

BAB IV. FOTOSINTESIS

A. PENDAHULUAN

Deskripsi Singkat

Bab ini akan menjelaskan tentang proses fotosintesis pada tumbuhan C₃, C₄ dan CAM. Pada bab ini dibahas :

1. Perangkat fotosintesis
2. Proses / Tahapan Fotosintesis
3. Peran Enzim dalam proses Fotosintesis
4. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis
5. Translokasi hasil fotosintesis

Relevansi

Pembahasan bab ini sangat penting dipahami. Mahasiswa akan dapat mengetahui bagaimana mekanisme masuknya **energi** ke dalam dunia kehidupan. Dimana setiap spesies tumbuhan memiliki perbedaan dalam memfiksasi CO₂ dari udara.

Kompetensi Khusus :

Setelah mempelajari pokok bahasan ini mahasiswa diharapkan mampu :

1. Menyebutkan perangkat fotosintesis
2. Menjelaskan proses fotosintesis pada tumbuhan C₃, C₄ dan CAM
3. Menganalisis peran enzim dalam proses fotosintesis
4. Menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis
5. Menjelaskan proses translokasi fotosintat pada tumbuhan

B. PENYAJIAN

3. 1. Perangkat Fotosintesis

Berbagai faktor diperlukan untuk terjadinya fotosintesis. Faktor-faktor itu disebut juga **faktor-faktor esensial**. Jika salah satu faktor tidak ada, reaksi fotosintesis tidak berjalan. Faktor-faktor itu ialah bahan baku (CO_2 dan H_2O), energi (cahaya), pigmen, enzim molekul “Carrier” (pengangkut) dan suhu yang tepat.

(1) Bahan Baku

CO_2 di udara akan masuk melalui stomata ke dalam jaringan spons pada daun, karena CO_2 terus dipergunakan untuk fotosintesis. Konsentrasi CO_2 di udara kira-kira 0,03 % atau sekitar 300 ppm. Gas ini ditambahkan ke atmosfer secara kontinyu dari pernafasan hewan dan tumbuhan, dari pembusukan bahan organik, dari pembakaran bahan bakar, dari pelapukan batuan dan dari aktivitas vulkanik. CO_2 yang berasal dari respirasi tumbuhan termasuk mikroorganisme, lebih besar jumlahnya dibanding dari sumber lain disatukan. CO_2 pada ruang-ruang interseluler larut di dalam air, melalui dinding sel berdifusi ke dalam sitoplasma dan terus ke kloroplas tempat terjadinya fotosintesis.

Air merupakan bahan baku lain yang diabsorpsi dari lingkungannya. Pada tumbuhan tinggi air diabsorpsi oleh akar dan air diangkut ke daun melalui berbagai sel dan jaringan.

(2) Energi

Energi yang dipergunakan dalam fotosintesis ialah energi cahaya, terutama cahaya merah dan biru. Cahaya matahari merupakan sumber energi pada fotosintesis, tapi sinar lampu listrikpun dapat dipergunakan. Cahaya dengan panjang gelombang tertentu (merah, biru) dapat diabsorpsi oleh pigmen klorofil. Energi cahaya diubah menjadi energi kimia dan disimpan di dalam senyawa kimia produk akhir fotosintesis yaitu hidrat arang. Hanya 2 persen cahaya yang mengenai daun itu dipergunakan untuk fotosintesis, sisanya dipantulkan ditransmisikan atau diabsorpsi sebagai panas. Tiga puluh persen dari cahaya yang diabsorpsi diubah menjadi energi kimia.

(3) Pigmen

Tumbuhan hijau dapat mengabsorpsi energi cahaya dan menggunakan energi ini untuk menghasilkan gula karena adanya pigmen. Klorofil merupakan pigmen utama yang terlibat dalam proses ini.

(4) suhu

Fotosintesis umumnya dapat berjalan pada suhu antara 5 – 40 °C. Kecepatan fotosintesis bertambah sampai maksimal pada suhu 35 °C dan setelah itu kecepatan fotosintesis turun tajam. Penurunan ini mungkin disebabkan karena enzim menjadi kurang aktif.

(5) Faktor tambahan

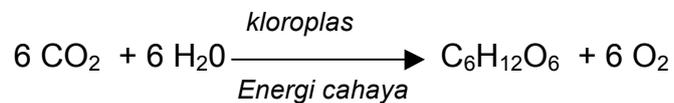
Pada kloroplas, selain dari pigmen fotosintesis terdapat pula berbagai molekul “carrier” yang berperan penting dalam transpor atom hidrogen, elektron dan energi. Selain itu pada kloroplas terdapat bermacam-macam enzim untuk reaksi kimia fotosintesis.

Proses / Tahapan Fotosintesis

Pada fotosintesis terdapat dua macam cara fiksasi CO₂ untuk menghasilkan hidrat arang. Cara pertama disebut **daur Calvin Benson**. Pada daur macam ini produk pertama berupa persenyawaan dengan 3 atom C yang disebut phosphoglyceric acid (PGA) atau asam fosfogliserat (APG). Bahan ini bisa dideteksi segera setelah terjadi fotosintesis. Dua molekul APG segera diubah menjadi glukosa. Tumbuhan yang mempunyai cara fiksasi CO₂ seperti ini disebut tumbuhan C₃. Cara kedua dalam fiksasi CO₂ disebut **jalur Hatch-Slack**. Produk pertama bukan APG tapi persenyawaan dengan 4 atom C yaitu asam oksaloasetat. Golongan tumbuhan ini disebut tumbuhan C₄. Langkah ini terjadi pada permulaan reaksi. Selanjutnya asam oksaloasetat akan dipecah secara enzimatik dan menghasilkan CO₂. CO₂ kemudian akan masuk daur Calvin-Benson.

Reaksi kimia fotosintesis

Secara sederhana proses fotosintesis sebagai berikut :



Kloroplas sebagai pusat fotosintesis

Penemuan bahwa O_2 pada reaksi fotosintesis berasal dari air dan bukan dari CO_2 menunjukkan adanya reaksi yang kompleks. Satu penelitian pada kloroplas menunjukkan bahwa jika kloroplas diisolir pada medium yang tepat dan diberi cahaya akan menghasilkan hidrat arang dan O_2 . Penelitian selanjutnya dengan cara menghancurkan kloroplas lalu diendapkan dengan sentrifug. Endapan yang ada dengan bantuan mikroskop elektron terlihat hanya mengandung tilakoid. Pada penyinaran tilakoid dengan cahaya matahari ternyata tilakoid tidak menghasilkan hidrat arang tapi menghasilkan O_2 . Selanjutnya diketahui bahwa pada tilakoid terjadi apa yang disebut reaksi terang karena memerlukan cahaya, sedang pada stroma terjadi reaksi gelap.

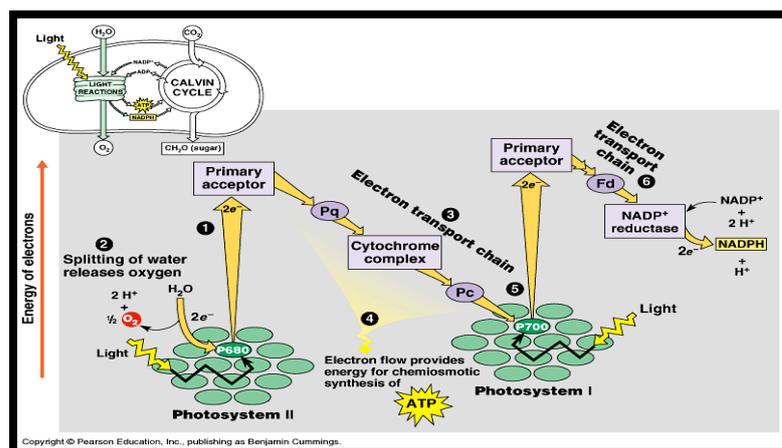
(1) Reaksi Terang

Pada fotosintesis terjadi dua proses fotokimia. Dengan analisis spektral dari kloroplast *a in vivo*, menunjukkan bahwa terdapat berbagai jenis klorofil a. Jenis klorofil a ditentukan dari keefektifannya dalam mengabsorpsi spektrum. Salah satu jenis klorofil a dapat secara maksimum menyerap cahaya dengan gelombang 673 nm dan disebut klorofil a 673 (Kl a 673). Yang lain disebut klorofil a 683 (kl a 683). Selain

itu ada pula yang dapat menyerap cahaya maksimum pada gelombang 700 nm. Untuk jenis ini disebut P 700.

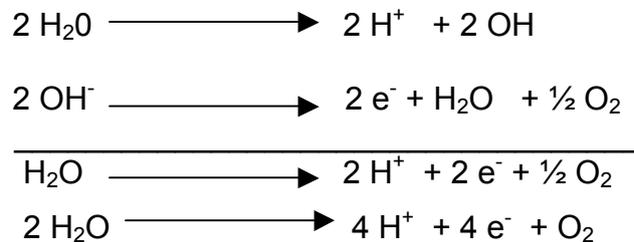
Dua macam pusat proses fotosintesis mempunyai kelompok pigmen khusus. Energi cahaya untuk Fotosistem I ditangkap oleh K1 a 683 dan P 700 dan karoten, sedangkan untuk Fotosistem II ditangkap oleh K1 a 673 dan klorofil b. Karotenoid mungkin terdapat pada kedua fotosistem di atas. Kedua fotosistem tersebut terdapat pada kloroplas. Jika kloroplas mendapat sinar matahari terjadilah proses fotokimia pada kedua fotosistem tadi yang disebut reaksi terang.

Pada waktu kloroplas menerima cahaya matahari, klorofil a pada kedua fotosistem itu elektronnya berubah menjadi berenergi dan tidak stabil, karena itu elektron lepas dari klorofil a. Karena klorofil a pada fotosistem I dan fotosistem II kehilangan elektron maka elektron itu harus diganti. Untuk jelasnya lihat bagan di bawah ini.



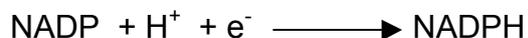
Gambar 3. Bagan proses *light reaction* (reaksi terang)

Fotosistem II klorofilnya melepaskan elektron. Elektron akan diganti dari pemecahan air.



Elektron dari fotosistem II diterima oleh akseptor-akseptor elektron. Di antara akseptor itu ialah plastoquinon dan dari sini ditransfer kepada sitokrom lalu ke plastosianin dan akhirnya ke Fotosistem I. Waktu elektron ditransfer pada berbagai akseptor (sitokrom b, sitokrom f dan plastosianin), dilepaskan energi yang diterima oleh ADP + P menjadi ATP ($\text{e}^- + \text{ADP} + \text{P} \longrightarrow \text{ATP}$). ADP dan P (phosphat) telah tersedia pada kloroplas. ATP ialah energi kimia yang siap digunakan dalam berbagai aktivitas makhluk hidup. Dalam fotosintesis energi ini dipakai dalam proses pembentukan hidrat arang pada reaksi gelap.

Fotosistem I juga melepaskan elektron yang berenergi dan segera diganti oleh elektron dari fotosistem II. Elektron dari fotosistem I diterima oleh akseptor. Akseptor utama ialah Feredoksin. Elektron ini kemudian ditransfer ke NADP (Nikotinamid adenin dinokleotida phosphat). Pada waktu yang sama NADP pun menerima ion H^+ .



Dalam pemindahan elektron dari Fotosistem I, elektron akhirnya dipakai untuk pembentukan NADPH seperti terlihat pada reaksi di atas. Dalam hal ini elektron yang dilepas fotosistem I tidak kembali lagi ke Fotosistem I. Pembentukan ATP dari ADP + P (fosforilasi), semata-mata karena ada donor elektron dari molekul air. Proses ini disebut fotofosforilasi nonsiklik.

Tipe fotofosforilasi kedua disebut fotofosforilasi siklik. Pada tipe ini elektron bukan berasal dari H_2O tapi dari fotosistem I. Setelah elektron lepas akan melalui beberapa akseptor lalu kembali ke Fotosistem asal.

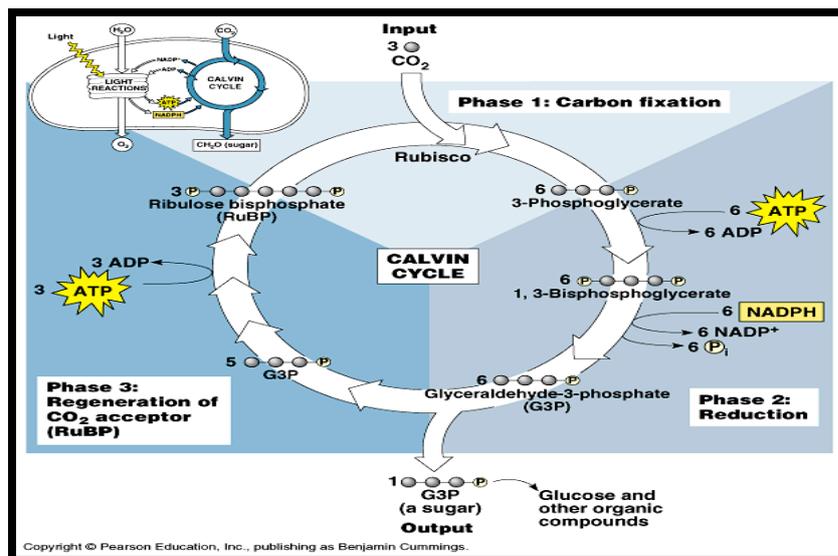
Waktu elektron melalui akseptor (sitokrom) terjadi pelepasan energi berupa ATP. Prosesnya sama seperti pada fotofosforilasi nonsiklik. Fotofosforilasi siklik terjadi jika ATP yang terjadi pada fotofosforilasi nonsiklik tidak mencukupi.

Jadi pada reaksi terang dihasilkan : ATP, NADPH dan O_2 . ATP dan NADPH diperlukan untuk proses pembentukan hidrat arang dalam reaksi gelap. O_2 dilepas sebagian ke atmosfer dan sebagian lagi dipakai untuk proses pernafasan tumbuhan itu sendiri.

(2) Reaksi Gelap

Reaksi Gelap merupakan langkah selanjutnya setelah reaksi terang. Reaksi ini terjadi di stroma pada kloroplas. Disebut reaksi gelap karena tidak memerlukan cahaya. Meskipun demikian reaksinya terjadi waktu siang hari karena memerlukan ATP dan NADPH dari reaksi terang. Reaksi gelap dapat saja terjadi di tempat yang gelap asal cukup diberi NADPH dan ATP.

Daur Calvin Benson atau daur C_3



Gambar 4. Daur Calven Benson (Reaksi Gelap)

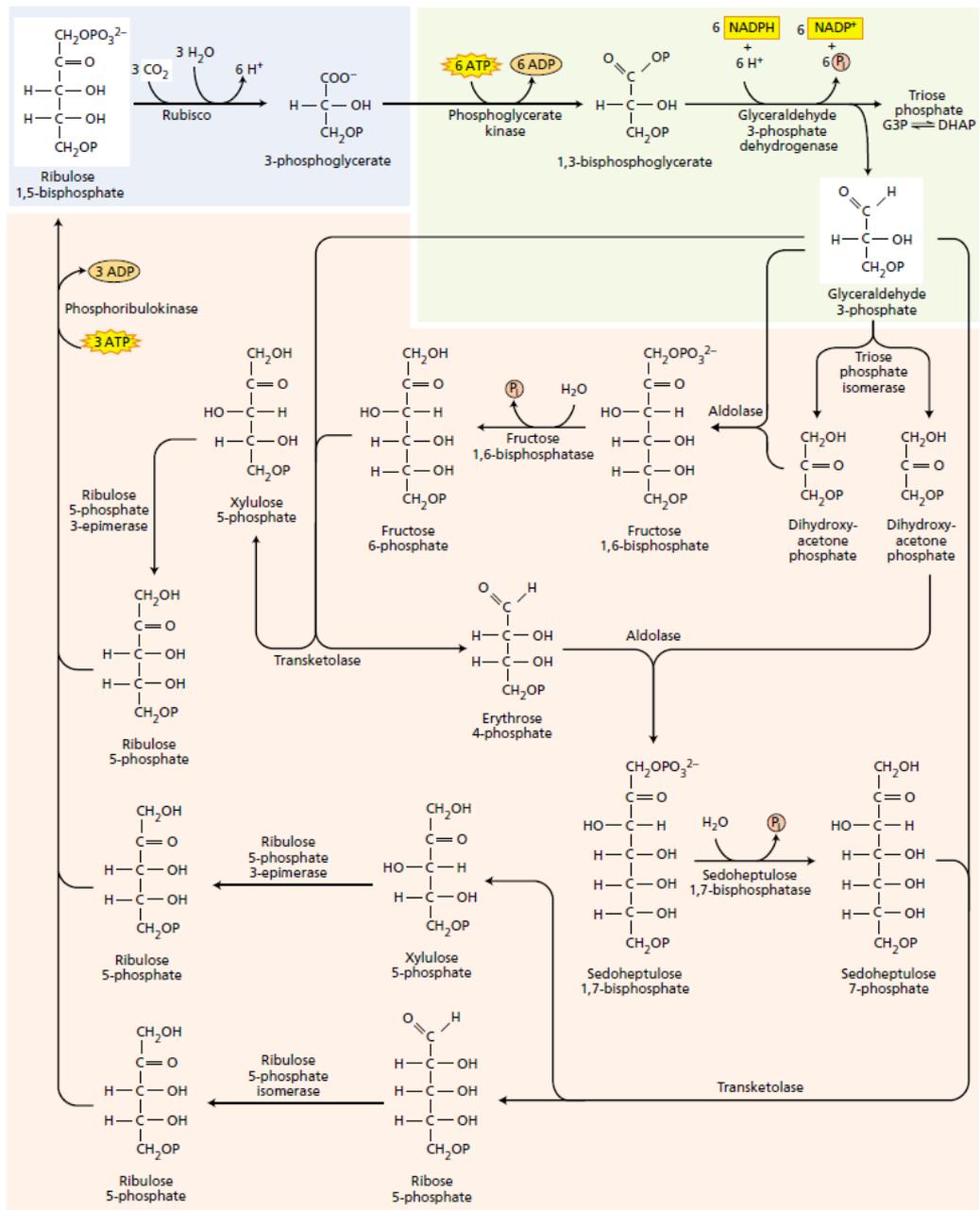


FIGURE 8.3 The Calvin cycle. The carboxylation of three molecules of ribulose-1,5-bisphosphate leads to the *net* synthesis of one molecule of glyceraldehyde-3-phosphate and the regeneration of the three molecules of starting material. This process starts and ends with three molecules of ribulose-1,5-bisphosphate, reflecting the cyclic nature of the pathway.

Sumber : Lincoln Taiz, (2009).

Dari bagan daur C3 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. CO₂ berkombinasi dengan RuDP dengan katalisator karboksidismutase membentuk dua molekul APG. RuDP secara kontinu dibuat di dalam sel.
2. Dua molekul APG direduksi menjadi dua molekul PGAL. Energi berasal dari ATP dan NADPH. Energi sekarang pindah ke PGAL. ADP dan NADP yang terbentuk siap untuk dipakai kembali dalam reaksi terang.
3. Dua molekul triose fosfat (PGAL) berkombinasi membentuk gula fosfat dengan 6 atom C (Fruktosa 1,6 difosfat). Sampai proses ini tumbuhan telah menambah satu molekul CO₂ untuk membentuk molekul gula dengan 6 atom C.
4. Selanjutnya fruktosa fosfat dapat diubah menjadi hidrat arang lain melalui berbagai reaksi kimia termasuk glukosa, sakarosa dan amilum.
5. Sebagian fruktosa fosfat dipergunakan untuk membentuk molekul ribulosa fosfat melalui berbagai reaksi. Ribulosa 1,5 fosfat dapat menerima CO₂ dan proses pembentukan glukosa dimulai lagi.

Daur Calvin Benson disebut juga daur C3 yang umum terdapat dalam kelompok tumbuhan C3.

Adapun reaksi pada siklus Calvin Benson dan enzim yang berperan pada reaksi tersebut tertera pada Tabel berikut.

TABLE 8.1
Reactions of the Calvin cycle

Enzyme	Reaction
1. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase	6 Ribulose-1,5-bisphosphate + 6 CO ₂ + 6 H ₂ O → 12 (3-phosphoglycerate) + 12 H ⁺
2. 3-Phosphoglycerate kinase	12 (3-Phosphoglycerate) + 12 ATP → 12 (1,3-bisphosphoglycerate) + 12 ADP
3. NADP:glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase	12 (1,3-Bisphosphoglycerate) + 12 NADPH + 12 H ⁺ → 12 glyceraldehyde-3-phosphate + 12 NADP ⁺ + 12 P _i
4. Triose phosphate isomerase	5 Glyceraldehyde-3-phosphate → 5 dihydroxyacetone-3-phosphate
5. Aldolase	3 Glyceraldehyde-3-phosphate + 3 dihydroxyacetone-3-phosphate → 3 fructose-1,6-bisphosphate
6. Fructose-1,6-bisphosphatase	3 Fructose-1,6-bisphosphate + 3 H ₂ O → 3 fructose-6-phosphate + 3 P _i
7. Transketolase	2 Fructose-6-phosphate + 2 glyceraldehyde-3-phosphate → 2 erythrose-4-phosphate + 2 xylulose-5-phosphate
8. Aldolase	2 Erythrose-4-phosphate + 2 dihydroxyacetone-3-phosphate → 2 sedoheptulose-1,7-bisphosphate
9. Sedoheptulose-1,7,bisphosphatase	2 Sedoheptulose-1,7-bisphosphate + 2 H ₂ O → 2 sedoheptulose-7-phosphate + 2 P _i
10. Transketolase	2 Sedoheptulose-7-phosphate + 2 glyceraldehyde-3-phosphate → 2 ribose-5-phosphate + 2 xylulose-5-phosphate
11a. Ribulose-5-phosphate epimerase	4 Xylulose-5-phosphate → 4 ribulose-5-phosphate
11b. Ribose-5-phosphate isomerase	2 Ribose-5-phosphate → 2 ribulose-5-phosphate
12. Ribulose-5-phosphate kinase	6 Ribulose-5-phosphate + 6 ATP → 6 ribulose-1,5-bisphosphate + 6 ADP + 6 H ⁺
Net: 6 CO ₂ + 11 H ₂ O + 12 NADPH + 18 ATP → Fructose-6-phosphate + 12 NADP ⁺ + 6 H ⁺ + 18 ADP + 17 P _i	

Note: P_i stands for inorganic phosphate.

Jalur Hatch-Slack (C4)

Kelompok tumbuhan tertentu yang biasa hidup di daerah tropis seperti jagung (*Zea mays*), *Sorgum* dan *Cyperus* dan juga beberapa jenis dikotil dalam fiksasi CO₂ untuk membentuk hidrat arang tidak langsung pada daur Calvin tapi dibentuk dulu hasil antara yang berupa persenyawaan dengan asam oksaloasetat (4.C). CO₂ pertama-tama bereaksi dengan fosfoenol piruvat (PEP), suatu persenyawaan dengan 3.C dan menghasilkan asam oksaloasetat (4.C). Asam oksaloasetat lalu diubah menjadi asam malat. Karena hasil awal fotosintesis berupa persenyawaan dengan 4.C, maka diberi nama jalur 4 karbon (four-carbon pathway) atau jalur Hatch-Slack (Hatch-Slack pathway).

Anatomi daun tumbuhan C4 berbeda dengan anatomi tumbuhan C3. Pada tumbuhan C3, kloroplas mempunyai bentuk yang sama dan terdapat merata pada mesofil (jaringan palisade dan jaringan spons).

Pada tumbuhan C₄ anatomi daun menunjukkan bahwa disekitar ikatan pembuluh dikelilingi oleh sel-sel yang berisi kloroplas yang berbeda dengan pada mesofil. Pada sel-sel ini berisi butir-butir amilum dan sedikit sekali berisi grana, sedangkan pada mesofil tidak terdapat butir-butir klorofil dan banyak grana. Proses terjadinya fiksasi CO₂ dan pembentukan hidrat arang seperti bagan di bawah ini.

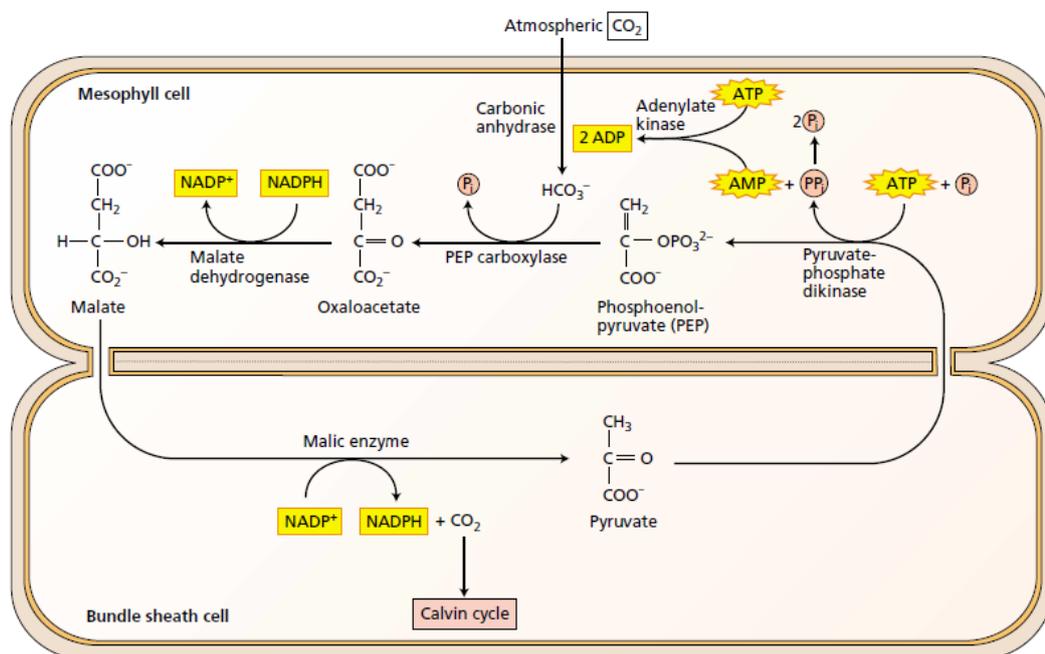


FIGURE 8.11 The C₄ photosynthetic pathway. The hydrolysis of two ATP drives the cycle in the direction of the arrows, thus pumping CO₂ from the atmosphere to the Calvin cycle of the chloroplasts from bundle sheath cells.

Gambar 5. Bagan jalur Hatch-Slack (C₄)

Seperti terlihat dalam bagan, pada sel-sel mesofil akan terbentuk asam malat dan juga aspartat (aspartic acid). Asam malat diubah menjadi asam piruvat dan CO₂ yang keluar akan masuk daur Calvin seperti pada tumbuhan C₃.

Dalam kondisi panas dan kering di daerah panas (tropis), tumbuhan C₄ lebih efisien mempergunakan CO₂ daripada tumbuhan C₃.

Hal ini dapat dilihat dari produksi gula tebu, jagung dan sorgum. Tumbuhan C3 tidak hanya monokotil tapi juga dikotil.

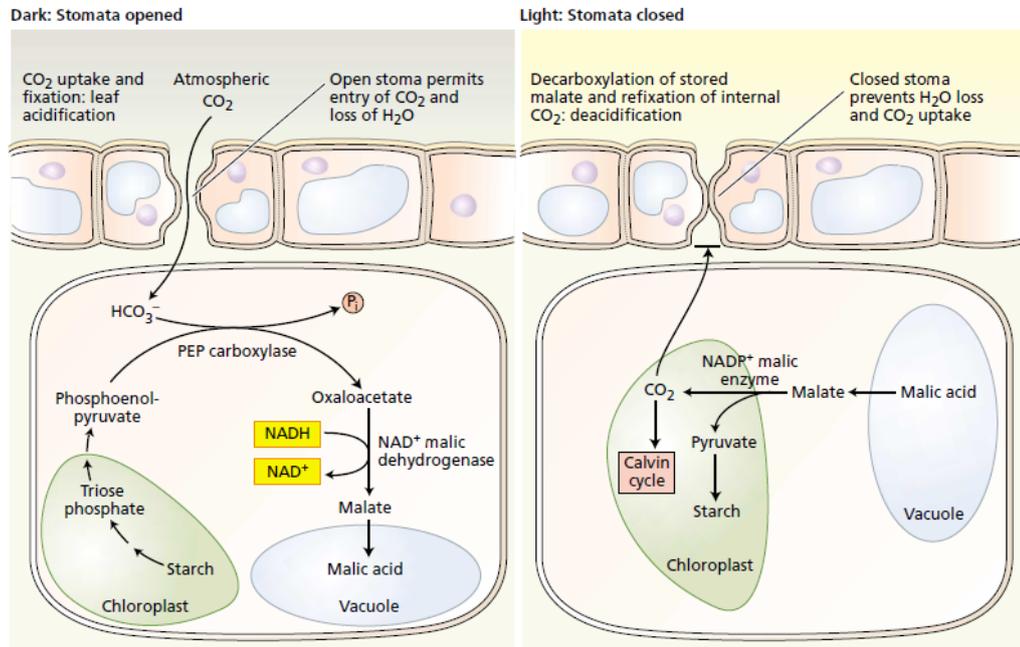


FIGURE 8.12 Crassulacean acid metabolism (CAM). Temporal separation of CO₂ uptake from photosynthetic reactions: CO₂ uptake and fixation take place at night, and decarboxylation and refixation of the internally released CO₂ occur during the day. The adaptive advantage of CAM is the reduction of water loss by transpiration, achieved by the stomatal opening during the night.

3.3 Peran enzim dalam proses fotosintesis

Enzim yang Berperan Dalam Fotosintesis :

1. Ribulosa bifosfat karboksilase, mengkatalisis secara tak terbalikan gabungan CO₂ dan Ribulosa bifosfat untuk membentuk 2 molekul 3-fosfogliseral.
2. Fosfoglisero kinase, mengkatalisis fosforilasi 3-fosfogliseral oleh ATP untuk membentuk 1,3 bis-PGA.
3. 3 fosfogliseraldehid dehidrogenase mengkatalisis reduksi 1,3 Bis PGA menjadi 3-PGAdehid.
4. Triosa fosfat isomerase, mengkatalisis isomerase 3 PGAdehid untuk membentuk dihidroksi aseton fosfat.
5. Aldolase mengkatalisis gabungan aldo dari 3 PGAdehid dan dihidroksi aseton p membentuk fruktosa 1,6 bifosfat.

6. Fruktosa 1,6 bifosfat mengkatalisis hidrolisis fosfat dari C-1 pada fruktosa bis-P membentuk fruktosa 6 P.
7. Transketolase, mengkatalisis pemindahan 2 karbon teratas fruktosa 6P menjadi 3 PGAldehida untuk membentuk xilulosa sp 5karbon melepaskan eritrosa 4 P- 4karbon.
8. Epimerase, mengkatalisis isom.
9. Erase xilulosa sp membentuk Ribulosa 5 P.

Enzim yang berperan dalam proses fotosintesis.

Nikotiramida adenin dinukleotida fosfat (NADP^+) dapat juga bertindak sebagai pereaksi Hill, dengan menerima electron dari air pada pereaksi yang berlangsung di membran tilkoid yang disolasi atau dikloroplas yang rusak. Selain itu juga, NADP^+ dapat mengangkut electron ke beberapa senyawa tumbuhan dan diperkirakan bahwa perannya yang lazim di kloroplas adalah mereduksi CO_2 .

3.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis

Di alam fotosintesis dipengaruhi oleh faktor luar dan dalam yang sulit dipisahkan secara tegas. Pada dasarnya faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

Faktor Genetik :

a. Perbedaan antara spesies

Tumbuhan C4 secara umum mempunyai laju fotosintesis yang tertinggi; sementara tumbuhan CAM memiliki laju fotosintesis terendah. Tumbuhan C3 berada di antara kedua ekstrem tersebut. Contoh laju fotosintesis pada tumbuhan tertera pada Tabel berikut :

Tabel 2. Laju fotosintesis maksimum untuk jenis-jenis tumbuhan utama pada kondisi optimal

Jenis Tumbuhan	Contoh	Fotosintesis maksimum (mol.m ⁻² , s ⁻¹)
1. Tumbuhan C3 dan herba di daerah iklim sedang	<i>Glycine max</i>	10 – 20
2. Tumbuhan C4	<i>Zea mays</i>	20 – 40
3. Tumbuhan CAM	<i>Agave Americana</i>	0,6 – 2,4

b. Pengaruh umur daun

Umur daun (stadia perkembangan daun) juga akan mempengaruhi laju fotosintesis. Kemampuan daun untuk berfotosintesis meningkat pada awal perkembangan daun, tetapi kemudian mulai turun, kadang sebelum daun tersebut berkembang penuh. Daun yang mulai mengalami senescence akan berwarna kuning dan hilang kemampuannya untuk berfotosintesis, karena perombakan klorofil dan hilangnya fungsi kloroplas.

c. Pengaruh laju Translokasi fotosintat

Laju translokasi hasil fotosintesis (fotosintat, dalam bentuk sukrosa) dari daun ke organ-organ penampung yang berfungsi sebagai limbung (sink) dapat mempengaruhi laju fotosintesis. Contoh, pemotongan organ seperti umbi, biji atau buah yang sedang membesar dapat menghambat laju fotosintesis untuk beberapa hari, terutama untuk daun yang berdekatan dengan organ yang dibuang tersebut.

Tumbuhan dengan laju fotosintesis yang tinggi, juga menunjukkan laju translokasi fotosintat yang tinggi pula. Jadi, translokasi fotosintat yang cepat akan memacu laju fiksasi CO₂; sementara akumulasi fotosintat pada daun akan menghambat laju fotosintesis.

Faktor Lingkungan :

a. Ketersediaan air

Untuk tumbuhan tingkat tinggi, agaknya laju fotosintesis paling dibatasi oleh ketersediaan air. Kekurangan air dapat menghambat laju fotosintesis, terutama karena pengaruhnya terhadap turgiditas sel penjaga stomata. Jika kekurangan air, maka turgiditas sel penjaga stomata akan menurun. Hal ini menyebabkan stomata menutup. Penutupan stomata ini akan menghambat serapan CO_2 yang dibutuhkan untuk sintesis karbohidrat.

b. Ketersediaan CO_2

CO_2 merupakan bahan baku sintesis karbohidrat. Kekurangan CO_2 tentu akan menyebabkan penurunan laju fotosintesis.

c. Pengaruh cahaya

Pengaruhnya lewat intensitasnya, kualitasnya, lama penyinaran. Cahaya sebagai sumber energi untuk reaksi anabolik fotosintesis jelas akan berpengaruh terhadap laju fotosintesis tersebut. Secara umum, fiksasi CO_2 maksimum terjadi sekitar tengah hari, yakni pada saat intensitas cahaya mencapai puncaknya. Penutupan cahaya matahari oleh awan juga akan mengurangi laju fotosintesis.

d. Pengaruh suhu

Pengaruh suhu terhadap fotosintesis tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan tempat tumbuhnya. Walaupun ada beberapa pengecualian, umumnya tumbuhan C4 mempunyai suhu optimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan C3, di mana perbedaan ini terutama disebabkan oleh rendahnya fotorespirasi pada tumbuhan C4.

C. PENUTUP

a. **Pertanyaan :**

Jawablah pertanyaan-pertanyaan dibawah ini dengan tepat !

1. Identifikasilah perangkat yang diperlukan untuk terjadinya proses fotosintesis !.
2. Bagaimanakah proses fotosintesis yang terjadi pada Tumbuhan C3 ?
3. Bagaimanakah proses fotosintesis yang terjadi pada Tumbuhan C4 ?
4. Bagaimanakah proses fotosintesis yang terjadi pada Tumbuhan CAM ?
5. Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis ?
6. Jelaskan peran enzim dalam proses fotosintesis.

b. Umpan balik dan Tindak Lanjut

Anda dapat menguasai bagian ini bila melakukan hal-hal berikut :

- Membuat ringkasan materi dan berdiskusi dengan aktif pada pembelajaran yang dilaksanakan di kelas.
- Membuat portofolio yang berkaitan dengan fotosintesis pada tumbuhan.

Selanjutnya kerjakan latihan di atas dan cocokkan hasil jawaban anda dengan panduan kunci jawaban di bawah. Bila jawaban saudara mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas ; Bagus !. Anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar selanjutnya. Kalau tingkat penguasaan anda di bawah 80 % anda harus mengulangi kegiatan belajar 4 terutama pada bagian yang tidak anda kuasai.

c. Kunci Jawaban

D. DAFTAR PUSTAKA

- Gardner, F. P., R. B. Pearce, R. L. Mitchell. 1991. **Physiology of Crop Plants**. *Terjemahan* Herawati Susilo. p : 3 – 37. UI-Press, Jakarta.
- Lakitan, B. 1995. **Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan**. p : 117 – 177. Jakarta : Pt. Raja Grafindo Persada.

- Neil. A. Campbell, Jane B. Reece, Lisa A. Urry, Michael L. Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky, Robert B Jackson. 2011. *Biology* 9th ed. Benjamin Cummings.
- Salisbury, F.B. , dan C.W. Ross. 1995. **Plant Physiology**, 4th. Ed. Terjemahan Diah R. Lukman dan Sumaryono. Jilid 2. p : 19 – 83. ITB Bandung.
- Santosa, 1990. **Fisiologi Tumbuhan**. p : 40 -45. Yogyakarta : Fakultas Biologi - UGM.
- Sasmitamihardja, D., dan A. Siregar. 1996. **Fisiologi Tumbuhan**. p : 253 – 284. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Depdikbud. Jakarta.
- Taiz, L and E.Zeiger. 2002. *Plant Physiology*, Third Edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Masschusetts.