

## MENYELIDIKI ENERGI PADA FOTOSINTESIS TUMBUHAN

Suyatman

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Doktor Pendidikan IPA Pascasarjana FKIP Universitas Sebelas Maret Jl. Ir. Sutami No.36A, Jebres, Surakarta, Indonesia 57126

Email : paksuyatman@yahoo.co.id

Diajukan: 28 Juli 2020; Diterima: 29 September 2020; Diterbitkan: 31 Oktober 2020

**Abstrak:** Cahaya matahari memiliki sifat polikromatik bila dibiarkan akan menghasilkan cahaya-cahaya monokromatik. Cahaya-cahaya monokromatik inilah yang ditangkap oleh klorofil dan digunakan dalam proses fotosintesis. Dalam suatu percobaan diketahui bahwa gelombang cahaya biru dan cahaya merah adalah yang paling efektif dalam melakukan proses fotosintesis. Kesimpulan: 1). Gelombang cahaya biru dan cahaya merah adalah yang paling efektif dalam melakukan proses fotosintesis. Cahaya merah mempunyai energi foton 1.65-2.00 eV, sedangkan cahaya biru mempunyai energi foton 2.5-2.75 eV. 2). Pada fotosintesis terdapat dua reaksi yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Reaksi terang terjadi Pemecahan air (H<sub>2</sub>O) menjadi ion Hidrogen (H<sup>+</sup>) dan molekul air menggunakan energi cahaya, menghasilkan O<sub>2</sub>, ATP, dan NADP H<sub>2</sub>. Reaksi gelap terjadi pengikatan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan mengkombinasikannya dengan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) sehingga membentuk gula. 3). Dalam fotosintesis berlaku hukum kekekalan energi yaitu Energi radiasi sinar matahari ditangkap oleh klorofil kemudian diubah menjadi energy kimia melalui proses fotosintesis. Dalam hal ini tidak ada energi yang musnah. Energy kimia tersebut digunakan untuk mensintesis CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O menjadi glukosa dan senyawa kompleks lainnya yang tersimpan dalam bentuk senyawa karbohidrat.

**Kata kunci:** cahaya, fotosintesis, senyawa

**Abstract:** Sunlight has polychromatic properties when refracted will produce monochromatic light. This monochromatic light is captured by chlorophyll and used in the process of photosynthesis. In an experiment it was found that blue light and red light are the most effective in carrying out photosynthesis. Conclusion: 1). Blue light and red light are the most effective in carrying out photosynthesis. Red light has a photon energy of 1.65-2.00 eV, while blue light has a photon energy of 2.5-2.75 eV. 2). There are two reactions in photosynthesis, namely the light reaction and the dark reaction. The light reaction occurs The splitting of water (H<sub>2</sub>O) into Hydrogen ions (H<sup>+</sup>) and water molecules using light energy, producing O<sub>2</sub>, ATP, and NADP H<sub>2</sub>. The dark reaction occurs when carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is bound and combines with hydrogen ions (H<sup>+</sup>) to form sugars. 3). In photosynthesis, the law of conservation of energy applies, namely the energy of solar radiation captured by chlorophyll and then converted into chemical energy through the process of photosynthesis. In this case no energy is lost. The chemical energy is used to synthesize CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O into glucose and other complex compounds that are stored in the form of carbohydrate compounds.

**Keywords:** light, photosynthesis, compounds

### Pendahuluan

Energi merupakan suatu komponen penting dalam sebuah kehidupan. Makhluh hidup sangat bergantung pada ketersediaan energi untuk melangsungkan segala kegiatannya dan untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Semua makhluk hidup baik manusia, hewan, maupun tumbuhan membutuhkan energi.

Energi terdiri dari tiga macam yaitu energi kinetik, energi potensial, serta energi mekanik. Energi kinetik merupakan energi gerak yang besarnya setengah hasil kali massa

dengan kuadrat kecepatan. Persamaanya dituliskan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

Energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh suatu materi karena lokasi atau strukturnya. Energi potensial mempunyai besar hasil kali dari massa, gravitasi, dan ketinggian suatu benda. Persamaanya dituliskan sebagai berikut:

$$E_p = m \times g \times h.$$

Sedangkan, energi mekanik adalah sekumpulan energi yang terdapat pada sistem mekanis. Tenaga mekanik merupakan kesatuan benda yang terdiri atas beberapa benda yang saling berinteraksi menggunakan sistem kerja

mekanik. Besarnya energi mekanik merupakan hasil penjumlahan antara energi kinetik dengan energi potensial. Persamaannya ditulis sebagai berikut:

$$E_m = \frac{1}{2} mv^2 + (m \times g \times h)$$

Sebagai contoh ketika seseorang hendak berjalan, berlari, maupun aktivitas lainnya tentu membutuhkan energi, yang dalam hal ini didapatkan dari proses makan. Begitu pula dengan hewan akan bergantung pada ketersediaan energi untuk bertahan hidup dan beraktivitas. Demikian pula dengan aktivitas tumbuhan dalam berfotosintesis juga bergantung pada ketersediaan energi, terutama energi matahari.

### Landasan Teori

Cahaya matahari merupakan salah satu faktor yang berperan penting dalam laju fotosintesis. Cahaya matahari berasal dari cahaya putih yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen warna karena panjang gelombang cahaya yang berbeda untuk setiap warna yang berbeda. Komponen-komponen warna tersebut adalah merah, jingga, kuning, hijau, biru, dan ungu. Secara rinci tampak seperti gambar berikut:



Gambar 1. Warna-warni pada spektrum cahaya tampak

Cahaya matahari memiliki sifat polikromatik bila dibiarkan akan menghasilkan cahaya monokromatik. Cahaya monokromatik inilah yang ditangkap oleh klorofil dan digunakan dalam proses fotosintesis. Dalam suatu percobaan diketahui bahwa gelombang cahaya biru dan cahaya merah adalah yang paling efektif dalam melakukan proses fotosintesis. (A.R. Loveless,1991:301)

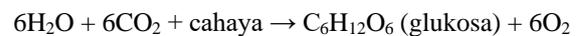
Terkait dengan sinar tampak diketahui bahwa energi sinar yang digunakan tumbuhan

untuk fotosintesis ternyata hanya 0,5 sampai 2% dari jumlah energi sinar yang tersedia. Energi yang diberikan oleh sinar itu bergantung kepada kualitas (panjang gelombang), intensitas (banyaknya sinar per 1 cm<sup>2</sup> per detik) dan waktu (sebentar atau lama).

Fotosintesis dan reaksi fotokimia lainnya tidak bergantung pada energi total cahaya, tapi pada jumlah foton atau kuantum yang diserap. Foton berenergi tinggi pada spektrum biru mempunyai energi hampir 2 kali lipat dibandingkan dengan foton pada spektrum merah, tapi kedua foton itu mempunyai efek yang persis sama dalam fotosintesis. (Frank B Salisbury dan Cleon W Ross,1995:73)

### Metode Penelitian

Tumbuhan berfotosintesis menggunakan karbon dioksida dan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang diperlukan sebagai makanannya. Energi untuk menjalankan proses ini berasal dari fotosintesis. Berikut ini adalah persamaan reaksi fotosintesis yang menghasilkan glukosa:



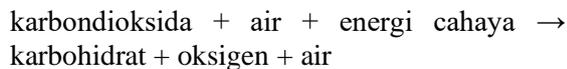
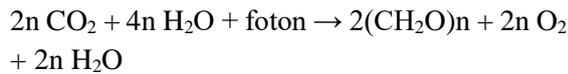
Tumbuhan menangkap cahaya menggunakan pigmen yang disebut klorofil. Pigmen inilah yang memberi warna hijau pada tumbuhan. Klorofil terdapat dalam organel yang disebut kloroplas. Klorofil menyerap cahaya yang akan digunakan dalam fotosintesis. Meskipun seluruh bagian tubuh tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, namun sebagian besar energi dihasilkan di daun. Di dalam daun terdapat lapisan sel yang disebut mesofil yang mengandung setengah juta kloroplas setiap milimeter persegiannya. Cahaya akan melewati lapisan epidermis tanpa warna dan yang transparan, menuju mesofil, tempat terjadinya sebagian besar proses fotosintesis. Permukaan daun biasanya dilapisi oleh kutikula dari lilin yang bersifat anti air untuk mencegah terjadinya penyerapan sinar Matahari ataupun penguapan air yang berlebihan.

Pada tumbuhan, organ utama tempat berlangsungnya fotosintesis adalah daun. Namun secara umum, semua sel yang memiliki kloroplas berpotensi untuk melangsungkan reaksi ini. Di organel inilah tempat berlangsungnya fotosintesis, tepatnya pada

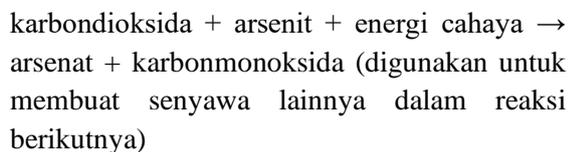
bagian stroma. Hasil fotosintesis (disebut fotosintat) biasanya dikirim ke jaringan-jaringan terdekat terlebih dahulu.

Pada dasarnya, rangkaian reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama: reaksi terang (karena memerlukan cahaya) dan reaksi gelap (tidak memerlukan cahaya tetapi memerlukan karbon dioksida). Reaksi terang terjadi pada grana (tunggal: granum), sedangkan reaksi gelap terjadi di dalam stroma. Dalam reaksi terang, terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan oksigen (O<sub>2</sub>). Sedangkan dalam reaksi gelap terjadi seri reaksi siklik yang membentuk gula dari bahan dasar CO<sub>2</sub>. Energi yang digunakan dalam reaksi gelap ini diperoleh dari reaksi terang.

Pada fotosintesis oksigen, air adalah donor elektron, karena merupakan hidrolisis melepaskan oksigen, persamaan untuk proses ini adalah:



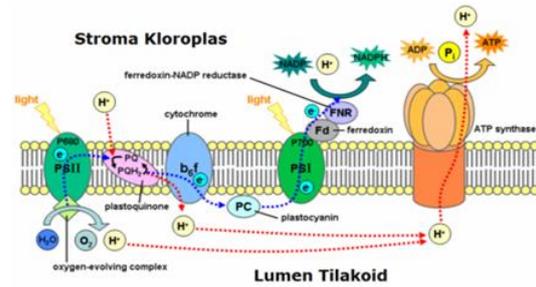
Proses lainnya menggantikan senyawa lainnya (Seperti arsenit) dengan air pada peran suplai-elektron; mikroba menggunakan cahaya matahari untuk mengoksidasi arsenit menjadi arsenat: Persamaan untuk reaksinya adalah sebagai berikut:



## Hasil Dan Pembahasan

### Reaksi Terang

Sebagian besar organisme yang melakukan fotosintesis untuk menghasilkan oksigen menggunakan cahaya tampak untuk melakukannya, seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. Warna-warni pada spektrum cahaya tampak

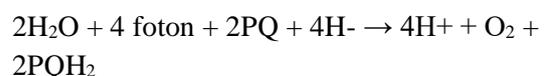
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com>

Reaksi terang menghasilkan ATP dan reduksi NADPH<sub>2</sub>, reaksi ini memerlukan molekul air dan cahaya Matahari. Proses diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen sebagai antena.

Reaksi terang melibatkan dua fotosistem yang saling bekerja sama, yaitu fotosistem I dan II. Fotosistem I (PS I) berisi pusat reaksi P700, yang berarti bahwa fotosistem ini optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 700 nm, sedangkan fotosistem II (PS II) berisi pusat reaksi P680 dan optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 680 nm.

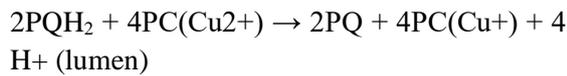
Mekanisme reaksi terang diawali dengan tahap di mana fotosistem II menyerap cahaya Matahari sehingga elektron klorofil pada PS II tereksitasi dan menyebabkan muatan menjadi tidak stabil. Untuk menstabilkan kembali, PS II akan mengambil elektron dari molekul H<sub>2</sub>O yang ada disekitarnya. Molekul air akan dipecahkan oleh ion mangan (Mn) yang bertindak sebagai enzim. Hal ini akan mengakibatkan pelepasan H<sup>+</sup> di lumen tilakoid.

Dengan menggunakan elektron dari air, selanjutnya PS II akan mereduksi plastokuinon (PQ) membentuk PQH<sub>2</sub>. Plastokuinon merupakan molekul kuinon yang terdapat pada membran lipid bilayer tilakoid. Plastokuinon ini akan mengirimkan elektron dari PS II ke suatu pompa H<sup>+</sup> yang disebut sitokrom b6-f kompleks. Reaksi keseluruhan yang terjadi di PS II adalah:

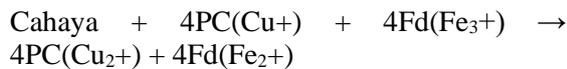


Sitokrom b6-f kompleks berfungsi untuk membawa elektron dari PS II ke PS I dengan mengoksidasi PQH<sub>2</sub> dan mereduksi protein

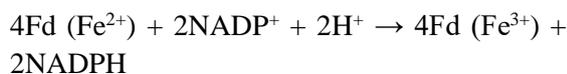
kecil yang sangat mudah bergerak dan mengandung tembaga, yang dinamakan plastosianin (PC). Kejadian ini juga menyebabkan terjadinya pompa H<sup>+</sup> dari stroma ke membran tilakoid. Reaksi yang terjadi pada sitokrom b6-f kompleks adalah:



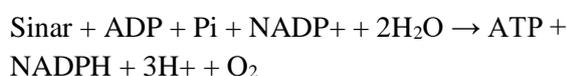
Elektron dari sitokrom b6-f kompleks akan diterima oleh fotosistem I. Fotosistem ini menyerap energi cahaya terpisah dari PS II, tetapi mengandung kompleks inti terpisahkan, yang menerima elektron yang berasal dari H<sub>2</sub>O melalui kompleks inti PS II lebih dahulu. Sebagai sistem yang bergantung pada cahaya, PS I berfungsi mengoksidasi plastosianin tereduksi dan memindahkan elektron ke protein Fe-S larut yang disebut feredoksin. Reaksi keseluruhan pada PS I adalah:



Selanjutnya elektron dari feredoksin digunakan dalam tahap akhir pengangkutan elektron untuk mereduksi NADP<sup>+</sup> dan membentuk NADPH. Reaksi ini dikatalisis dalam stroma oleh enzim feredoksin-NADP<sup>+</sup> reduktase. Reaksinya adalah:



Ion H<sup>+</sup> yang telah dipompa ke dalam membran tilakoid akan masuk ke dalam ATP sintase. ATP sintase akan menggandengkan pembentukan ATP dengan pengangkutan elektron dan H<sup>+</sup> melintasi membran tilakoid. Masuknya H<sup>+</sup> pada ATP sintase akan membuat ATP sintase bekerja mengubah ADP dan fosfat anorganik (Pi) menjadi ATP. Reaksi keseluruhan yang terjadi pada reaksi terang adalah sebagai berikut:



## Reaksi Gelap

Reaksi gelap pada tumbuhan dapat terjadi melalui dua jalur, yaitu siklus Calvin-Benson dan jalur Hatch-Slack. Pada siklus Calvin-Benson tumbuhan mengubah senyawa ribulosa-1,5-bisfosfat (RuBP, senyawa dengan lima atom C) dan molekul karbondioksida menjadi dua senyawa 3-fosfoglisarat (PGA): Oleh karena PGA memiliki tiga atom karbon tumbuhan yang menjalankan reaksi gelap melalui jalur ini dinamakan tumbuhan C<sub>3</sub>. Penambahan CO<sub>2</sub> sebagai sumber karbon pada tumbuhan ini dibantu oleh enzim Rubisco, yang merupakan enzim alami yang paling melimpah di bumi. Tumbuhan yang reaksi gelapnya mengikuti jalur Hatch-Slack disebut tumbuhan C<sub>4</sub> karena senyawa pertama yang terbentuk setelah penambahan CO<sub>2</sub> adalah asam oksaloasetat yang memiliki empat atom karbon. Enzim yang berperan adalah fosfoenolpiruvat karboksilase.

Perbedaan antara reaksi terang dan reaksi gelap dalam fotosintesis, digambarkan dalam tabel berikut:

Tabel 1: Perbedaan Reaksi Terang dan reaksi Gelap

No	Aspek	Reaksi Terang	Reaksi Gelap
1	Tempat Berlangsung	Bagian kloroplas yang bernama Grana	Bagian kloroplas yang bernama Stroma
2	Sumber Energi	Cahaya Matahari	ATP dan NADPH <sub>2</sub> hasil dari reaksi terang
3	Proses yang terjadi	Reaksi fotosintesis yaitu: Pemecahan air (H <sub>2</sub> O) menjadi ion Hidrogen (H <sup>+</sup> ) dan molekul air menggunakan energi cahaya	Reaksi fiksasi yaitu pengikatan karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) dan mengkombinasikannya dengan ion hidrogen (H <sup>+</sup> ) sehingga membentuk gula.
4	Hasilnya	O <sub>2</sub> , ATP, dan NADPH <sub>2</sub>	Karbohidrat sederhana (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )

## Siklus Calvin-Benson



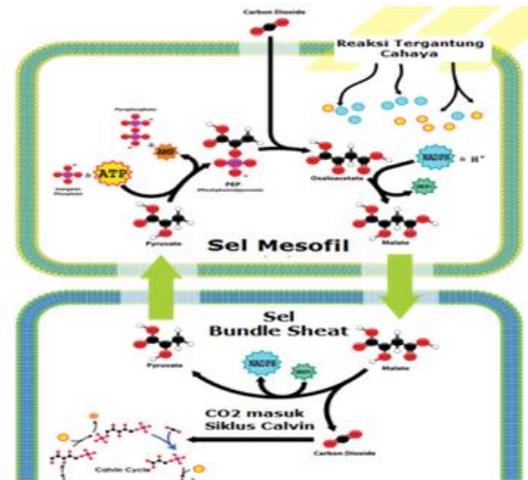
Gambar 3. Siklus Calvin-Benson [www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)

Mekanisme siklus Calvin-Benson dimulai dengan fiksasi CO<sub>2</sub> oleh ribulosa difosfat karboksilase (RuBP) membentuk 3-fosfoglisarat. RuBP merupakan enzim alosetrik yang distimulasi oleh tiga jenis perubahan yang dihasilkan dari pencahayaan kloroplas. Pertama, reaksi dari enzim ini distimulasi oleh peningkatan pH. Jika kloroplas diberi cahaya, ion H<sup>+</sup> ditranspor dari stroma ke dalam tilakoid menghasilkan peningkatan pH stroma yang menstimulasi enzim karboksilase, terletak di permukaan luar membran tilakoid. Kedua, reaksi ini distimulasi oleh Mg<sup>2+</sup>, yang memasuki stroma daun sebagai ion H<sup>+</sup>, jika kloroplas diberi cahaya. Ketiga, reaksi ini distimulasi oleh NADPH, yang dihasilkan oleh fotosistem I selama pemberian cahaya.

Fiksasi CO<sub>2</sub> ini merupakan reaksi gelap yang distimulasi oleh pencahayaan kloroplas. Fiksasi CO<sub>2</sub> melewati proses karboksilasi, reduksi, dan regenerasi. Karboksilasi melibatkan penambahan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O ke RuBP membentuk dua molekul 3-fosfoglisarat (3-PGA). Kemudian pada fase reduksi, gugus karboksil dalam 3-PGA direduksi menjadi 1 gugus aldehida dalam 3-fosfoglisaraldehida (3-Pgaldehida).

Reduksi ini tidak terjadi secara langsung, tetapi gugus karboksil dari 3-PGA pertamanya diubah menjadi ester jenis anhidrida asam pada asam 1,3-bisfosfoglisarat (1,3-bisPGA) dengan penambahan gugus fosfat terakhir dari ATP. ATP ini timbul dari fotofosforilasi dan ADP yang dilepas ketika 1,3-bisPGA terbentuk, yang diubah kembali dengan cepat menjadi ATP oleh reaksi fotofosforilasi tambahan. Bahan pereduksi yang sebenarnya adalah NADPH, yang menyumbang 2 elektron. Secara bersamaan, Pi dilepas dan digunakan kembali untuk mengubah ADP menjadi ATP.

Pada fase regenerasi, yang diregenerasi adalah RuBP yang diperlukan untuk bereaksi dengan CO<sub>2</sub> tambahan yang berdifusi secara konstan ke dalam dan melalui stomata. Pada akhir reaksi Calvin, ATP ketiga yang diperlukan bagi tiap molekul CO<sub>2</sub> yang ditambat, digunakan untuk mengubah ribulosa-5-fosfat menjadi RuBP, kemudian daur dimulai lagi.



Gambar 4. Siklus Hatch-Slack [www.wijaganteng.wordpress.com](http://www.wijaganteng.wordpress.com)

Tiga putaran daur akan menambatkan 3 molekul CO<sub>2</sub> dan produk akhirnya adalah 1,3-Pgaldehida. Sebagian digunakan kloroplas untuk membentuk pati, sebagian lainnya dibawa keluar. Sistem ini membuat jumlah total fosfat menjadi konstan di kloroplas, tetapi menyebabkan munculnya triosa fosfat di sitosol. Triosa fosfat digunakan sitosol untuk membentuk sukrosa.

Berdasarkan cara memproduksi glukosa, tumbuhan dapat dibedakan menjadi tumbuhan C<sub>3</sub> dan C<sub>4</sub>. Tumbuhan C<sub>3</sub> merupakan tumbuhan yang berasal dari daerah subtropis. Tumbuhan ini menghasilkan glukosa dengan pengolahan CO<sub>2</sub> melalui siklus Calvin, yang melibatkan enzim Rubisco sebagai penambat CO<sub>2</sub>.

Tumbuhan C<sub>3</sub> memerlukan 3 ATP untuk menghasilkan molekul glukosa. Namun, ATP ini dapat terpakai sia-sia tanpa dihasilkannya glukosa. Hal ini dapat terjadi jika ada fotorespirasi, di mana enzim Rubisco tidak menambat CO<sub>2</sub> tetapi menambat O<sub>2</sub>. Tumbuhan C<sub>4</sub> adalah tumbuhan yang umumnya ditemukan di daerah tropis. Tumbuhan ini melibatkan dua enzim di dalam pengolahan CO<sub>2</sub> menjadi glukosa.

Enzim phosphophenol pyruvat carboxilase (PEPco) adalah enzim yang akan mengikat CO<sub>2</sub> dari udara dan kemudian akan menjadi oksaloasetat. Oksaloasetat akan diubah menjadi malat. Malat akan terkarboksilasi menjadi piruvat dan CO<sub>2</sub>. Piruvat akan kembali menjadi PEPco, sedangkan CO<sub>2</sub> akan masuk ke dalam siklus Calvin yang berlangsung di sel bundle sheath dan melibatkan enzim RuBP.

Proses ini dinamakan siklus Hatch Slack, yang terjadi di sel mesofil. Dalam keseluruhan proses ini, digunakan 5 ATP.

### **Hukum Kekekalan Energi Dalam Fotosintesis**

Dalam proses fotosintesis berlaku hukum kekekalan energi, bahwa energi tidak bisa diciptakan, juga tidak bisa dimusnahkan. Walaupun warna dari spektrum yang diserap oleh klorofil menghilang, energinya tidak hilang. Energi dari foton yang diserap diubah menjadi energi potensial elektron yang dinaikkan dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Apabila pigmen kembali menyerap cahaya maka elektron akan kembali jatuh ke keadaan dasar dan melepaskan kembali energi dalam bentuk panas dan cahaya (fluoresensi).

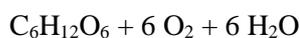
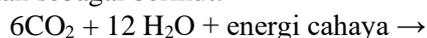
Energi radiasi sinar matahari ditangkap oleh klorofil kemudian diubah menjadi energy kimia melalui proses fotosintesis. Dalam hal ini tidak ada energi yang musnah. Energy kimia tersebut digunakan untuk mensintesis CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O menjadi glukosa dan senyawa kompleks lainnya yang tersimpan dalam bentuk senyawa karbohidrat. Bahan makanan bila dikonsumsi oleh makhluk hidup lainnya akan diubah menjadi energi kinetik, dan begitu seterusnya sebab energi tidak bisa diciptakan juga tidak bisa dimusnahkan.

### **Reaksi Kimia Dalam Fotosintesis**

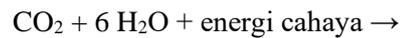
Dalam fotosintesis berlangsung beberapa reaksi kimia. Prinsip reaksi kimia adalah massa zat sebelum reaksi sama dengan massa zat sesudah reaksi. Secara sederhananya, jumlah suatu atom sebelum reaksi sama dengan jumlahnya setelah reaksi, yaitu: (1) Penguraian air, air yang diserap oleh akar tumbuhan akan diuraikan oleh kloroplas menjadi hydrogen dan oksigen dengan reaksi sebagai berikut:



Secara ringkas reaksi penggabungan dari penguraian air dengan penyerapan CO<sub>2</sub> dapat dituliskan sebagai berikut:



Dengan menghitung selisih molekul uap air yang dibutuhkan, reaksi di atas dapat juga ditulis:



Dari reaksi di atas dapat dilihat berlakunya hukum kekekalan massa, yaitu massa zat sebelum reaksi sama dengan massa zat sesudah reaksi.

Reaksi redoks, di dalam proses fotosintesis berlaku proses redoks (reduksi oksidasi). Ketika air terurai, elektron ditransfer bersama dengan ion hidrogen dari air ke karbondioksida dan mereduksinya menjadi gula. Elektron bertambah energi potensialnya ketika berpindah dari air ke gula, kebutuhan energi ini disediakan oleh cahaya.

### **Kesimpulan**

Penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Gelombang cahaya biru dan cahaya merah adalah yang paling efektif dalam melakukan proses fotosintesis. Cahaya merah mempunyai energi foton 1.65-2.00 eV, sedangkan cahaya biru mempunyai energi foton 2.5-2.75 eV. (2) Pada fotosintesis terdapat dua reaksi yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Reaksi terang terjadi Pemecahan air (H<sub>2</sub>O) menjadi ion Hidrogen (H<sup>+</sup>) dan molekul air menggunakan energi cahaya, menghasikan O<sub>2</sub>, ATP, dan NADP H<sub>2</sub>. Reaksi gelap terjadi pengikatan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan kombinasikan dengan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) sehingga membentuk gula. (3) Dalam fotosintesis berlaku hukum kekekalan energi yaitu Energi radiasi sinar matahari ditangkap oleh klorofil kemudian diubah menjadi energy kimia melalui proses fotosintesis. Dalam hal ini tidak ada energi yang musnah. Energy kimia tersebut digunakan untuk mensintesis CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O menjadi glukosa dan senyawa kompleks lainnya yang tersimpan dalam bentuk senyawa karbohidrat.

### **Daftar Pustaka**

- Elida Purba, Ade Citra Khairunisa. 2012. Kajian Awal Laju Reaksi Fotosintesis untuk Penyerapan Gas CO<sub>2</sub> Menggunakan Mikroalga Tetraselmis Chuii. Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 6, No. 1,
- Muhammad Mansur, Nuril Hidayati, Titi Juhaeti. 2011. Struktur dan Komposisi Pohon Serta Estimasi Biomassa, Kandungan Karbon dan Laju Fotosintesis di Taman Nasional Gunung

- Halimun Salak. Jurnal J.Tek. Ling. 12 (2): 161 - 169
- Nio Song Ai. 2012. Evolusi Fotosintesis Pada Tumbuhan. Jurnal Ilmiah Sains Vol. 1
- Loveless, A.R. 1991. Principles of Plant Biology for the Tropics. Logman Group Limited.
- Papib Handoko, Yunie Fajariyanti. 2015. Pengaruh Spektrum Cahaya Tampak Terhadap Laju Fotosintesis Tanaman Air. Seminar Nasional X: FKIP UNS
- Salisbury, F. B dan C. W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan jilid 2. Terjemahan dari Plant Physiology 4th Edition. Bandung: ITB
- Rani Oktavia.  
<http://literacyofscientific.blogspot.com/2014/10/fotosintesis-ditinjau-dari-ilmu-biologi.html?m=1/>. Diakses pada Kamis, 22 November 2018 pukul 19.45 WIB.  
[https://idslide.net/view-doc.html?utm\\_source=bab-7-hukum-kekalan-energi](https://idslide.net/view-doc.html?utm_source=bab-7-hukum-kekalan-energi). Diakses pada Sabtu, 10 November 2018 pukul 07:42.