas. Proses utama respirasi adalah mobilisasi senyawa organik dan oksidasi senyawa-senyawa tersebut secara terkendali untuk membebaskan energi bagi pemeliharaan dan perkembangan tumbuhan.

Respirasi juga merupakan aspek alamiah dari metabolisme sel yang meliputi proses-proses oksidasi bahan organik dengan terjadinya reaksi molekul oksigen membentuk air dan pembebasan energi dalam bentuk fosfat berenergi tinggi atau yang disebut ATP. Proses respirasi terjadi dapat dilihat dengan adanya pembebasan CO₂, pembentukan air, dan penyusunan bahan kering dari jaringan yang melakukan respirasi (Suwarsono, 1997).

Substrat awal respirasi adalah glukosa. Berasal dari senyawa polimer, seperti pati, fruktan, disakarida. Senyawa organik lain dapat juga dipakai sebagai substrat seperti lipid, asam organik, dan protein. Macam substrat yang dipakai dapat diketahui dengan mengukur jumlah O₂ yang dipakai dengan CO₂ yang dilepaskan yang disebut dengan respirasi kuosien.

Reaksi yang terjadi selama proses respirasi merupakan kebalikan dari reaksi yang terjadi selama fotosintesis. Hasil akhir dari fotosintesis adalah glukosa sedangkan pada respirasi adalah air. Proses terjadinya respirasi terdiri dari tiga tahapan yaitu glikolisis, siklus krebs dan transfer elektron (Salisbury and Ross, 1995).

Respirasi merupakan salah satu proses terpenting dalam sel hidup.

Dalam proses ini terbentuk energi bebas (ATP dan NADH) yang diperlukan dalam proses sintesis sel dan senyawa-senyawa intermediat yang merupakan substrat bagi sintesis senyawa-senyawa lain (misalnya asam amino, protein, lemak). Reaksi respirasi:



Oleh sebab itu, laju respirasi jaringan dapat memberikan gambaran tentang tingkat kegiatan metabolisme jaringan itu. Laju respirasi ditetapkan dengan cara mengukur banyaknya CO₂ yang terbentuk dan gas oksigen yang diserap persatuan berat segar (kering) jaringan per satuan waktu. Hasil pengukuran absorpsi O₂ dan CO₂ yang dilepaskan digunakan sebagai penentu kuosien respirasi (KR) jaringan. Cara ini dapat digunakan sebagai cara untuk menentukan substrat yang direspirasikan. Kuosien respirasi ialah rasio molekul (volume) CO₂ yang dilepaskan oleh jaringan pada periode waktu tertentu dalam molekul (volume) O₂ yang diambil (diabsorpsi).

$$\text{Kuosien respirasi (KR)} = \frac{\text{Molekul CO}_2 \text{ yang dilepaskan}}{\text{Molekul O}_2 \text{ yang diabsorpsi}}$$

Sebaliknya untuk mengukur kuosien respirasi pada jaringan ber-klorofil dilakukan di tempat gelap, dengan tujuan untuk menghilangkan perubahan gas kerana proses fotosintesis.

Dalam pengertian sehari-hari, bernafas sekadar diartikan sebagai proses pertukaran gas di paru-paru. Tetapi secara biologis, pengertian respirasi tidaklah demikian. Pernapasan lebih menunjuk kepada proses pembongkaran atau pembakaran zat sumber energi di dalam sel-sel tubuh untuk memperoleh energi atau tenaga.

Zat makanan sumber tenaga yang paling utama adalah karbohidrat. Pembakaran membutuhkan oksigen (O₂), terjadi di dalam setiap sel yang hidup. Energi yang diperoleh berupa energi kimia (ATP) yang digunakan untuk berbagai aktivitas fisiologi dalam tubuh.

Di samping itu, pembakaran menghasilkan pula zat sisa berupa gas asam arang (CO₂) dan air. Bagaimana dengan organaisme yang hidup di

lingkungan yang kurang oksigen (anaerob)? Pada organisme anaerob, pembongkaran zat sumber tenaga (glukosa) berlangsung tanpa melibatkan oksigen. Pembongkaran semacam ini disebut respirasi anaerob.

Tumbuhan juga menyerap O₂ untuk pernapasannya, umumnya diserap melalui daun (stomata). Pada keadaan aerob, tumbuhan melakukan respirasi aerob. Bila dalam keadaan anaerob atau kurang oksigen, jaringan melakukan respirasi secara anaerob.

Misal pada akar yang tergenang air. Pada respirasi aerob, terjadi pembakaran (oksidasi) zat gula (glukosa) secara sempurna, sehingga menghasilkan energi jauh lebih besar (36 ATP) daripada respirasi anaerob (2 ATP saja). Demikian pula respirasi yang terjadi pada jasad renik (mikroorganisma). Sebagian mikroorganisma melakukan respirasi aerobik (dengan zat asam), anerobik (tanpa zat asam) atau cara keduanya (aerobik fakultatif).

4. Alat dan Bahan

Alat

- a. Tutup Gabus
- b. Tabung Reaksi sebanyak 4 tabung
- c. Kain Kasa
- d. Tali/Benang
- e. Pipet tetes

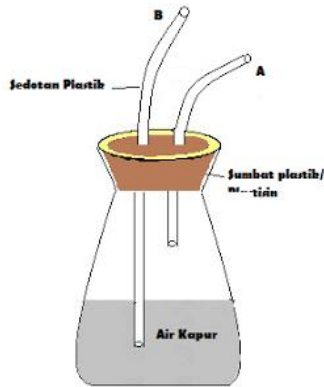
Bahan

- a. Kunci bunga yang sedang membuka atau Kecambah
- b. Air Kapur
- c. Tanaman Hydrilla v sebanyak 3 batang
- d. Aquadest
- e. Bromtimol Blue

5. Cara Kerja

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum.
- b. Siapkan empat (4) buah tabung reaksi.
- c. Isi tabung 1 dan tabung 2 dengan ±5 ml air kapur.
- d. Pada tabung 2 masukkan lima (5) buah kecambah yang sudah dibungkus dengan kain kasa dengan posisi menggantung.

- e. Isi tabung 3 dan tabung 4 dengan aquadest secukupnya.
- f. Tambahkan 3-5 tetes larutan bromtimol blue pada tabung 3 dan tabung 4.
- g. Pada tabung 4 masukan ± 3 batang *Hydrilla verticillata*.
- h. Tutup ke 4 tabung reaksi rapat-rapat.
- i. Amati perubahan yang terjadi pada ke 4 tabung.



GAMBAR 9.3 PERCOBAAN RESPIRASI

6. Analisis Data

TABEL 9.4 TABEL PENGAMATAN

Perlakuan	Air kapur	Bromtimol blue	Keterangan
Kecambah	1. Sebelum		
	2. Sesudah		
<i>Hydrilla verticillata</i>	3. Sebelum		
	4. Sesudah		

7. Diskusi

- a. Analisis air kapur keruh di tabung ke berapa.
- b. Analisis fungsi air kapur dalam kegiatan respirasi.
- c. Analisis perubahan warna larutan setelah tercampur bromtimol blue.

8. Daftar Pustaka

- Al-Qur'an. 2015. Kementerian Agama Republik Indonesia.
- Cleon. WR. 1970. *Plant Physiology Laboratory manual*. Wadsworth Publ Comp.Inc: California.
- Esau.K. 1977. *Plant Anatomy of Seed Plants*. John Wiley & Sons. Sydney.
- Haryanti.S. 2010. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Daun Beberapa Spesies Tanaman Dikotil dan Monokotil*. Jurnal Buletin Anatomi dan Fisiologi. 18 (2).
- Joseph.A. 1969. *Experiment Plant Physiology*. Holt Rinehart Winston, Inc. New York.
- Lildahshiro. 2009. *Fisiologi Tumbuhan*. Kanisius: Jakarta.
- Loveless.AR. 2000. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk Daerah Tropik 1*. Gramedia: Jakarta.
- Niken. A. 2020. *Fisiologi Tumbuhan*. Jurnal Transpirasi Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayauallah: Jakarta.
- Papuangan. Dkk . 2014. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Tanaman Penghijauan di Kota Ternate*. Jurnal Bioedukasi, 3(1):287-292.
- Salisbury dkk. 1985. *Plant Physiology*. Wadsworth Publ. Comp. Inc. USA.
- Sugeng.PM. dkk. 2016. *Studi Laju Transpirasi Peltophorm dassyrachis dan Gliricidia s pada Sistem Budidaya Tanaman Pagar serta Pengaruh Terhadap Konduktivitas Hidrolik tidak Jenuh*. J-Pal 7 (1).
- Suyitno. 2006. *Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan Lanjut*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- Digilib. 2016. *Transpirasi*. Universitas Negeri Medan: Medan.
- Wilkins.MB. 1991. *Fisiologi Tanaman 1*. Bina Aksara: Jakarta.
- Darmawan. 1983. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. PT Gramedia: Jakarta.

ACARA IV GERAK TUMBUHAN

1. Pendahuluan

Al-Qur'an surah *al-Fath* ayat 29 yaitu:

مُحَمَّدٌ رَسُولُ اللَّهِ وَالَّذِينَ مَعَهُ أَشِدَّاءُ عَلَى الْكُفَّارِ رُحَمَاءُ بَيْنَهُمْ تَرَاهُمْ رُكَّعًا سُجَّدًا يَبْتَغُونَ فَضْلًا مِّنَ اللَّهِ وَرِضْوَانًا سِيمَاهُمْ فِي وُجُوهِهِمْ مِّنْ أَثَرِ السُّجُودِ ذَلِكَ مَثَلُهُمْ فِي التَّوْرَةِ وَمَثَلُهُمْ فِي الْإِنْجِيلِ كَزَرْعٍ أَخْرَجَ شَطْئَهُ فَازْرَرَهُ فَاسْتَغْلَظَ فَاسْتَوَىٰ عَلَىٰ سُوقِهِ يُعْجِبُ الزُّرَّاعَ لِيغِيظَ بِهِمُ الْكُفَّارَ وَعَدَّ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ مِنْهُمْ مَغْفِرَةً وَأَجْرًا عَظِيمًا

Muhammad itu adalah utusan Allah dan orang-orang yang bersama dengan dia adalah keras terhadap orang-orang kafir, tetapi berkasih sayang sesama mereka. Kamu lihat mereka ruku' dan sujud mencari karunia Allah dan keridhaan-Nya, tanda-tanda mereka tampak pada muka mereka dari bekas sujud. Demikianlah sifat-sifat mereka dalam Taurat dan sifat-sifat mereka dalam Injil, yaitu seperti tanaman yang mengeluarkan tunasnya maka tunas itu menjadikan tanaman itu kuat lalu menjadi besarlah dia dan tegak lurus di atas pokoknya; tanaman itu menyenangkan hati penanam-penanamnya karena Allah hendak menjengkelkan hati orang-orang kafir (dengan kekuatan orang-orang mukmin). Allah menjanjikan kepada orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal yang saleh di antara mereka ampunan dan pahala yang besar. (QS. Al-Fath : 29)

Makhluk hidup melakukan pergerakan baik secara aktif maupun pasif. Tumbuhan bergerak secara pasif, jika tidak dipindahkan oleh makhluk hidup lainnya, maka tumbuhan tidak akan dapat berpindah. Gerak pada tumbuhan merupakan gerak terbatas, dan hanya pada bagian tubuh tertentu. Gerakan lamban, di mana pertumbuhan hanya terjadi pada jaringan di daerah-daerah titik tumbuh. Jaringan tersebut dinamakan jaringan meristematik. Gerakan pada tumbuhan merupakan suatu respons terhadap rangsangan (stimulus) baik yang berasal dari dalam maupun dari luar individu adapun gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi tiga macam yaitu, tropisme, taksis, dan nasti.

Gerak Tumbuhan adalah penyerapan rangsangan yang datang baik dari dalam maupun dari luar tubuh tanaman itu sendiri. Oleh karena itu, terjadinya gerakan pada tanaman merupakan indikasi dari adanya iritabilitas.

Gerakan yang terjadi pada tanaman, itu disebabkan karena adanya

rangsangan yang merupakan bagian dari sistem organ pada tanaman ini. Stimulus yang dapat membuat tanaman bergerak yaitu cahaya, sentuhan dan perubahan gravitasi serta suhu.

2. Tujuan

- a. Untuk mengetahui jenis gerak pada tumbuhan.
- b. Untuk melihat gerakan pada spesimen percobaan.
- c. Mengamati bentuk pergerakan tumbuhan.

3. Landasan Teori

Berdasarkan sumber rangsangan, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi 2 yaitu gerak endonom dan gerak etionom/esionom. Gerak endonom adalah gerak tumbuhan yang disebabkan oleh rangsangan atau faktor-faktor yang berasal dari dalam tumbuhan itu sendiri. Gerak endonom disebut juga autonom. Gerak etionom adalah reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari luar tubuh tumbuhan. Gerak etionom disebut juga dengan gerak esionom (Wiraatmaja, 2017).

Macam-macam gerak endonom di antaranya seperti:

- a. Nutasi yang merupakan gerak spontan dari tumbuhan yang tidak disebabkan adanya rangsangan dari luar.
- b. Higroskopis adalah 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 polong-polongan.

Pada gerak etionom, rangsangan itu dapat berupa cahaya, sentuhan, suhu, air, gravitasi bumi, dan zat kimia. Organ tumbuhan yang memberikan respons terhadap rangsangan tersebut adalah akar, batang, bunga, buah atau bagian dari organ tumbuhan tersebut. Berdasarkan arah respon, gerak etionom dibedakan menjadi gerak tropisme, gerak nasti dan gerak taksis.

Gerak tropisme adalah gerak bagian tumbuhan yang arah geraknya 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 ge-

rak responsnya menjauhi arah datangnya rangsangan disebut tropisme negatif. Contoh:

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

Ditinjau dari macam sumber rangsangannya, tropisme dibedakan menjadi fototropisme, Geotropisme, Hidrotropisme, Kemotropisme, Tigmotropisme, Termotropisme, Skotropisme.

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:

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

Ditinjau dari macam sumber rangsangannya, gerak nasti dibedakan menjadi: Fotonasti, Niktinasti, Tigmonasti, Termonasti, Haptonasti, Nasti Kompleks.

Gerak taksis adalah gerak seluruh atau bagian tubuh tumbuhan yang berpindah tempat dan arah perpindahannya dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan. Ditinjau dari macam sumber rangsangannya, taksis dibedakan menjadi fototaksis dan kemitaksis.

4. Alat dan Bahan

Percobaan 1

Alat

- a. Pollybag
- b. Penggaris
- c. Alat tulis menulis
- d. Kamera

Bahan

- 20 biji kacang hijau
- Tanah/sekam 20 kg
- Air

Percobaan 2**Alat**

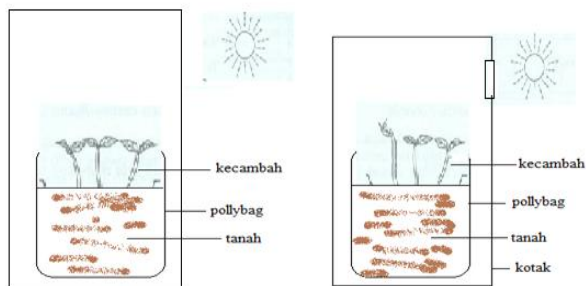
- Lup
- Alat tulis
- Kamera

Bahan

- Tanaman putri malu
- Tanaman turi

5. Cara Kerja**Cara kerja percobaan 1**

- Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum.
- Memasukkan tanah secukupnya ke dalam *pollybag*.
- Sebar biji kacang hijau di atas permukaan tanah sebanyak ± 10 biji.
- Siramilah biji kacang hijau dengan air secukupnya.
- Letakkan satu *pollybag* dalam kardus yang dilubangi, dan yang satu dalam kardus yang ditutup.
- Setelah 1 hari, bukalah kardus penutup pada tanaman biji kacang hijau di dalam *pollybag*.
- Amatilah perbedaan dari dua perlakuan yang telah dilakukan!



GAMBAR 9.4 GAMBAR PERCOBAAN

Keterangan :

Gambar kiri: biji kacang hijau yang tertutup kardus.

Kanan: biji kacang hijau yang tertutup kardus namun dilubangi.

Cara Kerja percobaan 2

- Siapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum.
- Carilah tanaman putri malu dan turi di sekitar lingkungan kampus.
- Mengamati gerakan putri malu dengan memberi perlakuan mekanik secara halus (sentuhan) pada helaian dan pangkal tangkai daun muda, dan tangkai daun tua.
- Mengamati gerakan daun turi pada saat pagi, siang dan malam hari, dengan melihat helaian dan pangkal tangkai daun.



GAMBAR 9.5 CONTOH KEGIATAN

6. Analisis Data

TABEL 9.5 TABEL PENGAMATAN PERCOBAAN 1

Perlakuan	Bagian Terkena Respons	Stimulus	Arah Gerak
Kardus dibolongi	1. Batang : cm 2. Daun : helai 3. Warna :		
Kardus tertutup	4. Batang : cm 5. Daun : helai 6. Warna :		

TABEL 9.6 TABEL PENGAMATAN PERCOBAAN 2

Perlakuan	Bagian Terkena Respons	Stimulus	Arah Gerak
Tanaman Putri Malu			
Disentuh ujung pensil	1. Daun: 2. Pangkal tangkai daun:		
Panas dari Lup	3. Daun: 4. Pangkal tangkai daun:		
Tanaman Turi			
Pagi	1. Daun: 2. Pangkal tangkai daun:		
Siang	3. Daun: 4. Pangkal tangkai daun:		
Malam	5. Daun: 6. Pangkal tangkai daun:		

7. Diskusi

- Amati bentuk gerak pada tumbuhan.
- Analisis faktor lingkungan yang memengaruhi gerak pada tumbuhan.
- Analisis pengaruh rangsangan terhadap gerak tumbuhan.

8. Daftar Pustaka

- Al-Qur'an. 2015. Kementerian Agama Republik Indonesia.
- Cleon. WR. 1970. *Plant Physiology Laboratory manual*. Wadsworth Publ Comp.Inc: California.
- Darmawan. 1983. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. PT Gramedia: Jakarta.
- Digilib. 2016. *Transpirasi*. Universitas Negeri Medan: Medan.
- Esau.K. 1977. *Plant Anatomy of Seed Plants*. John Wiley & Sons. Sydney.
- Haryanti.S. 2010. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Daun Beberapa Spesies Tanaman Dikotil dan Monokotil*. Jurnal Buletin Anatomi dan Fisiologi. 18 (2).
- Joseph.A. 1969. *Experiment Plant Physiology*. Holt Rinehart Winston, Inc. New York.
- Lildahshiro. 2009. *Fisiologi Tumbuhan*. Kanisius: Jakarta.
- Loveless.AR. 2000. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk Daerah Tropik* 1. Gramedia: Jakarta.
- Niken. A. 2020. *Fisiologi Tumbuhan*. Jurnal Transpirasi Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayaulah: Jakarta.

- Papuangan, dkk. 2014. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Tanaman Penghijauan di Kota Ternate*. Jurnal Bioedukasi, 3(1):287-292.
- Salisbury dkk. 1985. *Plant Physiology*. Wadsworth Publ. Comp. Inc. USA.
- Sugeng.PM. dkk. 2016. *Studi Laju Transpirasi Peltophorm dassyrachis dan Gliricidia s pada Sistem Budidaya Tanaman Pagar serta Pengaruh Terhadap Konduktivitas Hidrolik tidak Jenuh*. J-Pal 7 (1).
- Suyitno. 2006. *Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan Lanjut*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- Wilkins.MB. 1991. *Fisiologi Tanaman 1*. Bina Aksara: Jakarta.
- Wiraatmaja, 2017. *Bahan Ajar Gerak Pada Tumbuhan*. Prodi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian UNUD.

ACARA V DORMANSI

1. Pendahuluan

Al-Qur'an surah *al-Araf* ayat 58 yang berbunyi:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ ۗ وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يُشْكُرُونَ .

Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur. (QS. al-A'raf: 58)

Dormansi adalah suatu keadaan di mana pertumbuhan tidak terjadi walaupun kondisi lingkungan mendukung untuk terjadinya perkecambahan. Dormansi pada biji dapat disebabkan oleh keadaan fisik dari kulit biji ataupun keadaan fisiologis dari embrio atau kombinasi dari kedua keadaan tersebut.

Sebagai contoh kulit biji yang impermeabel terhadap air dan gas sering dijumpai pada biji-biji dari famili Leguminosae. Faktor-faktor yang menyebabkan hilangnya dormansi pada biji sangat bervariasi tergantung pada jenis tanaman dan tentu saja tipe dormansinya, antara lain yaitu: karena temperatur yang sangat rendah di musim dingin, perubahan temperatur yang silih berganti, menipisnya kulit biji, hilangnya kemampuan untuk menghasilkan zat-zat penghambat perkecambahan, adanya kegiatan dari mikroorganisme.

2. Tujuan

- a. Untuk mengetahui respons biji asam (*Tamarin sp*) dan kecipir (*Psopocarpus sp*) terhadap berbagai perlakuan pemecahan dormansi.
- b. Untuk menganalisis kondisi pertumbuhan tanaman.
- c. Mengamati kondisi fisik objek pengamatan.

3. Landasan Teori

Benih adalah bahan yang dipakai untuk bahan dasar pemeliharaan tanaman atau hewan. Istilah ini biasanya dipakai bila bahan dasar ini ber-

ukuran jauh lebih kecil daripada ukuran hasil akhirnya (dewasa).

Dalam budidaya tanaman, benih dapat berupa biji maupun tumbuhan kecil hasil perkecambahan, pendederan, atau perbanyakkan aseksual dan disebut juga bahan tanam. Benih atau bahan tanam yang bukan berupa biji dapat disebut sebagai bibit.

Benih diperdagangkan tidak untuk dikonsumsi. Bidang perikanan juga memakai istilah ini untuk menyebut hewan yang masih muda yang siap dipelihara hingga dewasa. Benih dari segi teknologi diartikan sebagai organisme mini hidup yang dalam keadaan “istirahat” atau dorman yang tersimpan dalam wahana tertentu yang digunakan sebagai penerus generasi (Digilab UNIMER, 2016).

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 fisik atau lingkungan tertentu.

Pemicu dormansi dapat bersifat mekanis, keadaan fisik lingkungan, atau kimiawi. Pada beberapa jenis varietas tanaman tertentu, sebagian atau seluruh benih menjadi dorman sewaktu dipanen, sehingga masalah yang sering dihadapi oleh petani atau pemakai benih adalah bagaimana cara mengatasi dormansi tersebut.

Kondisi dormansi mungkin dibawa sejak benih masak secara fisiologis ketika masih berada pada tanaman induknya atau mungkin setelah benih tersebut terlepas dari tanaman induknya. Dormansi pada benih dapat disebabkan oleh keadaan fisik dari kulit biji dan keadaan fisiologis dari embrio atau bahkan kombinasi dari kedua keadaan tersebut.

Benih dikatakan dorman apabila benih tersebut sebenarnya hidup tetapi tidak berkecambah walaupun diletakkan pada keadaan yang secara umum dianggap telah memenuhi persyaratan bagi suatu perkecambahan. Dormansi pada benih berlangsung selama beberapa hari, semusim, bahkan sampai beberapa tahun tergantung pada jenis tanaman dan tipe dari dormansinya (Sutopo, 2004).

Masih sangat minim kepustakaan mengenai hubungan antara ukuran atau bobot benih dengan masa hidup benih yang dilakukan melalui percobaan penyimpanan. Akan tetapi penelitian yang memperlihatkan keunggulan benih berat dan masak terhadap benih ringan dan belum masak melalui uji daya kecambah, vigor dan panennya, telah banyak dilakukan.

Meski demikian penelitiannya mendukung pendapat bahwa kelemahan-kelemahan yang terdapat pada benih belum masak juga terdapat pada benih kecil (Justice dan Bass, 1990).

Biji-biji dari banyak spesies tidak akan berkecambah pada keadaan gelap. Biji-biji itu memerlukan rangsangan cahaya. Tampaknya ada dua himpunan tekanan ekologis yang memengaruhinya. *Pertama*, biji-bijian dari banyak tanaman-tanaman pengganggu, seperti halnya berbagai macam spesies *chenopodium* yang merupakan ciri dari tanah dan mungkin terkubur pada kedalaman tertentu karena pengolahan tanah tampaknya memerlukan kondisi yang baik untuk mengatasinya bila mereka tidak berkecambah sampai mereka dapat kembali muncul ke permukaan (Andani dan Purbayanti, 1991).

Pengurangan kandungan lengas biji, serta suhu dan kelembaban relatif di tempat biji disimpan, memperpanjang umur penyimpanan kebanyakan biji. Laju perkecambahan menurun dengan menurunnya potensial lengas tanah dan untuk jagung, berhenti pada 1,25 Mpa. Suhu tanah 26°-30°C adalah optimum untuk perkecambahan dan pertumbuhan semai awal (Tohari, 1999).

Zat-zat penghambat perkecambahan yang diketahui terdapat pada tanaman antara lain adalah *ammonia*, *abscisic acid*, *benzoic acid*, *ethylene*, *alkaloid*, *alkaloids lactone* antara lain *coumarin*). Coumarin diketahui menghambat kerja enzim. Enzim penting dalam perkecambahan (Sutopo, 2004).

Perkecambahan mencapai puncaknya sebesar 72% pada tahun ketujuh. Setelah panen, pendinginan di laboratorium dengan larutan KN03 merangsang perkecambahan hampir seluruh biji (Gardner dkk., 1991).

Penyebab terjadinya dormansi di antaranya:

- a. Rendahnya ambibisi air
- b. Proses respirasi tertekan atau terhambat
- c. Rendahnya proses mobilisasi cadangan makanan
- d. Rendahnya metabolisme cadangan makanan

4. Alat dan Bahan

Alat

- a. Kertas kikir
- b. Cawan petri

- c. Kertas label
- d. Alat tulis
- e. Kamera

Bahan

- a. Biji asam kurang lebih 6 biji
- b. Biji kecipir/komak kurang lebih 6 biji
- c. Larutan HCL
- d. Air

5. Cara Kerja

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan praktikum.
- b. Mengasah dua (2) biji *Tamarin sp* dan *Psopocarpus tetragonolobus* pada ujung yang jauh dari embrio sampai tampak kotiledonnya.
- c. Rendam dau (2) biji *Tamarin sp* dan *Psopocarpus tetragonolobus* di dalam air yang baru dididihkan dan biarkan sampai airnya dingin.
- d. Rendam dua (2) biji di dalam larutan HCl selama 1-2 jam.
- e. Masing-masing kelompok biji diletakkan dalam cawan petri yang tersedia, label di beri sesuai dengan perlakuan, dan disimpan di tempat gelap pada suhu kamar.
- f. Perlakuan diperiksa setiap hari selama 7 hari dan perkembangannya dicatat.

6. Analisis Data

TABEL 9.7 TABEL PENGAMATAN

Perlakuan	Aquades Mendidih	HCl	Kertas Asah
Biji asam (<i>Tamarin sp</i>)	H1	H1	H1
	H2	H2	H2
	H3	H3	H3
	H4	H4	H4
	H5	H5	H5
	H6	H6	H6
	H7	H7	H7

Perlakuan	Aquades Mendidih	HCl	Kertas Asah
Biji Kecipir (<i>Psopocarpus tetragonolobus</i>)	H1	H1	H1
	H2	H2	H2
	H3	H3	H3
	H4	H4	H4
	H5	H5	H5
	H6	H6	H6
	H7	H7	H7

7. Diskusi

- Analisis hasil pengamatan terkait dengan kondisi dorman tumbuhan.
- Diskusikan dampak dari dormansi tanaman.
- Analisis faktor yang memengaruhi keiatan dormansi pada tanaman.

8. Daftar Pustaka

- Al-Qur'an. 2015. Kementerian Agama Republik Indonesia.
- Cleon. WR. 1970. *Plant Physiology Laboratory manual*. Wadsworth Publ Comp.Inc: California.
- Darmawan. 1983. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. PT Gramedia: Jakarta.
- Digilib. 2016. *Transpirasi*. Universitas Negeri Medan: Medan.
- Esau.K. 1977. *Plant Anatomy of Seed Plants*. John Wiley & Sons. Sydney.
- Haryanti.S. 2010. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Daun Beberapa Spesies Tanaman Dikotil dan Monokotil*. Jurnal Buletin Anatomi dan Fisiologi. 18 (2).
- Joseph.A. 1969. *Experiment Plant Physiology*. Holt Rinehart Winston, Inc. New York.
- Lildahshiro. 2009. *Fisiologi Tumbuhan*. Kanisius: Jakarta.
- Loveless.AR. 2000. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk Daerah Tropik 1*. Gramedia: Jakarta.
- Niken. A. 2020. *Fisiologi Tumbuhan*. Jurnal Transpirasi Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayauallah: Jakarta.
- Papuangan. Dkk . 2014. *Jumlah dan Distribusi Stomata pada Tanaman Penghijauan di Kota Ternate*. Jurnal Bioedukasi, 3(1):287-292.

- Salisbury dkk. 1985. *Plant Physiology*. Wadsworth Publ. Comp. Inc. USA.
- Sugeng.PM. dkk. 2016. *Studi Laju Transpirasi Peltophorm dassyrachis dan Gliricidia s pada Sistem Budidaya Tanaman Pagar serta Pengaruh Terhadap Konduktivitas Hidrolik tidak Jenuh*. J-Pal 7 (1).
- Suyitno. 2006. *Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan Lanjut*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- Wilkins.MB. 1991. *Fisiologi Tanaman 1*. Bina Aksara: Jakarta.
- Wiraatmaja, 2017. *Bahan Ajar Gerak Pada Tumbuhan*. Prodi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian UNUD.



DAFTAR PUSTAKA

- Advinda L. 2018. *Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Depublish: Yogyakarta.
- Akbar H et al., 2020. *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*. Uin Raden Intan: Lampung.
- Al-Jazairi.2007. *Tafsir Al-Qur'an Al Qurtubi Jilid 2*. Darus Sunnah: Jakarta. Al-Qur'anul Karim.
- Anggorowati et al., 2010. *Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Terbuka: Tangerang.
- Barid.B. 2007. *Kajian Unit Resapan dengan lapisan Tanah dan Tanaman dalam Menurunkan Limpasan Permukaan*. Jurnal Berkala Ilmiah Teknik Perairan Vol 13 (4): 248-255.
- Benyamin L. 2018. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo: Jakarta.
- Berg L. 2007. *Botany: Plant, People and Evironmental Second Edition*. Thomson Higher Education: California.
- Cambell R. 2002. *Biologi*. Erlangga: Jakarta.
- Cambell R. 2004. *Biologi Edisi ke 5 ilid II*. Erlangga: Jakarta.
- Capbell R. 2010. *Biologi Edisi ke Delapan Jilid Tiga*. Erlangga: Jakarta.
- Darmadi H. 1997. *Fisiologi Tumbuhan*. Erlangga: Jakarta.
- Darmawan et al., 1983. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Gramedia: Jakarta.
- Dartius. 1991. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. USU-Press: Medan.
- Devia. 2011. *Transportation System*. Online akses http://z14.invisionfree.com/FORUM_FORUMAN/ar/t18.htm.
- Dwidjoseputro. 1988. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Gramedia: Jakarta.
- Emanuel. 1997. *Biologi*. Galaxy Puspa Mega: Jakarta.

- Hamim. 2008. *Fungsi Air dan Peranannya pada Tingkat Seller dan Tumbuhan secara Utuh*. Repository Universitas Terbuka. <http://repository.ut.ac.id/4312/2>.
- Harahap et al., 2012. *Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Medan: Medan.
- Heddy.1996. *Hormon Tumbuhan*. Grafindo Persada. Jakarta.
- Haryono et al., 2014. *Kandungan Unsur hara dalam Daun Jati yang Baru Jatuh pada Tapak Berbeda*. Jurnal Ilmu kehutanan. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Isbandi. 1983. *Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman*. UGM: Yogyakarta.
- Ismail et al., 2011. *Penuntun Praktikum Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Negeri Makassar: Makassar.
- Isnaini N et al., 2016. *Penuntun Laboratorium Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Jati W. 2007. *Aktif Biologi*. Ganeca Exact: Jakarta.
- Jovita D. 2018. *Analisis Unsur Makro (K, Ca, Mg) Mikro (Fe, Zn, Cu) Pada Lahan Pertanian dengan Metode Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrofotometry*. Universitas Lampung: Lampung.
- Khairiah A. 2011. *Respirasi Tumbuhan*. Universitas Medan: Medan.
- Khairuna. 2019. *Diktat Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara: Medan.
- Lakitan B. 1993. *Dasar-Dasar Biologi Tumbuhan*. PT Raja Grafindo Persada: Jakarta.
- Lakitan B. 2007. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada: Jakarta.
- Lakitan B. 2007. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada: Jakarta.
- Lakitan. 2018. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada: Jakarta.
- Lehninger A. 1982. *Dasar-Dasar Biokimia*. Erlangga: Jakarta.
- Lilisari R. 2012. *Pengetahuan Awal Calon Guru Biologi Tentang Konsep Katabolisme Karbohidrat (Respirasi Seluler)*. Universitas Pendidikan Indonesia: Bandung.
- Mukhlis. 2017. *Unsur Hara Makro dan Mikro yang dibutuhkan Tanaman. Dias Pertanian Kabupaten Luwu Timur*: Masamba.
- Muliana et al., 1992. *Biologi Edisi Kelima*. Erlangga: Jakarta.

- Neni H. 2012. *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Lampung: Lampung.
- Noggle et al., 1997. *Introductory Plant Physiology*. Printice Hall Prive Limited: New Delhi.
- Parwati. 2013. *Pengaruh Frekuensi Penyiraman dan lama Penyiraman Terhadap Pertumbuhan bibit Jarak Pagar*. Instiper: Yogyakarta.
- Salisbury B et al., 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid 1*. ITB Press: Bandung.
- Sumadi et al., 2007. *Biologi Sel*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Suyitno. 2011. *Faktor-Faktor Fotosintesis*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- Tim Dosen Fisiologi Tumbuhan. 2018. *Penuntun Praktikum Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Pendidikan Indonesia: Bandung.
- Utami. 2016. *Fisiologi Tumbuhan*. Universitas Udayana: Bali.
- Wayan W. 2016. *Respirasi dan firiresiparasi*. Universitas Udayana: Bali.
- Wilkins MB. 1993. *Fisiologi Tumbuhan*. Bumi Aksara: Jakarta.





INDEKS

A

adaptasi, 45
Adenosin, 24
anaerob, 63
Autotrof, 40

B

bakteri, 44

C

cloroplas, 21
dictisom, 21

D

difiksasi, 43
Difusi, 25

E

endoplasma, 20
erob, 63
exsis, 46
external, 45

F

fisiologi, 45
Fisiologi, 16
Flux, 25
fosfolipid, 21

fotoperiode, 78
fotosintesis, 18, 41

G

glikolipida, 21
glikolisis, 65
glioksisom, 21
glukosa, 23, 43

H

Heterotrof, 41
hidrofilik, 23
hidrostatik, 25
hipotonis, 24
homeostasis, 24

J

jaringan, 45

K

klimatik, 45
Kloroplas, 49
Kompetitor, 45

L

lipida, 20

M

medium, 26
 Membran sel, 20
membrane, 20
 mesofil, 57
 metabolisme, 17
 mikroskop, 20
mitochondria, 21
 molekul, 24
 monokotil, 56
 multiseluler, 16

N

nucleus, 21

O

organ, 45
 organel, 16
 organisme, 15
 Osmosis, 24, 27

P

partikel, 18
 patogen, 45
 permeabel, 26
plasma, 20
 Plastokuinon, 50
 polar, 23
proksisom, 21
 protein, 20

R

respirasi, 24, 45
reticulum, 20

S

sellulosa, 16
 seluler, 24
 sintesis, 61
 spektrum, 44, 79
 Spektrum, 42
sterol, 21
 stomata, 26

T

temperatur, 25
 toksik, 19
tonoplas, 20
 transpirasi, 45
 Transportasi, 16, 23
 Trifosfat, 24

X

Xylem, 16

BIODATA PENULIS



Nurdiana, S.P., M.P. Putri dari Ayahanda K.H. Achmad Usman dan Ibunda Hj. RR. Nuryaktien, terlahir di Mataram, 30 Mei 1969, adalah Dosen tetap IPA Biologi FTK UIN Mataram. Mantan Sekretaris Jurusan Tadris IPA Biologi juga Senat UIN Mataram. Pendidikan Sarjana pernah kuliah di FKIP MIPA Mataram, Teknologi Produksi Yogyakarta dan Pascasarjana, Agronomi Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta (2002). Penghargaan selama kuliah pernah menjadi mahasiswa teladan, juga sebagai ketua Agronomi Mahasiswa Pascasarjana (S-2) UGM Yogyakarta (2000-2002). Selain giat di dalam aktivitas penelitian dan pengabdian masyarakat, aktif sebagai penulis buku, artikel, jurnal nasional dan internasional serta pedoman praktikum (2005-2020). Pernah berkecimpung di dalam berbagai organisasi antara lain sebagai sekretaris umum DPW UIN Mataram, Sekretaris Medtex/Kesehatan (2003-sekarang), Sekum PWM Muslimat NTB (2011-2016), YKM NTB (2018-2023).Ketua tim relawan ADI NTB (2018-2019), HPW ADI (2016-2021),Ketua penyelenggara Publick Speaking DIY Academy Yogyakarta (2020), dan sebagai pengusaha muda sampai sekarang. Selain itu juga aktif mengikuti seminar nasional dan internasional baik sebagai pemateri/peserta seperti (Agronomi-UGM Yogyakarta), Matematika Islam, Nutrition Expo Persagi Prov. NTB dengan Gizi Politeknik Kesehatan Mataram, Jaringan Penelitian PTAI se-Indonesia, dan berbagai aktivitas

lainnya. Di samping itu pula ikut sebagai pembina praktikum IPA Biologi (2004-sekarang), Tim Penyusun Kurikulum (2007), Buku Bahan Ajar (2006/2007), Pengelola KF (2007), dan sebagai anggota TIM Akreditasi dan Sertifikasi Fak Tarbiyah UIN Mataram, Konferensi TAP MPR RI di Mataram (2011), temu wicara MK (Mahkamah Konstitusi) di Jakarta (2011), Kongres Muslimat di Lampung (2011), Tim Penyusun Kurikulum (2007-2011), Tim Penyusun Soal SPMB (2007-2016), Tim Penulis Buku PAUD dan Jurnal Mitra BPPNFI (2010-2011), Tantangan Pendidikan Islam di Era MEA, Jakarta (2016), launching karya baru Jakarta (2016), bedah buku dan integrasi SAINS dengan Al-Qur'an (2016), global educations supplies and solution (2016), IAD (HKI-2019), Jurnal International (2020), Artikel "Coastal Community Perception of Environmental Conservation (Case Study of Fishermen's Village in Nipah Hamlet, Malaka Village, North Lombok, NTB) (HKI-2020). Aktif dalam penyusunan buku bahan ajar (2006-2021), Sebagai partisipan di kegiatan Internasional Seminar on the Future of Palestine (2021), Sebagai Partisipan di keg Imun Online Conference 57.20 (2021), Sebagai Peneliti dalam artikel bereputasi tentang the Effectiveness of Guided Inquiry Learning Tools in Increasing Student Activities and Creative Thinking Skill (2021), Jurnal di International Journal of Evaluation and Research in Education dengan judul Exploring Curiosity and critical Thinking Skills for Prospective Biology Teacher General Education Concept (2022) dan artikel di Biodik (2022) tentang Pengembangan Lembar Kerja Peserta didik Berbasis Riset Pengaruh Getaran Makroseismik Terhadap Perilaku Ikan Lele (*Clarias sp.*). Beralamat Rumah di Jalan Anyelir No. 18 Mataram, HP 082236848810 dan berkantor di UIN Mataram Kampus II Jl. Gadjah Mada No. 100 Jempong Telp. (0370) 621298.