

MODUL FISILOGI TUMBUHAN

Oleh:

Aisar Novita., S.P., M.P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2023

Kegiatan Pembelajaran ke - 01

Arti Fisiologi Tumbuhan

a. Tujuan pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan definisi fisiologi tumbuhan
2. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan skope ilmu fisiologi tumbuhan
3. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan kepentingan fisiologi tumbuhan
4. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan batasan studi fisiologi tumbuhan

b. Materi Pembelajaran

Fisiologi tumbuhan suatu ilmu yang mempelajari tentang proses fungsi dan respon tumbuhan terhadap perubahan lingkungan tempat hidup

1. Proses diartikan sebagai suatu kegiatan alamiah yang sifatnya sinambung dan menghasilkan produk tertentu
Dalam tubuh tumbuhan banyak proses-proses yang berlangsung misalnya absorbs hara fotosintesis, respirasi, pembentukan organ tumbuhan, daun, batang, akar, bunga, buah dan biji setiap proses tsb.
Akan berakhir dengan produk tertentu sehubungan dengan proses timbullah tugas fisiologi menjelaskan dan menggambarkan bagaimana proses berlangsung secara detail
2. Fungsi dimaksudkan, fungsi dari setiap organel dalam sel atau intisel, mitokhondria, lysosom, chlorofil. Organel-organel dalam sel masing-masing melakukan metabolisme sendiri (anabolisme dan katabolisme) dengan bermacam-macam reaksi yang rumit, organel-organel tersebut tidak berdiri sendiri tetapi saling interaksi dengan organel-organel lain, gangguan reaksi terhadap suatu organel akan mengganggu reaksi pada organel lain (dikenal dengan konsep endomembran) misalnya dictyosome akan dapat membentuk lisosom dan plasmolema dan semua itu dengan kontrol intisel
3. Fungsi dimaksudkan fungsi setiap organel dalam sel. Tiap organel dalam sel memiliki fungsi tersendiri dalam mensintesis senyawa dalam sel.

Gangguan fungsi organel akan mengakibatkan terhalangnya sintesis senyawa organik dalam sel

Sehubungan dengan fungsi muncul tugas fisiologi yang kedua yaitu menjelaskan dan

menggambarkan dengan jelas fungsi setiap organel dalam sel

1. Respon dimaksudkan bagaimana tanggap tumbuhan terhadap perubahan proses atau fungsi akibat perubahan lingkungan (iklim dan tanah) dengan berubahnya lingkungan tumbuhan akan memberikan respon contoh kalau membeli bunga yang ditanam dalam pot di Brastagi lalu bunga tersebut bawa ke Medan, iklim Medan berbeda dengan Brastagi, tanaman tersebut akan memberikan respon misalnya tidak akan memunculkan bunga baru selama hidupnya. Sehubungan dengan respon muncul tugas fisiologi yang ke 3 yaitu menjelaskan dan menggambarkan bagaimana respon tumbuhan terhadap perubahan lingkungan

Tumbuhan di alam ini di darat maupun di perairan jumlahnya jutaan spesies, kita tidak akan mungkin mempelajari fisiologi tumbuhan sebanyak itu tumbuhan yang ada di bumi dibagi menjadi 7 divisio (Strasburger, 1964) yaitu bacteriophyta, cyanophyta, phycophyta, mycophyta, bryophyta, pteridophyta dan spermatophyta. Pembatasan studi kita hanya pada tumbuhan spermatophyta. Tumbuhan ini diberi dengan nama sinonim, anthophyta (tumbuhan berbunga) cormophyta (tumbuhan mempunyai daun, batang, akar, bunga, buah, dan biji) seed plant (tumbuhan berbiji), vascular plant (tumbuhan berpembuluh) Higher green plant (tumbuhan hijau tingkat tinggi)

e. Latihan

Untuk memperdalam pemahaman pada bab ini dosen menganjurkan mahasiswa mengenal istilah-istilah latin yang muncul. Pada kuliah berikutnya kepada mahasiswa diingatkan kembali istilah-istilah penting pada kuliah pertama

d. Evaluasi

1. Tuliskan tiga istilah penting untuk mengenal definisi fisiologi
Kunci : Proses, fungsi, respon
2. Tuliskan penyebab berubahnya proses dan fungsi dalam tumbuhan
Kunci : Perubahan lingkungan

3. Menurut anda diantara faktor lingkungan yang sangat berpengaruh pada pertumbuhan tumbuhan apa saja

Kunci : Cahaya matahari

4. Tanaman mangga berbuah lebat di dataran rendah, ditanam di dataran tinggi mangga tersebut menghasilkan banyak bunga tetapi, tidak berbuah.

Kenapa hal demikian bisa terjadi

Kunci : Faktor suhu

5. Kelompok tumbuhan mana saja yang kita pelajari pada fisiologi tumbuhan

Kunci : Spermatophyta

Kegiatan Pembelajaran ke - 02

Aspek Praktis Fisiologi Tumbuhan

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa harus mengetahui bahwa beberapa hal yang bersifat praktis sudah dilakukan oleh ahli fisiologi
2. Mahasiswa harus mengetahui bahwa yang bersifat praktis dalam fisiologi tumbuhan sudah dirasakan manfaatnya oleh petani baik dalam bidang tanaman pangan, hortikultura ataupun perkebunan

b. Materi Pembelajaran

1. Efisiensi konversi energi matahari oleh tumbuhan untuk memproduksi makanan produksi tumbuhan sangat ditentukan oleh kemampuan tumbuhan mengkonversi energi fisis matahari menjadi energi kimia, energi kimia yang disimpan dalam tubuh mudah yang digunakan manusia untuk mendukung kehidupan, makin tinggi kemampuan konversi oleh tumbuhan makin tinggi produksi tumbuhan tersebut.

Salah satu contoh padi varietas lama dengan daun saling menutupi berproduksi rendah kurang lebih 800 kg per hektar, para ahli menciptakan padi dengan daun tegak yang dapat menangkap cahaya lebih banyak. Contoh IR.64 berproduksi mencapai 4-5 ton per hektar. Petani sudah menanam padi IR (International Rice)

2. Faktor nitrogen secara biologis dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman

Sudah diakui oleh ahli-ahli dunia bahwa pertumbuhan makhluk hidup sangat ditentukan oleh adanya protein, kecukupan protein menjamin pertumbuhan makhluk hidup. Protein mengandung senyawa N (nitrogen) para ahli sudah berhasil memproduksi legin (*leguminosae inoculum*) untuk pengikatan N oleh akar tanaman. Secara biologis ingat adanya rhizobium pada akar tanaman kacang mungkin juga ada bentuk lain yang diproduksi oleh negara-negara lain

3. Teknik kultur jaringan

Dengan teknik kultur jaringan merupakan jalan pintas untuk memperoleh bibit tanaman dalam jumlah banyak yang sesuai dengan kemauan kita, sifat genetik tumbuhan baru ini persis sama dengan induknya, teknik kultur jaringan sudah banyak menghasilkan macam tumbuhan, hortikultura bahkan juga bibit tanaman perkebunan. Dengan mengambil sedikit daun atau organ lain yang di tanam di media tertentu akan menghasilkan ribuan tanaman baru.

4. Kualitas makanan dapat diatur dengan penambahan hara mikro

Telah diyakini oleh para ahli bahwa rasa enak sejenis produk ditentukan oleh keberadaan unsur mikro di media tumbuh.

Contoh kita menanam padi di beberapa lokasi di Langkat, Simalungun, Tapanuli Utara dan di Cianjur (Jawa Barat) setelah dipanen lalu dimasak rasa nasinya berbeda, yang paling enak adalah beras yang dari Cianjur dan yang paling tidak enak beras dari Tapanuli Utara, kenapa ?

Karena kandungan hara mikro didalam tanah berbeda-beda. Kandungan hara mikro yang memadai untuk mendukung petani tanaman padi yang sempurna adalah di Cianjur dan yang paling sedikit di Tapanuli Utara. Sekarang petani sudah menghasilkan beras dengan berbagai rasa, pada masa yang akan datang para ahli akan menemukan beras yang bermacam-macam seperti rasa rendang, rasa kari kambing, rasa gulai ikan mas dll.

5. Penggunaan zat pengatur tumbuh tanaman (ZPT)

Dengan penggunaan ZPT sudah dihasilkan buah-buah yang berkualitas tinggi seperti apel, jeruk, jambu biji dll tanpa bii, namun setiap sesuatu yang dihasilkan dari penggunaan senyawa kimia memiliki dampak yang kurang menguntungkan, seperti jambu biji, tanpa biji rasa atau aroma jauh lebih rendah dari jambu biji biasa.

c. Latihan

Mahasiswa diperkenalkan dengan berbagai variasi tanaman yang dibahas pada saat perkuliahan

d. Evaluasi

1. Apa sebenarnya produksi tanaman itu

Kunci : konversi energi cahaya matahari

2. Pilih tanaman yang memiliki konversi energi yang tinggi

a). Padi

b). Jagung

c). Mangga

d). Kelapa sawit

Kunci : kelapa sawit

3. Semua makhluk hidup untuk pertumbuhannya memerlukan senyawa yang sama,

Tuliskan senyawa tersebut

Kunci : Protein

4. Pada teknik kultur jaringan sifat tanaman induk sama dengan sifat tanaman yang dihasilkan

sifat tersebut terikat pada sifat apa. Tuliskan

Kunci : Sifat Genetik

5. Tuliskan satu macam ZPT yang kamu kenal

Kunci : Auksin, Gibberellin, Sitokinin dan asam absisat

Kegiatan Pembelajaran ke - 03

a. Tujuan Pembelajaran :

1. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan pengertian sel dan sifat-sifatnya
2. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan bagian bagian organel sel
3. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan fungsi sel dan organel

b. Pengertian Sel

Sel merupakan unit dasar kehidupan yang tidak dijumpai dalam kehidupan unit-unit yang lebih kecil dari sel. Organisme dapat terdiri dari satu sel atau banyak sel. Sel-sel yang berada dalam organisme berasal dari sel-sel sebelumnya. Organisme satu sel melakukan semua aktivitas hidupnya di dalam sel itu sendiri, sedangkan organisme multiseluler karena sel-sel tersusun sebagai jaringan ataupun organ maka dalam melakukan aktivitasnya terdapat pembagian tugas. Sel yang berbeda dalam multiseluler memiliki struktur dan fungsi yang berbeda.

Teori Sel: (1). Semua benda hidup tersusun atas sel—minimal satu sel, Sel sebagai unit fungsional terkecil benda hidup. (2). Semua sel berasal dari sel sebelumnya.

Sel berasal dari bahasa latin : rongga kecil, atau terkenal dengan nama *cellula*, yaitu unit kehidupan terkecil. Sel pertama kali ditemukan oleh Robert Hooke pada tahun 1665, dengan mengamati gabus menggunakan mikroskop. Semua makhluk hidup tubuhnya tersusun dari sel, bisa terdiri dari satu sel (uniselular) ataupun banyak sel (multiselular).

c. Sejarah Penemuan Sel

Pada awalnya sel digambarkan pada tahun 1665 oleh seorang ilmuwan Inggris Robert Hooke yang telah meneliti irisan tipis gabus melalui mikroskop yang dirancangnya sendiri. Kata *sel* berasal dari kata Latin *cellulae* yang berarti 'kamar-kamar kecil'. Anton van Leeuwenhoek melakukan banyak pengamatan terhadap benda-benda dan jasad-jasad

renik dan menunjukkan pertama kali pada dunia ada “kehidupan di dunia lain” yang belum pernah dilihat oleh manusia. Karyanya menjadi dasar bagi cabang biologi yang penting saat ini: mikrobiologi.

Perkembangan mikroskop selama hampir 200 tahun berikutnya telah memberikan kesempatan bagi para ahli untuk meneliti susunan tubuh makhluk hidup. Serangkaian penelitian telah dilakukan oleh 2 orang ilmuwan dari Jerman yaitu Matthias Schleiden (ahli tumbuhan, 1804-1881) dan Theodor Schwann (ahli hewan, 1810-1882). Mereka menyimpulkan bahwa setiap makhluk hidup tersusun atas sel. Selanjutnya pada tahun 1885 seorang ilmuwan Jerman, Rudolf Virchow, mengamati bahwa sel dapat membelah diri dan membentuk sel-sel baru.

d. Sifat Kimia dan Fisika Sel

Sel secara keseluruhan tersusun dari zat-zat kimia, yaitu atom dan molekul. Sel dapat berbeda bentuk, susunan, sifat, dan fungsinya. Meskipun demikian fungsi dari sel-sel tersebut tidak jauh berbeda dengan sifat-sifat atom atau molekul penyusunnya. Keadaan zat-zat kimia dalam sel tidak statis, mereka selalu berubah-ubah akibat dari proses fisika dan kimia yang terjadi pada sel tersebut.

1. Sifat-sifat Kimia Sel

a. Organisme tersusun oleh unsur-unsur kimia

Elemen	% Berat
O	62
C	20
H	10
N	3
Ca	2,5
P	1,14
CL	0,16
S	0,14
K	0,11
Na	0,10
Mg	0,07
J	0,014
Fe	0,01

b. Senyawa yang menyusun sel (protoplasma)

ITEM	NEEDED
Air	75
Protein	2
Lemak/ lipid	1
Karbohidrat	20
Anorganik padat	2

2. Sifat Fisika Sel (Protoplasma)

Protoplasma terdiri dari berbagai jenis unsur dan senyawa baik organik maupun anorganik yang heterogen. Ukuran-ukuran partikel yang terlarut dalam protoplasma berkisar antara 0,001–0,1 mikron sehingga termasuk larutan koloid. Senyawa organik yang menyusun matriks (protoplasma berbentuk cair), seperti karbohidrat, protein, dan lemak berupa suspensi ukuran lebih besar dari 0,1 mikron, sedangkan ion-ion yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mikron berupa larutan murni. Keadaan komposisi tersebut menyebabkan protoplasma memiliki sifat fisika sebagai berikut.

a. Gerak Brown Gerak Brown, yaitu gerak dari molekul-molekul protoplasma yang tidak beraturan karena adanya molekul air. Gerak ini diteliti oleh Robert Brown (1827), seorang ahli Botani bangsa Skotlandia di dalam larutan koloid. Gerak Brown ini biasanya terjadi dalam larutan koloid dan tergantung pada temperatur dan ukuran partikel.

b. Larutan koloid protoplasma Larutan koloid protoplasma dapat memantulkan cahaya bila arah datangnya sinar tepat mengenai sistem koloid, peristiwa pemantulan cahaya tersebut disebut Efek Tyndall.

c. Cyklosis Cyklosis, yaitu gerakan berupa arus yang terjadi pada protoplasma yang berbeda dalam keadaan sol. Cyklosis ini disebabkan oleh: 1) Tekanan hidrostatik 2) Temperatur 3) pH 4) Kekentalan (viskositas) 5) Umur sel

d. Gerak Amoeboid Gerak Amoeboid adalah gerakan protoplasma pada sel (terutama pada satu sel: amoeba, protozoa, serta leukosit) yang disebabkan oleh perubahan fungsi sehingga sitoplasma memanjang keadaannya.

e. Terjadi tegangan permukaan Tegangan permukaan terjadi karena tertariknya molekul-molekul pada permukaan oleh molekul di bawahnya yang bergerak bebas dengan

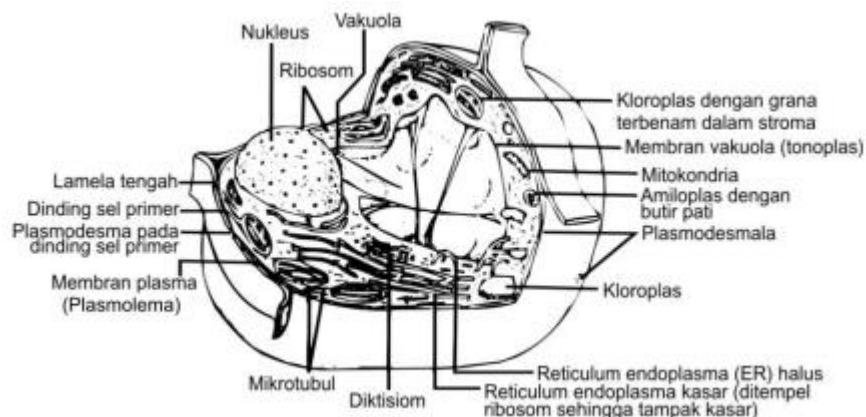
kekuatan pada setiap arah yang sama. Akibat tarikan tersebut molekul permukaan menjadi terikat sehingga terjadi tegangan yang disebut tegangan permukaan.

f. Absorpsi Absorpsi dapat meningkatnya konsentrasi substansi pada permukaan suatu larutan.

Pengertian Organel

Sel merupakan unit terkecil dari suatu kehidupan. Tumbuhan tingkat tinggi tubuhnya tersusun oleh sejumlah sel, baik sel hidup maupun sel mati. Sel-sel yang hidup mempunyai persamaan dan perbedaan dalam struktur dan fungsinya. Persamaannya adalah adanya dinding sel yang berisi plasma dan terbungkus oleh membran plasma.

Struktur sel yang lengkap dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar Sel Tumbuhan pada Umumnya Didasarkan pada

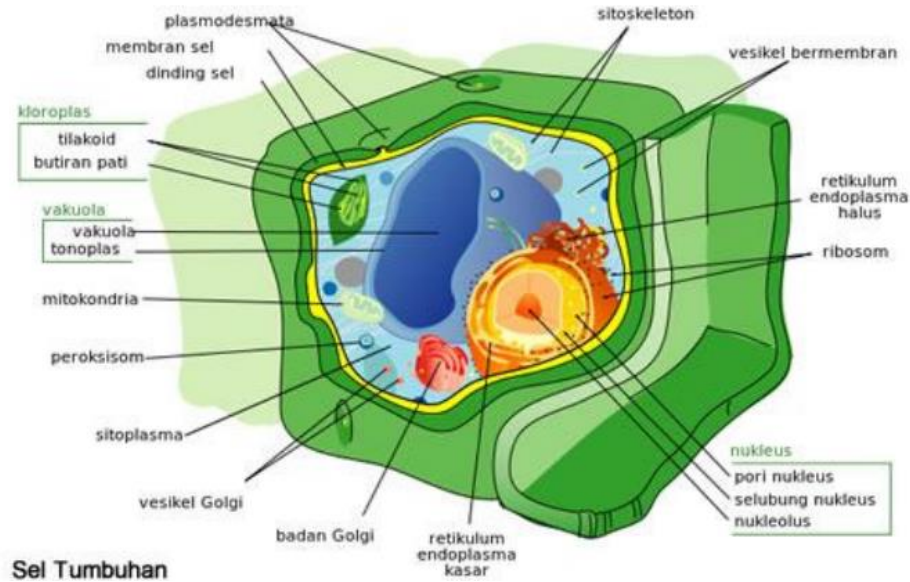
Berbagai Organel Sel yang Tampak dalam Mikrograf Electron

Perlu diingat bahwa tidak semua sel mempunyai bagian-bagian (organel) seperti itu. Sel yang sama pada fase perkembangan yang berbeda akan menunjukkan perbedaan struktur. Apabila dirinci bagian-bagian sel tumbuhan adalah sebagai berikut:

1. Sel = dinding sel + protoplasma
2. Protoplasma = sitoplasma + nukleus + vakuola
3. Sitoplasma = membran plasma + mesoplasma + membran vakuola

4. Mesoplasma = bahan dasar + inklusion (bahan ergastik)

5. Bahan dasar = elektroplasma + endoplasma



Gambar. Sel Tumbuhan

Meskipun diketahui bahwa tidak ada 2 sel yang sama, namun sel-sel penyusun tubuh tumbuhan masih dapat dikelompokkan ke dalam jaringan dan sistem jaringan, yaitu fungsinya sama atau saling mendukung. Ada yang memandang sel sebagai satuan terpisah, ada pula yang memandang sel sebagai bagian dari jaringan (jaringan adalah kelompok sel yang fungsi dan strukturnya sama) atau bagian dari sistem jaringan (kelompok jaringan dengan fungsi serupa).

Klasifikasi terhadap sel tumbuhan agak sulit dilakukan, tetapi atas dasar fungsinya dapat dibuat pengelompokan berikut:

Tabel
Pengelompokan Sel Tumbuhan berdasarkan Fungsinya

No.	Tipe Sel	Fungsi	Terdapat pada
1.	Meristem	Pembelahan sel	Jaringan meristem
2.	Parenkhim	Fungsi umum, fotosintesis	Korteks, daun
3.	Kolenkhim	Penguat, umum	Batang, daun
4.	Serabut	Penguat	Jaringan pengangkut
5.	Trakea, trakeid	Transpor	Xilem
6.	Sklereid	Pelindung	Kulit biji
7.	Buluh tapis	Transpor	Floem
8.	Sel penutup	Pengatur transpirasi	Daun, buah
9.	Gamet	Reproduksi	Polen, sel telur

Komponen sel tumbuhan eukariotik, terdiri dari berikut ini.

1. Dinding Sel, terbagi menjadi:

- a. Dinding primer (+ $\frac{1}{4}$ selulosa) tebalnya sekitar 1–3 μm .
- b. Dinding sekunder ($\frac{1}{2}$ selulosa + $\frac{1}{4}$ lignin) tebalnya 4 μm atau lebih.
- c. Lamela tengah (lapisan perekat di antara sel, sebagian besar terdiri dari pektin).
- d. Plasmodesmata (perluasan membran plasma yang menembus dinding) diameternya 30–100 nm.
- e. Ceruk sederhana dan ceruk terlindungi.

2. Protoplasma (isi sel, tidak termasuk dinding sel): berdiameter 10–100 μm , terdiri dari berikut ini.

a. Sitoplasma (sitoplasma + nukleus = protoplasma)

1) Membran plasma (plasmolema) tebal 0,01 μm (10nm)

2) Sistem endomembran

- a) Retikulum endoplasma (RE): tebal 7,5 nm (tiap membran; sistem bermembran dua yang beragam tebalnya).
- b) Perangkat Golgi (terdiri dari diktiosom; diameter 0,5–2,0 μm ; tebal membran 7,5 nm).
- c) Selimut atau selaput inti (membran dua unit); tebal 25–57 nm.
- d) Membran vakuola (tonoplas); tebal 7,5 nm (lihat tentang vakuola di bawah).

e) Benda mikro; diameter 0,3–1,5 μm .

f) Sferosom dan butir protein; diameter 0,5–2,0 μm (dikelilingi oleh setengah membran unit).

3) Rangka sel

a) Mikrotubul; tebal 24–25 nm; lubang di tengah 12 nm.

b) Mikrofilamen tebal 5–7 nm.

c) Bahan berprotein lain.

4) Ribosom, diameter 15–25 nm (lebih besar dari pada prokariot)

5) Mitokondria (terbungkus membran); berukuran 0,5–1,0 μm kali 1–4 μm .

6) Plastida (organel terbungkus membran)

a) Proplastid (plastida belum matang).

b) Leukoplas (plastida tanpa warna), amiloplas (berisi butir pati, kadang protein; proteinoplas); elaioplas (berisi lemak); etioplas; dan plastid penyimpan makanan lain.

c) Kloroplas, berukuran 2–4 μm kali 5–7 μm (dapat mengandung butir pati). d) Kromoplas (sering berwarna merah, jingga, kuning).

7) Sitosol (cairan tempat sebagian besar struktur di atas berada).

b. Nukleus (sitoplasma + nukleus = protoplasma) diameter 5–15 μm atau lebih (lihat selimut inti) 1) Nukleoplasma (bahan aktif dan berserat di nukleus). 2) Kromatin (kromosom yang menjadi jelas terlihat selama pembelahan sel). 3) Nukleolus; diameter 3–5 μm .

c. Vakuola (dari tidak ada sama sekali sampai menguasai 95% volume sel, kadang lebih).

d. Bahan ergastik (termasuk bahan yang boleh dikatakan murni, sering ditemukan di plastida atau vakuola)

1) Kristal (misalnya kalsium oksalat).

- 2) Tanin.
- 3) Lemak dan minyak (ditemukan elaioplas atau butir lipid).
- 4) Butir pati (ditemukan amiloplas dan kloroplas; lihat di atas).
- 5) Butir protein.

e. Flagela dan silia; tebal 0,2 μm panjang 2–150 μm dijumpai pada sel cendawan, sel tumbuhan, dan beberapa sel protista, tapi jarang pada hewan.

1. Dinding Sel

Dinding sel terdiri dari dinding primer, lamela tengah, dan dinding sekunder.

Dinding primer adalah lapisan yang terbentuk selama pembentangan, tipis dengan ketebalan sekitar 1–3 μm , terdiri dari 9–25% selulosa, 25–50% hemiselulosa. Zat pektat 10–35%, 10% protein dan mengandung lemak.

Dinding sekunder merupakan lapisan yang ditambahkan setelah proses pembentangan dinding sel selesai, dapat berlapis-lapis terutama terdiri dari selulosa, yaitu 41–45%, 30% hemiselulosa dan 22–28% lignin, tidak mudah ditekan dan bentuknya tidak berubah disebabkan oleh lignin yang lebih kaku dari pada selulosa.

Bahan pektat merekatkan sel-sel yang berdekatan menjadi satu dalam membentuk lamela tengah, cocok untuk peranan ini karena bahan pektat tersebut berada dalam bentuk gel. Pektin dapat dirombak oleh enzim tertentu, seperti halnya terjadi pada proses pemasakan buah.

Benang-benang sitoplasma yang halus disebut plasmodesmata (tunggal: plasmodesma), dapat menembus dinding-dinding sel yang berdekatan melalui bidang noktah primer, menghamburkan protoplas sel yang berdampingan. Plasmodesma ini merupakan lamela yang dibatasi oleh membran sel dari sel yang berdampingan dan diisi oleh benang retikulum endoplasma yang berdiameter sekitar 40 nm. Plasmodesmata

penting karena dapat menyatukan banyak sel dalam jaringan atau tumbuhan ke dalam satu fungsi secara keseluruhan.

Dinding sel yang berhubungan langsung dengan udara luar (jaringan pelindung) sering dilapisi kutin dan suberin sehingga merupakan lapisan kutikula. Lapisan ini juga tidak seluruhnya tertutup rapat sehingga masih memungkinkan senyawa kimia melewatinya (seterusnya masuk melalui ektodesmata, yaitu plasmodesma yang menghadap keluar). Fungsi dinding sel adalah untuk memberikan kekuatan mekanik sehingga sel mempunyai bentuk tetap, dapat mengadakan imbibisi air serta meneruskan air dan senyawa yang larut di dalamnya ke protoplas.

2. Protoplas

Protoplas merupakan bagian yang hidup dari sel meskipun di dalamnya juga terdapat berbagai senyawa anorganik. Berupa koloid yang tidak berwarna, berisi granula dan tetes-tetes kecil. Adanya granula tersebut menunjukkan gerak Brown yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah sel itu masih hidup atau telah mati. Protoplas serta semua bagiannya dibungkus oleh membran, yang berbatasan dengan dinding sel, dan disebut membran sel atau membran plasma. Protoplas terdiri dari air (10–90%) serta bahan organik (karbohidrat, lemak, protein, asam nukleat, fosfatida, serta berbagai unsur kimia antara lain berbagai ion anorganik atau dalam berbagai ikatan).

Membran yang membatasi bagian-bagian protoplas terdiri dari senyawa lipoprotein, yang membentuk 2 lapisan protein monomolekul dan mengapit 2 lapisan fosfolipid bimolekul. Selain fosfolipid juga dijumpai kolesterol dan serebrosid. Membran ini sifatnya diferensial permeabel, artinya dapat melarutkan senyawa kimia tertentu dan tidak melakukan senyawa lainnya.

Di antara membran plasma dan membran vakuola terdapat mesoplasma yang tersusun oleh bahan dasar dan inklusion. Bahan dasar ini merupakan cairan dengan pH sekitar 7.0. Kekentalannya bervariasi, semakin keluar semakin kental. Endoplasma relatif lebih encer. Pada bahan dasar ini dapat dilihat adanya arus plasma dan dianggap sebagai tempat terjadinya arus itu. Pada bahan dasar ini terdapat berbagai organel sel yang pada umumnya tersusun oleh membran. Organel itu bermacam-macam ukurannya, bentuk serta jumlahnya, baik pada sel itu sendiri atau di antara sel-sel. Ada yang dapat dilihat dengan mikroskop cahaya, ada yang harus dengan mikroskop elektron.

3. Retikulum Endoplasma (RE)

Bila diamati, bahan dasar berupa struktur yang terdiri dari anyaman pipa bermembran disebut retikulum endoplasma. Retikulum endoplasma dibedakan dalam 2 macam, yaitu kasar dan halus. Retikulum endoplasma kasar karena dilengkapi oleh ribosom atau poliribosom. Fungsi retikulum endoplasma, yakni mengangkut atau mensekresikan lipid atau gula, sintesis minyak-minyak, dan sintesis protein. Fungsi lainnya adalah mengangkut enzim tertentu dan protein lainnya adalah menembus membran plasma dan keluar dari sitoplasma dalam proses sekresi.



Gambar. Retikulum Endoplasma

4. Diktiosom

Disebut pula alat golgi, berbentuk pipa dengan diameter yang lebih besar dari pada retikulum endoplasma, tetapi lebih pendek. Jumlahnya juga lebih sedikit dan tidak ditemeli ribosom. Menghasilkan vesikula yang dilepaskan ke dalam plasma, untuk membentuk membran plasma dan dinding sel.

5. Benda Mikro

Terdiri dari peroksisom dan glioksisom. Peroksisom berfungsi menguraikan asam glikolat yang dihasilkan dari fotosintesis dan mendaur ulang molekul lain kembali ke kloroplas. Glioksisom berperan menguraikan lemak menjadi karbohidrat selama dan sesudah perkecambahan biji.

6. Sferosom

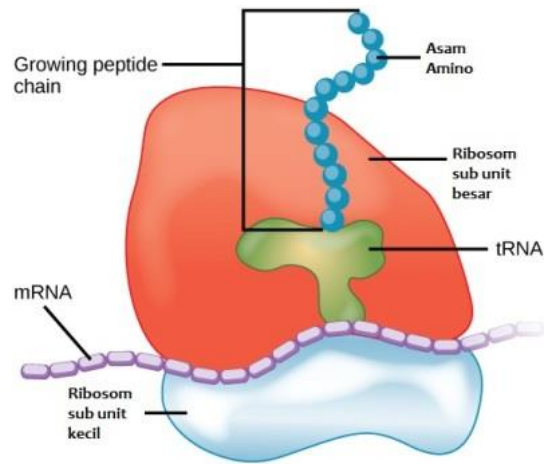
Berbeda dengan organel lainnya, sferosom terbungkus oleh membran selapis. Lebih dari 98% terdiri dari lipid, diduga sebagai tempat menyimpan lipid, ukuran bervariasi, bentuknya bulat, selalu bergerak akibat arus plasma atau gerak Brown.

7. Mikrotubula

Terdapat dalam nukleus dan plasma. Di dalam nukleus berfungsi membentuk benang spindel yang mengatur gerak kromatid pada pembelahan sel. Fungsinya dalam plasma belum jelas, diduga mengatur arah rangkaian molekul selulosa pada saat penebalan dinding.

8. Ribosom

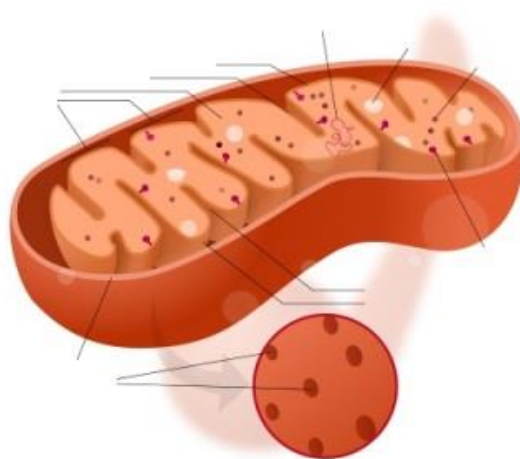
Terdiri dari protein dan ribosom RNA, bebas dalam bahan dasar atau melekat pada retikulum endoplasma. Ribosom dapat mengelompok membentuk poliribosom atau polisom. Apabila dalam bentuk polisom diprediksi sedang membentuk protein



Gambar. Ribosom

9. Mitokondria

Bentuknya seragam untuk semua sel memiliki ukuran lebih kecil dari plastida, tetapi lebih besar dari sferosom. Terbungkus membran rangkap dan berbentuk elips. Pada permukaan luarnya berlubang-lubang, sedangkan permukaan dalamnya membentuk tonjolan-tonjolan atau krista yang masuk ke dalam stroma. Jumlah krista bervariasi, semakin aktif sel mengadakan respirasi, maka semakin banyak krista dalam mitokondria. Substrat mitokondria adalah asam piruvat untuk dioksidasi menjadi CO_2 dan H_2 pada respirasi. Mitokondria terbentuk dari mitokondria yang telah ada karena mampu membuat DNA dan RNA sendiri maka sifatnya autonom.



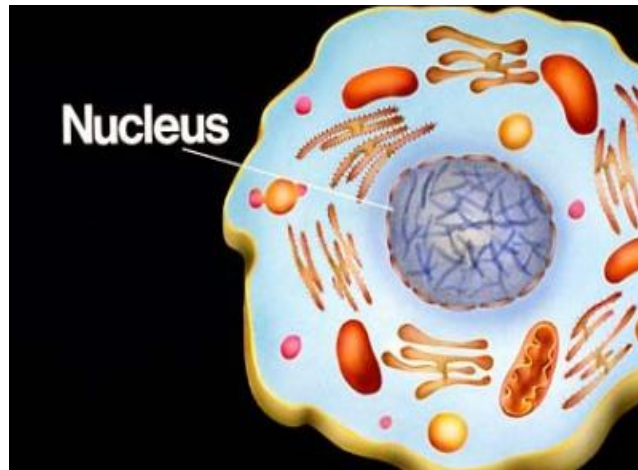
Gambar. Mitokondria

10. Plastida

Plastida adalah organel berdiameter 4–6 μ , berbentuk lensa terdapat pada semua sel tumbuhan. Plastida terbentuk dari hasil pembelahan plastida terdahulu atau sebagai hasil diferensiasi proplastida. Tergantung pada isinya, plastida dibagi menjadi kloroplas (mengandung klorofil), amiloplas (amilum) atau kromoplas (karotenoid). Semua plastida dapat saling bertukar tipe, tetapi plastida suatu sel selalu sama tipenya. Plastida tersusun oleh membran rangkap yang membungkus cairan koloid transparan yang disebut stroma. Pada stroma inilah terletak amilum (pada amiloplas sel penyusun jaringan penimbun) atau karotenoid (pada kromoplas sel penyusun bagian tubuh yang berwarna, misalnya bunga, umbi atau akar) plastida terpenting adalah kloroplas karena menjadi tempat berlangsungnya fotosintesis.

11. Nukleus dan Nukleolus

Umumnya setiap sel hanya mengandung 1 nukleus, kecuali sel buluh tapis tidak mempunyai nukleus. Bentuknya membulat, terbungkus membran nukleus, yang terdiri dari lapisan tunggal dengan banyak lubang. Plasma nukleus berbutir-butir merupakan sistem koloid, mengandung kromatin yang pada pembelahan sel berubah menjadi kromosom. Fungsi kromosom ini adalah untuk membentuk m-RNA yang mengatur sintesis protein. Di dalam plasma nukleus terdapat nukleolus yang jumlahnya setiap sel khas untuk setiap jenis. Fungsi nukleolus adalah untuk sintesis r-RNA dan ribosom. Plasma nukleus mempunyai pH di atas 7.0 karena mengandung histon protein yang lebih banyak gugus basanya.



Gambar. Nukleus

12. Vakuola

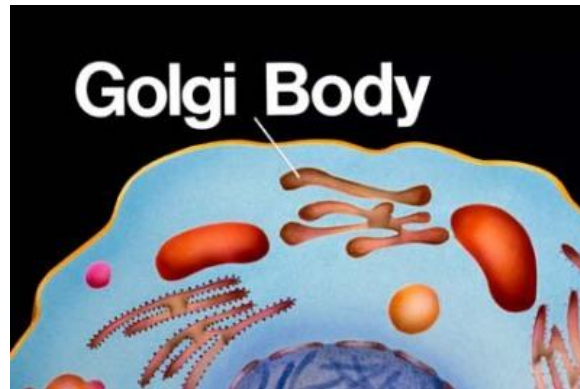
Karakteristik sel tumbuhan di samping memiliki dinding sel dan plastid, juga adanya vakuola. Bentuk dan kekakuan yang dimiliki oleh jaringan-jaringan yang hanya memiliki dinding primer (seperti pada daun dan batang muda), disebabkan oleh karena adanya air bersama zat yang terlarut di dalamnya sehingga menimbulkan tekanan di dalam vakuola. Vakuola mempunyai beberapa fungsi di antaranya berperan dalam turgiditas dan bentuk sel, sebagai tempat menyimpan dan penimbunan, sebagai lisosom, dan berperan pada homeostasis.



Gambar. Vakuola

13. Badan Golgi

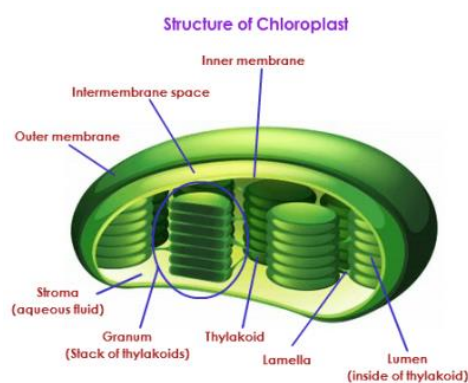
Badan Golgi merupakan organel berbentuk seperti tumpukan kue panekuk, yang berfungsi dalam membantu sintesis protein. Terdapat di sel tumbuhan dan hewan.



Gambar. Badan Golgi

14. Kloroplas

Kloroplas merupakan organel kecil berbentuk bulat yang berwarna hijau karena mengandung pigmen klorofil. Hanya terdapat di sel tumbuhan. Berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan yang menghasilkan energi dan bahan makanan tumbuhan.



Gambar. Kloroplas

c. Fungsi Sel

a. **Metabolisme** Keseluruhan reaksi kimia yang membuat makhluk hidup mampu melakukan aktivitasnya disebut metabolisme, dan sebagian besar reaksi kimia tersebut terjadi di dalam sel. Metabolisme yang terjadi di dalam sel dapat berupa reaksi katabolik, yaitu perombakan senyawa kimia untuk menghasilkan energi maupun untuk dijadikan bahan pembentukan senyawa lain, dan reaksi anabolik, yaitu reaksi penyusunan komponen sel. Salah satu proses katabolik yang merombak molekul makanan untuk menghasilkan energi di dalam sel ialah respirasi seluler, yang sebagian besar berlangsung di dalam mitokondria eukariota atau sitosol prokariota dan menghasilkan ATP. Sementara itu, contoh proses anabolik ialah sintesis protein yang berlangsung pada ribosom dan membutuhkan ATP.

b. **Komunikasi sel** Kemampuan sel untuk berkomunikasi, yaitu menerima dan mengirimkan 'sinyal' dari dan kepada sel lain, menentukan interaksi antarorganisme uniseluler serta mengatur fungsi dan perkembangan tubuh organisme multiseluler. Misalnya, bakteri berkomunikasi satu sama lain dalam proses quorum sensing (pengindraan kuorum) untuk menentukan apakah jumlah mereka sudah cukup sebelum membentuk biofilm, sementara sel-sel dalam embrio hewan berkomunikasi untuk koordinasi proses diferensiasi menjadi berbagai jenis sel.

Latihan

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut:

- 1) Jelaskan perbedaan antara sel prokariotik dengan sel eukariotik!
- 2) Sebutkan sifat-sifat kimia dan fisika sel!
- 3) Jelaskan secara rinci sifat-sifat kimia dan fisika dari sel tersebut!
- 4) Jelaskan fungsi protein dalam suatu organisme!
- 5) Gambarkan secara skematis struktur sel tumbuhan beserta bagianbagiannya!
- 6) Sebutkan lima macam bagian dari dinding sel!
- 7) Sebutkan macam-macam organel yang terdapat dalam sel tumbuhan!
- 8) Jelaskan secara rinci fungsi masing-masing organel yang terdapat dalam sel tumbuhan!
- 9) Jelaskan peran vakuola sel bagi sel tersebut!

Evaluasi

1) Komponen penyusun terbanyak dalam sel tumbuhan adalah

- A. air
- B. protein
- C. lemak
- D. karbohidrat

2) Sebuah molekul selulosa mengandung sekitar

- A. 2000 molekul α -D-glukosa
- B. 100.00 molekul α -D-glukosa
- C. 2000 molekul β -D-glukosa
- D. 6000 molekul β -D-glukosa

3) Asam piruvat merupakan contoh asam organik dengan struktur molekul asam

A. 2 karbon

B. 3 karbon

C. 4 karbon

D. 5 karbon

4) Di bawah ini merupakan contoh monosakarida, kecuali

A. eritrosa

B. sedoheptulosa

C. selobiosa

D. ribosa

5) Di bawah ini merupakan contoh garam yang terdapat dalam protoplasma, kecuali

A. NaCl

B. NaOH

C. MgCl₂

D. CaSO₄

6) Asam-asam organik tambahan yang beratomb karbon antara dua dan enam, sebagian besar dihasilkan dari siklus-siklus pada respirasi

A. aerobik

B. anaerobik

C. klimaterik

D. cahaya

7) Struktur sel pada sel yang sama, tetapi fase perkembangannya berbeda, akan menunjukkan adanya perbedaan. Secara rinci bagian sel tumbuhan yang disebut sitoplasma terdiri dari

A. dinding sel + protoplasma

B. membran plasma + mesoplasma + membran vakuola

C. elektroplasma + endoplasma

D. sitoplasma + endoplasma + elektroplasma

8) Sel tipe trakea dalam jaringan tumbuhan berfungsi untuk

A. reproduksi

B. penguat

C. pelindung

D. transpor

9) Besarnya jumlah krista pada mitokondria sangat bervariasi, tergantung aktivitas sel melakukan respirasi. Semakin banyak sel melakukan respirasi jumlah krista dalam mitokondria semakin

A. sedikit

B. banyak

C. sama saja

D. tidak normal bentuknya

10) Organel yang berfungsi menguraikan lemak menjadi karbohidrat selama dan sesudah perkecambahan biji adalah

A. glioksisom

B. diktiosom

C. peroksisom

D. ribosom

Kata Kunci

1) A

2) D

3) B

4) C

5) B

6) A

7) B

8) D

9) B

10) A

Kegiatan Pembelajaran ke - 04

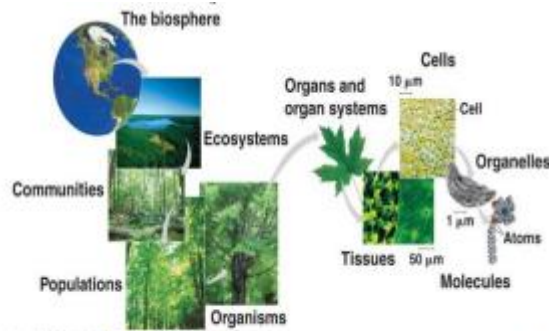
a. Tujuan Pembelajaran :

1. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan komponen penyusun sel
2. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan pengertian biosintesis tumbuhan

1. Struktur dan Perkembangan Tumbuhan

Tumbuhan adalah organisme multiseluler yang bersifat autotrof, yaitu dapat membuat makanannya sendiri sehingga berperan sebagai produsen dalam rantai makanan di ekosistem. Ilmu yang mempelajari tentang dunia tumbuhan disebut Botani. Kajian yang dipelajari dalam ilmu botani meliputi bentuk tumbuhan yang tampak dari luar (morfologi), struktur jaringan penyusun dalam tumbuhan (anatomi), klasifikasi dan kekerabatan tumbuhan (taksonomi), fungsi dan proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh tumbuhan (fisiologi), interaksi tumbuhan dengan lingkungannya (ekologi) serta kajian-kajian lain yang lebih spesifik (Rosanti, 2013).

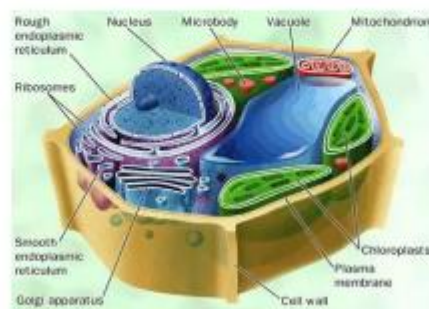
Tumbuhan merupakan organisme kompleks yang didalamnya tersusun dari sel, sekelompok sel dengan bentuk dan fungsi yang sama (hampir sama) membentuk jaringan, sekelompok jaringan akan membentuk organ, sekelompok organ membentuk sistem organ dan akhirnya membentuk organisme (individu). Sekumpulan organisme yang sama akan membentuk populasi, sekumpulan populasi membentuk komunitas dan komunitas-komunitas yang berbeda ini akan berinteraksi dengan lingkungannya dalam suatu ekosistem (Campbell et al., 2003). Berikut adalah gambar penyusun organisasi kehidupan di alam dimana tumbuhan sebagai salah satu faktor biotiknya.



Gambar 1. Penyusun Organisasi Kehidupan (Matthew, 2015)

Untuk mempelajari dunia tumbuhan biasanya dimulai dari sel-sel terlebih dahulu kemudian jaringan penyusun tubuh tumbuhan tersebut. Dalam bahasan ini akan lebih ditekankan pada struktur sel dan jaringan tumbuhan (anatomi). Sel adalah unit struktural dan fungsional terkecil pada suatu individu. Tumbuhan memiliki dinding sel yang menyebabkan struktur luarnya lebih keras dibandingkan sel hewan. Sel tumbuhan memiliki vakuola yang lebih besar daripada sel hewan, dimana salah satu fungsi vakuola ini adalah untuk menyimpan senyawa kimia yang dihasilkan oleh tumbuhan. Gambar 2 menunjukkan struktur sel tumbuhan.

Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi 2015, yang diselenggarakan oleh Prodi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang, tema: "Peran Biologi dan Pendidikan Biologi dalam Menyiapkan Generasi Unggul dan Berdaya Saing Global", Malang, 21 Maret 2015



Gambar 2. Struktur Sel Tumbuhan (Anonim, 2013)

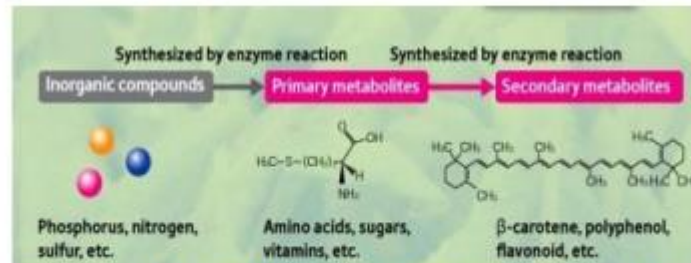
Starr et al. (2012) menjelaskan organel penyusun sel tumbuhan, yaitu dinding sel, membran sel (membran plasma), sitoplasma, mitokondria, kloroplas, inti sel (nukleus),

ribosom, retikulum endoplasma (RE), sitoskeleton, badan golgi, dan vakuola sentral. Dinding sel, kloroplas dan vakuola sentral merupakan pembeda dengan sel hewan. komponen penyusun sel tumbuhan dalam dua kelompok besar, yaitu: 1. Komponen Protoplasmik (komponen yang hidup dari sel), terdiri dari inti, mitokondria, plastida, ribosom, lisosom, retikulum endoplasma (RE), mikrotubul dan badan golgi. 2. Komponen Non-Protoplasmik (komponen yang tidak hidup dari sel), terdiri dari vakuola dan hasil metabolisme misalnya aleuron, amilum, minyak atsiri dan kristal oksalat. Komponen non-protoplasmik ini masih dibedakan antara non-protoplasmik cair dan nonprotoplasmik padat.

2. Biosintesis Senyawa Fitokimia

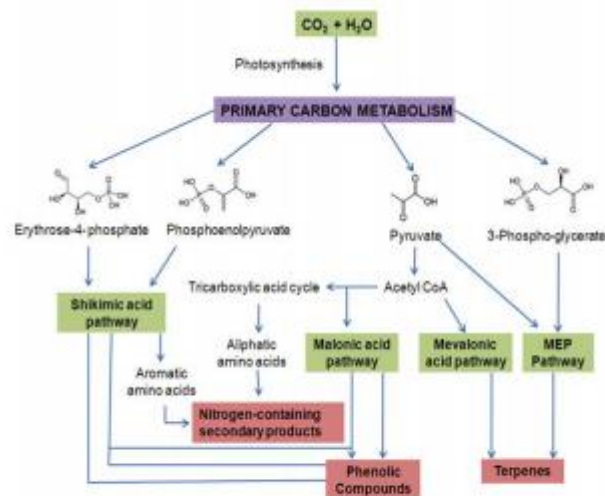
Di alam, tumbuhan hidup berinteraksi dengan lingkungannya sehingga tidak terlepas dari predator atau musuh yang mengancam keberadaannya. Di ekosistem alam hidup bakteri, jamur, virus, serangga, mamalia dan hewan herbivora lainnya. Tumbuhan tidak dapat melarikan diri dengan bergerak, sehingga mereka harus memiliki mekanisme pertahanan diri yang tepat (Dewick, 2002). Selain memiliki kutikula pada lapisan epidermisnya, tanaman menghasilkan senyawa kimia yang dikenal sebagai fitokimia (senyawa metabolit sekunder). Senyawa ini berfungsi melawan hewan herbivora dan organisme patogen. Selain sebagai mekanisme pertahanan diri, metabolit sekunder dapat berupa lignin (struktur penguat jaringan), pigmen warna (misalnya antosianin pada bunga), sebagai senyawa antioksidan, penghasil minyak atsiri untuk wewangian dan sebagainya (Taiz & Zeiger, 2006). Gambar berikut menjelaskan

bahwa metabolit sekunder dibentuk dari sekumpulan senyawa anorganik penyusun metabolit primer.



Gambar 7. Pembentukan Metabolit Sekunder dari Senyawa Anorganik dan Metabolit Primer (Anonim, 2015)

Dari gambar 7. diatas dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa senyawa β-karoten, polifenol, dan flavonoid berasal dari beberapa jalur metabolisme. CO₂ dan H₂O merupakan komponen penting dalam proses fotosintesis, sehingga dihasilkan glukosa sebagai substrat metabolit sekunder. Taiz & Zeiger (2006) menjabarkan diagram pembentukan metabolit sekunder melalui berbagai macam jalur biosintesis, dimana terlihat jalur asam sikimat (shikimic-acid pathway), jalur asam malonat (malonic-acid pathway) dan jalur asam mevalonat (mevalonic-acid pathway).



Gambar 8. Jalur Biosintesis Senyawa Metabolit Sekunder (Taiz & Zeiger, 2006)

Jalur biosintesis asam sikimat dan asam malonat melibatkan asam amino aromatik, asam amino alifatik dan fenilpropanoid, dimana hasil akhirnya berupa lignin, flavonoid, isoflavonoid dan senyawa antioksidan. Untuk jalur biosintesis asam mevalonat, akan dibentuk senyawa golongan terpenoid, steroid dan saponin. Dewick (2002) menambahkan jalur biosintesis alkaloid yang mengandung struktur nitrogen pembentuk asam amino. Sebagai contoh adanya kandungan fitokimia pada tumbuhan, Valluri (2009) dalam percobaannya menemukan struktur kimia vinblastine dan vincristine pada tumbuhan tapak dara (*Catharanthus roseus*). Kedua senyawa ini termasuk dalam golongan metabolit sekunder alkaloid dan berpotensi sebagai obat antikanker.

Latihan:

Mahasiswa diperkenalkan macam-macam komponen penyusun sel.

Evaluasi:

1. Jelaskan pembagian komponen penyusun sel!
2. Jelaskan perbedaan jalur biosintesis asam sikimat dan asam malonat dengan jalur biosintesis asam mevalonat!

Jawaban:

1. komponen penyusun sel tumbuhan dalam dua kelompok besar, yaitu: 1. Komponen Protoplasmik (komponen yang hidup dari sel), terdiri dari inti, mitokondria, plastida, ribosom, lisosom, retikulum endoplasma (RE), mikrotubul dan badan golgi. 2. Komponen Non-Protoplasmik (komponen yang tidak hidup dari sel), terdiri dari vakuola dan hasil metabolisme misalnya aleuron, amilum, minyak atsiri dan kristal oksalat. Komponen non-protoplasmik ini masih dibedakan antara non-protoplasmik cair dan nonprotoplasmik padat.

2. Jalur biosintesis asam sikimat dan asam malonat melibatkan asam amino aromatik, asam amino alifatik dan fenilpropanoid, dimana hasil akhirnya berupa lignin, flavonoid, isoflavonoid dan senyawa antioksidan. Untuk jalur biosintesis asam mevalonat, akan dibentuk senyawa golongan terpenoid, steroid dan saponin. Jalur biosintesis alkaloid yang mengandung struktur nitrogen pembentuk asam amino

Kegiatan Pembelajaran ke – 05

Hara Mineral

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai dan menjelaskan pembagian hara pada tumbuhan tinggi
2. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai dan menjelaskan kelompok hara makro dan mikro
3. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai dan menjelaskan batasan hara esensial
4. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai dan menjelaskan pesanan unsur hara
5. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai dan menjelaskan tentang defisiensi hara

b. Materi Pembelajaran

1. Pembagian hara pada tumbuhan

Pembagian hara pada tumbuhan tingkat tinggi sebagai berikut :

		1	
		C H O	
	K		N
2	Ca		P 3
	Mg	4	S
		B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn	

1. Kelompok 1, C,H,O bukan mineral diambil tumbuhan dalam bentuk CO₂ melalui stomat daun, H₂O → diambil akar dari dalam tanah
2. Kelompok 2, K, Ca, Mg, terdapat dalam tanah sebagai K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ diambil sebagai kation

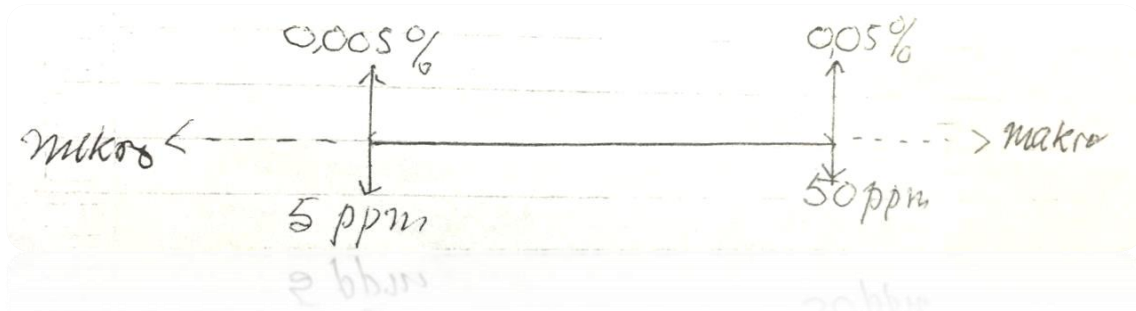
3. Kelompok 3, N, P, S, diambil tanaman dalam bentuk NO_3^- , H_2PO_4 , SO_2^- (bentuk anion)
4. Kelompok 4, diabsorpsi dalam tanah sebagai $\text{B}_3\text{O}_3^{-3}$, Cl^- , Ca^{++} , Fe^{++} atau Fe^{+++} , Mn^{++} , M_6O_4^- dan Zn^{++} (dalam bentuk kation dan anion) kelompok trace elemen (mikro)

2. Pengertian hara Makro dan Mikro

Makro (mayor) elemen, makro elemen definisi lama menyatakan sebagai berikut. Unsur makro yaitu unsur yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak dan mikro dalam jumlah sedikit

Batasan yang demikian ukurannya sangat relatif karena banyak atau sedikit itu berapa ?

Oleh karena itu batasan ini sudah diubah oleh ahli – ahli fisiologi dari Amerika dengan menyatakan batasan kuantitatif sebagai berikut :



Unsur makro dimaksimalkan unsur yang terdapat dalam jaringan tanaman satu atau lebih besar ($>0,05\%$) sedangkan unsur mikronya ($<0,005\%$) kita dapat lihat skala berikut.

Dengan analisis jaringan tanaman kita dapat menentukan apakah semacam unsur makro dan mikro hanya beberapa jenis tanaman saja yang menyimpang dari ketentuan diatas misalnya Tumbuhan sedum Lanceolatum dapat mengakumulasi Au (emas) lebih besar dari 0,05% (50 ppm) dari kelompok hara diatas kelompok (1) (2) dan (3) termasuk makro dan kelompok (4) mikro

3. Esensialitas Hara

Arnon , D.I dan Stoud P.R dari Kentucky University mengusulkan kriteria esensialitas suatu

unsur atau elemen sbb. :

- a. Elemen atau unsur itu mesti esensial (perlu) untuk pertumbuhan atau pun juga untuk reproduksi dan tanpa elemen tersebut pertumbuhan dan produksi tidak berjalan.
- b. Element tersebut tidak dapat diganti dengan element lain
- c. Keperluan element itu langsung dan tidak disebabkan oleh pengaruh tidak langsung seperti keracunan atau penyakit lain
 1. Misalnya N untuk tanaman padi bila kurang N pertumbuhan terganggu maka N dikatakan esensial
 2. Kita lihat tanaman padi kekurangan unsur N kita tambahkan Mo gejala N hilang. N bukan esensial
 3. Kekurangan unsur N gejalanya tanaman khlorosis daun menguning, suatu tanaman daunnya kuning kita periksa ternyata akarnya dirusak oleh serangga ataupun hama (pengaruh tidak langsung)

4. Peranan Unsur Hara

Peranan unsur hara dikemukakan oleh Bidwell (Plant Physiology, 1974) bahwa ada 3 peranan utama pada tumbuhan :

- a. Elektro kimia termasuk,
 - a. Keseimbangan atau konsentrasi ion – ion
 - b. Menstabilkan makro molekul
 - c. Mempertahankan kestabilkan koloid
 - d. Menetralkan muatan
- b. Struktural termasuk,
 - a. Penyusun kimia struktur
 - b. Penyusun biologis komponen
 - c. Pembentuk struktur polimer seperti Ca dalam pektin, P dalam Fosfolipid
- c. Sebagai katalis,

- a. Membantu kegiatan enzim
- b. Mendekatkan enzim ke substrat (terutama unsur mikro/ trace element)

Kadangkala kategori- kategori tersebut dapat overlapping atau bertindihan seperti :

Mg - untuk membentuk mol khlorofil (struktural)

- penting untuk katalis dan membutuhkan Mg untuk bekerja

5. Kekurangan Unsur Hara

kekurangan unsur hara atau defisiensi hara dapat menimbulkan penyakit fisiologis

Gejala kekurangan hara dapat dipakai untuk indikasi keadaan kesuburan tanah

Guna mengenal gejala kekurangan hara di buat orang percobaan yang dikenal dengan one minus test percobaan itu dibuat sbb. :

Misalnya kita ingin mengetahui tanda tanda kekurangan N,P,K, Ca, Mg, Fe, Mn dan Cl

Misalkan dibuat 8 pot percobaan, seragam tanah dan tanaman

Pot ke - 1 diberi semua unsur

2 tidak diberi unsur N

3 tidak diberi unsur P dst.

8 tidak diberi unsur Cl

Pot ke 2 dapat dilihat tanda – tanda kekurangan N dan seterusnya sampai pot terakhir

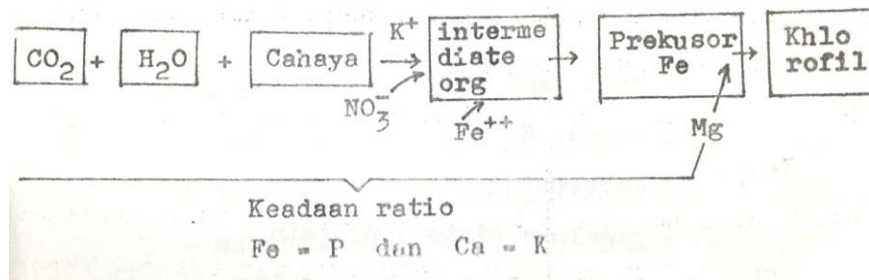
Gejala kekurangan unsur yang sama tidak sama untuk bermacam jenis tanaman, sebaliknya gejala yang sama mungkin disebabkan oleh sebab yang berbeda

misalnya klorosis menggambarkan : kurang khlorofil atau tidak ada khlorofil

Akan tetapi khlorofil dapat disebabkan oleh unsur berikut kurang atau lebih yaitu : N, P, K, Mg, Fe, Ca, S, CO₂, H₂O atau cahaya

Jadi khlorofil dapat terjadi bila hampir semua unsur makro kurang. Sedangkan khlorofil hanya mengandung C₅₅H₇₂O₅ N₄ Mg

Bagan kemungkinan terjadinya khlorosis sbb :



Gambar 14. Bagan Kemungkinan Terjadinya Khlorosis

Jadi penyebab khlorosis bisa disebabkan oleh sekitar 20 faktor – faktor.

Contoh : kekurangan cahaya khlorosis, kelebihan cahaya juga khlorosis dst.

c. Latihan

Melakukan Mini riset, mahasiswa ditugaskan menanam biji jagung di pot yang ditempatkan

dilokasi terang dan gelap. Bandingkan kedua tanaman tersebut.

d. Evaluasi

1. tuliskan unsur hara yang diambil dalam bentuk kation dan Anion
Kunci : kation (K, Ca dan Mg) Anion (N, P dan S)
2. Tuliskan pengertian hara makro dan mikro secara kuantitatif
Kunci : Makro > 0,05% dan mikro < 0,005%
3. Senyawa apa yang dihasilkan dari peristiwa glikolisis
Kunci : Asam pyruvat
4. Untuk lancarnya jalan siklus krebs senyawa apa yang harus ada terus menerus
Kunci : Asam oxalo asetat
5. Bila dalam sel siklus krebs di blok apa yang terjadi
Kunci : Sel kekurangan Oksigen

Kegiatan Pembelajaran ke - 06

Tanah Sebagai Substrat

a. Tujuan Pembelajaran

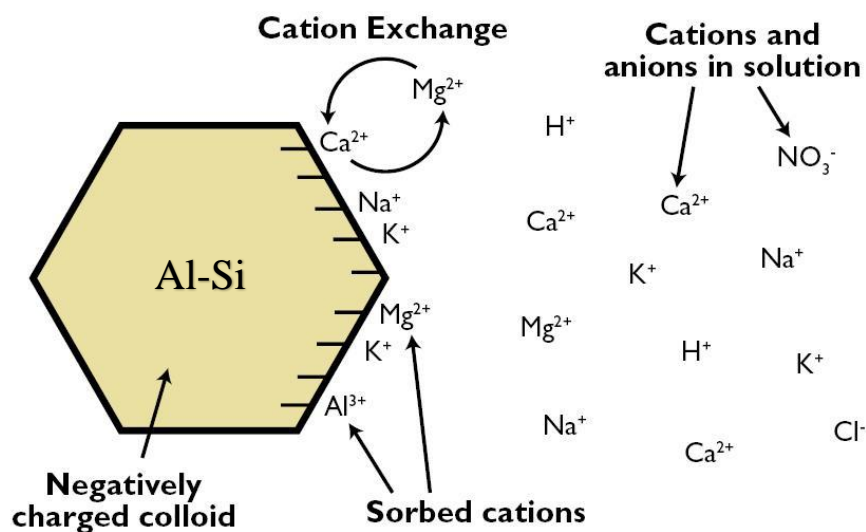
1. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan kepentingan tanah sebagai tempat tumbuh tanaman
2. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan dimana kedudukan hara pada partikel tanah
3. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan arti pertukaran ion
4. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan pergerakan unsur hara di tanah

b. Materi Pembelajaran

Tanah merupakan koloid yang terdiri atas micelles liat. Bahan organik merupakan bahan penyusun yang penting dalam koloid tanah

Partikel liat terdiri atas alumino silikat yang dalam status koloid merupakan kristal Micelles bermuatan negatif dan kation seperti :

Ca^{++} , K^{+} , Na^{+} dan H^{+} menempel pada permukaan liat



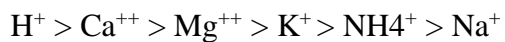
Gambar 14. Permukaan Liat

Partikel liat merupakan sumber unsur hara (liat tidak menghasilkan hara)

3. Pertukaran Ion

Pada partikel Liat kation Ca^{++} merupakan kation yang dapat dipertukarkan. Pertukaran terjadi pada ion H^+ . Artinya seklali Ca^{++} dapat dipertukarkan 2H^+ pada partikel liat ion H^+ paling mudah diganti dengan Ca^{++} bila Ca^{++} kadarnya tinggi tanah bersifat basa dan bila H^+ yang banyak bersifat asam.

Setiap kation mempunyai kapasitas ataupun kekuatan dan urutannya sbb :



Artinya H^+ dapat dipertukarkan dengan Ca^{++}

Ca^{++} dapat dipertukarkan dengan Mg^{++} dst.

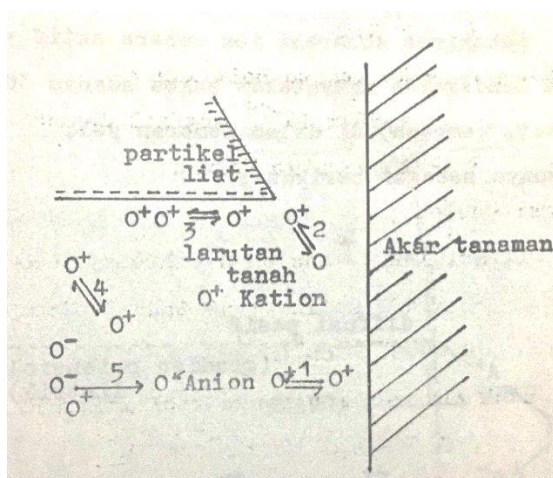
dpl. H^+ tidak dapat dipertukarkan dengan Mg^+ tanda $>$ menyatakan bahwa H^+ lebih kuat terdapat Ca^{++} dst.

Anion yang terpenting terdapat dalam tanah ialah NO_3^- , SO_4^- , HCO_3^- , H_2PO_4^- dan CH^- kebanyakan mudah tercuci artinya mudah berpindah dari lapisan atas tanah ke bagian bawah dan akhirnya keparit sampai ke laut, H_2PO_4^- pengecualian sulit tercuci.

4. Pergerakan Unsur Hara

Gerakan unsur hara mendekati akar ada beberapa cara yaitu secara difusi dan aliran massa difusi dibedakan :

- Difusi dalam larutan
- Difusi dari partikel liat
- Difusi pada permulaan partikel liat
- Difusi dari konsentrasi tinggi ke rendah



Gambar 15. Diffusi dan Aliran Massa

Istilah interception (intersepsi) dimaksudkan sbb. Akar tanaman dalam tanah menempati ruang sebesar lebih kurang 1% dari seluruh ruangan yang ditempati tanah. Akar akan mengabsorpsi unsur hara sebesar dari jumlah volume ini.

c. Latihan

Mahasiswa dibagi menjadi beberapa kelompok untuk mendiskusikan materi perkuliahan

d. Evaluasi

1. Bahan yang penting dalam penyusun koloid tanah adalah...

Kunci : Bahan organik

2. Tuliskan kation penentu sifat basah tanah

Kunci : Ca^{++}

3. Tuliskan satu penentu sifat asam tanah

Kunci : H^+

4. Tuliskan anion dalam tanah yang sulit tercuci

Kunci : H_2CO_4^-

5. Kation dan anion dalam tanah dapat mendekati akar dengan cara apa

Kunci : Aliran massa

Kegiatan Pembelajaran ke - 07

Cara Unsur Hara Masuk ke dalam Akar

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan mampu dan mengerti bagaimana cara unsur hara masuk ke dalam akar tanaman.
2. Mahasiswa diharapkan mampu dan mengerti bahwa banyak sekali teori yang menjelaskan bagaimana unsur hara masuk ke dalam akar tanaman

b. Materi Pembelajaran

Banyak sekali teori-teori yang menjelaskan bagaimana hara dari dalam tanah masuk ke

dalam akar tidak kurang sekitar 40 atau lebih teori yang menjelaskan hal demikian. Pada

prinsipnya teori-teori yang mendasar berpegang pada teori osmose

Dalam hal ini di jelaskan bahwa vacuola sel tumbuhan menandung gula dan metabolit

lainnya. Dengan sendirinya konsentrasi garam di vacuola sel lebih tinggi dari pada konsentrasi di media tempat tumbuh (larutan tanah)

Jika membran sel akar permeabel sempurna maka pergerakan unsur hara melalui difusi

cenderung bergerak dari sel akar ke larutan tanah yang konsentrasinya lebih rendah

Kenyataannya membran sel sifatnya semi permeabel sehingga proses osmose lebih cenderung

terjadi dari pada difusi

1. Absorpsi ion oleh akar

Menurut Tisdale dan Nelson 1975, terdapat beberapa mekanisme absorpsi ion oleh akar tanaman yaitu :

- a. Melalui pertukaran ion
- b. Melalui senyawa pembawa (carrier)
 - a) Kation ada pada koloid, kation yang diserap oleh akar akan diganti dengan kation lain yaitu H^+ (dari dalam akar). Misalnya diambil Ca^{++} nanti akar membebaskan $2H^+$ kelarutan tanah.
 - b) Dengan senyawa carrier

Setiap terjadi absorpsi ion kedalam akar menggunakan energi dari hasil respirasi

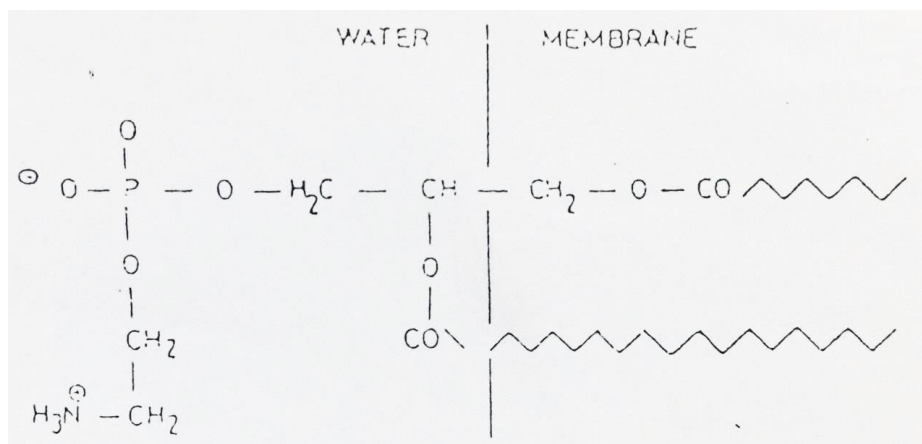
2. Absopsi hara dengan carrier

Dari sekian banyak teori – teori tentang absopsi hara, teori carrier berkembang dari cara sederhana sampai yang dianut oleh ahli – ahli fisiologi modern untuk ini kita harus mengenal sifat membran sel.

a. Sifat membran sel

Terdiri atas molekul protein dan lipid


- a) Tebal membrane kurang lebih 7-10 nm
- b) Pada lipid terdapat gliserol dengan 3 C (sebagai tulang pinggang)
- c) Pada dua dan tiga atom C teresterifikasi asam lemak dengan asam lemak 16-18 atom C
- d) Sifat asam lemak hidrophobic (benci air), dan gliserol dengan atom O nya bersifat hidrophilic (menarik air)
- e) Pada semua membran, bagian lipid bersifat hidrofilik, akan terikat pada molekul air dan akan berada pada kedua sisi permukaan membran, sedangkan asam lemak akan terdorong ke bagian internal dari membran (Gambar 16)
- f) Protein membrane ada 3 macam :
 - a. Protein katalik (kebanyakan enzim yang menguji hidrolisis ATP menjadi ADP dan H_3PO_4), enzim ATP ase.
 - b. Protein pembawa pengangkut (carrier) fungsi pengangkut ion lewat membran
 - c. Protein struktural tidak seperti (a/b)



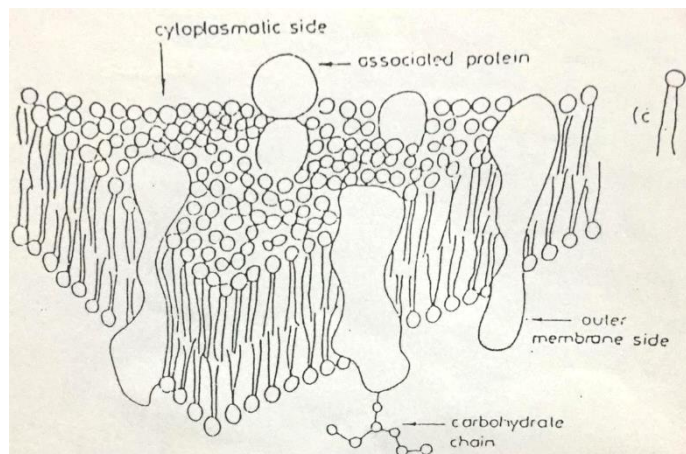
Gambar 16. Kedudukan Membran Biologis

Pengertian yang dikemukakan oleh Singer (1972) bahwa membran biologis terdiri atas molekul amphiphilic. Istilah amphiphilic menyatakan adanya 2 bagian yaitu :

- a. Hidrophilic dengan adanya OH, NH₂, Fosfat, Karboksil
- b. Hydrophobic, dengan adanya rantai karbon didalam membran

Pada gambar di atas terlihat dua ujung (ekor) lipid rantai hidrokarbon ( dan satu kepala yang hidrophilik yaitu fosfat dan amino kompleks, bagian dari molekul yang hidroiphilic juga dapat membawa ion yang bermuatan positif dan negatif, dibawah pengaruh pH tertentu secara fisiologis. Lipid berada membrane biologis, berfungsi sebagai barrier.

Guna mencegah berdifusinya larutan yang bersifat hydrophilic, seperti ion organik, asam amino dan gula keluar dari membran

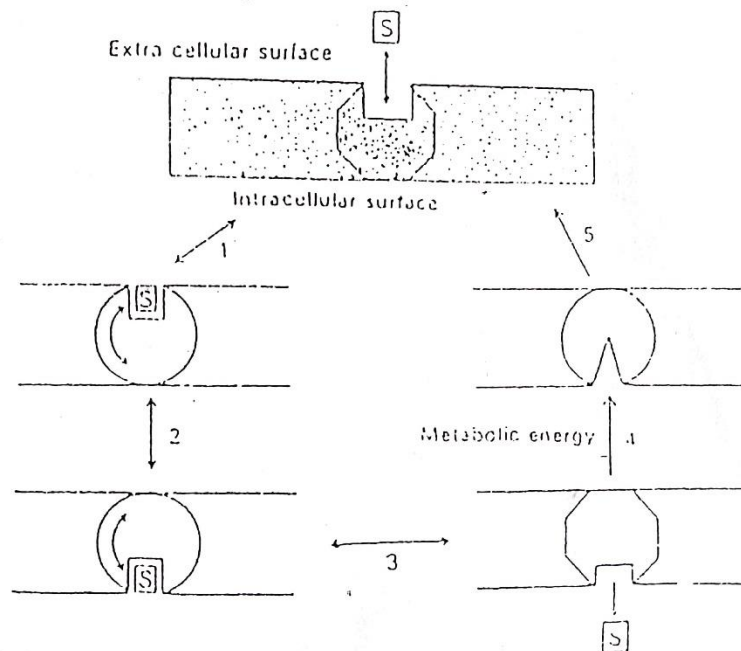


Gambar 17. Membran dengan Dua Lapis dengan Protein Carrier

Protein tidak hanya berfungsi sebagai penyusun struktural, tetapi sering kali mengandung protein yang bertanggung jawab terhadap reaksi-reaksi kimia. Protein menjulur melewati membrane membentuk protein channel (terusan protein) dari satu sisi ke sisi lain. Terusan ini sangat penting sekali untuk masuknya partikel-partikel kecil seperti molekul air dan bahan ion anorganik (Walker 1976) dalam Mengel dan Kirby.

3.1. Macam – macam teori Carrier

- a. Teori Carrier menurut Fox (1972) teori ini menjelaskan bahwa carrier adalah suatu protein yang dilengkapi dengan pintu yang berputar dengan cara kerja sbb. :
1. Protein carrier menangkap zat yang ada diluar membran dan mengangkut ke dalam
 2. Bentuk protein carrier seperti hexagonal (sifat immobile)
 3. Bentuk b (immobil) dapat berubah, menjadi bulat (mobil) bila mengangkut zat hara
 4. Pintu dapat berputar kearah dalam
 5. Carrier berputar kembali dan membentuk hexagonal lagi
 6. Proses ini memerlukan energi ATP

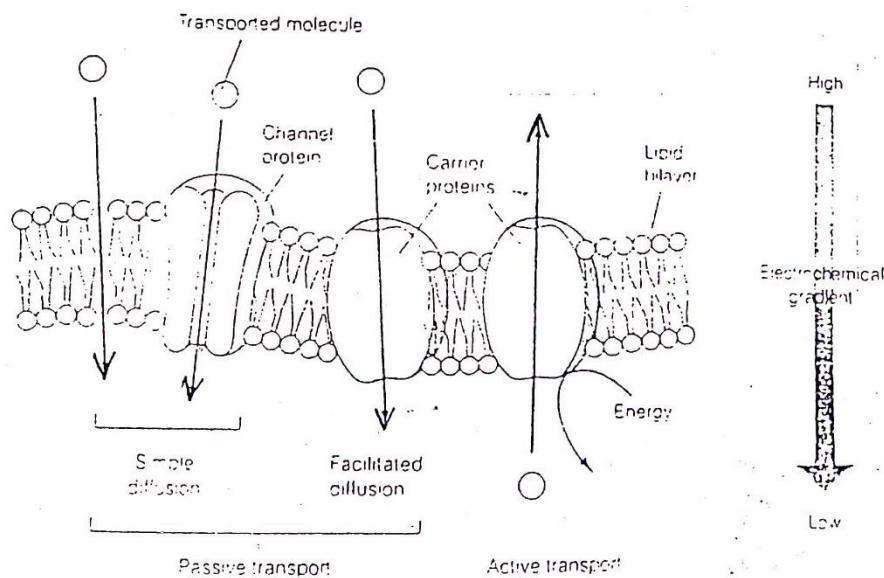


Gambar 18. Mekanisme Protein Carrier dengan Sifatnya

3.2. Transport Aktif, Pasif dan Carrier

Ada dua tipe khusus protein membran yang dapat membantu transportasi melewati membran

- Protein Channel (terowongan) bekerja sebagai pori membran dan dengan secara khusus ditentukan oleh sifat - sifat primer dan biofisik channel
- Protein carrier bekerja mengikat molekul yang ditransportasikan dari satu sisi membran ke sisi lain
- Transport secara pasif terjadi melewati channel dan carrier sebagai media yang membantu terjadi difusi dengan tidak memerlukan energi metabolisme
- Transport aktif melalui carrier dengan menggunakan energi biasanya dari hidrolisis ATP

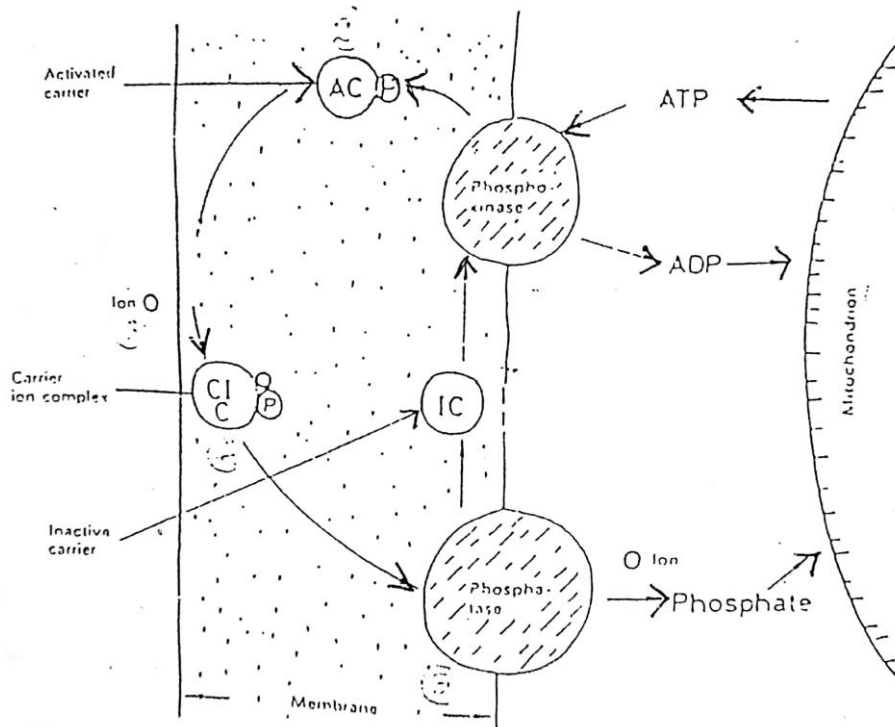


Gambar 19. Transport Aktif, Pasif dan Carrier

3.4. Transport Ion dengan Carrier melewati membran mekanismenya sbb. :

- Di luar membran dijumpai bermacam - macam ion yang mempunyai daya gabung
- Ion bergabung dengan carrier yang sudah diaktifkan oleh fosfat (HC-P) dan akhirnya membentuk kompleks ion Carrier
- Kompleks carrier Ion, berdifusi melewati membran dengan energi fosfat dan menempatkan diri pada bagian dalam membran sebagai fosfatase
- Enzim fosfat, memisahkan fosfat dari kompleks carier menjadi carrier tidak aktif (IC)

- e. Dengan proses ini carrier kehilangan daya gabung dengan ion dan membebaskannya kedalam medium yang berdekatan (kedalam sitoplasma).

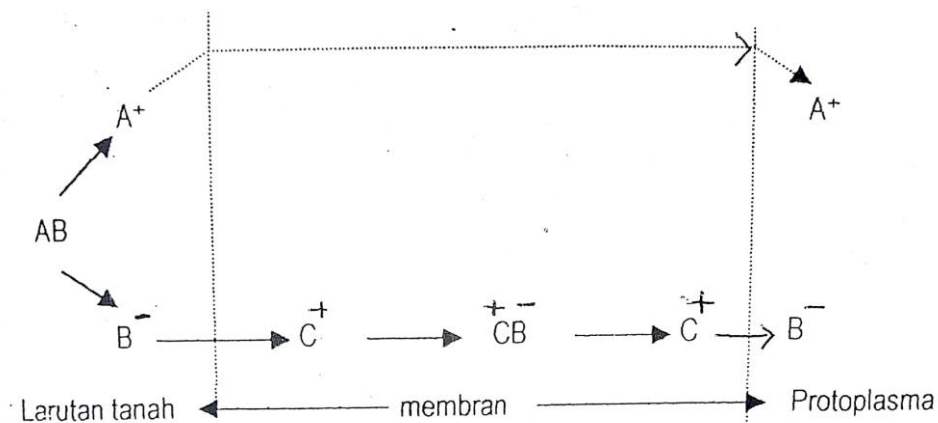


Gambar 20. Transport Ion dengan Carrier Melewati Membran

3.5. Teori Carrier Menurut Lundegard

Lundegard 1932, banyak memberikan ide-ide tentang teori carrier. Pada akhirnya sekarang para ahli lebih banyak cenderung mengikuti teori ini. pada prinsipnya dijelaskan sbb. :

Teori carrier secara sederhana dijelaskan pada bagan sebagai berikut :

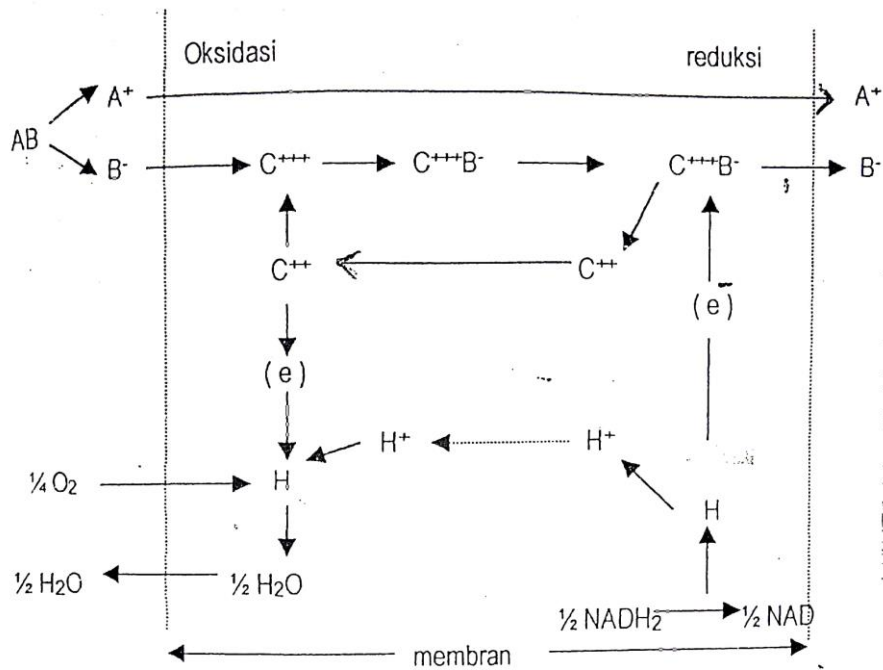


Gambar 21. Absorpsi Ion Menurut Lundegardh

1. Garam hipotesis AB dilarutkan tanah terionisasi menjadi A^+ dan B^-
2. Anion B^- akan bergabung dengan carrier C^+ pada permukaan membran membentuk kompleks anion carrier.
3. Komplek anion carrier akan menyeberangi membran, kemudian ion dilepaskan dan carrier C^+ akan kembali kesemula.

Kejadian tersebut, berulang terus menerus. Kenapa anion dapat dilepaskan ke dalam isi sel dan apa hubungannya dengan respirasi ? Teori ini menjelaskan bahwa carrier dapat disamakan sebagai metal yang valensinya dapat berubah - ubah yaitu belum teroksidasi C^{++} dan teroksidasi C^{+++} .

Carrier yang teroksidir mempunyai potensial listrik yang tinggi dan mempunyai daya gabung terhadap anion yang ada di luar membran. Komplek anion carrier akan direduksi oleh elektron dari $NADH_2$ dan terlepaslah anion melewati membran.



Gambar 22. Teori Carrier Secara Lengkap

Pada organisme yang aerobik, respirasi berhubungan langsung dengan pengambilan ion. Hopkins (1956) telah menunjukkan bahwa tersedianya O_2 yang cukup, sangat penting untuk pengambilan P oleh akar tanaman barley. Hal ini juga sama keadaannya pada tanaman lain.

Pengambilan hara juga akan bertambah secara simultan dengan bertambahnya kandungan karbohidrat, karena karbohidrat akan digunakan sebagai sumber energi dalam pengambilan ion. Fungsi utama dari fisiologi respirasi adalah pada sintesis ATP dari ADP dan fosfat anorganik. Semua proses biokimia memerlukan energi, termasuk sintesis molekul- molekul, pengambilan dan transport hara, pada berbagai spesies, tergantung kepada ketersediaan ATP atau senyawa yang serupa ATP terdiri atas adenine (basa N), ribosa (pentosa) dan 3 group fosfat.

Group fosfat terikat satu dengan yang lain dengan energi pengikat yang ditandai dengan symbol (\sim) ikatan berenergi tinggi akan dibebaskan selama hidrolisis sekitar \pm 32 KJ/molekul.

c. Latihan

Mahasiswa dilatih dengan membiasakan membaca reaksi-reaksi ion

d. Evaluasi

1. Apa yang menyebabkan hara dalam tanah dapat masuk kedalam akar

Kunci : Konsentrasi kation dalam akar lebih tinggi

2. Kenapa setiap pengambilan Ca^{++} oleh akar akan dibebaskan dua kation hydrogen

Kunci : Untuk menyamakan system pertukaran

3. Pada membran sel yang sangat penting dalam absorpsi ini adalah

Kunci : Protein

4. Apa peranan fosfat (P) dalam absorpsi hara

Kunci : Untuk mengaktifkan carrier

5. Dari segi kimia apa artinya H^+

Kunci : H yang kehilangan satu elektron

Kegiatan Pembelajaran ke - 08

Fotosintesis I

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan mampu mengenal peristiwa alam dalam tubuh tanaman yaitu fotosintesis
2. Mahasiswa diharapkan mampu mengenal pentingnya fotosintesis dalam mendukung kehijauan di alam
3. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi fotosintesis
4. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan reaksi-reaksi fotosintesis

b. Materi Pembelajaran

Fotosintesis adalah peristiwa alam yang terjadi pada tubuh tanaman hijau dimana senyawa anorganik berupa H_2O dari tanah dan CO_2 (dari udara) dengan bantuan cahaya dan klorofil menghasilkan senyawa organik dan Oksigen :

Air (H_2O) diambil tanaman dari dalam tanah melalui absorpsi akar dan CO_2 diambil di udara melalui stomata daun. CO_2 udara mengandung 0,03% (300 ppm) dan sangat kecil, tetapi luas alam atmosfer tumbuhan tidak pernah kekurangan CO_2 .

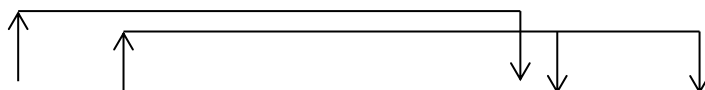
Cahaya di alam ini bersumber dari matahari namun cahaya lain juga dapat melangsungkan kegiatan fotosintesis. Cahaya matahari yang di manfaatkan untuk fotosintesis hanya sekitar 1-2 % (sangat sedikit).

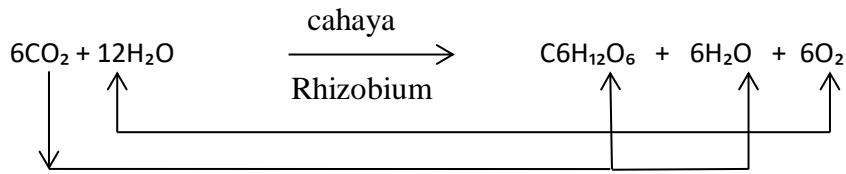
Klorofil ada pada semua tanaman hijau. Hasil penelitian menyatakan bahwa klorofil yang penting adalah α , β dan karotenoid, kenyataan semua tanaman spermatophyta mengandung komponen tersebut.

Produk fotosintesis adalah senyawa organik karbohidrat (glukosa) dan hasil sampingan adalah oksigen. Hasil sampingan ini sangat diperlukan bagi kehidupan manusia.

Fotosintesis sangat penting dan mendukung kehidupan di alam sebagai sumber bahan makanan, gas, batu bara, minyak bumi, pakaian dan semua kepentingan kehidupan manusia. Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi fotosintesis yaitu : a) faktor luar (air, CO_2 , suhu dan energi). b) faktor dalam (pigmen, enzim dan tingkat organisasi tumbuhan).

Reaksi kesimpulan fotosintesis sbb. :

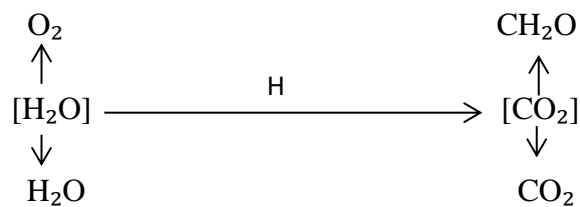




Inilah reaksi seimbang fotosintesis, dimana jelas sumber oksigen dari pemecahan molekul H₂O. Reaksi tersebut bukan berjalan langsung tetapi melalui tahap demi tahap yang secara sederhana dijelaskan oleh Blackman bahwa reaksi fotosintesis mencakup 2 tahap reaksi :

1. Reaksi fisika mengenai absorpsi energi radiasi matahari (pemecahan molekul air) terjadi di grana
2. Reaksi kimia atau reaksi pengikatan CO₂ menjadi karbohidrat terjadi di stroma - klorofil

Ringkasan reaksi tersebut sbb. :



Reaksi pemecahan mol H₂O,

Reaksi kimia/reaksi gelap/

reaksi cahaya, / reaksi terang/
CO₂

reaksi pengikatan CO₂/ reaksi fiksasi

reaksi fisika

Tanda [] menyatakan senyawa awal

c. Latihan

Mahasiswa dilatih membuat reaksi sederhana fotosintesis secara cermat, mana bahan dasar

dan mana produknya

d. Evaluasi

1. Tuliskan produk utama fotosintesis
Kunci : karbohidrat (glukosa)
2. Apa gunanya karbohidrat (glukosa) sebagai makanan manusia
Kunci : sumber energi
3. Apa sebenarnya produk pertanian itu
Kunci : energi matahari
4. Darimana sumber oksigen pada fotosintesis
Kunci : pemecahan molekul H_2O
5. Reaksi fotosintesis dibagi dua tahap , tuliskan tahap tersebut
Kunci : tahap 1. Pemecahan molekul H_2O
2. Pengikatan CO_2 di udara

Kegiatan Pembelajaran ke - 09

Fotosintesis II

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai reaksi-reaksi lanjutan fotosintesis
2. Mahasiswa diharapkan mampu membedakan produk awal fotosintesis C_3 , C_4 dan CAM
3. Mahasiswa diharapkan mampu membedakan tumbuhan C_3 , C_4 dan CAM

b. Materi Pembelajaran

Reaksi pemecahan molekul H_2O terjadi di garis yang produksinya menghasilkan O_2 . Reaksi ini terdiri atas dua tahapan yaitu :

Tahap 1 - dikenal dengan istilah fotosistem absorpsi cahaya pada panjang Gelombang 700 nm.

tidak melibatkan proses pelepasan O_2 . Fotosistem ini merupakan partikel terdiri atas 200 mol, klorofil x 50, klorofil β , 50-200 pigmen karotenoid dari 1 mol pencetus energi matahari (P700)

Tahap 2 – dikenal dengan fotosintesis II, Fotosintesis II mirip dengan Fotosintesis I berpedaannya

Hanya molekul energi matahari, yaitu P 680

Kedua fotosintesis tersebut dirangkai dalam bentuk skema 2 (zig-zag part Transport elektron non siklus pada tumbuhan hijau yang ditemukan pada gambar berikut

Arti singkatan :

P 700 : Pigmen 700

FSI : Fotosistem I

P₄₃₀ : Pigmen 430

FRS : Ferredoxin reducing substan

Fd : Ferredoxin

FR : Ferredoxin reductase

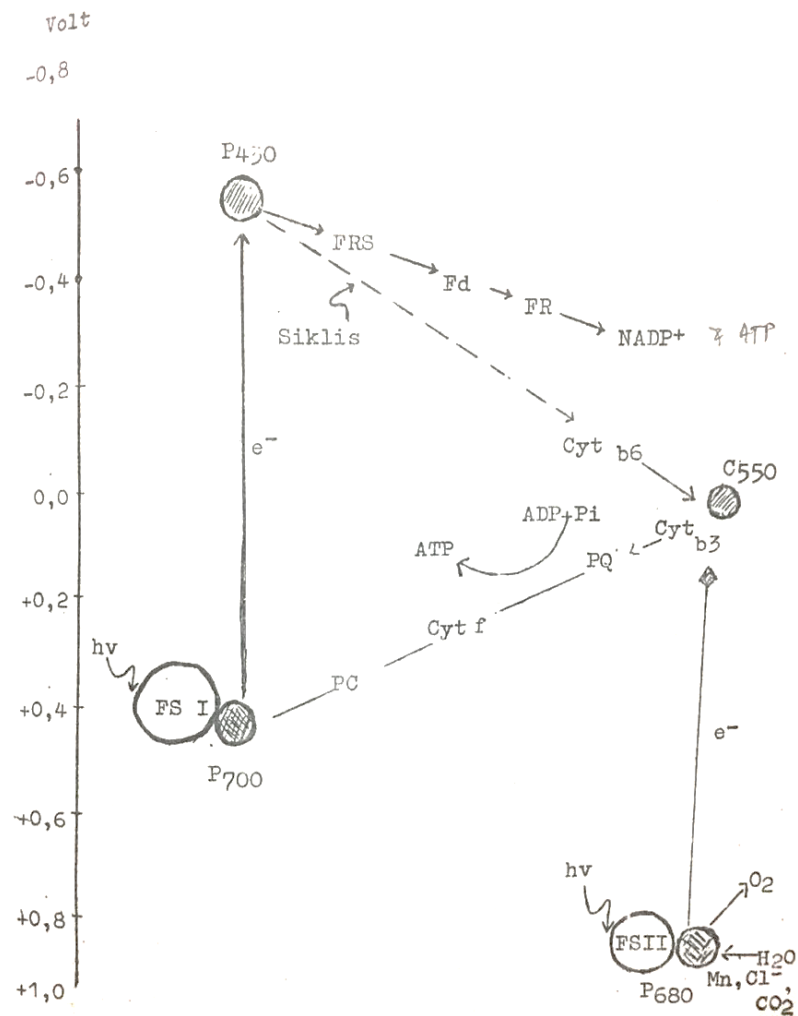
NADP : Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate

PC : Plastocyanin

C : Cytochrom (cyt)

P : Pytochrom

PQ : Plastoquinon



Gambar 23. Skema Z (Zig – zag), Transport Elektronik non Siklis pada Tumbuhan

Hijau

Keterangan gambar sbb. :

Garis vertical sebelah kiri menyatakan besarnya potensial listrik (lihat FSI $\pm 0,4$ volt, C $550 \pm 0,0$ keatas, kegaris, kebawah positif)

P 700 – menyerup energi ($h\nu$) akan melepaskan elektron yang di tangkap oleh P₄₃₀ – dan seterusnya

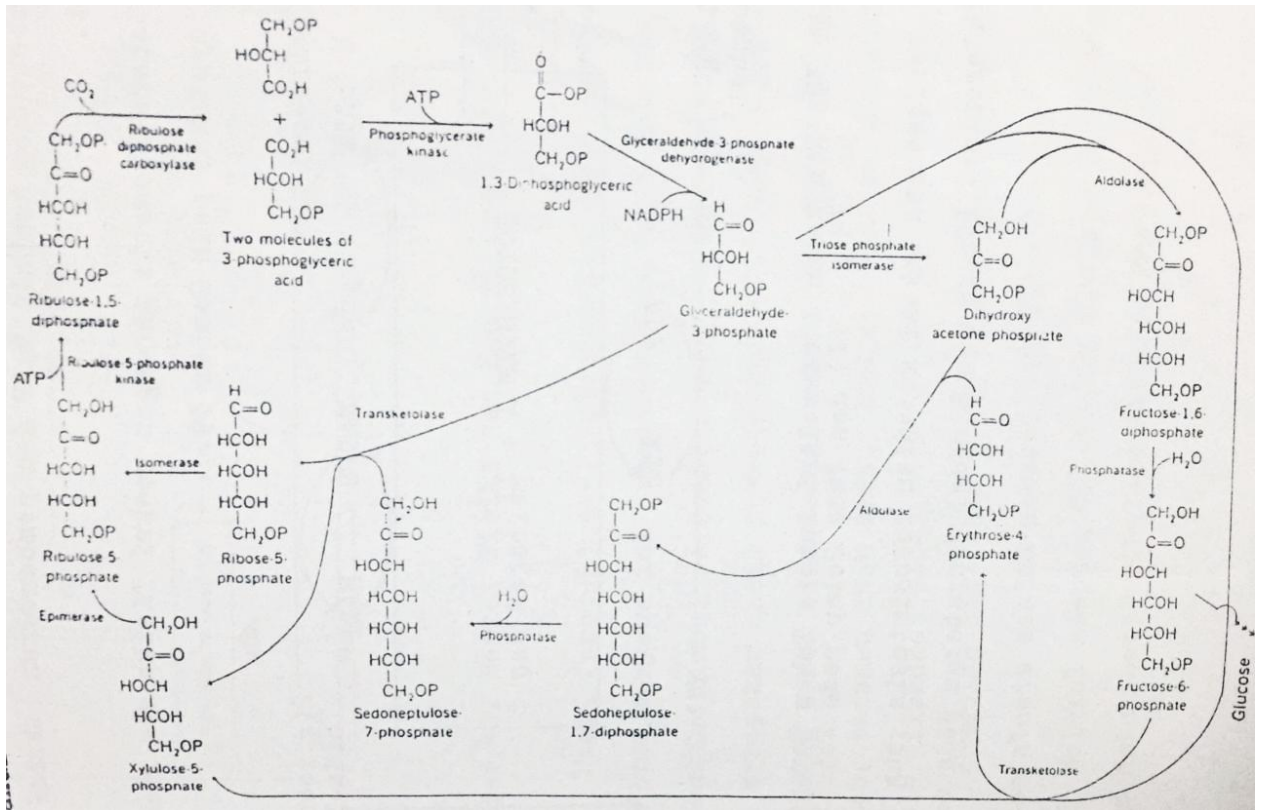
Satuan keperusan elektron dan berakhir dengan pembentukan energi NADPH (~
&ATP)

Selanjutnya elektron yang hilang dari P700 akan diisi oleh elektron yang bebas dari FS II melalui C 550 dan kembali ke P700 dan menghasilkan energi ATP.

FS II mengoksidasi mol H₂O dan menghasilkan O₂, Mn dan Cl, sangat perlu untuk berlangsungnya FS II

Kesimpulan kegiatan ini menghasilkan energi NADPH dan ATP

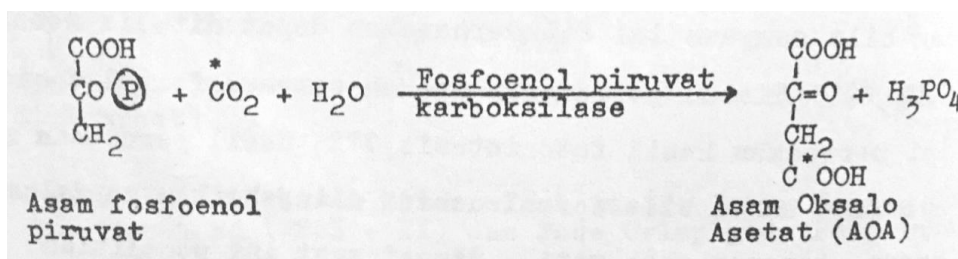
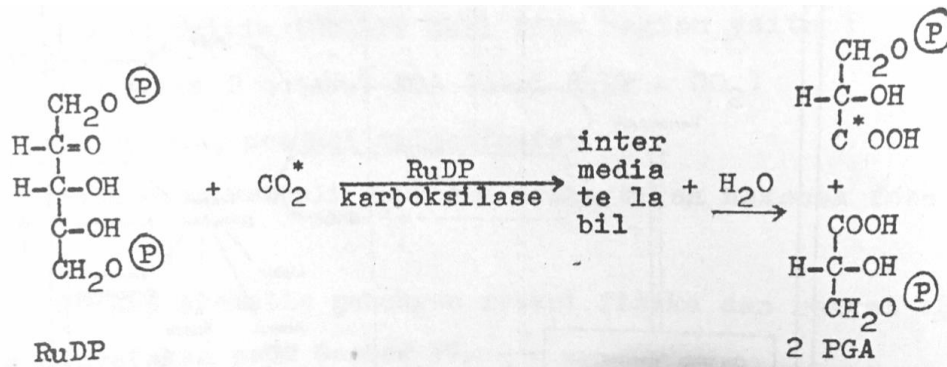
Tahap reaksi pengikat CO₂ memasuki suatu siklus Pentosa Fosfat. Reduktif atau siklus Calvin. Model siklus tersebut dicantumkan pada gambar 24. Dari reaksi pemecahan molekul H₂O hasilkan NADPH dan ATP, selanjutnya dipakai dalam siklus ini.



Gambar 24. Siklus Calvin Reduktif Pentosa Fosfat

Awal dari siklus ini dari CO₂ yang masuk melalui stomata diikat oleh senyawa Ribulosa 1.6 di fosfat (lebih dikenal dengan sebutan RuDP₁) yaitu suatu gula bercarbon lima. Permulaan dibentuk dua molekul PGA dan seterusnya dengan menggunakan, ATP dan NADPH dibentuk dua molekul Gliseradehide 3 fosfat. Selanjutnya membentuk kembali RuDP, produk akhir dari siklus ini adalah Glukosa.

Dari fiksasi CO₂ dengan RUDP dapat dilihat pada reaksi berikut :



Produk fotosintesis gula C₃ misalnya padi dan C₄ pada tanaman jagung.

Suatu kelompok tumbuhan lain yang dikenal dengan Crassulacean Acid Metabolism (CAM) seperti cocor bebek (*kalanchoe pinnata* dan tumbuhan sukulen lainnya). Fotosintesis terjadi pada siang dan malam. Fotosintesis lebih banyak terjadi pada malam hari daripada siang hari. Stomata terbuka malam hari siang hari tertutup.

Tabel Karakteristik Tumbuhan C₃, C₄ dan CAM

No	Keadaan/Ciri	C ₃	C ₄	CAM
1	2	3	4	5
1.	Taksonomi	Tumbuhan rendah tingkat Algae spermatophyte	Tingkat tinggi Algae tingkat pinus tetapi banyak	Tidak ada pada tumbuhan tingkat tinggi rendah, mencakup 26 famili

			ditemui pada tumbuhan berbunga	
2. Contoh Tanaman	Padi, Gandum, Kentang, Bit gula dan Bunga matahari	Jagung, tebu, bayam sorgum, rumput dan savanah	Kaktus, anggrek, agave, nenas, sedum, kalanchoe, dan tumbuhan sekulenta lainnya	
3. Suhu Optimal	20 – 30 ⁰ C	30 – 45 ⁰ C	30 – 35 ⁰ C	
4. Tempat Hidup	Daerah Temperate	Daerah tropis dan semi tropis	Daerah Kering	
5. Anatomi daun	Palisade + Spongi parenchym	Tidak ada diferensiasi mesophyl, mempunyai bundle sheath (seludang pembuluh) atau kranz type	Tidak ada diferensiasi mesophyl, sel besar dengan vacuola besar	

6.	Tipe tempat tumbuh	Tidak ada pola tertentu	Daerah terbuka, panas, ada pengecualian hidup di daerah salin	Daerah terbuka, panas, daerah alin, (kadang di daerah dingin)
7.	Khloroplast	Sel mengandung Khloroplast. Hanya satu khloroplast	Senantiasa dijumpai dua tipe khloroplast yang berbeda	Hanya satu tipe khloroplast
8.	Titik kejenuhan cahaya	3000 – 6000 ft candle	8000 – 10.000 fc	Seperti C ₃ (??.)
9.	Aseptor CO ₂	Ribulose difosfat (RuDP) (Gula Karbon 5)	Phosphoenolpiruvat (PEP) (Gula Karbon 3)	Bila ada cahaya RuDP bila gelap (PEP)
10.	Produk awal fotosintesis	Phosphoglyceric Acid (PGA)	Asam oksaloasetat (AOA)	Terang (PGA), Gelap (AOA)
11.	Lintasan CO ₂	Satu Lintasan	Dua Lintasan Terpisah Tempat	Dua Lintasan terpisah dengan waktu
12.	Produksi	Sedang, dapat menghasilkan 30 ton berat kering/ha. Bunga matahari paling tinggi	Produksi sangat tinggi. Tebu paling tinggi 80 ton/ ha	Biasa produksi rendah hanya nenas dengan

				produksi tinggi
13	a. Translokasi Asimilat	45 – 50 %	70 %	Belum diketahui
	b. Aktivasi PEP	1 x	60 x	-
14.	Maksimum kecepatan fotosintesis (mg/dm ² /hari)	30	60	3 (ada yang mengatakan sampai 13)
	(mg/g/hari)	55	100	1 atau lebih kecil
15.	Kecepatan pertumbuhan maksimum (g/dm ² /hari/)	1	4	0,02
16.	Transpirasi ratio (g.H ₂ O/gCO ₂) yang diikat	600	300	80
17.	Fotorespirasi	Tinggi	Rendah	Rendah

18.	Sintesis glikolat	Laju sintesis tinggi	Laju sintesis rendah	Sama dengan C ₄
19.	Fotosintesis dan cahaya	Jenuh 20% Cahaya	Sulit mencapai kejenuhan	Sama dengan C ₄
20.	Kompensasi CO ₂	Tinggi (50ppm)	Rendah (5 ppm)	Malam Rendah (2 ppm)
21.	Stomata	Siang terbuka malam tertutup	Sama dengan C ₃	Siang tertutup malam terbuka
22.	Hubungan ruang/tempat dan waktu	Siklus calvin pada mesophyll sel	Fiksasi permulaan pada mesophyll sel, kemudian di bundle sheath (dari siklus calvin)	Malam fiksasi permulaan pada mesophyll sel disimpan di vacuola, calvin terjadi siang hari

c. Latihan

Mahasiswa ditugaskan mengumpulkan jenis –jenis tanaman budidaya yang dikelompokkan menurut tanaman C_3 , C_4 dan CAM

d. Evaluasi

1. Apa produksi akhir dari skema 2. transport elektron.
Kunci : NADPH dan ATP
2. Tuliskan apa nama senyawa organik yang mengikat CO_2 yang masuk melalui stomata
Kunci : RuDP
3. Glukosa merupakan produk dari fotosintesis, namun ada semacam senyawa yang dapat dianggap sebagai produk fotosintesis yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Tuliskan senyawa tersebut
Kunci : Gliseral Aldehid 3 fosfat.
4. Darimana muncul istilah tanaman C_3 dan C_4
Kunci : dari produk awal fotosintesis yaitu PGA (fosfogliseric Acid) gula karbon 3 (C_3) dan sedangkan untuk tanaman C_4 produk awal asam malat (Gula karbon 4) atau C_4
5. Tuliskan beberapa faktor kenapa tanaman C_4 lebih tinggi produksinya dari pada tanaman C_3 .
Kunci : suhu tinggi – hidup di tropis – bundle sheet cell – khloroplas 2 macam – kejenuhan cahaya – kecepatan fotosintesis – fotorespirasi rendah – Traspirasi ratio rendah – efisiensi pemakaian air tinggi

Kegiatan Pembelajaran ke - 10

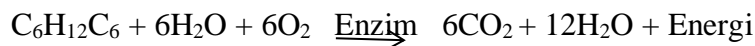
Respirasi

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan dapat menjelaskan bahwa respirasi merupakan suatu peristiwa yang menyebabkan energi yang dipakai untuk berbagai keperluan bagi tumbuhan.
 2. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan pengaruh lingkungan terhadap respirasi
 3. Mahasiswa harus mampu mengenal zat – zat yang dapat direspirasikan dalam sel
1. Mahasiswa harus mampu menjelaskan lintasan reaksi respirasi
 2. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan peranan respirasi dalam penentuan produksi tanaman.

b. Materi Pembelajaran

Pengertian respirasi secara umum, reaksi respirasi yang terjadi pada tubuh tanaman merupakan kebalikan dari fotosintesis sebagai berikut.



Dalam reaksi respirasi CO_2 dan H_2O bukan produk tetapi produk utama adalah energi dalam bentuk ATP. Energi ini digunakan berbagai keperluan dalam sel / jaringan tubuh.

Reaksi tersebut bukan berjalan secara langsung tetapi bertahap selangkah demi selangkah dengan menggunakan reaksi yang cukup panjang pada lokasi yang berbeda dalam sel.

Oksigen (O_2) masuk kedalam sel secara difusi melalui interseluler, CO_2 juga keluar secara difusi. Kecukupan oksigen menjamin respirasi berjalan lancar dan bila oksigen kurang atau tidak ada respirasi berjalan secara anaerob. Lain halnya dengan tanaman yang bersifat hidrofilik. Oksigen masuk melalui bagian tubuh sebelah atas, kemudian berdifusi melalui rongga- rongga sampai ke meristem akar. Laju respirasi dipengaruhi oleh banyak faktor a.l.

1. Suhu, cahaya, serangan jamur pelukaan, kekeringan dan pemberian herbisida. Sebagai contoh pemberian herbisida pada tanaman banyak sel dan jaringan

rusak/mati, untuk itu pola perbaikan atau rehabilitasi. Rehabilitasi memerlukan energi dan energi diambil dari respirasi karbohidrat.

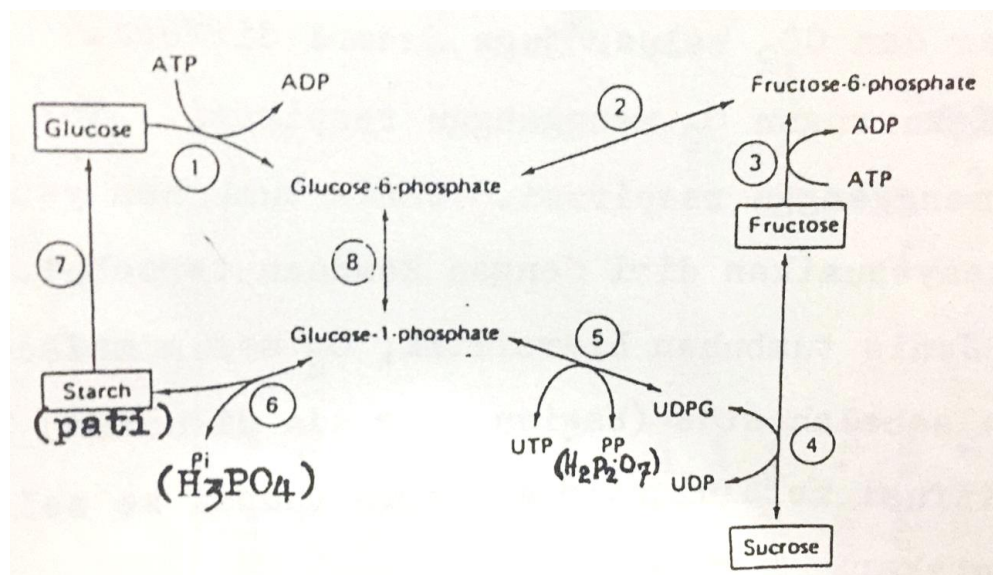
2. Substrat respirasi

Substrat respirasi dimaksudkan setiap senyawa organik dalam sel yang dapat di oksidasi.

Substrat utama respirasi.

a. Karbohidrat termasuk glukosa, fruktosa, sukrosa dan pati.

Glukosa dianggap sebagai titik awal metabolisme respirasi. Berikut disajikan diagram reaksi metabolik respirasi. Senyawa dalam kotak menyatakan titik awal substrat respirasi.



Gambar 25. Diagram Reaksi Metabolik

a. Lemak

Bahan respirasi dijumpai pada biji yang mengandung lemak (kacang tanah, jarak bunga matahari) lemak rantai C lebih panjang dan bila semua rantai C putus energi yang dihasilkan lebih banyak lemak akan diubah menjadi sukrosa dan seterusnya akan terurai jadi CO_2 dan H_2O .

b. Protein

Pada biji yang banyak mengandung protein (kedelai, beras dan jagung) protein merupakan substrat awal respirasi. Substrat respirasi dapat dikenal

dengan menghitung beratnya respiratory quotient (kwosien respirasi) RQ atau KR dengan membandingkan CO_2/O_2 . dalam satu jam.

Misal : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \text{-----} 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

$$\text{RQ} = 6\text{CO}_2 / 6\text{O}_2 = 1$$

Jadi jika $\text{RQ} = 1$ maka substrat respirasi adalah glukosa.

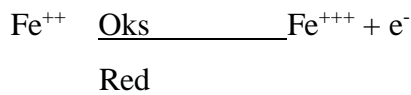
c. Asam Organik

Semua asam – asam organik dalam sel/ jaringan misal : Asam malat, glukolat, palmitat, oleat, dapat menjadi substrat respirasi.

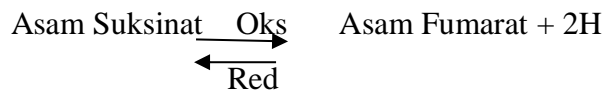
3. Sifat oksidasi Biologi

Dalam biologi, pengertian oksidasi reduksi sebagai berikut.

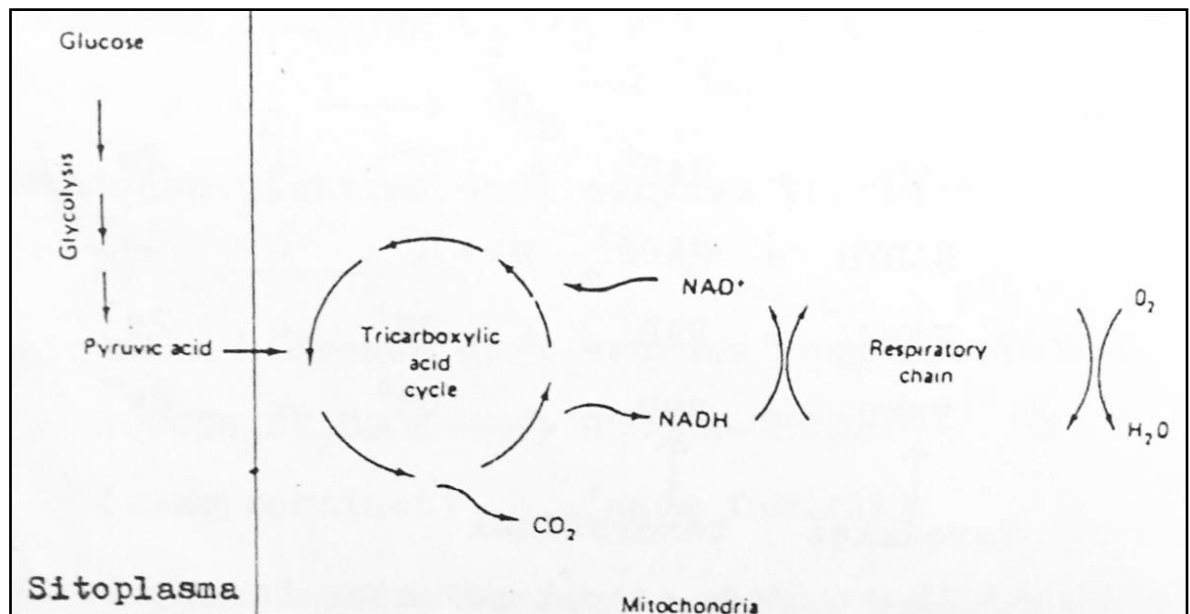
a. Pemindahan elektron dari senyawa teroksidasi



b. Pemindahan hydrogen dari senyawa yang dioksidasikan



Dalam sel tumbuhan, dikenal 4 pembawa elektron, yaitu NAD, NADP, FAO, FMN dan satu lagi yang dikenal sebagai cytochrom, juga berfungsi sebagai Oks –Red cytochrom dapat membawa 4 elektron

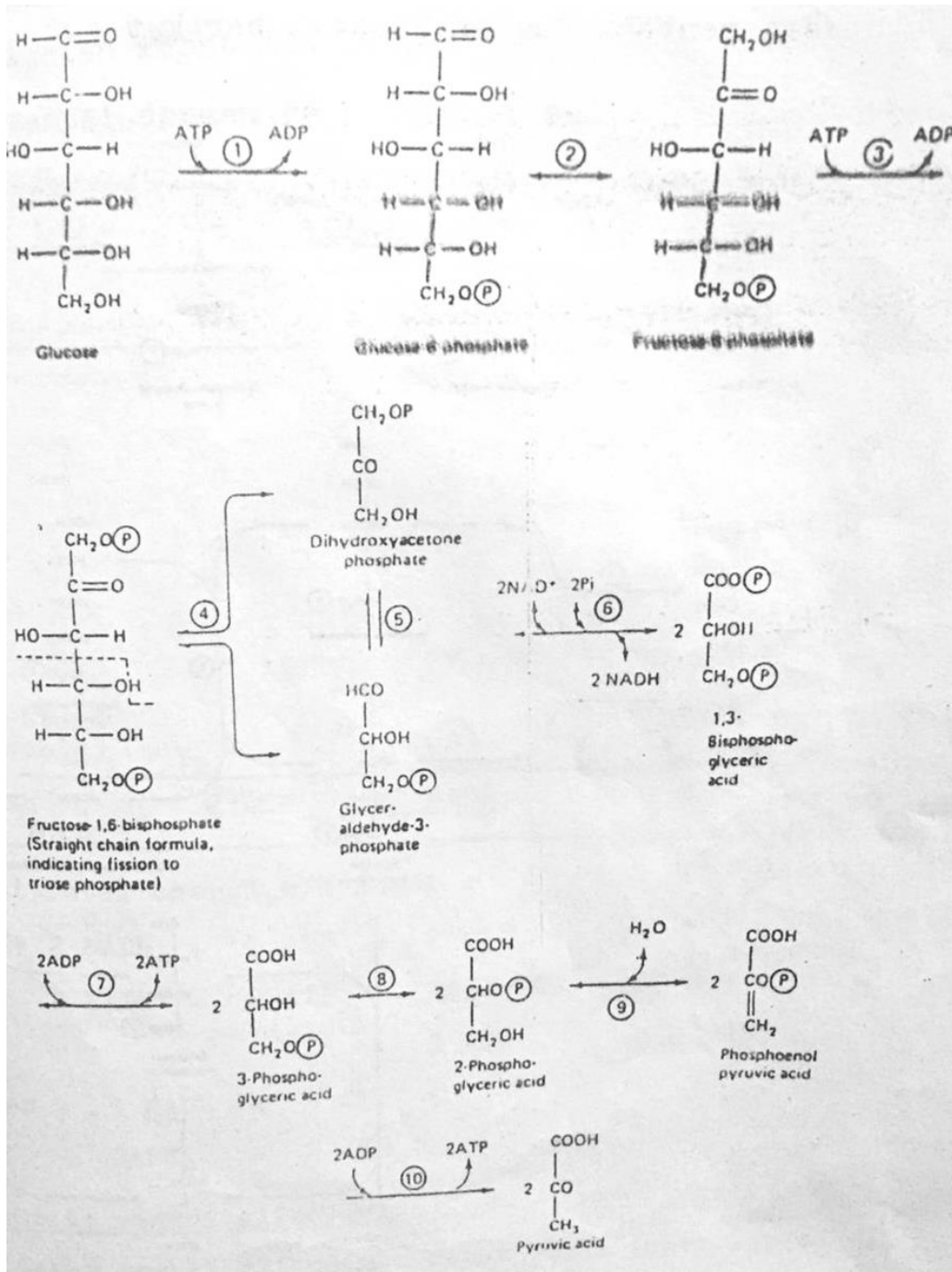


Gambar 26. Bagan Singkatan dari Lintasan Utama Metabolisme

Garis besar lintasan respirasi mencakup 3 hal :

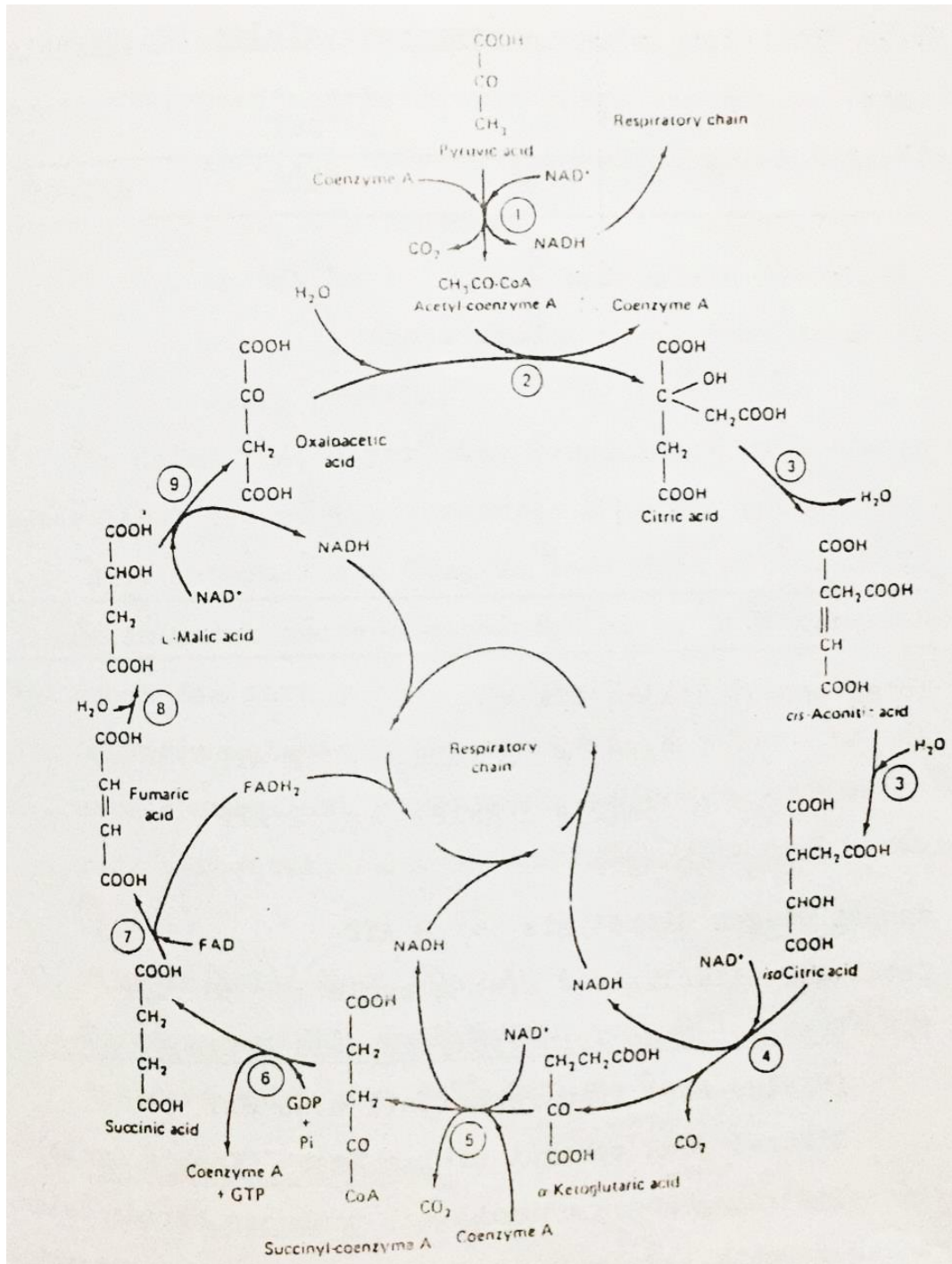
- a. Glikolisis terjadi di sitoplasma sel dimana glukosa diubah menjadi asam pyruvate dan menghasilkan sejumlah energi.
- b. Siklus krebs terjadi di mitrochondria dan asam pyruvate dan glikolisis akan masuk ke siklus Krebs dan disini energi yang dihasilkan lebih banyak.
- c. Rantai respirasi
Yaitu suatu rantai pemindahan hydrogen dari beberapa senyawa organik yang bergabung dengan O_2 – dan terbentuk H_2O

Tahap-tahap dan rangkaian reaksi secara lengkap dapat dilihat sebagai berikut :

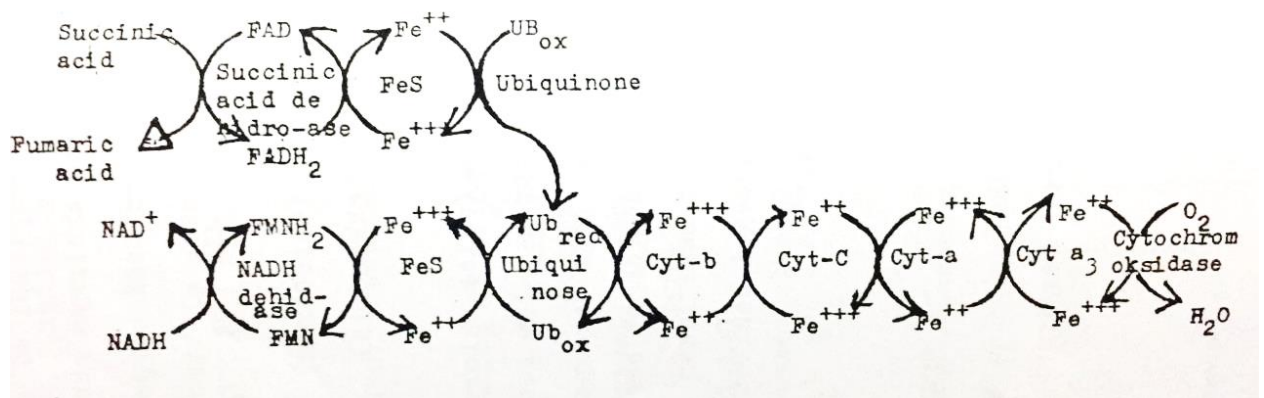


Gambar 27. Reaksi Lintasan Glikolisis

a. Lintasan Pentosa Fosfat sebagai berikut :



Gambar 29. Siklus Krebs atau Siklus Asam Sitrat



Gambar 30. Reaksi pada Rantai Respirasi

Ada 2 jenis permulaan yaitu :

1. Dari asam suksinat dari Siklus Krebs
2. Dari NADH yang dihasilkan

Dengan selesainya rantai respirasi, selesailah seluruh rangkaian reaksi- reaksi respirasi.

c. Latihan

Mahasiswa dilatih membaca dan mengenal siklus – siklus rangkaian reaksi dan diberi pemahaman bahwa setiap reaksi – reaksi fisiologi dalam sel umumnya bersifat dapat balik dan

melibatkan bermacam – macam enzim.

d. , Evaluasi

1. respirasi menguraikan senyawa organik menjadi senyawa anorganik, apa sebenarnya produk respirasi itu
Kunci : Energi ATP
2. Tuliskan faktor – faktor yang mempengaruhi laju respirasi
Kunci : Suhu, cahaya, serangan jamur, pelukaan jaringan, pemberian herbisida.
3. Tuliskan beberapa substrat respirasi
Kunci : Karbohidrat , protein, lemak, asam organik.
4. Dimana terjadi peristiwa respirasi
Kunci : di sitoplasma dan mitokhondria
5. Garis besar respirasi mencakup 3 hal tuliskan
Kunci : Glikolisis, siklus krebs dan rantai respirasi

Kegiatan Pembelajaran ke - 11

Asimilasi Senyawa Anorganik

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan mampu dan menguasai bagaimana cara senyawa anorganik diabsorpsi dari lingkungan
2. Mahasiswa diharapkan mampu dan mengerti bagaimana terjadinya reduksi metabolik nitrat
3. Mahasiswa diharapkan mampu dan menguasai asimilasi amonia
4. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan bagaimana ammonia diasimilasikan menjadi asam glutamat (Glutamic Acid)
5. Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan kenapa bila pupuk N berlebihan akan menurunkan produksi tanaman.

b. Materi Pembelajaran

1. Perubahan senyawa nutrisi anorganik

Tumbuhan tingkat tinggi menghasilkan semua senyawa organik dan nutrisi anorganik

yang diambil dari lingkungan. | Senyawa yang timbul berupa senyawa sederhana a.1.

berupa CO_2 , H_2O , NO_3^+ , SO_4^- , H_2PO_4^-

dan akan diasimilasikan menjadi senyawa organik. Senyawa organik tersebut ada yang

mengalami perubahan metabolik yang :

- a. Intensif seperti ion makro yang bermuatan seperti :



- b. Tidak intensif seperti :

K^+ merupakan elektrostatis yang dengan anorganik berikatan lemah.

Sel tumbuhan tidak mengasimilasi setiap ion hara yang diabsorpsi, sebagian kecil

seperti total nitrat, sulfat akan diakumulasi di vacuola sel

1. Reduksi Metabolik Nitrat

Di dalam tanah, N yang tersedia berupa :

Ion (NO_3^-) dan ion (NH_4^+)

sumbernya, hasil perombakan sisa organik (tumbuhan, hewan). Ion Nitrat, tidak terikat di liat atau di humus. Bila tidak segera diambil tumbuhan, akan tercuci segera (lapisan bawah, sungai). Ion NH_4^+ , terikat pada liat, dan dipartikel humus.

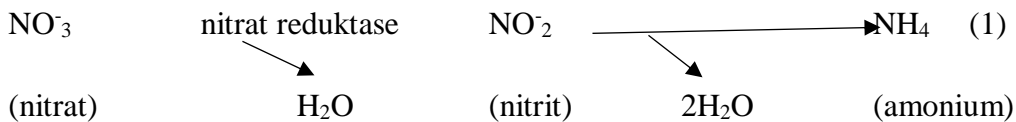
Di lapangan, nitrat lebih merupakan sumber N daripada amonium. Pada daerah beriklim sedang, tanah yang diolah (dibajak), amonium diubah oleh bakteri tertentu menjadi nitrat (nitrifikasi).

Pada tanah dengan aerasi jelek (bakteri yang mengubah amonium tidak dapat hidup), amonium terdapat dalam jumlah relatif besar. Pada tumbuhan dengan laju fotosintesis tinggi dan pertumbuhan tanaman kuat nitrogen amonium dapat diambil segera. Asimilasi nitrat banyak terjadi didaun.

Reduksi nitrat menjadi amonium terjadi dalam dua reaksi :

Reaksi 1,

Nitrat direduksi menjadi nitrit (NO_2^-) reaksinya sebagai berikut :

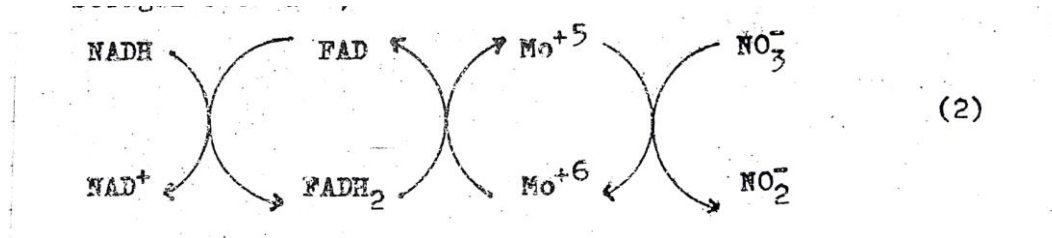


Energi untuk reduksi nitrat menjadi nitrit berasal dari koenzim NADH.

Enzim nitrat reduktase mengandung :

1. Molybdenum (sebagai molybdoflavoprotein)
2. Koenzim Flavin FAD (sebagai pembawa elektron)

Lintasan transfer elektron NADH ke FAD dan Mo adalah sebagai berikut :



Reaksi (1) dan (2) dapat ditulis sebagai berikut ;



Bila tanah kekurangan Mo :

- a. Asimilasi nitrat terhalang
- b. Tumbuhan menunjukkan gejala kurang N
- c. Tumbuhan menunjukkan gejala kurang Mo

Reaksi 2

Reduksi nitrit menjadi amonium terjadi :

- a. Di daun hijau
- b. Energi dari cahaya dan sumber energi di daun adalah ferredoxin (mengandung Fe)

Feredoxin adalah salah satu komponen dari sistem transfer elektron fotosintesis. (sudah dapat diisolasi dan dimurnikan).

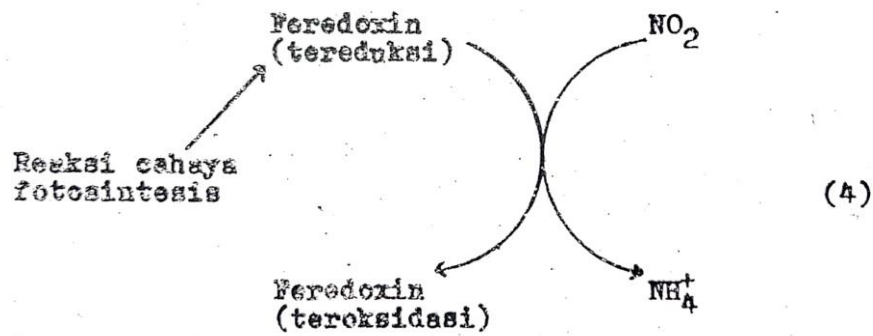
Reduksi nitrit dapat terjadi dalam keadaan gelap (asal cadangan pati terdapat di khloroplast).

Feredoxin dalam mereduksi :

NADP⁺ menjadi NADPH

Feredoxin tereduksi juga (mereduksi nitrit menjadi amonium)

Lintasannya sebagai berikut :



Dalam reduksi nitrit menjadi amonium, enzimnya adalah nitrit reduktase.

Reaksi keseluruhan dari (4) dapat ditulis sebagai berikut :



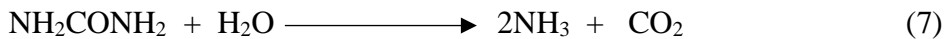
2. Asimilasi Amonia

Ion amonium (NH_4^+) dan ammonia (NH_3) keduanya digolongkan sebagai nitrogen anorganik dan dalam air sebagai berikut :



NH_3 dan NH_4^+ (dikenal sebagai nitrogen amonia) dan dihasilkan dari :

1. Sel tumbuhan dengan berbagai cara (dari tanah)
2. Degradasi metabolik dari hidrolisa protein dalam perkecambahan biji
3. Absorpsi dan perombakan metabolik urea (NH_2CONH_2)



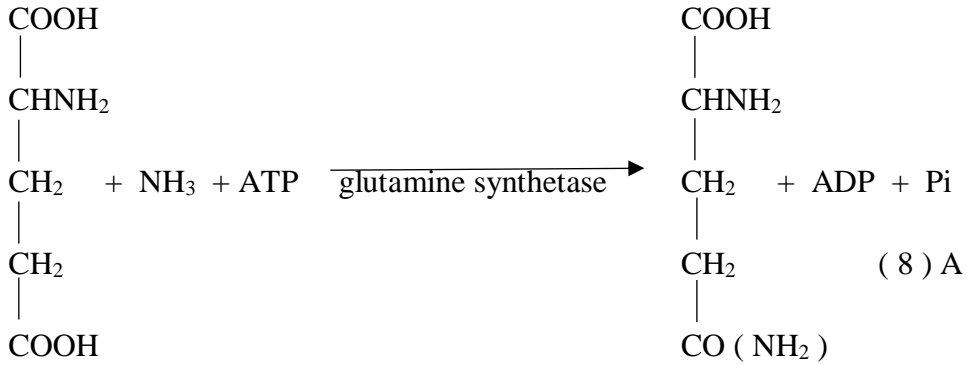
4. Fiksasi nitrogen

Sifat nitrogen amonia :

5. Cepat diasimilasi
6. Pada jaringan tumbuhan, terdapat dalam jumlah kecil
7. NH_3 (amonia bebas) dalam jumlah banyak bersifat racun pada tumbuhan
8. Terikat kepada berbagai asam amino, sifat amida

Pada tumbuhan tinggi amonia diasimilasikan menjadi glutamic acid.

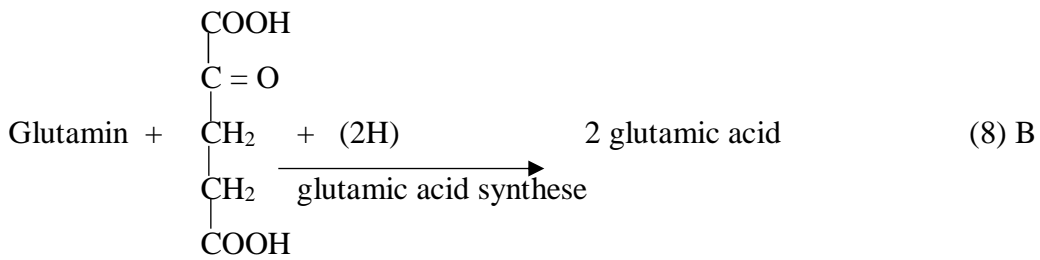
Reaksinya sebagai berikut :



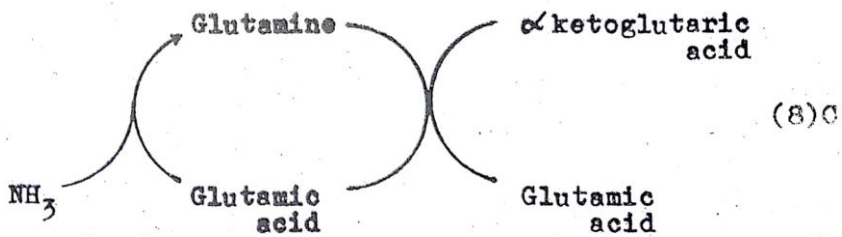
Glutamic acid

Pi = fosfat dalam bentuk H₃PO₄

(P) = fosfat dalam bentuk H₂PO₄



α - ketoglutaric acid



Hasil bersih dari reaksi (8) adalah sintesa asam glutamat (dari nitrogen-amonia dan asam α - ketoglutarat) melalui perantaraan sejumlah katalitik glutamin.

Reaksi (8) seringkali diikuti dengan reaksi transaminasi dengan enzim amino transferase), sebagai contoh :



1. Apabila N dibentuk menjadi asam amino maka digunakan intermediate dari SAT (siklus asam trikarboksilat) intermediate yang dipakai perlu diganti, yaitu dengan sumber karbohidrat,
2. Untuk mereduksi nitrat dan ion-ion nitrit dibutuhkan energi reduksi, sumber energi dari respirasi karbohidrat, akibatnya karbohidrat berkurang.

Akibat pemberian pupuk N berlebihan :

1. Dinding sel menjadi tipis
2. Batang akan lunak
3. Kadar gula dalam tumbuhan menurun
4. Ratio berat batang/akar meningkat

c. Latihan

Mahasiswa dilatih dengan membiasakan reaksi- reaksi ion.

d. Evaluasi

1. Jelaskan senyawa-senyawa anorganik sederhana yang diambil tanaman dari lingkungannya
Kunci : CO_2 , H_2O , NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$ dan H_2PO_4^-
2. Tuliskan bentuk Nitrogen tersedia dalam tanah
Kunci : NO_3^- dan NH_4^+
3. Tumbuhan mana yang dapat mengambil NH_4^+ pada aerasi yang jelek
Kunci : Tumbuhan dengan fotosintesis tinggi dan perakaran kuat
4. Tuliskan dua macam Nitrogen anorganik
Kunci : NH_4 dan NH_3
5. Kenapa pupuk N berlebihan produksi tanaman menjadi rendah
Kunci : Untuk mereduksi nitrat menjadi nitrit diperlukan energi-energi mengurai karbohidrat. Akibatnya produksi rendah

Materi Pembelajaran ke – 12

Air sebagai Penyusun Sel Tumbuhan

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan fungsi air bagi tumbuhan
2. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan struktur dan karakteristik air
3. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan sifat fisika dan kimia air

b. Materi Pembelajaran

Air merupakan bagian yang penting dari sel dan jaringan tumbuhan. Sebagian besar dari jaringan tumbuhan terdiri dari air. Secara umum jaringan tumbuhan mengandung air dengan kisaran 60 hingga 85%. Bahkan jaringan/organ tertentu dapat mengandung air lebih dari 85%, seperti buah tomat mengandung hingga 95% air, demikian juga sayuran. Jaringan transpor memiliki kisaran kadar air mulai dari 35-75%. Jaringan pembuluh tanaman herba tentunya memiliki kandungan air yang tinggi dibandingkan dengan jaringan pembuluh tanaman berkayu. Walaupun demikian ada bagian-bagian tumbuhan yang hanya mengandung air dalam jumlah yang rendah. Biji tumbuhan bisa tetap hidup walaupun hanya memiliki kadar air 5-15%. Bahkan penurunan kadar air merupakan salah satu karakteristik perkembangan biji, sejalan dengan pertumbuhan bahan kering/cadangan makanan biji. Setelah cadangan makanan cukup maka kadar air biji akan menurun hingga terjadi pematangan biji. Selain itu, pada biji jenis ortodoks (tahan disimpan pada kadar air rendah), seperti biji sengon, padi, dan kedelai, kadar air yang rendah dapat meningkatkan daya simpan biji sehingga walaupun telah disimpan lama, biji tetap memiliki viabilitas yang tinggi. Hal ini karena kadar air biji yang rendah dapat menekan respirasi biji sehingga biji tidak kehilangan energi dan terkuras cadangan makanannya.

Pentingnya Air Bagi Tumbuhan

1. Pelarut substansi garam-garam anorganik dan organik.
 2. Melancarkan disosiasi/ionisasi elektrolit.
 3. Mempunyai tegangan permukaan yang tinggi.
 4. Mempunyai keenceran yang besar.
 5. Mampu mengabsorpsi panas yang besar
 6. Semua proses yang terjadi dalam protoplasma/sel tergantung sifat-sifat air.
 7. Kehidupan organisme di bumi adalah tidak mungkin bila tidak ada air.
 8. Air merupakan medium dalam mana proses-proses biologis berlangsung
9. Daya absorpsi dan hantar panas dapat mempertahankan protoplasma dari perubahan suhu yang mendadak.

Peran Air Bagi Tumbuhan

Coba Anda bayangkan, kalau Anda mengamati sel, akan Anda dapati bagian paling luar adalah dinding sel, kemudian membran plasma. Sebelah dalam dari membran plasma akan didapati sitoplasma yang berupa cairan semikental yang di dalamnya terdapat banyak organel, seperti mitokondria, kloroplas, peroksisom, mikrotubul, dan sebagainya. Bagian paling tengah akan Anda jumpai vakuola berupa membran yang membungkus cairan berisi senyawa terlarut, seperti cadangan makanan atau zat warna tertentu.

Dengan demikian praktis komponen terbesar dari sel adalah terdiri dari cairan. Itulah sebabnya maka sebagai fungsi pertama dari air adalah sebagai senyawa utama penyusun protoplasma. Protoplasma merupakan cairan utama penyusun sel, baik yang terdapat di dalam sitoplasma maupun vakuola sel. Dalam kultur jaringan juga dikenal

istilah kultur protoplas, yaitu apabila sel yang telah dihilangkan dinding selnya (tinggal membran plasma dan seluruh komponen di dalamnya meliputi sitoplasma, inti sel, dan vakuola) ditumbuhkan di dalam media kultur jaringan. Dengan demikian jelaslah betapa penting air bagi organisme, termasuk tumbuhan. Karena organisme tersusun oleh sel-sel dan jaringan, sementara komponen utama dari sel itu sendiri adalah air.

Adapun perbedaan kadar air dari masing-masing jaringan dan organ tumbuhan, seperti tersebut di bagian sebelumnya adalah karena perbedaan dari sel-sel penyusunnya. Sel-sel penyusun buah yang memiliki vakuola besar yang berisi cadangan makanan akan banyak mengandung air, sementara sel-sel biji yang kering memiliki karakteristik yang berbeda, sel-selnya kecil dan telah mengalami dehidrasi sehingga kadar airnya rendah. Selain itu air juga berfungsi sebagai pelarut hara mineral yang dibutuhkan bagi tumbuhan. Secara umum hara mineral merupakan ion bermuatan positif (seperti K^+ , Ca^{++} , NH_4^+) maupun negatif (NO_3^- , SO_3^- , HPO_4^-) yang terlarut di dalam air. Ion-ion tersebut bisa berasal dari bahan mineral tanah, dari hasil dekomposisi bahan organik atau mungkin berasal dari pupuk yang kita berikan. Air berperan penting dalam melarutkan ion-ion tersebut dari sumbernya sehingga bisa diserap oleh tumbuhan dan masuk ke dalam jaringan tumbuhan. Selain itu air yang cukup juga menjadi sarana yang baik bagi ion dan pupuk untuk berdifusi atau bergerak melalui aliran masa sehingga menjadi dekat dan tersedia bagi tumbuhan. Itulah sebabnya kekurangan air sering kali juga menyebabkan kekurangan hara pada tumbuhan karena kelarutan hara di dalam tanah menjadi sangat rendah. Dalam proses biokimia tumbuhan, air juga berfungsi penting sebagai medium reaksi maupun bahan bagi reaksi-reaksi metabolisme dalam tumbuhan.

Banyak sekali reaksi-reaksi kimia di dalam sel tumbuhan memerlukan media air. Dengan adanya kekurangan air menyebabkan terhambatnya banyak reaksi-reaksi

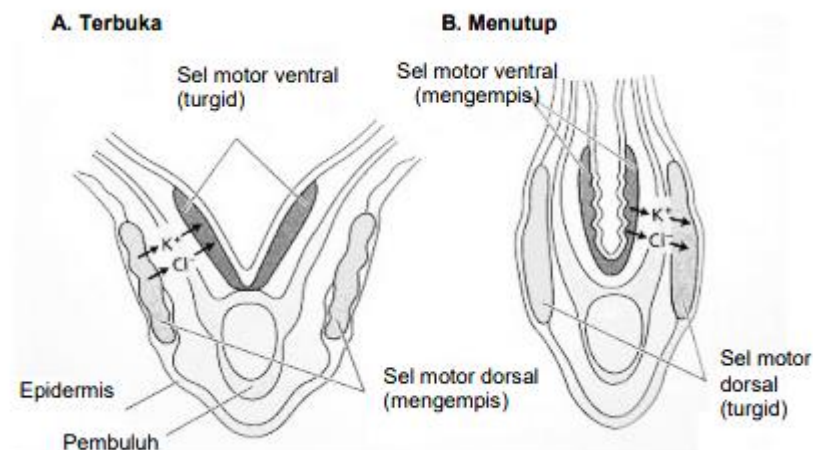
metabolisme sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Dalam proses hidrolisis pati misalnya, pemecahan pati menjadi glukosa diperlukan air. Demikian juga reaksi-reaksi hidrolisis lainnya. Air juga mempunyai peran penting dalam proses reaksi terang fotosintesis. Dalam proses tersebut air merupakan sumber elektron, yaitu ketika molekul air dipecah untuk menghasilkan O_2 , H^+ , dan elektron. Walaupun proporsi kebutuhan air dalam reaksi sangat kecil dibandingkan dengan kebutuhan pada reaksi-reaksi biokimia lainnya. Hal lain yang tidak kalah pentingnya adalah fungsi air dalam mempertahankan turgiditas sel, pertumbuhan sel dan pergerakan struktur tertentu dari tumbuhan.

Turgiditas sel atau dikenal dengan istilah sel turgor adalah tekanan sel akibat masuknya air ke dalam sel. Ketika sel tanaman mengalami banyak kehilangan air sehingga menjadi layu maka pada saat tersebut sel mempunyai nilai tekanan turgor yang sama dengan nol. Ketika air masuk ke dalam sel maka tekanan turgor akan meningkat (positif) dan sel akan mengembang sehingga sel mencapai ukuran yang maksimum. Ketika ini terjadi maka sel tumbuhan berada dalam keadaan turgor penuh. Pada pagi hari ketika air tanah atau media tanam cukup, biasanya sel-sel tumbuhan ada dalam keadaan turgor penuh.

Pada tengah hari, saat matahari terik dan tumbuhan telah kehilangan banyak air akibat penguapan mungkin tumbuhan akan mengalami kehilangan tekanan turgor atau bahkan sampai mencapai nol (layu). Itulah peran air dalam hubungannya dengan turgiditas sel-sel tumbuhan. Peran air yang demikian itu sangat penting karena tekanan turgor biasanya ada hubungannya dengan tingkat metabolisme tumbuhan. Ketika tumbuhan memiliki tekanan turgor yang tinggi (penuh) maka kemampuan metabolismenya juga tinggi, sebaliknya ketika tumbuhan kehilangan tekanan turgor (misalnya saat layu) maka kemampuan metabolismenya seperti fotosintesis dan respirasi

juga rendah. Dengan demikian upaya mempertahankan turgor merupakan hal yang penting bagi tumbuhan. Selain tekanan turgor, air juga penting dalam proses pembesaran dan pemanjangan sel. Coba Anda perhatikan, apabila tumbuhan kekurangan air maka tumbuhan biasanya kerdil, daunnya menjadi kecil-kecil dan jarak antar ruas-ruas batangnya juga menjadi lebih pendek. Mengapa demikian? Keadaan itu terkait dengan fungsi air dalam pembesaran/pemanjangan sel dan jaringan. Kalau kita bandingkan dua tumbuhan dengan usia yang sama, namun yang satu mengalami kekurangan air dan yang lainnya memperoleh cukup air maka secara kuantitatif jumlah selnya mungkin tidak terlalu berbeda. Namun, kalau kita perhatikan ukuran selnya akan berbeda sehingga tumbuhan yang hidup pada keadaan cukup air akan memiliki ukuran sel yang lebih besar/panjang dari pada tumbuhan yang kekurangan air.

Proses pemanjangan sel tersebut disebabkan karena masuknya air ke dalam sel. Pernahkah Anda mengamati pergerakan tumbuhan? Pergerakan yang dimaksudkan bukan karena digoyang oleh angin, tetapi karena organ tumbuhan sendiri yang bergerak. Pergerakan yang dimaksud adalah seperti yang terjadi pada daun putri malu yang menutup ketika disentuh. Penutupan daun ini terjadi karena distribusi air keluar atau masuk jaringan pulvinus. Skema Gambar 1.1. berikut menjelaskan bagaimana gerakan daun itu terjadi. Ada dua kelompok sel yang bisa menyerap atau memompa air di bagian atas dan bawah dari pangkal daun. Apabila sel-sel pulvinus bagian atas mengakumulasi ion K^+ dan Cl^- dalam jumlah besar maka air dari sel sekelilingnya akan terserap masuk ke sel-sel pulvinus tersebut. Akibatnya sel-sel tersebut akan mengembang yang berakibat pada pembukaan daun. Keadaan sebaliknya terjadi apabila air masuk ke dalam sel-sel pulvinus bawah (Gambar 1.1).



Gambar 31. Skema Pangkal Daun Putri Malu dengan Kelompok Sel Pulvinus di Bagian Atas dan Bawah Petiol daun mengatur membuka dan menutup daun

Sifat Fisik dan Kimia Air

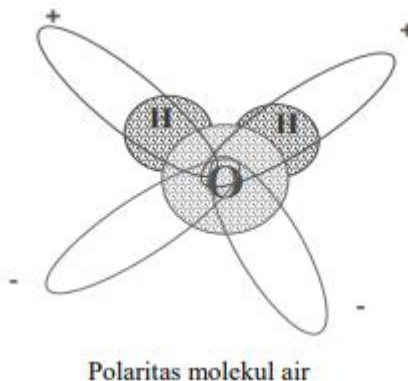
Air merupakan molekul sederhana yang terdiri dari dua atom hidrogen (H) dan satu atom oksigen (O). Dua jenis atom ini saling terikat dengan ikatan kovalen, suatu ikatan di mana kedua jenis atom yang berikatan saling menyumbangkan elektron terluarnya untuk membentuk pasangan sehingga digunakan secara bersama (Gambar 1.2). Hal ini terjadi karena atom oksigen memiliki jumlah elektron terluar sebanyak 6 buah sehingga ada dua elektron yang bisa membentuk ikatan kovalen dengan atom lain. Karena atom H hanya memiliki 1 elektron maka dua atom hidrogen dapat berikatan dengan 1 atom O membentuk air (H_2O) (Gambar 1.2).

Molekul air dengan bentuk ikatan seperti yang telah disebutkan ternyata memiliki karakteristik yang unik. Keunikan ini terutama karena sifat polaritas (berkutub) yang dimiliki air, yaitu di bagian tertentu dari molekul air cenderung bermuatan positif dan di bagian lain dari molekul air cenderung bermuatan negatif (Gambar 1.2). Hal ini disebabkan atom hidrogen yang hanya memiliki satu elektron dalam membentuk ikatan dengan oksigen, elektron dari hidrogen cenderung lebih tertarik ke arah oksigen sehingga

bagian lain dari atom hidrogen cenderung bermuatan agak positif. Sebaliknya bagian pasangan elektron dari oksigen yang tidak berikatan dengan hidrogen akan cenderung lebih negatif daripada bagian yang berikatan dengan hidrogen. Adanya kecenderungan muatan positif di bagian yang berikatan dengan H dan muatan negatif di bagian elektron yang tidak berpasangan menyebabkan air bersifat polar. Adanya perbedaan muatan ini biasanya digambarkan dengan bentuk awan muatan yang membentang di kedua bagian dari molekul air seperti yang digambarkan pada gambar.



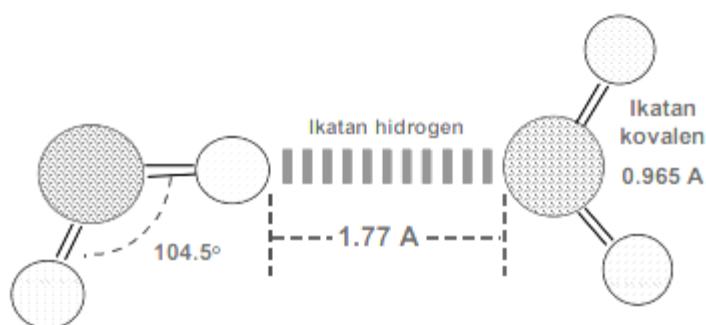
Gambar 32. Susunan Elektron Atom Oksigen dan Hidrogen, dan Bentuk Ikatan Kovalen dari H dan O membentuk molekul air (H_2O)



Gambar 33. Molekul air (H_2O) dengan Awan Muatan Positif (di kutub masing-masing atom H) dan Awan Muatan Negatif (di Bagian Lain dari Atom O yang Elektronnya Tidak Berpasangan) sehingga Bersifat Polar (Mengkutub)

Adanya awan muatan ini juga menyebabkan struktur molekul air tidak membentuk bidang yang lurus antara H-O-H, tetapi hubungan antaratom tersebut membentuk sudut

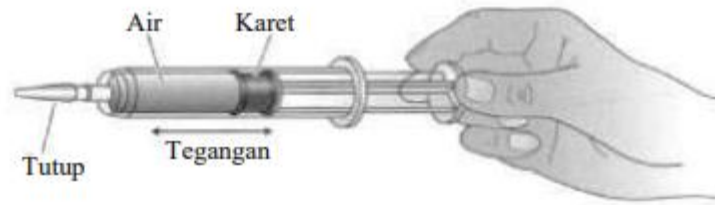
lebih kurang $104,5^\circ$ (Gambar 1.4). Selain itu sifat polar dari air menyebabkan antarmolekul air terbentuk ikatan yang dikenal dengan ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen terjadi antara atom O dari molekul air yang bermuatan agak negatif dengan atom H dari air yang bermuatan agak positif (Gambar 1.4). Ikatan ini memiliki jarak lebih kurang 1,77 angstrom, hampir dua kali lebih panjang daripada ikatan kovalen yang memiliki jarak hanya 0,965 angstrom. Walaupun ikatan hidrogen ini tidak sekuat ikatan kovalen atau ikatan ion, tetapi cukup menjadikan molekul air memiliki kekuatan untuk saling berikatan antarsesamanya atau yang dikenal dengan istilah kohesi. Molekul air dalam bentuk cairan dan padatan (es) terikat dengan ikatan hidrogen, namun uap air merupakan bentuk molekul yang tidak saling berikatan antarsesamanya.



Gambar 34. Ikatan Hidrogen yang Terjadi Antar Molekul Air Akibat Sifat Polar yang Dimiliki oleh Molekul Air

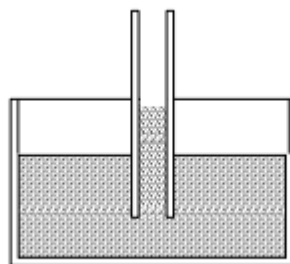
Selain sifat kohesi, air juga memiliki sifat adhesi, yaitu kemampuan berikatan dengan molekul lain yang bukan sejenis, seperti dinding sel tumbuhan yang terbuat dari karbohidrat. Sifat kohesi dari air menyebabkan air memiliki tegangan permukaan yang besar sehingga air cenderung membentuk formasi membulat (bukan menyebar) apabila ditempatkan di atas permukaan yang datar. Hal ini karena molekul air cenderung tertarik dengan sesamanya di bagian dalam masa air daripada molekul lain, seperti uap air di

sebelah luarnya. Selain itu air juga memiliki kemampuan melawan regangan apabila ditempatkan dalam ruangan yang meregangnya, seperti dalam jarum suntik (Gambar 1.5).



Gambar 35. Selain Mampu Menghadapi Tekanan, Air juga Mampu Menghadapi Regangan (Arah Panah) sehingga Kolum Air Tetap Tidak Terputus sampai pada Tegangan Tertentu yang Sangat Besar karena Adanya Gaya Kohesi Akibat Ikatan Hidrogen

Sebaliknya sifat adhesi memungkinkan air dapat seolah-olah merambat ke permukaan yang lebih tinggi ketika ditempatkan di dalam pipa kapiler berdiameter kecil. Permukaan yang lebih tinggi di dalam pipa kapiler dari pada di luarnya karena adanya sifat adhesi air yang menyebabkan molekul air berikatan dengan dinding kapiler sehingga mampu melawan sebagian gaya gravitasi. Semakin kecil diameter pipa, akan semakin tinggi permukaan yang ada di dalam pipa (Gambar 1.6)



Gambar 36. Kapilaritas Air Terjadi Akibat Adanya Adhesi antara Air dengan Molekul Penyusun Pipa Kapiler

Sifat fisika air

1. Tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau
2. Memiliki 3 fase yang berbeda : cair, gas, dan padat pada suhu normal di bumi. Air di bumi selalu berinteraksi, berubah dan bergerak.
3. Dapat menyerap sejumlah kalor karena memiliki kalor jenis yang tinggi.
4. Mempunyai tegangan permukaan yang sangat tinggi. Tegangan permukaan tersebut berguna untuk gaya kapilaritas air.
5. Air mempunyai titik didih yang tinggi. Jika tidak mempunyai sifat ini maka pada suhu yang normal tidak ada laut, danau, sungai, tumbuhan, atau binatang di bumi ini.
6. Air mempunyai massa jenis yang lebih kecil dalam keadaan beku bila dibandingkan dengan keadaan cair, karena sifat ini maka ini dibagian dalam lautan meskipun suhunya turun tetap berbentuk cair yang memungkinkan makhluk hidup tetap hidup.
7. Air adalah pelarut yang baik karena kepolarannya, konstanta dielektrik yang tinggi dan ukurannya yang kecil, terutama untuk senyawa ionik dan garam yang polar .

Sifat kimia air

1. Air adalah zat kimia yang istimewa, terdiri dari dua atom hidrogen dan satu atom oksigen.
2. Panjang ikatan O—H = 95.7 picometers
3. Sudut H—O --- H = 104.5° Energi ikatan O- H = 450 kJ/mol
4. Momen dipol = 1.83 debyes

Karakteristik Air yang Penting Secara Fisiologis

Karena ikatan hidrogen antarmolekul air menyebabkan air memiliki karakteristik yang khas yang sangat penting secara fisiologis. Sifat-sifat tersebut adalah:

1. Air memiliki panas penguapan yang tinggi Air memiliki panas penguapan yang tinggi, yaitu hampir dua kali lebih tinggi dari senyawa sejenis (amonia), bahkan metanol dan etanol yang memiliki bobot molekul yang jauh lebih tinggi. Panas penguapan adalah besarnya energi yang diperlukan untuk menguapkan 1 gram air (Joule/g). Semakin besar panas penguapan maka semakin besar energi yang diperlukan artinya air di dalam tumbuhan dapat membuang energi panas lebih banyak. Hal ini penting mengingat tumbuhan tidak dapat bergerak dan pindah tempat, berbeda dengan hewan yang dapat pindah jika kepanasan. Dengan demikian jika tumbuhan diterpa panas yang terik maka panas tersebut akan dibuang dengan jalan menguapkan air sehingga suhu tumbuhan tetap stabil. Dalam hal ini air sangat penting artinya dalam mengendalikan suhu tubuh tumbuhan sehingga suhu tumbuhan tersebut tidak melebihi suhu yang cocok untuk proses fisiologi dan metabolisme.

2. Air memiliki titik didih yang tinggi Air memiliki titik didih 100°C, sementara metanol dan etanol dengan bobot molekul yang jauh lebih tinggi hanya memiliki titik didih masing-masing 65 °C dan 78°C. Adanya titik didih yang tinggi memungkinkan air tetap memiliki molekul yang stabil walaupun suhu lingkungan naik melebihi suhu fisiologis. Selain itu kesetimbangan antara bentuk cairan dan uap dicapai pada suhu yang tinggi pula. Berbeda dengan amonia, senyawa yang bobot molekulnya hampir sama dengan air hanya memiliki titik didih -33°C sehingga dalam suhu ruangan senyawa tersebut sudah dalam bentuk uap.

Transportasi Air

Rute masuknya air ke dalam akar :

a. Jalur intraseluler (simplast) :

Air berdifusi ke dalam sel melalui plasmadesmata.

b. Jalur ekstraseluler (apoplast) :

Air berdifusi diantara dinding sel

dipaksa masuk ke dalam selendodermis akibat adanya pita Caspary xilem.

Transpor air dari akar ke tajuk :

Terutama disebabkan oleh transpirasi (proses hilangnya air dari daun dan bagian tumbuhan lainnya).

Evapotranspirasi (ET)

Perpaduan 2 proses yaitu Evaporasi dan Transpirasi

1. Evaporasi adalah proses penguapan atau hilangnya air dari tanah dan badan-badan air (abiotik)

2. Transpirasi adalah proses keluarnya air dari tanaman (biotik) akibat proses respirasi dan foto-

sintesis.

Faktor yang Mempengaruhi Evapotranspirasi

a. Radiasi surya (R_d): Komponen sumber energi dalam memanaskan badan-badan air, tanah dan tanaman. Radiasi potensial sangat ditentukan oleh posisi geografis lokasi

b. Kecepatan angin (v): Angin merupakan faktor yang menyebabkan terdistribusinya air yang telah diuapkan ke atmosfer, sehingga proses penguapan dapat berlangsung terus sebelum terjadinya kejenuhan kandungan uap di udara,

c. Kelembaban relatif (RH): Parameter iklim ini memegang peranan karena udara memiliki kemampuan untuk menyerap air sesuai kondisinya termasuk temperatur udara dan tekanan udara atmosfer

d. Suhu, merupakan komponen tak terpisah dari RH dan Radiasi. Suhu ini dapat berupa suhu badan air, tanah, dan tanaman ataupun juga suhu atmosfer.

Perbedaan Transpirasi dengan evaporasi

<u>Transpirasi</u>	Evaporasi
1. proses fisiologis atau fisika yang termodifikasi	1. proses fisika murni
2. diatur bukaan stomata	2. tidak diatur bukaan stomata
3. diatur beberapa macam tekanan	3. tidak diatur oleh tekanan
4. terjadi di jaringan hidup	4. tidak terbatas pada jaringan hidup
5. permukaan sel basah	5. <u>permukaan yang menjalankannya menjadi kering</u>

c. Latihan

1. Jelaskan fungsi utama dari air bagi tumbuhan!
2. Apa yang mendasari bahwa air memiliki sifat yang unik sehingga dapat menstabilkan suhu tumbuhan?
3. Apa yang menyebabkan air bergerak dari satu sel ke sel lainnya?
4. Mengapa biji yang kering memiliki potensial matriks yang tinggi?

5. Apa yang terjadi apabila abrasi pantai terus berjalan hingga areal pertanian tergenang dengan air laut?

d. Evaluasi

1. Berikut ini adalah beberapa fungsi air yang sangat penting bagi tumbuhan, kecuali

A. sebagai sumber pupuk

B. pelarut

C. medium reaksi metabolisme

D. berperan dalam gerak dari organ

2. Ketika tumbuhan layu akibat kekurangan air maka tekanan turgor tumbuhan bernilai

....

A. positif

B. nol

C. negatif

D. lebih besar dari 1

3. Molekul air merupakan molekul yang bersifat

A. non polar sehingga dapat masuk ke dalam sel

B. polar artinya tidak mengandung muatan pada atom-atom penyusunnya

C. non-polar artinya mengandung muatan di bagian atom-atomnya

D. polar sehingga dapat berikatan dengan molekul-molekul lain yang sejenis

4. Dalam suatu cairan, antara molekul air yang satu dengan yang lain terhubung dengan

.... A. ikatan ion

B. ikatan peptida

C. ikatan hidrogen

D. ikatan kovalen

5. Antara atom H-O-H dalam molekul air membentuk formasi
- A. garis lurus
 - B. membentuk sudut siku-siku
 - C. tak beraturan
 - D. membentuk sudut 105°
6. Air memiliki tegangan permukaan yang tinggi, hal ini didukung oleh karakteristik air, yaitu....
- A. kohesi
 - B. adhesi
 - C. suhu yang rendah
 - D. titik beku = 0
7. Fungsi air yang penting dalam kaitannya dengan kemampuan tumbuhan dalam bertahan menghadapi lingkungan dengan cahaya yang tinggi adalah
- A. air sebagai pelarut
 - B. panas penguapan yang tinggi
 - C. titik didih yang tinggi
 - D. kohesi
8. Nilai potensial osmotik suatu sel/jaringan ditentukan oleh adanya
- A. dinding sel yang kaku
 - B. matriks komponen-komponen sel
 - C. membran sel yang elastik
 - D. senyawa-senyawa terlarut dalam sel

Kata Kunci

1. A. Air bukan merupakan sumber pupuk.

2. B. Tumbuhan layu tekanan turgornya = nol.
3. D. Air merupakan senyawa polar sehingga dapat berikatan dengan molekul-molekul lain.
4. C. Hubungan antarmolekul air terjadi dengan ikatan hidrogen.
5. D. Hubungan H-O-H pada molekul air bersudut 105° .
6. A. Tegangan permukaan air yang tinggi didukung oleh sifat kohesi antarmolekul air.
7. B. Berkaitan dengan cahaya tinggi dan suhu tinggi sifat air yang menguntungkan tumbuhan adalah panas penguapan yang tinggi. Karena energi akan diserap untuk menguapkan air sehingga suhu tumbuhan stabil.
8. D. Potensial osmotik ditentukan senyawa terlarut dalam sel.

Kegiatan Pembelajaran ke - 13

Sejarah tentang Enzim

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan Sejarah Enzim
2. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan Klasifikasi enzim
3. Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan cara kerja enzim

b. Materi Pembelajaran

Pada awalnya, enzim dikenal sebagai protein oleh Sumner (1926) yang telah berhasil mengisolasi urease dari tumbuhan kara pedang. Urease adalah enzim yang dapat menguraikan urea menjadi CO_2 dan NH_3 . Beberapa tahun kemudian Northrop dan Kimits dapat mengisolasi pepsin, tripsin dan kinotripsin. Kemudian makin banyak enzim yang telah dapat diisolasi dan telah dibuktikan bahwa enzim tersebut ialah protein. Dari hasil penelitian para ahli biokimia ternyata banyak enzim mempunyai gugus bukan protein, jadi termasuk golongan protein majemuk. Gugus bukan protein ini disebut dengan kofaktor ada yang terikat kuat pada protein dan ada pula yang tidak terikat kuat oleh protein. Gugus terikat kuat pada bagian protein artinya sukar terurai dalam larutan yang disebut dengan Prostetik, sedang yang tidak begitu terikat kuat (mudah dipisahkan secara dialisis) disebut dengan Koenzim. Keduanya ini dapat memungkinkan enzim bekerja terhadap substrat. B. Pengertian Enzim 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. 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. 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).

Enzim

Didalam sel - sel hidup ibarat pabrik kimia yang bergantung pada energi yang harus mengikuti berbagai kaidah kimia. Reaksi kimia yang memungkinkan adanya kehidupan disebut metabolisme. Terdapat ribuan reaksi berkesinambungan yang terjadi di dalam setiap sel, sehingga metabolisme merupakan reaksi yang menakjubkan. Agar sel berfungsi dan berkembang dengan sebagaimana mestinya, lintasan metaboliknya harus diatur dengan seksama. 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 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 antara 18Y" sampai 1020• Di banding dengan katalis buatan manusia, enzim biasanya biasanya 10K" sampai 10¢" kali lebih efektif. Enzim juga jauh lebih spesifik dari pada katalis anorganik atau bahkan katalis organik sintetik dalam hal ragam reaksi yang dapat dikatalisis, sehingga reaksi dapat dikendalikan dengan terbentuknya senyawa tertentu yang yang dibutuhkan untuk kebutuhan senyawa tertentu yang dibutuhkan untuk kehidupan.

Katalisator bersifat umum, hanya berfungsi untuk mempercepat reaksi yang dapat digunakan berulang-ulang (satu katalisator mampu mereaksikan 2 atau 3 bahkan lebih reaksi) Enzim bersifat lebih spesifik hanya digunakan untuk satu reaksi saja (satu enzim hanya untuk satu reaksi). 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 sitesis DNA dan RNA serta untuk proses mitosis terdalam didalam inti sel. Enzim-enzim di dalam sel akan bekerja secara berkesinambungan. Artinya produk suatu tahap reaksi akan dibebaskan pada tempat dimana produk ini dapat segera dikonversi oleh enzim lain berikutnya. Ada beberapa enzim yang dijumpai di luar organela, namun juga tidak terse bar karena adanya reticulum endoplasma yang bercabang-cabang.

Sifat-Sifat Enzim

Sifat -sifat enzim adalah sebagai berikut :

1. Enzim aktif dalam jumlah yang sangat 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 dikatalisanya 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 dikatalisanya.

3. Walaupun enzim mempercepat penyelesaian suatu reaksi, enzim tidak mempengaruhi kesetimbangan reaksi tersebut. Tanpa enzim reaksi dapat balik yang biasa terdapat dalam sistem hidup berlangsung ke arah kesetimbangan pada laju yang sangat lambat. Suatu enzim akan menghasilkan kesetimbangan reaksi itu pada kecepatan yang lebih tinggi.

4. Kerja katalis enzim spesifik. Enzim menunjukkan kekhasan untuk reaksi yang dikatalisanya. Suatu enzim yang mengkatalisis satu reaksi, tidak akan mengkatalisis reaksi yang lain.

Nomenklatur

Enzim Lebih dari 5000 macam enzim telah ditemukan pada organisme hidup, dan akan bertambah terus sejalan dengan terus berlangsungnya penelitian. Tiap enzim dinamai menurut sistem baku dan juga diberinama urn urn yang sederhana. Pada kedua sistem tersebut, nama enzim umumnya diakhiri dengan -ase dan mencirikan substrat yang terlibat dan jenis reaksi yang dikatalisinya. Sebagai contoh sitokrom oksidase, suatu enzim utama dalam respirasi, mengoksidasi (melepas elektron dari) molekul sitokrom. Asam malat dehidrogenase : melepaskan dua atom hidrogen dari (meng-dehidrogenasi) asam malat. Nama umum ini walaupun singkat tidak memberikan keterangan yang cukup

tentang reaksi yang dikatalisis. Contoh di atas tidak menjelaskan siapa penerima elektron atau atom hidrogen yang dilepaskan.

Persatuan Internasional Biokimia memberi nama lebih panjang tapi lebih deskriptif dan baku bagi semua enzim yang telah dicirikan dengan jelas. Sebagai contoh, sitokrom oksidase dinamakan sitokrom c: oksidoreduktase, menunjukkan bahwa elektron dilepaskan dari sitokrom tertentu, yakni jenis c, dan molekul oksigen adalah penerima elektron. Dehidrogenase asam malat disebut L-malat : NAD oksidoreduktase, menunjukkan enzim tersebut khas untuk bentuk L-asam malat terionisasi, dan molekul yang disingkat NAD adalah penerima atom hidrogen. Biasanya enzim mempunyai akhiran -ase. Di depan -ase digunakan nama substrat di mana enzim itu bekerja, atau nama reaksi yang dikatalisis. Misal : selulase, dehidrogenase, urease, dan lain-lain. Tetapi pedoman pemberian nama tersebut di atas tidak selalu digunakannya. Hal ini disebabkan nama tersebut digunakan sebelum pedoman pemberian nama diterima dan nama tersebut sudah umum digunakan. Misalnya pepsin, tripsin, dan lain-lain.

Dalam Daftar Istilah Kimia Organik (1978), akhiran -ase tersebut diganti dengan -asa. Enzim diberi nama dengan menambahkan akhiran ase terhadap nama substrat yang diubah oleh enzim tersebut, misalnya enzim amilase mengubah amilum menjadi glukosa; enzim yang mengubah lemak (lipid) adalah lipase; enzim-enzim yang mengadakan perubahan karbohidrat merupakan kelompok karbohidrase.

Klasifikasi Enzim

a. Hidrolase, merupakan enzim-enzim yang menguraikan suatu zat dengan pertolongan air. Hidrolase dibagi atas kelompok kecil berdasarkan substratnya yaitu :

1. Karbohidrase, yaitu enzim-enzim yang menguraikan golongan karbohidrat. Kelompok ini masih dipecah lagi menurut karbohidrat yang diuraikannya, misal: ~ Amilase Amilase,

yaitu enzim yang menguraikan amilum (suatu polisakarida) menjadi maltosa (suatu disakarida). amilum

$nC_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{Maltase}} nC_6H_{12}O_6$ maltosa ~ Maltase, yaitu enzim yang menguraikan maltosa menjadi glukosa
 $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{Sukrase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ maltosa maltase ~ Sukrase, yaitu enzim yang mengubah sukrosa (gula tebu) menjadi glukosa dan fruktosa. ~ Laktase, yaitu enzim yang mengubah laktase menjadi glukosa dan galaktosa - Selulose, enzim yang menguraikan selulosa (suatu polisakarida) menjadi selobiosa (suatu disakarida) ~ Pektinase, yaitu enzim yang menguraikan pektin menjadi asampektin.

2. Esterase, yaitu enzim-enzim yang memecah golongan ester. Contoh : ~ Lipase, yaitu enzim yang menguraikan lemak menjadi gliserol dan asam lemak. ~ Fosfatase, yaitu enzim yang menguraikan suatu ester hingga terlepas asam fosfat.

3. Proteinase atau Protease, yaitu enzim-enzim yang menguraikan golongan protein.

Contoh : a. Peptidase yaitu enzim yang menguraikan peptida menjadi asam amino.)

b. Gelatinase yaitu enzim yang menguraikan gelatin.

a. Renin yaitu enzim yang menguraikan kasein dari susu.

b. Oksidase dan Reduktase yaitu enzim-enzim yang menolong dalam proses oksidasi dan reduksi. Enzim Oksidase dibagi lagi menjadi; - Dehidrogenase : enzim ini memegang peranan penting dalam mengubah zat-zat organik menjadi hasil-hasil oksidasi. - Katalase : enzim yang menguraikan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

c. Desmolase yaitu enzim-enzim yang memutuskan ikatan-ikatan C-C, C-N dan beberapa ikatan lainnya. Enzim Desmolase dibagi lagi menjadi :

1. Karboksilase yaitu enzim yang mengubah asam piruvat menjadi asetaldehid.

2. Transaminase yaitu enzim yang memindahkan gugusan amine dari suatu asam amino ke suatu asam organik sehingga yang terakhir ini berubah menjadi suatu asam amino.

Kofaktor

Aktifator, Gugus Prostetik Dan Koenzim) Pada mulanya enzim dianggap hanya terdiri dari protein dan memang ada enzim yang ternyata hanya tersusun dari protein saja. Misalnya pepsin dan tripsin. Tetapi ada juga enzim-enzim yang selain protein juga memerlukan komponen selain protein. Komponen selain protein pada enzim dinamakan kofaktor. Koenzim dapat merupakan ion logam/ metal, atau molekul organik yang dinamakan koenzim. Gabungan antara bagian protein enzim (apoenzim) dan kofaktor dinamakan holoenzim. Enzim yang memerlukan ion logam sebagai kofaktornya dinamakan metaloenzim. Ion logam ini berfungsi untuk menjadi pusat katalis primer, menjadi tempat untuk mengikat substrat dan sebagai stabilisator supaya enzim tetap aktif

Tabel 1.
Beberapa enzim yang mengandung ion logam sebagai kofaktornya

Ion Logam	Enzim
Zn ²⁺	Alkohol dehidrogenase Karbonat anhidrase Karboksipeptidase
Mg ²⁺	Fosfohidrolase Fosfotransferase
Fe ²⁺ / Fe ³⁺	Sitokrom Peroksida Katalase Feredoksin
Cu ²⁺ / Cu ⁺	Tirosine Sitokrom oksidase
K ⁺	Piruvat kinase (juga memerlukan Mg ²⁺)
Na ⁺	Membrane sel ATPase (juga memerlukan K ⁺ dan Mg ²⁺)

1. Aktifator

Aktifator dapat mempercepat jalannya reaksi karena aktifator adalah zat penggiat, contoh aktifator enzim adalah ion Mg, Ca, zat organik seperti KoA. 2. Gugus Prostetik
Gugus Prostetik yaitu bagian enzim yang tidak tersusun dari protein, tetapi dari ion-ion logam atau molekul-molekul organik yang disebut koenzim. Molekul gugus prostetik lebih kecil dan tahan panas (termostabil), ion-ion logam yang menjadi kofaktor berperan sebagai stabilisator agar enzim tetap aktif. Koenzim yang terkenal pada rantai pengangkutan elektron (respirasi sel), yaitu NAD (Nikotinamid Adenin Dinukleotida), FAD (Flavin Adenin Dinukleotida), Sitokrom.

Enzim mengatur kecepatan dan kekhususan ribuan reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel. Walaupun enzim dibuat di dalam sel, tetapi untuk bertindak sebagai katalis tidak harus berada di dalam sel. Reaksi yang dikendalikan oleh enzim antara lain ialah respirasi, pertumbuhan dan perkembangan, kontraksi otot, fotosintesis, fiksasi nitrogen, dan pencernaan. 3. Koenzim Dalam peranannya, enzim sering memerlukan senyawa organik tertentu selain protein. Ditinjau dari fungsinya, dikenal adanya koenzim yang berperan sebagai pemindah hidrogen, pemindah elektron, pemindah gugusan kimia tertentu ("group transferring") dan koenzim dari isomerase dan liase.

Tabel 2.
Contoh-contoh Koenzim dan Peranannya

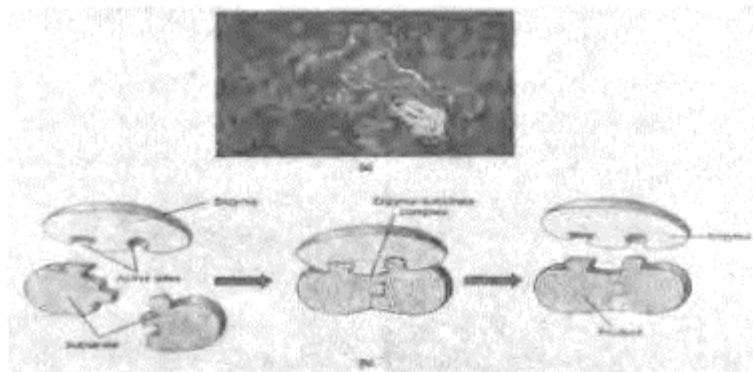
No	Kode	Singkatan dari	Yang Dipindahkan
1.	NAD	Nikotinamida-adenina dinukleotida	Hidrogen
2.	NADP	Nikotinamida-adenina dinukleotida fosfat	Hidrogen
3.	FMN	Flavin mononukleotida	Hidrogen
4.	FAD	Flavin-adenina dinukleotida	Hidrogen
5.	Ko-Q	Koenzim Q atau Quinon	Hidrogen
6.	Sit	Sitokrom	Elektron
7.	Fd	Ferredoksin	Elektron
8.	ATP	Adenosina trifosfat	Gugus fosfat
9.	PAPS	Fosfoadenil sulfat	Gugus sulfat
10.	UDP	Uridina difosfat	Gula
11.	Biotin	Biotin	Karboksil (CO ₂)
12.	Ko-A	Koenzim A	Asetil
13.	TPP	Tiamin pirofosfat	C ₂ -aldehida

Cara Kerja Enzim

Enzim juga dapat dibedakan menjadi eksoenzim dan endoenzim berdasarkan tempat kerjanya, ditinjau dari sel yang membentuknya. Eksoenzim ialah enzim yang aktivitasnya diluar sel. Endoenzim ialah enzim yang aktivitasnya didalam sel. 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 terse but walaupun tidak

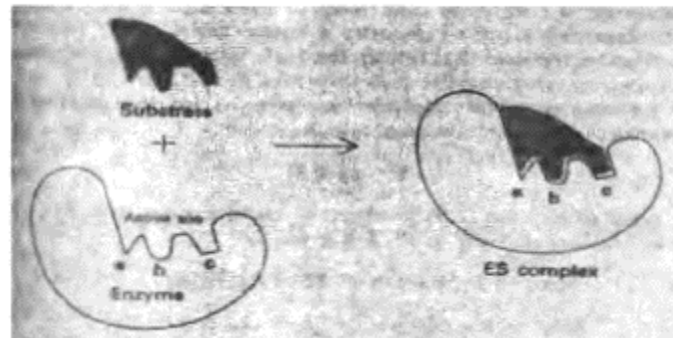
merupakan substanya, yaitu melibiosa. Tanpa adanya laktosa atau melibiosa, maka enzim beta-galaktosidasa tidak disintesis, tetapi sintesisnya akan dimulai bila ditambahkan laktosa atau melibiosa. Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan dengan demikian mempercepat proses reaksi. 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 disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, enzim α -amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa.



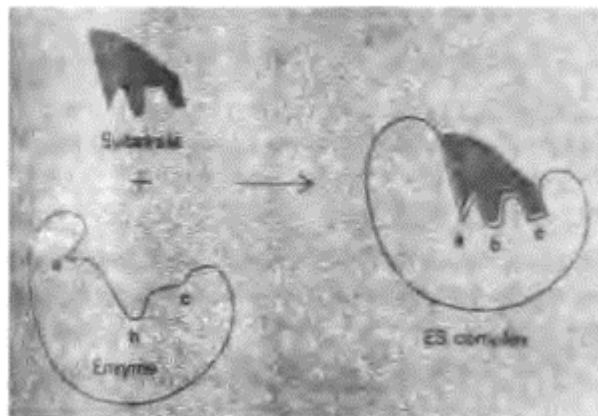
Gambar 37. Cara Kerja Enzim

- a. Model kunci gembok (block 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).

b. Induksi Pas (Model Induced Fit)



Gambar 38. Sisi Aktif Enzim Dapat Berubah Bentuk Sesuai dengan Bentuk Substratnya



Gambar 39. Bentuk Lain Enzim pada Tumbuhan

- I. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor; terutama adalah suhu, derajat keasaman (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. Banyak obat dan racun adalah inhibitor enzim. Faktor - faktor tersebut diantaranya :

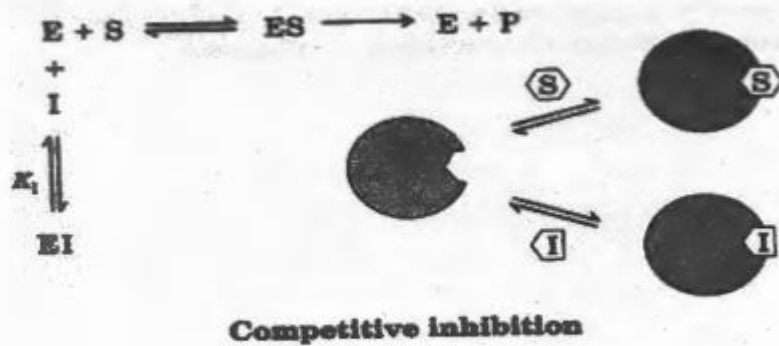
a. Suhu, Enzim tersusun dari protein, maka enzim sangat peka terhadap suhu. suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein. Suhu yang terlalu rendah dapat menghambat reaksi. Pada umumnya optimum enzim adalah 30-40⁰C. Kebanyakan enzim tidak menunjukkan reaksi jika suhu turun sampai 0⁰C , namun enzim tidak rusak, bila suhu normal maka enzim akan aktif kembali. enzim tahan pada suhu rendah, namun rusak diatas suhu 50⁰C.

b. Perubahan pH Enzim juga sangat terpengaruh oleh pH. Perubahan pH dapat mempengaruhi perubahan asam amino kunci pada sisi aktif enzim sehingga menghalangi sisi aktif berkombinasi dengan substratnya. pH optimum yang diperlukan berbeda - beda tergantung jenis enzimnya.

c. Konsentrasi Enzim dan Substrat Agar reaksi betjalan optimum, maka perbandinganjumlah antara enzim dan substrat harus sesuai. Jika enzim terlalu sedikit dan substrat terlalu banyak reaksi akan betjalan lambat bahkan ada substrat yang tidak terkatalisasi. Semakin banyak enzim, reaksi akan semakin cepat.

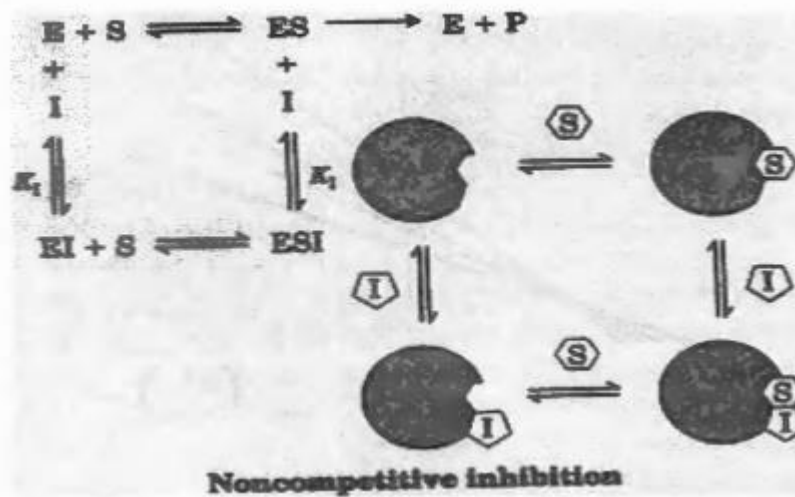
d. Inhibitor Enzim Seringkali enzim dihambat oleh suatu zat yang disebut inhibitor, ada dua jenis inhibitor yaitu sebagai berikut:

- II. 1. Inhibitor kompetitif. Pada penghambatan ini zat- zat penghambat mempunyai struktur yang mirip dengan struktur substrat. Dengan demikian baik substrat maupun zat penghambat berkompetisi a tau bersaing untuk bersatu dengan sisi aktif enzim, jka zat penghambat lebih dulu berikatan dengan sisi aktif enzim, maka substratnya tidak dapat lagi berikatan dengan sisi aktif enzim.



2. Inhibitor nonkompetitif

Pada penghambatan ini, substrat sudah tidak dapat berikatan dengan kompleks enzim- inhibitor, karena sisi aktif enzim berubah.



J. Sifat-Sifat Enzim + I Enzim mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Biokatalisator, mempercepat jalannya reaksi tanpa ikut bereaksi.
2. Thermolabil; mudah rusak, hila dipanasi lebih dari suhu $60^{\circ}C$, karena enzim tersusun dari protein yang mempunyai sifat thermolabil.
3. Merupakan senyawa protein sehingga sifat protein tetap melekat pada enzim.
4. Dibutuhkan dalam jumlah sedikit, sebagai biokatalisator, reaksinya sangat cepat dan dapat digunakan berulang-ulang.

5. Bekerjanya ada yang di dalam sel (endoenzim) dan di luar sel (ektoenzim), contoh ektoenzim : amilase dan maltase.
6. Umumnya enzim bekerja mengkatalisis reaksi satu arah, meskipun ada juga yang mengkatalisis reaksi dua arah, contoh: lipase, mengkatalisis pembentukan dan penguraian lemak. lipase Lemak+H₂O --> Asam lemak + Gliserol
7. Bekerjanya spesifik ; enzim bersifat spesifik, karena bagian yang aktif (permukaan tempat melekatnya substrat) hanya setangkup dengan permukaan substrat tertentu.
8. Umumnya enzim tak dapat bekerja tanpa adanya suatu zat non protein tambahan yang disebut kofaktor.

c. Latihan

1. Uraikanlah hubungan karakteristik sifat enzim dengan mekanisme kerja enzim di dalam tubuh tumbuhan
2. Jabarkan minimal 3 peranan enzim pada metabolisme tubuh tumbuhan
3. Buatlah klasifikasi singkat penggolongan enzim

d. Evaluasi

1. Jelaskan cara kerja enzim
2. Enzim Desmolase dibagi menjadi 2, sebutkan dan jelaskan

Kunci :

1. Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan dengan demikian mempercepat proses reaksi. 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 disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat

tetap. Sebagai contoh, enzim α -amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa.

2. a. Karboksilase yaitu enzim yang mengubah asam piruvat menjadi asetaldehid.
- b. Transaminase yaitu enzim yang memindahkan gugusan amine dari suatu asam amino ke suatu asam organik sehingga yang terakhir ini berubah menjadi suatu asam amino.

Kegiatan Pembelajaran ke - 14

Zat Pengatur Tumbuh Tanaman

a. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai pengertian zat pengatur tumbuh tanaman (ZPT)
2. Mahasiswa diharapkan mampu dan menguasai macam-macam ZPT
3. Mahasiswa diharapkan mampu menguasai jalur biosintesis ZPT

b. Materi Pembelajaran

Pengertian Dasar, dibedakan :

1. Plant Growth Regulator (PGR)

Senyawa organik bukan nutrisi tanaman (nutrient) yang aktif dalam konsentrasi rendah

(< 1 mM), merangsang, menghambat atau merubah pertumbuhan dan perkembangan tanaman,
secara kualitatif dan kuantitatif.

2. Hormon Tumbuh (Plant Hormon)

Senyawa organik bukan nutrisi tanaman, yang aktif dalam konsentrasi rendah (< 1mM),

diproduksi pada bagian tumbuhan tertentu dan umumnya ditranslokasikan ke bagian lain
tanaman dan mengatur fisiologi tumbuhan.

3. Vitamin

Senyawa organik yang diproduksi oleh tumbuhan dan aktif dalam jumlah yang sangat kecil

(< 1 mM) dan pada umumnya tidak ditranslokasi dari daerah produksi ke daerah kerja

4. Nutrisi Tanaman

Senyawa kimia yang diperlukan untuk pertumbuhan dan metabolisme. Unsur hara tanaman

umumnya senyawa anorganik.

Zat Pengatur tumbuh (ZPT) terdiri atas dua kelompok :

a. Promotor (pendorong) pertumbuhan diantaranya :

Auksin (Auxin) Gibberalin (Gibberellin)

Etilen (Ethylene) Sitokinin (Cytokinin)

b. Inhibitor (penahan) pertumbuhan, diantaranya :

Asam absisik (abscisic acid) atau ABA

Secara umum pada tumbuhan :

Bila Promotor lebih besar daripada Inhibitor, tanaman akan berkembang. Bila Promotor lebih

sedikit daripada inhibitor, tanaman akan berhenti.

ZPT : a. Endogen/asli (fitohormon)

b. Eksogen/sintetik

Endogen :

Auksin

Gibberallin

Sitokinin

Inhibitor ABA

Fenolik

Etilen

Eksogen :

Auksin

Gibberallin

Sitokinin

Inhibitor ABA

Fenolik

Etilen carrier

Auksin : a. Endogen IAA

b. Eksogen (sintetik)

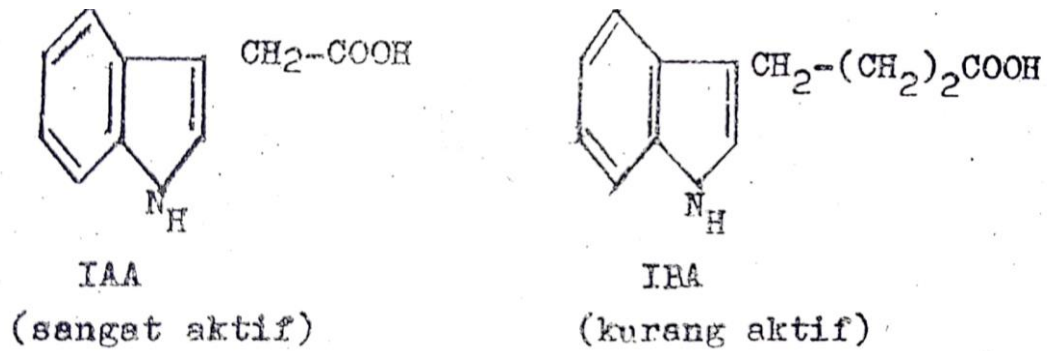
1. Asam indole IAA, IBA

2. Asam naphthalen NAA

3. Asam khlorofenoksi 2.4. D, 2.4.5. T

4. Asam benzoic : Dicamba

5. Asam pikolimik : Tordon



Ada tiga syarat suatu senyawa digolongkan kedalam ZPT

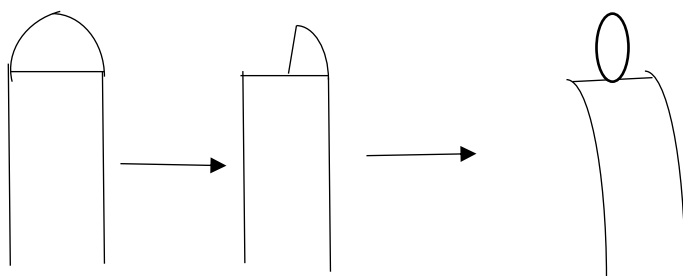
1. Senyawa tersebut harus ada ikatan sildis baik senyawa benzena atau pyrol dan lainnya
2. Harus ada ikatan tidak jenuh
3. Harus ada rantai cabang

Biasanya makin panjang rantai cabang senyawa tersebut kurang aktif (lihat IBA).

Auksin

Auksin ditemukan oleh Darwin (1897), pada percobaan Fototropisme terhadap coleoptile. Saat penyinaran coleoptile melengkung ke arah sinar.

Paal (1919), bila pucuk telah dipotong, diletakkan kembali menyamping, maka bagian bawah melengkung



Gambar 40. Percobaan Paal pada Ujung Coleoptil

F.W. Went (1928), menemukan zat tumbuh (auksin) pada sejenis gandum Avena yang ditemukan pada ujung koleoptil dinamakan auxin (auksin-a) ($C_{18}H_{32}O_5$). Pada ujung species lain juga ditemukan auksin-b ($C_{18}H_{30}O_4$).

Hetero auksin (Asam indol-asetat) atau AIA pengaruhnya agak kurang daripada auksin-a atau auksin-b.

AIA mudah dibuat, auksin-a dan auksin-b sukar diperoleh.

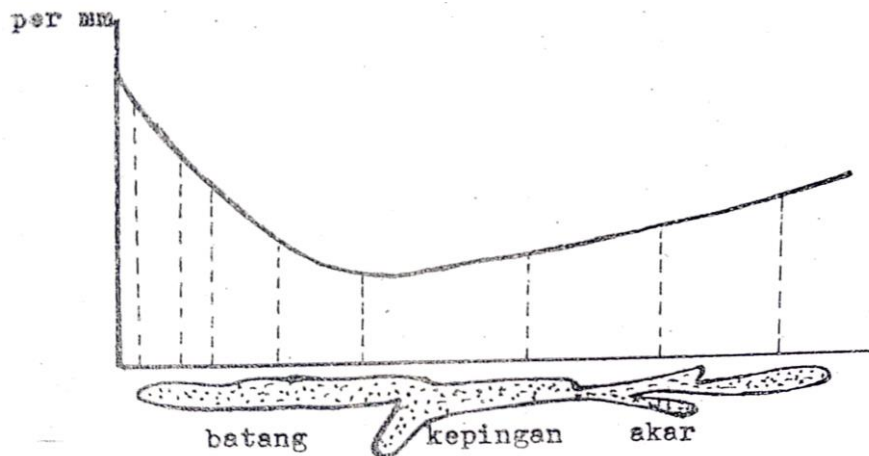
Urine manusia yang makan tumbuhan *Cruciferae* (kol dan sejenisnya) mengandungi; auksin-a, auksin-b dan AIA (hetero auksin).

Auksin dibentuk di ujung meristem : tunas, kuncup bunga, ujung akar dan pucuk daun.

Bagian bagian yang jauh dari ujung, jumlah auksin berkurang

Konsentrasi

Auksin persatu unit



Gambar 41. Distribusi Auksin pada Kecambah Avena (menurut Thimann)

Went (1928), menemukan auksin dan mengatakan tidak ada pertumbuhan tanpa auksin.

Kogl dan Kontermans (1934), mengemukakan bahwa Indole Acetid Acid (IAA) adalah suatu auksin.

Kogl dan Hagen-Smith (1931), ahli yang pertama mengisolasi auksin dari urine manusia.

Kogl dan Konstermans (1934), mengemukakan bahwa Indole Asetat Acid (IAA) adalah suatu auksin

K. V. Thieman (1935), mengisolasi auksin dari candawan *Rhizopus* sp.

Hagen-Smith (1946), yang mula mula mengisolasi aksin dari tanaman tingkat tinggi.

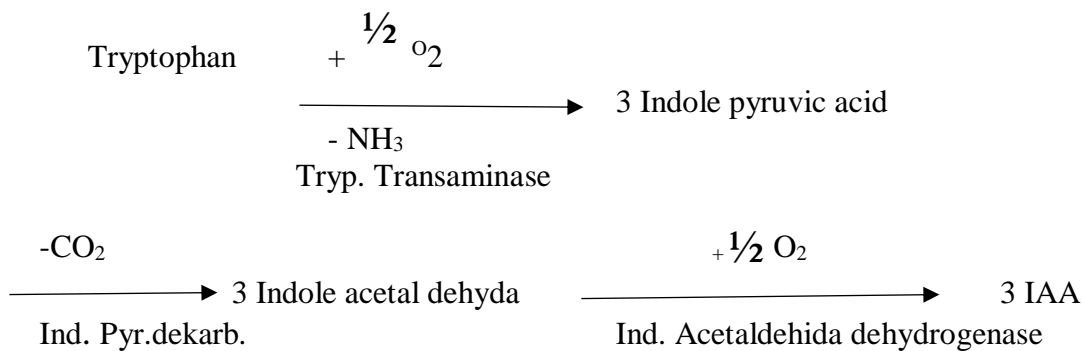
Auksin Alamiah

Terdapat mulai dari ; bakteri, Fungi, Algae sampai tanaman tingkat tinggi.
Dijumpai di jaringan meristematik (pucuk, daun muda, bunga, buah dan biji).

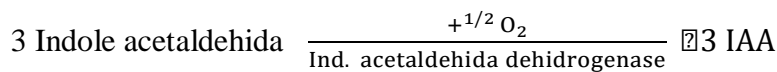
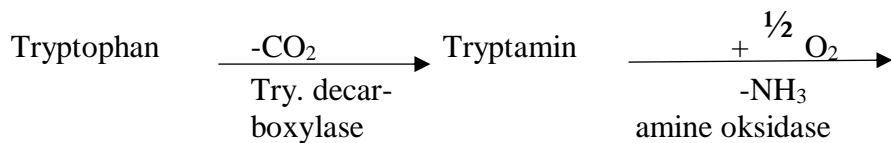
Biosintesis auksin

Ada tiga jalur biosintesis auksin ;

1. Zat pemula (precursor), tryptophan

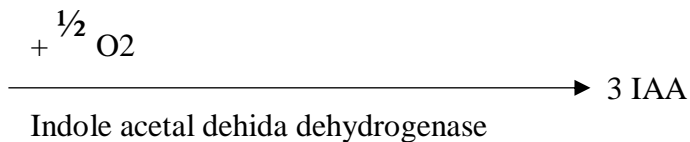
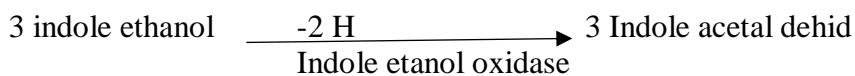


2. Zat pemula Tryptophan

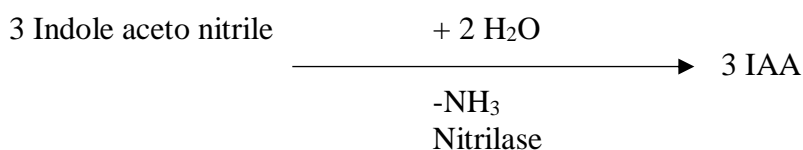


3. Zat pemula (precursor) bukan tryptophan

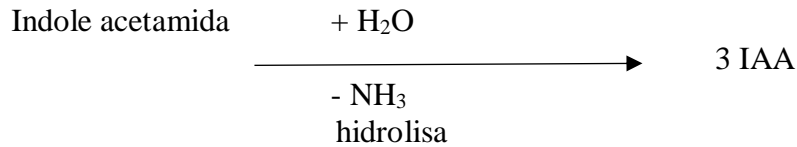
(a). kecambah mentimun



(b). Tanaman Cruciferae



(c). Tanaman Tomat



Pada sintesis/biosintesis auksin tanaman

(1). Pada setiap species tanaman terdapat jalur yang berbeda untuk mengkonversi Tryptophan

menjadi IAA.

(2). Pada setiap species tanaman terdapat lebih dari satu jalur.

(3). Jalur jalur berbeda pada :

Gibberellin

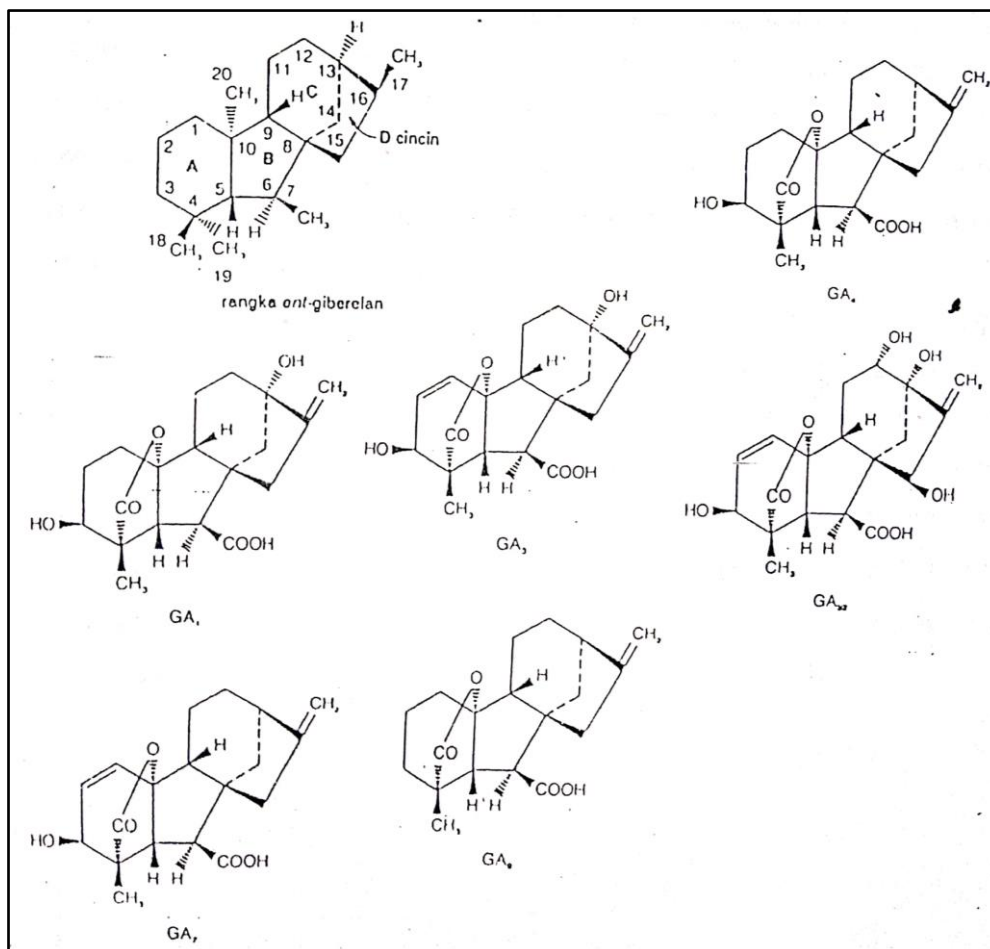
a. Setiap bagian tanaman

b. Bagian tanaman yang sama

pada fase perkembangan yang berbeda

Gibberellin pertama kali ditemukan di Jepang dalam kajian terhadap penyakit padi yang tumbuh secara berlebihan tingginya dari tanaman normal. Pada awal tahun 1890 orang Jepang menyebutnya penyakit bakanae (kecambah tolol) yang disebabkan oleh cendawan *Gibberella fujikuroi* (fase a seksual atau tingkat tinggi inperfect *Fusarium moniliforme*). Senyawa kimia aktif dihasilkan oleh cendawan tersebut disebut **gibberellin**.

Paling sedikit ada 50 gibberellin (Gambar 6.4.). semua gibberellin mengandung 19 sampai 20 gugus atau karbon dikelompokkan dalam empat atau lima sistem cincin, dan semuanya mempunyai satu atau lebih gugus karboksil.



Gambar 42. Struktur Rangka Gibberallin dan Jenis yang Aktif

Gibberellin biasanya disingkat dengan GA dan ditulis sebagai GA₁, GA₂, GA₃, dan seterusnya, untuk membedakan antara satu dengan lainnya. Akan tetapi GA₃ telah banyak dikaji dibandingkan dengan yang lainnya dan biasanya disebut sebagai asam gibberelat.

Gibberellin terdapat didalam angiospermae, gymnospermae, fernae, algae dan fungi (cendawan), akan tetapi belum ditemukan pada bakteri. Hanya pada tumbuhan berpembuluh peranan gibberellin telah banyak dikaji.

Gibberellin mempunyai kemampuan unik diantara hormon tumbuhan dalam hal merangsang tumbuh. Zat ini umumnya memacu perpanjangan batang dan pengaruhnya berbeda dengan auksin dalam hal ini. Kebanyakan dikotil dan beberapa monokotil memberikan tanggapan terhadap gibberellin. Beberapa spesies family Pinaceae memberikan tanggapan yang mudah terhadap gibberellin, barangkali di dalam tumbuhan tersebut sudah cukup tersedia gibberellin sesuai dengan yang ditentukan.

Kalus sangat tanggap terhadap pemberian GA₃, tumbuhan ini akan mencapai tinggi 2 m dan berbunga setelah diberi perlakuan GA₃. Beberapa tanaman secara genetik

berbatang pendek, setelah diberikan perlakuan GA₃, maka batangnya lebih tinggi. Dorongan pertumbuhan pada berbagai tanaman berbatang pendek oleh gibberellin digunakan secara umum untuk uji hayati tanggapan terhadap gibberellin.

Metabolisme Gibberellin

Gibberellin merupakan senyawa dari gugus isoprenoid. Bahan ini disintesis dari unit asetat pada acetyl koenzim A. Geranyl-geranyl pyrophosphate, suatu gugus 20 karbon bertindak sebagai donor untuk semua atau karbon gibberellin. Selanjutnya dikonevrsi menjadi kopalyl pirofosfat, mempunyai dua system cincin, lalu ke kauren. Kauren bahan yang mempunyai aktivitas gibberellin, selanjutnya dikonversi didalam tumbuhan menjadi gibberellin. Beberapa langkah konversi ini adalah oksidasi terjadi didalam membrane reticulum endoplasmic. Mereka melibatkan senyawa inter mediat kourenol (sejenis alcohol), kaurenal (sejenis aldehid) dan asam kaurenovat. Senyawa pertama dengan seratan system cincin gibberellin adalah aldehida dan GA₁₂, mempunyai 20 molekul karbon. Dari materi tersebut juga diperoleh gibberellin dengan 19 atau 20 atau lamban didalam daun khloroplast terdapat gibberellin, inter konversi utama namun reaksi lintasan sampai ke asam kaurenat mungkin terjadi diluar plastisida.

Adanya bahan kimia yang digunakan secara komersial untuk menghambat pemanjangan batang dan menyebabkan kekerdilan pada suatu bagian tumbuhan disebabkan oleh hambatan terhadap sintesis gibberellin. Senyawa tersebut antara lain Phosphan D, Amo-1618, Cycocel, dan Ancy midol. Dua yang pertama menahan konversi geranyl - geranyl pirofosfat ke kopalil pirofosfat, Ansmidol menghambat reaksi antara kauren dan kaurenat.

Sitokinin

Skoog dan Miller telah menemukan zat yang dapat merangsang pembelahan sel. Mereka menemukan ketika melakukan percobaan kultur jaringan dengan kambium batang tembakau. Jaringan kambium batang tembakau yang ditumbuhkan pada media dasar saja yang mengandung ion-ion anorganik, sukrosa dan vitamin ternyata tumbuh lambat. Penambahan IAA dapat memacu pertumbuhan kalus tetapi pertumbuhan tidak berkelanjutan. Penambahan IAA bersama-sama ekstrak santan kelapa atau ragi dapat memacu pertumbuhan kalus dan berkelanjutan.

Kinetin atau sitokinin adalah N – (forfuryl) adenine merupakan turunan dari Nitrogen basa adenine. Kinetin mula-mula tidak dapat diisolasi dari jaringan tinggi tetapi pengujian dengan khromatografi menunjukkan keberadaannya meskipun dalam konsentrasi rendah.

Substansi dengan aktifitas menyerupai sitokinin telah diisolasi dari banyak tanaman. Letham telah mengisolasi dan mengidentifikasi senyawa seperti sitokinin tersebut dan diberi nama **zeatin**, karena diisolasi dari biji jagung muda. Zeatin juga ditemukan pada kacang-kacangan, spinach, kecambah gandum, ovule kapas, umbi kentang dan juga pada tanaman-tanaman lain.

Efek Fisiologis Sitokinin

Sitokinin didapati mempengaruhi berbagai proses fisiologis tanaman. Aktivitas utama dari sitokinin adalah pembelahan sel. Karena aktivitasnya dalam pembelahan sel inilah maka nama sitokinin atau kinetin diberikan. Betapapun demikian ternyata pembelahan sel-sel akar dihambat dengan pemberian sitokinin dari luar tanaman. Adanya pengaruh merangsang dan menghambat inilah menunjukkan adanya zat pengatur pertumbuhan yang lain, yang ikut berperan dalam pembelahan sel, dalam hal ini adalah auksin. Yang menjadi pertanyaan adalah berapa sebenarnya takaran yang pas antara sitokinin dan auksin agar dapat memacu pembelahan sel.

Sitokinin juga berperan dalam perkembangan embrio selama pertumbuhan biji. Cairan endosperm kelapa (santan kelapa) telah lama diberitakan merupakan sumber pengatur pertumbuhan yang berperan dalam pertumbuhan embrio. Meskipun santan kelapa mengandung sejumlah senyawa kimia aktif, tetapi salah satunya yang telah diidentifikasi adalah sitokinin.

Sitokinin juga meningkatkan pembesaran sel keping biji ataupun kotiledon. Sel-sel keping biji dan kotiledon tidak dapat dirangsang oleh auksin, meskipun auksin mampu merangsang pembesaran sel-sel parenkim.

Sitokinin dapat menunda kerusakan klorofil daun-daun yang dipotong. Aktivitas biokimia pada daun-daun yang dipotong dicirikan dengan katabolisme atau proses-proses degradasi. Aktivitas degradasi juga ditemukan dalam proses penuaan daun, buah dan organ lain. Sitokinin menghambat reaksi degradasi pada potongan daun dan memperlambat senes pada daun yang terikat dengan tanaman. Pengaruh fisiologis

sitokinin dapat dimodifikasi oleh faktor lain, misal pasokan unsur hara dan faktor-faktor lingkungan.

c. Latihan

Mahasiswa dilatih dengan membiasakan diri dengan ikatan kimia siklis

d. Evaluasi

1. Bedakan ZPT dengan Hormon Tumbuh

Kunci : ZPT bisa exogen

Hormon tumbuhan endogen

2. Tuliskan ZPT sebagai promotor

Kunci : Auksin, Gibberallin, Sitokinin dan Ethylen

3. Bila terjadi keguguran daun ZPT mana yang mengatur

Kunci : ABA

4. Dimana dijumpai auksin alami

Kunci : Di jaringan meristematik

5. Bila Auksin + Gibberellin + Sitokinin lebih kecil dari ABA. Apa yang terjadi pada tanaman.

Kunci : Daun gugur

Mekanisme Kerja ZPT

Ada dua istilah :

- a. Mekanisme kerja (*mechanism of action*) :

Interaksi langsung dan spesifik antara auksin dan senyawa spesifik tersebut

- b. Cara kerja (*mode of action*) :

Langkah selanjutnya dari reaksi tersebut yang bekerja

Mekanisme Kerja Auksin

Auksin ternyata telah menyebabkan banyak tanggapan di dalam pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian permulaan menunjukkan bahwa ide dari auksin dan hormon lainnya mungkin bertindak sebagai koenzim untuk enzim - enzim yang spesifik. Suatu alasan terhadap pengaruh auksin sebagai aktivitas katalis ada sejumlah kecil hormon dapat menyebabkan perubahan yang besar pada tanaman. Satu molekul IAA akan

berpengaruh terhadap ribuan hingga jutaan molekul lain di dalam sel, begitu bukan main meluaskan pertanda picu tanggap dan hormon lain terlibat jika hormon bertindak sebagai suatu koenzim, perluasan ini dapat dijelaskan, tetapi tidak ada kelompok hormon yang diketahui bertindak sebagai koenzim tertentu, juga tidak ada kejadian bahwa mereka menyebabkan perubahan allosterik dalam suatu enzim. Dua kemungkinan masih muncul, akan tetapi banyak enzim khromosomal menyatu dengan sintesis DNA dan RNA, banyak enzim dan protein ribosom bertanggung jawab untuk pembentukan protein, dan hamper semua protein tidak dapat diisolasi dan dicirikan, enzim - enzim dan protein menerima banyak perhatian didalam teori aksi hormon.

Kejadian pertama bahwa hormon tumbuhan dapat mempengaruhi sintesis asam nukleat (Shoog *et al.*, 459). Mereka mendapatkan bahwa pertumbuhan jaringan dari setiap sel tumbuhan dibudidayakan *in vitro* distimulasi oleh IAA dan bahwa pertumbuhan ini didahului oleh suatu peningkatan dalam perbandingan tanggap pertumbuhan RNA.

Bahan lain menjelaskan bahwa protein membentuk penghambat seperti antibiotic syklo heksimida, peromycin dan khloromphenikal adalah penghambat auksin. Dengan demikian RNA mengintesis penghambat seperti oktinomycin D. Dengan demikian diduga bahwa molwkul RNA membutuhkan untuk sintesis enzim atau protein lain dihasilkan lebih cepat dengan adanya auksin, dan zat penghambat dapat dicegah. Sintesis RNA ribosom khusus dirangsang oleh auksin dan nucleoli bertanggung jawab untuk sintesis ini juga mengikuti dalam ukuran setelah perlakuan auksin. Pada hipokotil kedelai meningkatnya RNA ribosom hasil dari permanenan aktivitas RNA polynurose, tanggung jawab enzim.

Kerja Gibberellin

Gibberellin mendorong perkecambahan biji dan pertumbuhan tunas yang dormansi. Dormansi dari biji dan tunas dapat diatasi dengan perlakuan gibberellin. Didalam biji gibberellin memacu pemanjangan sel sehingga radikal dapat mendorong endosperm, kulit biji atau kulit buah yang membatasi pertumbuhan biji

Gibberellin juga menstimulir mobilisasi hara dan mineral didalam sel simpanan biji. Segera setelah berkecambah akar muda dan pucuk mulai menggunakan hara, lemak, pati, fruktosa dan protein simpanan di dalam sel pada biji. Untuk menggunakan bahan - bahan tersebut perlu adanya perubahan dari bentuk yang kompleks menjadi bentuk yang

lebih sederhana. Untuk itu gibberellin memegang andil besar didalam konversi tersebut terutama biji serealia.

Gibberellin juga dapat menyebabkan partai nonaktif (seedless) perkembangan biji dalam beberapa species dan dapat menunda penuaan daun dan pengguguran daun pada jeruk. Gibberellin secara bersama dengan hormon lain didalam mempengaruhi geotropism dan fototropisme.

Banyak pengaruh gibberellin menunjukkan ia mempunyai lebih dari 1 sisi utama penting. Walaupun mempunyai pengaruh tunggal untuk seluruh tumbuhan seperti memacu pemanjangan batang, paling tidak ada 3 kontribusi penting. Pertama pembelahan sel dirangsang didalam tunas pucuk, terutama dalam sel meristematik bisa berkembang sepanjang berkas kortek dan celah sel. Gibberellin mendorong pembelahan sel karena gibberellin meningkatkan tempat pembentukan kromosom dimana sintesis DNA dan RNA dimulai.

Hal kedua didalam mekanisme gibberellin, adalah gibberellin merangsang pertumbuhan sel karena meningkatkan hidrolisis pati, fruktosa dan sukrosa menjadi molekul glukosa dan fruktosa. Reaksi ini menyediakan energi via respirasi, menyokong pembentukan dinding sel dan menjadikan potensi air sel lebih negatif. Dengan berkurangnya potensi air sel, air lebih cepat masuk dan mengencerkan gula, menyebabkan sel berkembang. Pada batang tebu, gibberellin mendorong pertambahan hasil dan meningkatnya sintesis enzim invertase yang menghidrolisis sukrosa.

Pada kacang kate *dwarf peas*, aktivitas enzim invertase dan amilum menaik bersamaan dengan pertumbuhan. Hal ketiga didalam mekanisme ini adalah gibberellin kadang-kadang meningkatkan plastisitas dinding sel. Sebagai contoh pemanjangan ruas oat, dorongan pertumbuhan sel diperoleh dari interkalari meristem merupakan reaksi yang tidak umum. Disini tidak ada rangsangan pembelahan sel, pemanjangan karena GA_3 15 kali lebih besar dibanding dengan tanpa perlakuan, membuktikan bahwa sukrosa dan garam mineral menyediakan energi dan mencegah kelarutan kandungan sel.

Kenaikan nyata dari plastisitas dinding sel terjadi dan fenomena tampak menjelaskan dorongan gibberellin pada pertumbuhan hipokotil sel lada.

Tidak hanya pemanjangan sel yang didorong oleh gibberellin tetapi juga pertumbuhan seluruh tumbuhan termasuk daun dan akar. Penggunaan gibberellin secara langsung pada daun merangsang pertumbuhan daun dan bentuknya, penggunaan

langsung pada akar biasanya kurang berpengaruh terhadap pertumbuhannya. Tetapi jika gibberellin digunakan lebih spesifik ke tunas pucuk, meningkatkan pembelahan sel dan pertumbuhan sel menunjukkan peningkatan pemanjangan batang pada beberapa spesies, meningkatkan perkembangan daun-daun muda.

Bagaimana gibberellin dapat melonggarkan dinding sel dan juga meningkatkan pembentukan enzim hidrolitik yang berperan didalam pemanjangan sel belum jelas mekanismenya. Hal ini mungkin adanya sifat kontras dari gibberellin dibandingkan dengan auksin, H^+ nampaknya tidak dilibatkan pada ruas tanaman oat keterlambatan hampir 1 jam sebelum dorongan pemanjangan dapat dideteksi. Keadaan ini mungkin membiarkan cukup waktu untuk gibberellin meningkatkan sintesis RNA atau enzim yang diperlukan untuk menjelaskan tanggapan pertumbuhan, barangkali hidrolase memecahkan polisakarida, dinding sel disintesis lebih cepat bentuk sederhana dan menjadi lebih aktif pada perlakuan GA.

Mekanisme Kerja Sitokinin

Beberapa bukti nyata menyatakan bahwa sitokinin memegang peranan dalam metabolisme asam nukleat. Bahan kimia yang bergandengan dengan adenin ditemukan pada DNA dan RNA bahkan telah diisolasi dari bagian meristem aktif yang mensintesis asam nukleat dan protein.

Peran sitokinin menghambat proses menguningnya daun ketika mengalami senescens.

Hal ini terjadi karena sitokinin menghambat proses degradasi klorofil pada daun, disamping mengaktifkan proses metabolisme. Dengan adanya aplikasi sitokinin akan terjadi perubahan proses metabolisme dan sebagai hasilnya mungkin akan terakumulasi molekul asam amino, fosfat organik, gula dan lain lain.

Satu kemungkinan peran sitokinin dalam metabolisme tanaman lebih diyakinkan dengan penemuan bahwa RNA menemukan aktivitas sitokinin. Kalau dilihat pada bab terdahulu bahwa sintesis protein berarti meliputi juga pembentukan RNA (m-RNA, r-RNA dan t-RNA).

Peran t-RNA dalam sintesis protein adalah memasok asam amino khusus ke ribosom dimana molekul protein dibentuk. Karena ada 20 macam asam amino maka juga

harus ada 20 molekul t-RNA yang berbeda. Masing masing t-RNA tersusun dari sekitar 70 hingga 80 nukleotida (basa nitrogen, gula dan fosfat).

Telah diteliti pula bahwa sitokinin mempengaruhi aktivitas beberapa enzim. Pada situasi tertentu sitokinin menggantikan peran gibberellin dalam menginduksi “de novo sintesis” α amilase dalam perkecambahan biji.

Dalam penghambatan senescens daun, sitokinin diyakini bereaksi dengan tanggapan enzim pada pembentukan asam amino, juga sitokinin menghambat protein selama terjadi senescens.

Mekanisme Aksi ABA

ABA berinteraksi dengan IAA, sitokinin dan gibberellin dalam sejumlah aktivitas fisiologis. Pada beberapa interaksi ABA merangsang penghambatan atau menghambat pengatur pertumbuhan yang lain. Namun ternyata sangat sulit menemukan aksi yang spesifik dari ABA.

Pengaruh ABA pada sel penjaga dan aktivitas stomata kurang menarik perhatian. ABA dapat mengubah membran menjadi terlewati ion K^+ . Dengan hilangnya ion K^+ pada sel penjaga konsentrasi cairan menurun dan air bergerak dari sel penjaga ke sel sel sekitar. Kehilangan air berarti kehilangan turgor bagi sel penjaga, sehingga stomata menutup. Bila kondisi cekaman dipulihkan ABA hilang dan ion K^+ diangkut kembali ke sel penjaga sehingga konsentrasi cairan sel yang menurun dapat dipulihkan kembali.

Mekanisme Aksi Etilen

Beberapa pengaruh etilen pada tumbuhan : absisi organ, pematangan buah, senescens, perubahan warna mahkota bunga, epinasti, merupakan gabungan akibat perubahan dalam peralatan membran sel. Mekanismenya diperkirakan etilen mengikat beberapa komponen dari membran sel.

c. Latihan

Mahasiswa dilatih dengan membiasakan diri dengan ikatan kimia siklis

d . Evaluasi

1. Bedakan ZPT dengan Hormon Tumbuh

Kunci : ZPT bisa exogen

Horman tumbuhan endogen

2. Tuliskan ZPT sebagai promotor

Kunci : Auksin, Gibberellin, Sitokinin dan Etilen

3. Bila terjadi keguguran daun ZPT mana yang mengatur

Kunci : ABA

4. Dimana dijumpai auksin alami

Kunci : Di jaringan meristematik

5. Bila Auksin + Gibberellin + Sitokinin lebih kecil dari ABA. Apa yang terjadi pada tanaman.

Kunci : Daun gugur

6. Auksin dalam jaringan tanaman tidak bekerja sendiri tetapi memerlukan senyawa apa

Kunci : DNA, RNA

7. Suatu ZPT yang dapat mengatasi dormansi adalah

Kunci : Gibberellin

8. Suatu senyawa yang kerjanya diaktifkan oleh sitokinin dinamakan

Kunci : Asam nukleat

9. Kelompok ZPT yang menghambat pertumbuhan

Kunci : ABA

10. ZPT yang mengatur proses pematangan buah adalah

Kunci : Etil

PUSTAKA

Suseno, H. 1974. Fisiologi Tumbuhan, IPB Bogor

Noogle, G. R. and G. J. Fritz. 1983. Introduction Plant Physiology. 2nd Ed. Prentice Hill Inc. Englewood Cliffs, New Jersey

Bidwell. R, GS. 1974. Plant Physiology Mc. Millan. Pub. Co. Inc. London

Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1985. Plant Physiologi 3nd edit. Wadsworth. Pub. California

Leopold, C. A. and P. E. Kriedeman. 1975. Plant Growth and Development 2nd edit. Mc.Graw Hill. Coy. New York

Dartius, 1996. Fisiologi Tumbuhan. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan

