

BERBAGAI FUNGSI PADA TUMBUHAN

Pendahuluan

Materi yang dibahas dalam Modul 6 merupakan lanjutan dari Modul 5 yang berhubungan dengan materi berbagai fungsi pada tumbuhan. Secara khusus pada modul ini terdiri dari 2 kegiatan belajar, dengan pokok bahasan pertumbuhan dan perkembangan sebagai kegiatan belajar 1 dan fotosintesa sebagai kegiatan belajar 2.

Pertumbuhan dan perkembangan, memberikan pemahaman tentang germinasi perkembangan biji, pertumbuhan primer, dan pertumbuhan sekunder. Semuanya berkisar pada tumbuhan sekaligus pula di dalamnya memberikan pemahaman bahwa pertumbuhan dan perkembangan tanaman berbeda dengan hewan, terkadang pada tumbuhan prosesnya akan berlangsung sepanjang hidupnya.

Fotosintesa, membahas tentang pigmen fotosintesa, reaksi gelap dan reaksi terang. Secara umum materi pokok bahasan fotosintesa masih merupakan rangkaian materi yang berkaitan dengan metabolisme sel di dalam tubuh tanaman, khususnya dalam pembahasan anabolisma (sintesis).

Materi berbagai fungsi pada tumbuhan pada kegiatan belajar Modul 6 dapat berguna untuk membekali wawasan berpikir anda untuk mengenal tumbuhan secara fisiologis yang berkaitan dengan proses yang terjadi pada pertumbuhan dan perkembangan, juga proses fotosintesa (anabolisma) pada tumbuhan.

Secara praktis juga diharapkan dapat memberikan pemahaman konsep dan gambaran bagaimana cara mengajarkannya.

Pada akhirnya setelah anda mempelajari modul ini mampu menggunakan keterampilan proses untuk memahami konsep-konsep berbagai fungsi pada tumbuhan, sekaligus juga mampu mengkomunikasikan pemahaman anda.

KEGIATAN BELAJAR 1

Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan dua istilah berbeda makna, dan sepintas lalu kita sulit untuk membedakannya. Ke-dua istilah tersebut merupakan suatu peristiwa biologi yang senantiasa berbarengan dan saling melengkapi. Dalam kenyataan ke dua istilah tersebut sulit untuk dipisahkan.

Pertumbuhan adalah peristiwa perubahan yang bersifat irreversible. Perubahan tersebut meliputi penambahan volume dan jumlah, perubahan struktur dan susunan kimia. Perlu diperhatikan bahwa pertumbuhan jangan hanya diartikan penambahan volume saja, melainkan juga dapat diartikan sebagai peningkatan masa atau protoplasma suatu organisma. Peningkatan masa mencakup perubahan struktur dan susunan kimia. Oleh karena itu, pertumbuhan dapat diketahui melalui peningkatan ukuran dan peningkatan jumlah sel.

Perubahan bentuk pada pertumbuhan biasanya disertai dengan penambahan volume. Kenaikan volume tersebut disebabkan oleh penambahan jumlah sel, sebagai akibat kegiatan titik tumbuh, dan pembesaran tiap sel.

Gambar 1.1 Tahapan pertumbuhan biji tanaman

Peristiwa pertumbuhan pada tumbuhan disebabkan oleh meristem yaitu jaringan yang sel-selnya tetap bersifat embrional. Berkaitan dengan itu maka pada meristem terdapat sel-sel yang selalu membelah, yaitu satu atau banyak sel yang dapat dianggap menjadi tempat aktivitas pembelahan. Meristem atau titik tumbuh yang dimaksud adalah antara lain titik tumbuh primer dan titik tumbuh sekunder.

Tumbuh pada tanaman disebabkan oleh adanya jaringan meristematis, yaitu titik tumbuh, kambium primer, kambium sekunder dan perisikel (perikambium). Titik tumbuh terletak pada ujung akar, ujung batang, yang menyebabkan akar dan batang tersebut tumbuh memanjang dan tinggi.

Gambar. 1.2 Bagian akar yang mengalami pertumbuhan

Sel-sel dalam meristem akan mulai mengadakan diferensiasi, artinya membentuk deretan atau lapisan sel yang mulai berbeda bentuk dan mulai timbul ruang antar sel. Pertumbuhan seperti demikian disebut sebagai *pertumbuhan primer*.

Pertumbuhan primer adalah suatu peristiwa tumbuh oleh adanya kegiatan meristem primer di ujung batang dan di ujung akar yang terbentuk sejak tumbuhan masih berupa embrio (lembaga). Bila ujung embrio yang satu membentuk akar dan ujung lainnya membentuk batang maupun daun, maka disebut embrio tumbuhan *bipolar* atau ber kutub dua. Tetapi bila ujung embrio yang satu membentuk batang maupun daun dan ujung lainnya tidak berkembang, maka disebut embrio tumbuhan *univolar* atau ber kutub satu. Pada setiap ujung akar maupun batang, terdapat pelindung yaitu *koleoptil* untuk ujung batang dan *koleorhyza* untuk ujung akar.

Ada beberapa teori tentang meristem apikal yaitu : teori sel apical, teori Histogen, dan teori Tunika korpus.

Teori sel apical, menganggap bahwa sel-sel yang terletak di bagian ujung dari akar dan cabang merupakan meristem konstan.

Gambar 1.3 Sel-sel ujung akan menurut teori sel Apikal

Menurut Hanstein dalam teori Histogen, memandang bahwa terdapat 3 daerah pembentukan jaringan yaitu : (1) *Dermatogen*, yaitu lapisan yang terdiri dari satu lapis sel yang membentuk lapisan epidermis; (2) *Periblem*, yaitu lapisan tengah yang terdiri dari beberapa lapisan sel yang akan membentuk korteks; (3) *Plerom*, yaitu lapisan dalam yang membentuk silinder pusat.

Gambar 1.4 Tiga daerah pembentukan jaringan menurut Hanstein

Bagian ujung batang terlindung oleh bakal daun dan antara bakal daun terdapat bagian yang menonjol yaitu bakal cabang untuk menjadi cabang, dan percabangan bersifat eksogen.

Setiap jaringan yang sel-selnya telah mengalami diferensiasi dan berfungsi sebagai jaringan dewasa, tetapi masih dapat melakukan aktivitas sebagai meristem, disebut *meristem sekunder*. Peristiwa tumbuh yang disebabkan oleh kegiatan meristem sekunder disebut pertumbuhan sekunder. Pertumbuhan sekunder banyak ditemukan pada tumbuhan dikotil dan Gymnospermae.

Kambium, dapat membentuk macam-macam jaringan baru ke berbagai arah, baik dalam batang maupun akar. Jaringan ini ke arah antiklinal membentuk sel-sel initial baru, dan ke arah periklinal membentuk xilem sekunder, floem sekunder dan kadang-kadang membentuk sel jari-jari empulur atau parenkim sekunder. Kegiatan kambium ke arah dalam lebih besar dibandingkan dengan ke arah luar, sehingga bagian kayu lebih tebal dibandingkan dengan bagian kulit. Kambium demikian sering disebut kambium primer atau kambium fasikuler yang terdapat diantara xilem dan floem dari jenis ikatan pembuluh terbuka. Peristiwa tumbuh seperti ini disebut tumbuh lingkaran sekunder sehingga batang dan akar tumbuh melebar.

Felogen, atau kambium gabus terdapat di permukaan batang dan akar sehingga epidermis pecah akibat proses tumbuh lingkaran sekunder. Sel yang dihasilkan khusus membentuk jaringan pelindung karena umumnya selnya mati dan ber dinding gabus. Felogen bersifat *dipleuritis*, yaitu ke arah luar membentuk *felem* atau sel-sel gabus sekunder, dan ke arah dalam membentuk *feloderm* atau parenkim gabus.

Perisikel, atau perikambium terdapat pada bagian akar dan batang tumbuhan dikotil dan gymnospermae. Perisikel berfungsi antara lain adalah membentuk cabang akar dan batang.

Lingkaran tahun, adalah jumlah xilem yang terbentuk dalam satu masa tumbuh atau lapisan kayu yang terbentuk sebagai hasil kerja kambium dalam waktu tertentu. Misal : pada musim hujan, xilem terbentuk sedikit dan berdiameter lebar supaya dapat mengangkut banyak air, tetapi pada musim kemarau xilem terbentuk banyak dan berdiameter sempit sehingga gaya kohesi yang ada mampu menaikkan air. Kambium tidak bekerja di musim salju sehingga xilem tidak terbentuk.

Pertumbuhan tumbuhan dari waktu ke waktu tidak pernah sama. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan yakni faktor eksternal dan faktor internal. Yang termasuk faktor eksternal adalah : (1) *suhu*, untuk pertumbuhan dapat diklasifikasikan menjadi suhu maksimum, suhu optimum dan suhu minimum. Suhu maksimum adalah suhu yang paling tinggi yang masih dapat diadaptasi sehingga tumbuhan masih dapat hidup. Suhu optimum, adalah suhu yang paling baik untuk pertumbuhan, dan suhu minimum adalah suhu paling rendah yang masih bisa diadaptasi sehingga tumbuhan masih bisa hidup. Sebagai contoh, tumbuhan tinggi di daerah panas tidak bisa tumbuh di bawah 0 ° Celcius; suhu optimalnya 22 °-27 ° C; suhu minimalnya 10 ° C; (2) *Cahaya matahari*, intensitas cahaya matahari dan arah matahari berpengaruh besar terhadap pertumbuhan besar dan arah batang dan daun. Tanaman di daerah gelap cenderung untuk mempunyai batang yang panjang dan lemah, daun yang tidak tumbuh dengan jaringan tidak berklorofil. Keadaan seperti demikian disebut etiolasi. Tanaman yang tumbuh dengan cukup cahaya, daunnya mempunyai epidermis dan lapisan palisade yang tebal dengan ruang antra sel. Biji tanaman yang berkecambah di tempat gelap akan lebih cepat memanjang dibandingkan dengan di tempat terang. Berarti cahaya matahari menghambat pertumbuhan tanaman, walaupun semua makhluk hidup sangat membutuhkan cahaya matahari untuk kehidupannya ; (3) *Kelembaban*, umumnya akan mempercepat pertumbuhan tanaman. Sel muda dekat titik tumbuh dapat menghisap air dengan cepat dan dalam waktu singkat dapat mencapai volume tetap sehingga sel cepat mencapai ukuran maksimum. Jika kelembaban udara tinggi, maka penguapan oleh tumbuhan menjadi berkurang. Air yang diserap tetap, berarti semakin banyak air yang ditahan dalam tubuh tumbuhan. Keadaan ini berpengaruh baik bagi tumbuhan, karena selnya dapat tumbuh dengan baik. Jadi kelembaban tinggi berpengaruh baik bagi tumbuhan; (4) *air dan nutrien*, air merupakan bagian yang dapat membawa beraneka ragam zat hara yang terlarut di dalamnya akan diserap melalui akar untuk keperluan metabolisme. Dengan demikian tidak mungkin tumbuhan dapat hidup tanpa adanya air.

Faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan adalah : (1) *gen*, terbawa dalam kromosom yang menentukan sifat generasi berikutnya. Misal batang bersifat tinggi dapat diturunkan pada generasi berikutnya dengan memperlihatkan sifat batang tinggi pula; (2) *fitohormon (zat tumbuh)*, hormon ini banyak didapatkan pada meristem terutama di ujung

akar, daun muda yang sedang tumbuh, biji dan buah yang sedang berkembang, misal auksin, kalin, giberelin, sitokinin, dan florigen.

Auksin, merupakan senyawa asetat dengan gugusan indol dengan disertai derivatnya. Auksin akan rusak oleh cahaya matahari (ultraviolet), oleh karenanya, bagian batang yang tidak terkena cahaya matahari akan tumbuh terus, sedangkan yang terkena cahaya matahari akan terhambat pertumbuhannya, sehingga bagian batang tersebut akan membelok ke arah datangnya cahaya. Hal ini terjadi karena auksin berubah menjadi senyawa yang menghambat pertumbuhan.

Auksin memiliki pengaruh terhadap : (1) pembentukan akar; (2) perkembangan tunas; (3) kegiatan sel meristem; (4) pembentukan bunga; (5) pembentukan buah; (6) pengguguran daun dan buah.

Gambar 1. 5 Distribusi Auksin karena pengaruh cahaya

Kalin, merupakan sejenis hormon yang mempengaruhi pembentukan suatu organ, antara lain : (1) *Rhizokalin*, mempengaruhi pembentukan akar; (2) *Kulikalin*, mempengaruhi pembentukan batang; (3) *filokalin*, mempengaruhi pembentukan daun; (4) *Anthokalin*, mempengaruhi pembentukan bunga.

Giberelin, merupakan hormon yang diperoleh dari sejenis jamur *Giberrelin fujikuroi*, yang hidup sebagai parasit pada tanaman padi. Hormon ini berpengaruh

terhadap : (1) pertunasan sel, biji cepat tumbuh, ruas batang semakin panjang; (2) aktivitas kambium, sehingga tanaman menjadi tumbuh raksasa; (3) perkembangan bunga dan buah, sehingga cepat berbunga sebelum waktunya, pembentukan buah tanpa penyerbukan, buah menjadi besar kadang tanpa biji.

Sitokinin, merupakan hormon pertumbuhan yang berpengaruh terhadap : (1) pembelahan sel sehingga mempercepat pertumbuhan pucuk, tunas akar dan merangsang pelebaran titik tumbuh; (2) pembentukan bunga sehingga mempercepat pembentukan bunga; (3) mencegah prose penuaan pada daun sehingga tidak mudah gugur.

Florigen, berpengaruh terhadap : (1) buah menjadi cepat masak; (2) proses penuaan tumbuhan sehingga daun mudah digugurkan; (3) proses pembungaan.

Perkembangan tumbuhan adalah suatu proses menuju ke arah pendewasaan suatu tanaman. Perkembangan tersebut mencakup proses pembentukan bunga, buah dan biji, diferensiasi batang dan akar. Perkembangan berjalan paralel dengan pertumbuhan tanaman menuju ke arah tingkat yang lebih sempurna yang ditandai dengan adanya diferensiasi dan spesialisasi. Proses perkembangan tidak dapat diukur secara kuantitatif tetapi secara kualitatif, dengan kata lain perkembangan menunjukkan kompleksitas proses dari berbagai macam dan fungsi sel atau jaringan.

RANGKUMAN

- (1) Pertumbuhan dan perkembangan (pada tingkat organisma individu) pada tumbuhan diawali semenjak terjadinya fertilisasi.
- (2) Tiga bagian penting pada embrio yang terlibat dalam pertumbuhan tanaman adalah, tunas embrionik, akar embrionik, dan kotiledon.
- (3) Tunas embrionik merupakan calon batang, daun, dan nantinya akan membentuk bunga dan buah.
- (4) Akar embrionik berkembang menjadi akar dan batang bagian bawah
- (5) Kotiledon merupakan cadangan makanan untuk pertumbuhan dan perkembangan embrio hingga terbentuk daun. Tumbuhan tinggi yang memiliki dua kotiledon disebut dikotil, sedangkan tumbuhan tinggi yang

memiliki satu kutiledon disebut monokotil.

(6). Jaringan meristem memegang peran yang penting dalam pertumbuhan dan perkembangan. Semua jaringan permanen pada tumbuhan berasal dari jaringan meristem.

Tes Formatif 1

Petunjuk : Pilih salah satu jawaban yang paling tepat

1. Etiolasi adalah :
 - a. pertumbuhan yang sangat cepat dalam keadaan gelap
 - b. pertumbuhan yang lambat dalam keadaan gelap
 - c. pertumbuhan yang cepat dalam keadaan terang
 - d. pertumbuhan yang lambat dalam keadaan terang
2. Proses perkembangan meliputi beberapa hal tersebut di bawah ini, kecuali :
 - a. terbentuknya kambium
 - b. terbentuknya bunga dan buah
 - c. bertambahnya cabang akar dan batang
 - d. terbentuknya cabang akar dan batang
3. Perkecambahan biji dipengaruhi beberapa factor, antara lain :
 - a. oksigen, air dan suhu hangat
 - b. oksigen, air dan keadaan gelap
 - c. oksigen, suhu lembab dan gelap
 - d. oksigen, lembab dan terang
4. Pada bagian ujung akar tampak tumbuh lebih cepat dibandingkan dengan tempat lainnya, hal ini menunjukkan :
 - a. tempat terjadinya pembelahan sel
 - b. lebih banyak menyerap air
 - c. terdapat bulu akar
 - d. lebih banyak menyerap mineral
5. Filokalin merupakan hormon yang mempengaruhi pembentukan suatu organ

tanaman. Hormon ini berperan dalam :

- a. pembentukan bunga
- b. pembentukan batang
- c. pembentukan akar
- d. pembentukan buah

Cocokkanlah jawaban Anda dengan kunci jawaban tes formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini, Hitunglah jawaban anda yang benar. Kemudian gunakan rumus di bawah ini :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{5} \times 100 \%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

- 90 – 100 % = baik sekali
- 80 - 89 % = baik
- 70 - 79 % = cukup
- < 69 % = kurang

Bila tingkat penguasaan Anda mencapai 80 % ke atas, berarti Anda sudah baik dalam menguasai materi itu. Tetapi, bila masih di bawah 80 % Anda harus mengulang dulu bagian yang tidak dikuasai.

Glosarium

- Diferensiasi : perubahan yang terjadi selama masa pertumbuhan hingga terjadi perubahan struktur dan fungsi.
- Fitohormon : hormon yang diproduksi oleh bagian jaringan meristem tumbuh, biji dan buah yang sedang berkembang, serta mempengaruhi fungsi bagian tubuh.
- Lingkaran tahun : Bangunan seperti lingkaran yang tidak beraturan , tampak pada penampang melintang batang, sebagai hasil pertumbuhan kambium secara periodic.

- Meristem apical : jaringan tumbuhan pada ujung akar dan batang, terbentuk sejak tumbuhan masih embrio, berperan selama pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan

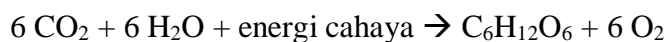
KEGIATAN BELAJAR 2

Fotosintesis

Fotosintesis, merupakan proses penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana, atau penyusunan (*sintesa*) senyawa organik dari senyawa anorganik dengan bantuan energi cahaya (*foto*). Dapat juga diartikan sebagai proses asimilasi yang menggunakan cahaya (matahari) sebagai sumber energi.

Secara fisiologis, umumnya tanaman memiliki kemampuan untuk menggunakan zat-karbon dari udara untuk diubah menjadi bahan organik serta diasimilasikan di dalam tubuh tanaman tersebut. Peristiwa ini hanya dapat berlangsung ketika ada cukup cahaya, dan oleh karena itu maka asimilasi zat-karbon disebut juga sebagai fotosintesis. Lengkapnya kita katakan, bahwa fotosintesis atau asimilasi zat-karbon itu suatu proses, di mana zat anorganik H₂O dan CO₂ oleh klorofil diubah menjadi zat organik karbohidrat dengan pertolongan sinar/cahaya/foto.

Peristiwa fotosintesis dinyatakan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut:



Peristiwa ini hanya berlangsung pada tumbuhan yang berklorofil, karena mampu menangkap energi cahaya. Fotosintesis selain menghasilkan karbohidrat juga menghasilkan gas oksigen yang merupakan bahan vital untuk melaksanakan respirasi aerob. CO₂ yang digunakan untuk fotosintesis sama jumlahnya dengan oksigen yang dihasilkan selama proses fotosintesis.

Molekul glukosa yang terbentuk kemudian bergabung dan membentuk tepung (amilum) dengan rumus kimia (C₆H₁₀O₅)_n. Persamaan reaksi kimia fotosintesis belum dapat menunjukkan adanya produk antara dan tahapan fotosintesis. Misalnya dari mana asal oksigen belum dapat diketahui dari reaksi tersebut.

Menurut penelitian van Niel (1931), bahwa fotosintesis berlangsung melalui dua tahap, yaitu reaksi terang (fotolisis) dan reaksi gelap (fiksasi CO₂). Pada reaksi terang terjadi pemecahan air oleh sinar matahari dan klorofil, itulah sebabnya proses ini disebut fotolisis. Sedangkan fiksasi CO₂ dalam proses pembentukan karbohidrat tidak memerlukan energi cahaya. Oleh karena itu, disebut reaksi gelap.

Untuk dapat memahami bagaimana proses fotosintesis tersebut dapat berlangsung, sebaiknya mempelajari terlebih dahulu komponen yang menunjang proses fotosintesis, yaitu CO₂, air, cahaya matahari dan klorofil.

CO₂ (*karbondioksida*), merupakan gas yang terdapat dalam campuran udara, yang kadarnya ± 0,03 % persatuan volume. Gas karbondioksida secara teratur akan diambil oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis dan dikembalikan ke lingkungan melalui proses respirasi. Kadar karbondioksida yang ada dalam udara akan meningkat jika jumlah makhluk hidup yang bernapas menjadi berlipat ganda. Gas karbondioksida tersebut akan masuk ke dalam tumbuhan melalui stomata (mulut daun), yang terlarut dalam uap air yang ada pada permukaan sel-sel jaringan pagar (sel palisade) dan sel bunga karang.

Karbondioksida diangkut ke kloroplas sebagai asam karbonat (H₂CO₃). Karena gas karbondioksida sangat mudah larut dalam air, maka tumbuhan yang hidup di air berada dalam lingkungan yang banyak mengandung karbondioksida. Hydrilla sebagai tumbuhan air, tidak mempunyai mulut daun, gas karbondioksida masuk ke dalam tubuh melalui seluruh permukaan tubuhnya. CO₂ akan menyumbangkan atom C ketika pembentukan karbohidrat (C₆H₁₂O₆). Ketika kadar karbondioksida di udara meningkat maka proses fotosintesis akan meningkat, demikian pula sebaliknya.

H₂O (air), sangat diperlukan dalam sintesis makanan bagi tumbuhan, diambil dari dalam tanah. Air dalam tanah umumnya sangat mudah diambil yaitu air kapiler. Air tersebut merupakan air yang terdapat diantara butir-butir tanah. Proses pengambilannya dilakukan oleh bulu akar, yang merupakan tonjolan sel epidermis. Dalam proses fotosintesis, molekul air diperlukan sebagai penyumbang atom Hidrogen (H), sedangkan Oksigen (O₂) akan dikeluarkan sebagai hasil sampingan.

Cahaya, peranan cahaya dalam proses sintesis ini yaitu sebagai sumber energi, cahaya matahari dalam keseharian kelihatan berwarna putih, padahal sesungguhnya tersusun atas tujuh macam spektrum cahaya, ketujuh macam spektrum cahaya tersebut mempunyai panjang gelombang yang tidak sama. Bila diurutkan cahaya matahari tersebut terdiri atas sinar merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu.

Tabel. 2.1 Spektrum cahaya matahari

Ketujuh warna tersebut terlihat oleh mata kita, kecuali sinar infra merah dan ultra ungu. Berdasarkan beberapa hasil penelitian, sinar merah, sinar biru, dan sinar ungu lebih banyak digunakan dibandingkan dengan keberadaan sinar lainnya. Energi sinar matahari yang digunakan hanya berkisar antara 0,5 – 2,0 % dari jumlah keseluruhan jumlah energi. Energi yang diberikan oleh sinar matahari tergantung kepada : kulit (jenis gelombang), intensitas (banyaknya sinar matahari per 1 cm² per detik), dan waktu (lama penyinaran). Sebagai contoh misalnya semakin meningkatnya intensitas, semakin meningkat pula laju proses fotosintesis, namun jika melebihi kadar tertentu, terkadang menghambat juga terhadap proses fotosintesis.

Klorofil, merupakan zat warna hijau daun yang dihasilkan oleh kloroplas, yang banyak ditemukan di dalam daun, terdiri atas grana dan stomata. Keberadaannya sangat menentukan proses fotosintesis, sekalipun terdapat gas karbondioksida, air, dan energi sinar matahari, proses fotosintesis tidak dapat berlangsung. Pada tanaman tinggi terdapat dua macam klorofil, yaitu klorofil a berwarna hijau tua dan klorofil b berwarna hijau muda. Klorofil a merupakan klorofil yang paling berperan dalam proses fotosintesis. Sedangkan yang lain hanya sebagai pigmen penunjang yang berperan membantu menangkap energi cahaya matahari.

Pembuktian proses fotosintesis dilakukan melalui eksperimentasi yang telah dilakukan oleh : *Ingenhouse* (1799), *Engelmann* (1822), *Sach* (1860).

Ingenhouse, membuktikan bahwa pada fotosintesis di lepaskan Oksigen, hal ini dibuktikan dengan percobaan yang menggunakan tanaman air *Hydrilla verticillata* di bawah corong terbalik (percobaan Ingenhouse). Jika tanaman tersebut terkena sinar, maka timbulah gelembung gelembung gas yang akhirnya mengumpul di dasar tabung reaksi. Gas tersebut ternyata oksigen.

Gambar 2.1 Pengeluaran Oksigen dalam percobaan Ingenhouse

Engelmann, membuktikan bahwa klorofil merupakan faktor keharusan dalam proses fotosintesis. Untuk ini ia menyinari ganggang hijau *Spirogyra* yang kloroflasnya berbentuk pita melingkar seperti spiral. Hanya kloroflas yang terkena sinar melepaskan oksigen. Ini terbukti dengan banyaknya bakteri-oksigen yang berkerumun sekitar tempat kloroflas yang kena sinar. (percobaan Engelmann).

Gambar 2.2 Percobaan Engelmann

Sach, membuktikan bahwa pada fotosintesa terbentuk karbohidrat amilum. Adanya amilum dibuktikan dengan pengujian yodium; amilum dengan yodium memberikan warna hitam. Amilum hanya terdapat pada bagian daun yang hijau dan kena sinar matahari (percobaan uji yodium).

Gambar 2.3 Percobaan Sach

a. Figmen Fotosintesa

Percobaan telah membuktikan bahwa terdapat perbedaan pengaruh antara alat dengan selubung berwarna yang digunakan, terhadap oksigen yang dihasilkan dalam proses fotosintesis. Ini membuktikan juga bahwa energi cahaya memiliki spektrum warna yang berbeda dapat mempunyai dampak yang berbeda juga terhadap sintesis. Sumber energi cahaya matahari memiliki spektrum cahaya mulai dari yang tidak kelihatan seperti infra merah kemudian berturut-turut adalah : merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu.

Ketika proses fotosintesa, berlangsung klorofil (pigmen hijau) dalam kloroflas dapat menyerap energi cahaya. Klorofil merupakan sebagian perangkat penting dalam fotosintesa yaitu bagian dari fotosistem. Dalam fotosistem disamping klorofil-a (pigmen hijau), terdapat juga klorofil-b (pigmen kuning sampai jingga yang disebut karoten). Klorofil-a dan pigmen- pigmen yang lain mengelompok dalam membran tilakoid, dan membentuk perangkat pigmen yang mempunyai fungsi dalam fotosintesa. Klorofil-a berada dalam bangunan yang disebut pusat reaksi, menyalurkan electron yang berenergi tinggi karena menyerap energi cahaya ke akseptor utama electron, yang selanjutnya masuk dalam sitem siklus electron. Klorofil-a, yang melepaskan electron berenergi tinggi memperoleh energinya dari dari cahaya yang berasal dari sekelompok molekul yang tergolong pada perangkat pigmen yang disebut antene. Unit yang mampu menangkap energi cahaya matahari, yaitu klorofil-a, kompleks antene dan akseptor electron disebut fotosistem.

Proses penyerapan energi cahaya selanjutnya berdampak kepada lepasnya electron berenergi tinggi dari klorofil-a, untuk selanjutnya disalurkan dan ditangkap oleh akseptor electron. Proses ini merupakan awal dari proses fotosintesa.

Pigmen yang bekerja atau berperan dalam proses fotosintesa ini, terdiri dari dua kelompok, yaitu system pigmen I (PI) dan sistem pigmen II (PII). Sinar dengan panjang gelombang lebih pendek dari 680 m μ akan mempengaruhi ke dua system pigmen, sedangkan panjang gelombang yang lebih panjang dari 680 m μ hanya akan berpengaruh terhadap system pigmen I.

Pada tumbuhan, sistem pigmen I, meliputi klorofil b, klorofil a 680, dan klorofil a 695, dan sejumlah kecil klorofil a yang menyerap sinar dengan panjang gelombang 700 m μ , yang dikenal dengan P₇₀₀. Sistem pigmen II (PII), mengandung klorofil b, klorofil a 670, dan klorofil a 680. Pada system pigmen II terdapat sejenis klorofil a yang khas, yang menyerap sinar dengan panjang gelombang 690 m μ , pigmen ini disebut P₆₉₀.

Pigmen tumbuhan, klorofil dan zat warna lain, berperan dalam menyerap energi matahari. Klorofil b dan karotenoid akan meneruskan energi diserap ke klorofil a. Klorofil di dalam daun.

Karena daun banyak mengandung klorofil, maka dapat dikatakan proses fotosintesa terjadi dalam daun, namun sebenarnya dapat juga terjadi di bagian tubuh tumbuhan lainnya yang berklorofil.

Gambar 2.4 Skema hipotesis penyebaran klorofil pada sistem pigmen

b. Reaksi Gelap dan Reaksi Terang

Reaksi-reaksi kimia fotosintesa (siklus Calvin) menghasilkan karbohidrat, dalam hal ini adalah glukosa, disebut sebagai reaksi gelap. Sedangkan reaksi yang menggunakan cahaya terjadi dalam klorofil disebut sebagai reaksi terang. Pada reaksi terang dihasilkan ATP dan NADPH₂ yang kemudian digunakan dalam reaksi

pembentukan glukosa. Selain bereperan senbagai sumber posfat, ATP dipergunakan untuk reaksi-reaksi endergonik, sedangkan NADPH_2 diergunakan sebagai sumber elektron berenergi tinggi.

Secara keseluruhan rangkaian proses fotosintesa tersebut merupakan mekanisma proses fotosintesa yang digambarkan pada reaksi terang dan reaksi gelap sebagai berikut :

Reaksi terang, terjadi pemecahan air oleh sinar matahari dan klorofil . Dalam hal ini cahaya matahari berperan sebagai sumber energi fisis yang diberikan kepada klorofil untuk dirubah menjadi energi kimiawi yang disimpan dalam bentuk molekul adenin pospat (ATP). Perubahan energi fisis menjadi energi kimiawi terjadi melalui transfer electron secara bertahap. Proses pemindahan electron elekton disebut fosforilasi. Reaksi terang meliputi dua proses, yaitu proses fosforilasi siklik dan fosforilasi nonsiklik.

Fosforilasi siklik, prosesnya menghasilkan ATP melelaui transfer elektron yang terjadi secara bertahap. Pada awal proses reaksi terang, klorofil yang terkena sinar matahari akan melepaskan satu electron. Klorofil berperan seabagai penerima energi fisi dan donor electron. Elektron yang mengandung energi tinggi ini kemudian diterima oleh penerima electron pertama yaitu flavin mononukleotida (FMN) atau Vitamin K. Selanjutnya, elektron ini ke penerima electron ke dua, yaitu system enzim sitokrom. Pada fase ini, sebagai energi yang dibawa electron tadi dilepaskan dan diterima oleh adenosin diposfat (ADP) untuk membentuk ATP. Akhirnya, elektron keluar dari system enzim sitokrom dan diterima oleh klorofil yang terionisasi (KL^+) sehingga klorofil menjadi normal kembali.

Fosforilasi nonsiklik, berbeda dengan fosforilasi siklik karena elektron yang dilepas oleh klorofil tidak kembali ke klorofil. Pada fosforilasi nonsiklik, selain dihasilkan ATP juga dihasilkan gas oksigen dan hidrogen yang terkait dengan nikotinamida adenin dinukleotida posfat (NADP) manjadi NADPH_2 .

Sebagian klorofil yang terionisasi oleh cahaya matahari beserta eklektron yang terlepas masuk ke dalam proses fosforilasi siklik dan yang lainnya masuk ke dalam fosforilasi nonsiklik.

Pada proses fosforilasi non siklik, fotolisis menghasilkan ionisasi air, sehingga terbentuk ion hidrogen (H^+) dan hidroksil (OH^-). Dua ion ditrima NADP dan dengan

penambahan electron dari klorofil menghasilkan NADPH_2 yang akan berpartisipasi pada reaksi gelap.

Gambar 2.5 Reaksi terang : (A₁) fosforilasi siklik (A₂)

Reaksi gelap, merupakan pembentukan karbohidrat menggunakan energi dari ATP yang dibentuk pada reaksi terang. Fiksasi CO_2 terjadi dalam suatu siklus yang terdiri dari tiga tahap :

1. Tahap 1

Tahap awal merupakan penggabungan CO_2 dengan senyawa organik yang mengandung 5 carbon (5C) yaitu rebulosa difosfat (RDP). Hasil penggabungannya terbentuk senyawa organik 3C yang disebut fosfogliserat atau phosphoglyceric acid (PGA). Dalam tahapan ini diperlukan air.

2. Tahap 2

Pada tahap dua terjadi reduksi PGA. Untuk reduksi digunakan hidrogen dari NADPH_2 dan energi dari ATP hasil reaksi terang. Hasilnya adalah senyawa organik 3 C yang disebut Phosphoglyceraldehid (PGAL) dan air.

3. Tahap 3

Dari ke enam molekul PGAL, 5 molekul kembali menjadi RDP dengan melepas satu atom hidrogen. Tinggal satu molekul PGAL yang merupakan hasil reaksi gelap.

Dua molekul PGAL bergabung membentuk satu molekul glukosa (C₆H₁₂O₆). Kemudian molekul glukosa bergabung membentuk amilum (C₆H₁₀O₆₅)_n. Secara singkat reaksi gelap sebagai berikut :



Gambar 2.6 Reaksi gelap

Fotosintesis pada tumbuhan terjadi di dalam kloroflas, namun reaksi terang dan reaksi gelap terlaksana pada tempat yang berbeda. Reaksi terang terjadi di bagian *tilakoid*, sedangkan reaksi gelap terjadi di *stroma*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi fotosintesis antara lain intensitas cahaya, panjang gelombang, konsentrasi O₂ dan CO₂, temperatur, dan kesediaan ion-ion anorganik.

Intensitas cahaya, makin tinggi intensitas cahaya yang mengenai daun, makin banyak molekul klorofil yang terionisasi, akibatnya lebih banyak ATP yang dibuat. Akan tetapi, jika intensitas cahaya terlalu tinggi akan merusak klorofil sehingga mengurangi kecepatan fotosintesis.

Panjang gelombang, mempengaruhi kecepatan fotosintesis, panjang gelombang cahaya biru dapat mempercepat fotosintesis dibanding cahaya merah.

Konsentrasi CO₂, merupakan faktor pembatas. Pada tekanan parsial 1,0 Kpa, CO₂ dapat merusak klorofil.

Temperatur, berpengaruh terhadap kerja enzim yang berperan dalam fotosintesis. Temperatur optimum untuk tanaman C₃ adalah 25 ° C dan tanaman C₄ adalah 35 ° C. Jika temperatur terlalu tinggi dapat merusak klorofil.

Kesediaan ion-ion anorganik, akan berpengaruh terhadap pembuatan pigmen klorofil. Ion yang utama adalah Mg dan N. Tumbuhan tidak bisa mensintesis klorofil jika tidak ada Fe. Sebagai akibatnya, tumbuhan yang kekurangan Mg, N, dan Fe klorofil kurang sehingga fotosintesis menjadi lambat.

Inhibitor, merupakan faktor penghambat, bisa berupa polutan, misal SO₂ maupun herbisida dapat menghambat kerja enzim sehingga menghambat juga terhadap fotosintesis.

RANGKUMAN

Fotosintesis merupakan proses penyusunan zat makan yang melibatkan energi cahaya.

Proses penyusunan zat makanan yang melibatkan energi dikenal dengan istilah anabolisma dalam metabolisme tubuh. Makhluk hidup yang dapat melakukan proses pembentukan zat makanan berupa karbohidrat dari bahan baku lingkungan, dengan bantuan energi cahaya matahari adalah makhluk hidup yang mempunyai klorofil yaitu tumbuhan.

Zat makanan yang terbentuk dalam proses fotosintesis akan trurai dan menghasilkan energi melalui proses respirasi sel, pada tumbuhan respirasi sel berlangsung baik siang maupun malam.

Pembentukan hasil fotosintesis, yaitu karbohidrat dan gas oksigen terjadi pada tahap yang berbeda. Gas oksigen dihasilkan pada waktu reaksi terang dari hasil penguaraian air, sedangkan karbohidrat merupakan hasil fiksasi CO₂ dan hidrogen yang terjadi pada reaksi gelap.

Reaksi gelap terjadi di siang hari juga sebagai kelanjutan dari reaksi terang. Dikatakan sebagai reaksi gelap karena seluruh reaksi pada tahap ini tidak memerlukan cahaya, melainkan semata-mata merupakan proses yang

tergantung pada enzim.

Tes Formatif 2

Petunjuk : Pilih salah satu jawaban yang paling tepat

1. Air dan karbondioksida pada fotosintesis tanaman dirubah menjadi karbohidrat oleh :
 - a. ATP
 - b. klorofil
 - c. kloroflas
 - d. NADPH_2
2. Tanaman yang digunakan dalam percobaan Ingenhouse adalah :
 - a. *Zea mays*
 - b. *Hidrilla verticillata*
 - c. *Spirogyra*
 - d. *Oriza sativa*
3. Percobaan yang membuktikan bahwa klorofil merupakan factor keharusan dalam fotosintesa adalah :
 - a. Ingenhouse
 - b. Engelmann
 - c. Sach
 - d. Calvin
4. Spektrum cahaya dari energi cahaya matahari yang tidak kelihatan adalah :
 - a. Ungu
 - b. Jingga
 - c. infra merah
 - d. Kuning
5. Tumbuhan yang mampu menghasilkan zat organik sendiri dengan menggunakan energi cahaya matahari disebut :

- a. kemo-ototrof
 - b. foto-ototrof
 - c. fotosintesis
 - d. kemosintesis
6. Tumbuhan dapat melakukan proses fotosintesis. Yang dimaksud dengan reaksi gelap dalam proses fotosintesis yaitu proses yang :
- a. tidak memerlukan cahaya
 - b. terjadi dalam gelap
 - c. terjadi di waktu malam
 - d. harus diselingi gelap
7. Dengan melihat pada bagan dan pembahasan tentang peranan komponen-komponen yang diperlukan dalam proses fotosintesis, maka oksigen dihasilkan dalam proses fotosintesis berasal dari :
- a. Karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$)
 - b. air (H_2O)
 - c. Karbon dioksida (CO_2)
 - d. Oksigen (O_2)
8. Proses fotosintesis terdiri dari dua tahap. Pembentukan karbohidrat tak akan terjadi jika tidak ada :
- a. reaksi kimia dan reaksi gelap
 - b. reaksi gelap dan siklus Calvin
 - c. reaksi terang dan reaksi fotosintesis
 - d. reaksi terang dan siklus Calvin
9. Dengan ditutupnya sebagian dari daun pada percobaan fotosintesis, dapat dibuktikan bahwa bagian yang ditutup itu :
- a. tidak mengeluarkan oksigen
 - b. tidak menghasilkan energi
 - c. tidak menghasilkan tepung
 - d. tidak mengeluarkan karbondioksida

Cocokkanlah jawaban Anda dengan kunci jawaban tes formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini, Hitunglah jawaban anda yang benar. Kemudian gunakan rumus di bawah ini :

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{9} \times 100 \%$$

Arti tingkat penguasaan yang Anda capai :

90 – 100 % = baik sekali

80 - 89 % = baik

70 - 79 % = cukup

< 69 % = kurang

Bila tingkat penguasaan Anda mencapai 80 % ke atas, berarti Anda sudah baik dalam menguasai materi itu. Tetapi, bila masih di bawah 80 % Anda harus mengulang dulu bagian yang tidak dikuasai.

Glosarium

- ATP : sumber energi tinggi yang dimanfaatkan dalam proses biologik sel-sel organisme.
- Anabolisme : proses penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana, missal fotosintesis dan kemosintesis
- Foto-ototrof : tumbuhan yang mampu menghasilkan zat organik sendiri dari zat anornik dengan menggunakan enegi cachaya.
- Fotosistem : unit yang mampu menangkap energi cahaya matahari, yaitu klorofil a, kompleks antene, dan akseptor electron.

- Katabolisme : proses pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana
- Metabolisme : seluruh perubahan reaksi kimia dan fisika di dalam tubuh organisme dan sel-sel yang berlangsung terus menerus.