

**STUDI PERBANDINGAN EFEK FOTOVOLTAIK DARI LARUTAN
EKSTRAK PIGMEN DENGAN VARIASI WARNA DAUN**

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Jurusan Fisika FMIPA UNP Untuk Memenuhi
Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains Strata Satu (S-1)*



Oleh:

**LIZA MARYETI
NIM. 84152/2007**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2011

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Liza Maryeti

NIM : 84152

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : MIPA

dengan judul

STUDI PERBANDINGAN EFEK FOTOVOLTAIK DARI LARUTAN EKSTRAK PIGMEN DENGAN VARIASI WARNA DAUN

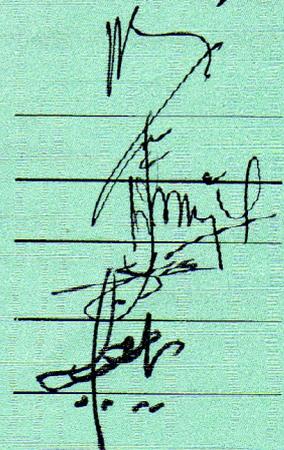
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Fisika Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 11 Agustus 2011

Tim Penguji

Nama	
Ketua	: Dr. Ratnawulan, M.Si
Sekretaris	: Drs. Gusnedi, M.Si
Anggota	: Dra. Hj. Djusmaini Djamas, M.Si
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si
Anggota	: Dr. Yulkifli, M.Si

Tanda Tangan



The image shows four handwritten signatures in black ink, each written over a horizontal line. The signatures are arranged vertically, corresponding to the names listed in the adjacent table. The first signature is the most legible, appearing to be 'Ratnawulan'. The other three are more stylized and difficult to read.

PERSETUJUAN SKRIPSI

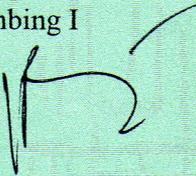
STUDI PERBANDINGAN EFEK FOTOVOLTAIK DARI LARUTAN EKSTRAK PIGMEN DENGAN VARIASI WARNA DAUN

Nama : Liza Maryeti
NIM/BP : 84152/2007
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : MIPA

Padang, 11 Agustus 2011

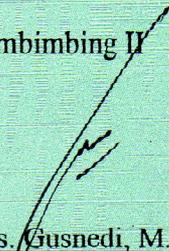
Disetujui Oleh

Pembimbing I



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 19690120 199303 2 002

Pembimbing II



Drs. Gusnedi, M.Si
NIP.19620810 198703 2 002

ABSTRAK

Liza Maryeti : Studi Perbandingan Efek Fotovoltaik dari Larutan Ekstrak Pigmen dengan Variasi Warna Daun

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi sehingga memaksa manusia untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Untuk itu diperlukan suatu upaya konversi energi matahari sebagai sumber energi yang tak terbatas menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai arus dan tegangan yang dihasilkan dari ekstrak daun dengan variasi warna serta membandingkan besar arus dan tegangan maksimum pada variasi cahaya lampu halogen yang diberikan.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang pengambilan datanya dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Biofisika FMIPA UNP pada bulan Mei sampai bulan Juni 2011. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah warna daun, jenis daun, dan panjang gelombang dari masing-masing sampel daun, variabel terikat dalam penelitian ini adalah besar arus dan tegangan. Sedangkan yang menjadi variabel kontrol adalah jenis elektroda, lama penyinaran dan suhu penyinaran.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa masing-masing sampel daun mencapai arus maksimum pada cahaya lampu biru (panjang gelombang biru) yaitu masing-masing sebesar 0.0055 mA untuk daun warna ungu, 0.0050 mA untuk daun warna merah, dan 0.0046 mA untuk daun warna kuning. Sementara nilai tegangan yang dihasilkan untuk masing-masing sampel yaitu sebesar 0.46 mV untuk daun iler, 0.42 mV untuk daun bayam merah dan 0.46 mV untuk daun puring kuning. Tegangan maksimum pada masing-masing sampel juga terdapat pada cahaya biru (panjang gelombang biru). Berdasarkan hasil penelitian tentang perbandingan efek fotovoltaik dari ekstrak daun dengan variasi warna yaitu daun berwarna ungu, merah dan kuning dapat diketahui bahwa daun ungu memiliki nilai arus yang lebih tinggi dari daun merah dan kuning.

Kata kunci: *Fotosintesis, Karotenoid, Klorofil, Energi Listrik, Fotovoltaik*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan hidayah yang dilimpahkan sebagai sumber kekuatan hati dan peneguh iman sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Perbandingan Efek Fotovoltaik Dari Larutan Ekstrak Pigmen dengan Variasi Warna Daun”. Salawat dan salam kepada nabi Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat di alam semesta ini.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan perkuliahan dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis banyak mendapat arahan, bimbingan dan nasehat dari berbagai pihak dalam menyusun, membuat dan menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini izinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Ibu Dr. Ratnawulan, M.Si sebagai Dosen pembimbing I yang telah tulus dan ikhlas memberikan bimbingan kepada penulis.
2. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si sebagai Dosen pembimbing II yang telah tulus dan ikhlas memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
3. Ibu Dra. Djusmaini Djamal, M.Si, Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si dan Bapak Dr. Yulkifli, M.Si sebagai Dosen tim penguji.
4. Bapak Dr. Ahmad Fauzi, M.Si sebagai ketua Jurusan Fisika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai ketua Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak / Ibu Dosen Staf pengajar di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Seluruh keluarga tercinta atas do'a dan dorongan semangat yang diberikan.
8. Teman-teman yang telah banyak mmbantu penulis dalam menyusun skripsi ini.
9. Semua Senior, teman-teman Fisika 2007 dan Junior yang telah banyak membantu.

Terimakasih kepada seluruh pihak yang telah berjasa dalam menyelesaikan skripsi, semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis yakin bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran dari pembaca demi kelengkapannya. Semoga semua bantuan, kritik dan saran yang telah diberikan menjadi masukan positif bagi kita.

Padang, Agustus 2011

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Batasan Masalah	5
C. Pertanyaan Penelitian	5
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Energi Matahari	8
B. Fotosintesis	12
1. Proses Fotosintesis	12
2. Pigmen fotosintesis	16
a. Klorofil	16
b. Karotenoid	19
3. Kadar Pigmen daun	22
4. Energi Listrik	24

C. Efek Fotovoltaik Pada Daun	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
A. Rancangan Penelitian	33
B. Tempat dan Waktu Penelitian	33
C. Variabel Penelitian	33
D. Alat dan Bahan	34
E. Prosedur Penelitian	39
F. Teknik Pengumpulan Data	44
G. Teknik Analisis Data	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
A. Deskripsi dan Analisa Data	45
B. Pembahasan	49
BAB V PENUTUP	55
A. Kesimpulan	55
B. Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Krisis energi adalah masalah yang sangat fundamental, khususnya masalah energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat diperlukan untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Sumber energi listrik yang berasal dari batu bara dan minyak bumi, tidak ramah lingkungan karena menimbulkan polusi udara, dan untuk memperbaharuiya memerlukan waktu yang lama. Penggunaan bahan bakar seperti fosil akan habis kurang lebih 17 tahun mendatang (Kadir, 1995). Untuk itu sumber-sumber energi baru harus didapatkan. Sumber energi baru ini dapat diperoleh dari kombinasi beberapa sumber energi yang telah ada atau mencari alternatif sumber energi baru.

Pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber energi baru merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan sumber energi minyak bumi yang semakin menipis. Tantangan terbesar pada abad 21 ini adalah membuat piranti yang dapat digunakan untuk mengubah langsung dari sumber energi matahari menjadi bentuk energi yang lebih ekonomis. Salah satu piranti yang dapat mengubah energi matahari menjadi bentuk energi lain adalah sel surya (Gratzel *et al*, 1998).

Sel surya merupakan salah satu pembangkit listrik yang mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Sel surya bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik, dimana foton dari radiasi diserap kemudian

dikonversikan (diubah) menjadi energi listrik. Efek fotovoltaiik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik di dalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut. Pada awalnya sel surya yang dihasilkan menggunakan kristal silika dengan biaya produksi yang tinggi. Namun seiring dengan perkembangan nanoteknologi, dominasi penggunaan silika tersebut secara bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya berbasis bahan biologi (*bio solar - cell*). *Bio solar – cell* ini merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan biaya produksi yang lebih mahal dan ramah lingkungan (Pratiwi, 2010).

Klorofil yang terdapat pada daun dapat digunakan dalam pembuatan sel surya berbasis bahan biologi (*bio-solar-cell*). Klorofil merupakan *dye* (pewarna) organik yang berperan dalam proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik. Klorofil pada tanaman menggunakan elektron-elektron bebas untuk mensintesis karbohidrat dalam proses fotosintesis. Fotosintesis adalah suatu proses kehidupan organisme yang mengkonversi foton dari cahaya matahari menjadi energi kimia pada molekul organik. Proses ini mengkonsumsi energi cahaya matahari yang jatuh ke bumi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Masing-masing jenis cahaya berbeda pengaruhnya terhadap fotosintesis (Dwidjoseputro, 1994).

Penelitian tentang pemanfaatan ekstrak klorofil daun sebagai bio solar sel telah dilakukan oleh Sinta (2009). Dari hasil penelitian tersebut

dapat diketahui bahwa absorbansi maksimum terjadi pada panjang gelombang 415 nm. Arus dan tegangan maksimum terjadi pada panjang gelombang 447 nm (pada cahaya lampu berwarna biru) yaitu sebesar 0,007 mA dan 0,7 mV, sedangkan nilai arus dan tegangan minimum terjadi pada panjang gelombang 532 (cahaya lampu berwarna hijau) yaitu sebesar 0,002 mA dan 0,2 mV.

Penelitian tersebut berhasil menjelaskan adanya efek fotovoltaiik pada daun ketapang, namun pengukurannya hanya bisa menjelaskan untuk satu warna daun yaitu daun berwarna hijau. Untuk daun berwarna selain hijau seperti merah, kuning dan ungu belum diketahui sifat optis dan parameter efek fotovoltaiiknya.

Pada daun terdapat beberapa macam pigmen yang berperan dalam proses fotosintesis. Pigmen tersebut dibagi menjadi dua kelompok yaitu klorofil dan karotenoid. Kedua pigmen tersebut memiliki peranan yang penting dalam proses fotosintesis (Richard, 2000).

Klorofil terdiri dari dua bagian yaitu klorofil a (berwarna hijau muda) dan klorofil b (hijau tua). Klorofil b berfungsi mengumpulkan cahaya matahari sehingga disebut sebagai antena fotosintesis. Klorofil a merupakan pigmen utama dari fotosintesis, karena berperan langsung dalam mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi kimia. Selain itu, klorofil a juga dapat menampung energi cahaya yang diserap oleh pigmen lainnya pada proses fotosintesis (Gardner, 1991).

Selain klorofil pada daun juga terdapat pigmen karotenoid yang berfungsi sebagai penyerap energi cahaya yang digunakan dalam fotosintesis dan melindungi klorofil dari *fotodamage*. Klorofil a dan b efektif menyerap spektrum merah dan biru. Sementara spektrum lainnya diserap oleh pigmen karotenoid disamping juga menyerap spektrum biru dan mentransfer energinya ke klorofil a (Richard, 2000).

Karotenoid membantu peningkatan fungsi klorofil b dalam mengabsorpsi cahaya sehingga spektrum matahari dapat dimanfaatkan dengan lebih baik. Peningkatan kandungan karotenoid dan klorofil b berkaitan dengan peningkatan protein klorofil sehingga akan meningkatkan efisiensi fungsi antena dan mempengaruhi besarnya energi fotosintesis yang dihasilkan. Hal yang menarik untuk mengetahui efek fotovoltaiik pada klorofil b yaitu sebagai pigmen pelengkap, klorofil b memiliki struktur yang sedikit berbeda dengan klorofil a, tetapi perbedaan yang sedikit itu mampu menyebabkan variasi dalam spektrum absorpsi pigmen. Perbedaan kedua klorofil ini terdapat pada jumlah atom H dan O, atom CH₃ pada klorofil a digantikan oleh CHO pada klorofil b (Farabee, 2000).

Penelitian tentang karakterisasi sifat optis dari daun dengan variasi warna yaitu daun berwarna ungu, daun berwarna merah, dan daun berwarna kuning telah dilakukan oleh Sianturi (2007). Pada penelitian tersebut dapat diketahui bahwa spektrum absorbansi klorofil a dicapai masing-masing sampel pada panjang gelombang yang sama yaitu pada

663 nm dan 430 nm. Namun penelitian tersebut hanya bisa mengetahui sifat optis dari daun dengan variasi warna tanpa mengetahui efek fotovoltaiik yang terjadi pada daun tersebut.

Berbagai jenis ekstrak tumbuhan juga telah banyak digunakan sebagai *fotosentizer* pada sistem bio solar sel. *Dye-sensitizer* alami yang pernah digunakan diantaranya yaitu buah berry hitam (Ali, 2007), bunga rosella (Wongcharee et.al., 2006), buah delima (Sirimanne et.al., 2006), buah buni (Pangestuti, 2009) dan kol merah (Anggraini, 2009). Zat warna alami tersebut telah terbukti mampu memberikan efek fotovoltaiik walaupun efisiensi yang dihasilkan masih jauh lebih kecil dibandingkan zat warna sintetis. Meskipun demikian, zat warna organik sangat kompetitif untuk dijadikan *sensitizer* karena biaya produksinya yang murah dan proses isolasinya juga lebih mudah (Anggraini, 2009).

Berdasarkan latar belakang tersebut peneliti tertarik untuk menyelidiki efek fotovoltaiik pada daun berwarna merah, kuning, ungu terkait dengan sifat optisnya seperti yang telah dikaji oleh Sianturi (2007). Selain itu juga mempelajari proses fotosintesis pada tumbuhan dan pengaruh dari pigmen yang terkandung pada daun terhadap parameter efek fotovoltaiik yang dihasilkan.

B. Pembatasan Masalah

Permasalahan yang akan menjadi fokus kajian penelitian ini menyangkut parameter efek fotovoltaiik yang terdapat pada daun berwarna merah, kuning dan ungu. Parameter efek fotovoltaiik yang dikaji adalah

besarnya arus dan tegangan yang dihasilkan pada masing-masing daun yang dijadikan sampel jika disinari dengan cahaya lampu halogen yang berbeda. Daun yang dijadikan sampel adalah daun berwarna ungu yaitu daun iler, daun berwarna merah yaitu daun bayam merah dan daun berwarna kuning yaitu daun puring kuning.

C. Pertanyaan Penelitian

Untuk melengkapi penelitian, penulis membuat pertanyaan mengenai apa yang akan diteliti. Adapun pertanyaannya adalah :

1. Berapa arus dan tegangan maksimum yang dihasilkan oleh masing-masing larutan ekstrak pigmen daun yang disinari dengan variasi cahaya lampu halogen ?
2. Bagaimana perbandingan arus dan tegangan maksimum yang diperoleh dari ekstrak pigmen masing-masing sampel daun yang disinari dengan variasi cahaya lampu halogen?

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besar arus dan tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing larutan ekstrak pigmen daun yang disinari dengan variasi cahaya lampu halogen.
2. Mengetahui perbandingan arus dan tegangan maksimum yang diperoleh dari ekstrak pigmen masing-masing sampel daun pada panjang gelombang yang disinari cahaya lampu halogen.

E. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk :

1. Laboratorium Fisika Material dan Biofisika UNP, sebagai pengembangan penelitian untuk mencari sumber energi alternatif baru.
2. Pembaca, sebagai informasi dan acuan untuk dijadikan penelitian lanjutan.
3. Peneliti, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Matahari

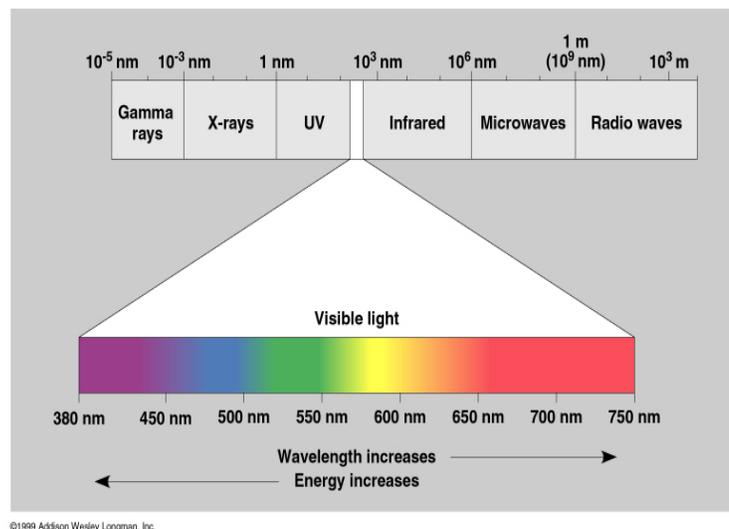
Matahari merupakan pancaran gelombang elektromagnetik yang tidak membutuhkan media untuk merambat. Energi yang dipancarkan oleh matahari disusun oleh beberapa spektrum penyusun. Dalam spektrum utuh, seluruh sinar yang dipancarkan matahari dimampatkan ke dalam interval yang sangat pendek (Rully, 2003).

Cahaya matahari ditangkap daun sebagai foton. Cahaya yang mengakibatkan fotosintesis merupakan bagian energi yang mempunyai panjang gelombang yang tampak bagi manusia (sekitar 350–750 nm). Ini merupakan daerah yang sangat sempit dari spektrum gelombang elektromagnetik. Contoh lain dari gelombang elektromagnetik yaitu gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah, sinar *ultraviolet*, sinar X dan sinar gamma (Agung, 1990).

Cahaya mempunyai dua sifat yaitu sifat gelombang dan sifat partikel. Cahaya menurut konsep gelombang adalah gelombang elektromagnetik yang merambat tegak lurus arah perambatannya. Sifat partikel cahaya biasanya dinyatakan terdapat pada foton atau kuantum, yaitu suatu paket energi yang mempunyai ciri tersendiri, masing-masing foton mempunyai panjang gelombang tertentu. Energi dalam tiap foton berbanding terbalik dengan panjang gelombang, sehingga panjang gelombang cahaya ungu dan biru mempunyai energi foton yang lebih

tinggi daripada panjang gelombang cahaya jingga dan merah (Beisser, 1987).

Dari semua radiasi matahari yang dipancarkan, hanya panjang gelombang tertentu yang dimanfaatkan tumbuhan untuk proses fotosintesis, yaitu panjang gelombang yang berada pada kisaran cahaya tampak (350 - 750 nm). Cahaya tampak terbagi atas cahaya merah (620 - 750 nm), kuning (570 - 620 nm), hijau (495 - 570 nm), biru (400 - 490 nm) dan violet (<400 nm) (Dwidjoseputro, 1994). Gambar 1 menunjukkan spektrum gelombang elektromagnetik :



©1999 Addison Wesley Longman, Inc.

Gambar 1. Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Reusch, 2004)

Besarnya energi yang diradiasikan oleh cahaya berbanding lurus dengan frekuensi cahaya dan berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Hubungan antara energi dengan panjang gelombang (λ) adalah (Beiser, 1987) :

$$E = h \cdot \square = h \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

dimana E : energi cahaya

h : konstanta planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s)

\square : frekuensi (Hz)

c : kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ : panjang gelombang (nm)

Semakin besar panjang gelombang maka energinya semakin kecil, begitu pula sebaliknya (Supriatna, 1994). Spektrum dari cahaya tampak dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Panjang dan Frekuensi Gelombang Elektromagnetik

Cahaya Tampak	Panjang Gelombang (nm)	Frekuensi Gelombang (Hz)
Ungu	350-400	$8,6 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$
Biru	400-495	$7,5 \cdot 10^{14} - 6 \cdot 10^{14}$
Hijau	495-570	$6 \cdot 10^{14} - 5,3 \cdot 10^{14}$
Kuning	570-590	$5,3 \cdot 10^{14} - 5,1 \cdot 10^{14}$
Jingga	590-620	$5,1 \cdot 10^{14} - 4,8 \cdot 10^{14}$
Merah	620-750	$4,8 \cdot 10^{14} - 4 \cdot 10^{14}$

(Giwankara, 2007)

Masing-masing jenis cahaya berbeda pengaruhnya terhadap fotosintesis. Hal ini terkait pada sifat pigmen penangkap cahaya yang bekerja dalam fotosintesis. Pigmen merupakan molekul penyerap cahaya.

Warna pigmen yang terlihat merupakan cahaya yang direfleksikan (dengan kata lain, tidak diserap). Suatu medium akan memiliki warna jika medium itu menyerap panjang gelombang tertentu dari radiasi elektromagnetik yang melalui medium tersebut. Panjang gelombang lainnya akan dipantulkan atau diteruskan dan akan tampak pada mata sebagai warna medium tersebut. Warna ini disebut warna yang komplementer terhadap warna yang diabsorpsi. Berikut ini adalah spektrum cahaya tampak dan warna-warna komplementer ditunjukkan dalam Tabel 2 (Underwood : 1994).

Tabel 2. Spektrum Cahaya Tampak dan Warna-warna Komplementer

λ (nm)	Warna	Warna komplemen
400-465	Biru	Kuning hijau
465-482	Biru kehijauan	Kuning
482-487	Biru hijau	Jingga
487-493	Hijau kebiruan	Merah jingga
493-498	Hijau kebiruan	Merah
498-530	Hijau	Merah ungu
530-559	Hijau kekuningan	Ungu kemerahan
559-571	Kuning hijau	Ungu
571-576	Kuning kehijauan	Violet
576-580	Kuning	Biru
580-587	Jingga kekuningan	Biru
587-597	Jingga	Biru kehijauan
597-617	Jingga kemerahan	Biru hijau
617-780	Merah	Biru hijau

Pigmen yang terdapat pada membran grana menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Pigmen yang berbeda menyerap cahaya pada panjang gelombang yang berbeda. Bila foton cahaya mengenai pigmen fotosintetik, elektron dalam molekul akan tereksitasi,

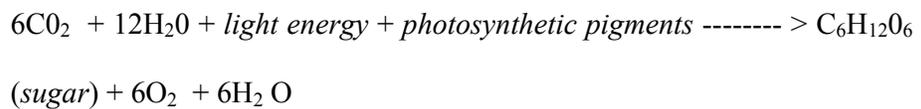
dan energi eksitasi inilah yang digunakan dalam fotosintesis (Salisbury, 1995).

B. Fotosintesis

1. Proses Fotosintesis

Fotosintesis merupakan penyerapan energi foton cahaya oleh molekul pigmen. Fotosintesis tergolong dalam reaksi anabolisme. Anabolisme adalah penyusunan senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks. Fotosintesis merupakan proses dimana tumbuhan, beberapa bakteri, dan protista menggunakan energi dari matahari untuk menghasilkan oksigen dan membentuk molekul Adenosin Tri Posphat (ATP) sebagai gudang energi untuk aktivitas kehidupan (Utomo, 2007).

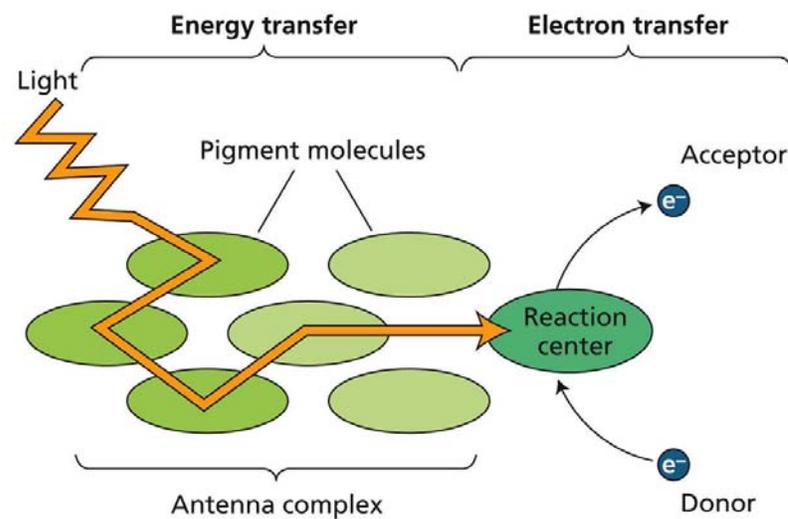
Fotosintesis merupakan dasar rantai makanan di bumi dan sumber oksigen di atmosfer. Secara umum peristiwa fotosintesis dinyatakan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut (Harison, 1999) :



Fotosintesis melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi. Proses keseluruhan adalah oksidasi air (pemindahan elektron disertai pelepasan O_2 sebagai hasil samping) dan CO_2 untuk membuat senyawa organik, misalnya karbohidrat. Respirasi merupakan proses oksidasi serupa yang terkendali secara efektif dan membuat semua organisme tetap hidup. Selama proses pembakaran dan respirasi, kemudian elektron tersebut dan H^+ bergabung dengan penerima elektron kuat, O_2 untuk menghasilkan H_2O

yang mantap. Dengan cara ini, fotosintesis menggunakan energi cahaya untuk mengangkut elektron ke atas, menjauhi H_2O menuju penerima elektron yang lebih lemah CO_2 (Salisbury & Ross, 1995).

Perpindahan energi selama fotosntesis dapat dilihat pada Gambar 2.



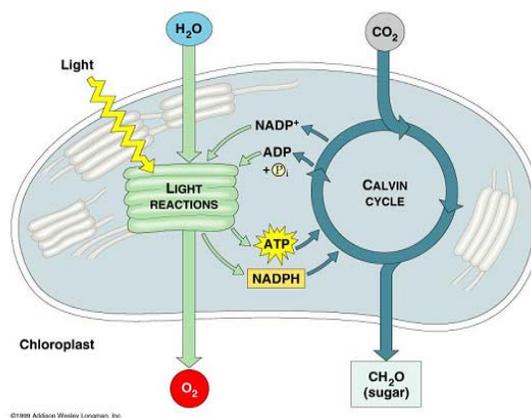
Gambar 2. Konsep Dasar Perpindahan Energi Selama Fotosintesis (Ferreira et al. 2004)

Dari Gambar 2 dapat dijelaskan perpindahan energi selama fotosintesis. Ketika cahaya mengenai molekul pigmen, kumpulan pigmen dan protein yang berasosiasi dengan membran tilakoid memanen energi yang tereksitasi lalu mentransfer antara molekul fotosistem hingga mencapai molekul klorofil pada pusat reaksi. Pusat reaksi terdiri dari klorofil a dan akseptor elektron primer.

Fotosintesis berlangsung dalam 2 proses. Proses pertama merupakan proses yang tergantung pada cahaya matahari (Reaksi Terang),

yaitu reaksi yang membutuhkan energi cahaya matahari langsung dan molekul-molekul energi cahaya tersebut belum dapat digunakan untuk proses berikutnya. Oleh karena itu pada reaksi terang ini, energi cahaya matahari yang belum dapat digunakan tersebut akan dikonversi menjadi molekul-molekul energi yang dapat digunakan yaitu dalam bentuk energi kimia. Konversi energi cahaya menjadi energi kimia dilakukan oleh aktivitas pigmen daun. Dalam reaksi terang, cahaya matahari akan membentur klorofil-a sebagai suatu cara untuk membangkitkan elektron agar menjadi suatu energi dengan tingkatan yang lebih tinggi (Arrohmah, 2007).

Proses kedua adalah proses yang tidak membutuhkan cahaya (Reaksi Gelap) yang terjadi ketika produk dari reaksi terang digunakan untuk membentuk ikatan kovalen C-C dari karbohidrat. Penangkapan energi surya dan aliran elektron pada membran tylakoid dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penangkapan Energi Surya Dan Aliran Elektron
(Fall, 2000)

Reaksi terang terjadi dalam grana. Pusat reaksi pada pigmen tersebut bekerja secara berantai mentransfer elektron. Elektron diperoleh dengan memecah air (H_2O) sehingga terjadi pelepasan O_2 dan O_2 tersebut yang kemudian mengkonversi energi menjadi bentuk ATP dan NADP. Proses ini diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen sebagai antena. Kromofor adalah bagian dari pigmen yang sensitif terhadap rangsangan cahaya dan berfungsi sebagai alat untuk menangkap gelombang elektromagnetik pada kisaran cahaya tampak. Panjang gelombang yang bersesuaian dapat merangsang perubahan struktur molekul kromofor karena molekul ini tereksitasi. Perubahan struktur ini menyebabkan pelepasan energi elektron. Energi atau elektron yang terlepas ini kemudian ditangkap oleh sistem pembawa signal yang pada akhirnya memicu dihasilkannya sejumlah enzim bagi suatu proses biokimia tertentu (Sutiyo, 2009).

Prinsip mendasar dari absorpsi cahaya adalah setiap molekul hanya dapat menyerap satu foton, dan foton ini menyebabkan tereksitasinya hanya satu electron. Elektron yang dalam keadaan dasar (ground state) stabil pada suatu orbit biasanya tereksitasi, dipindahkan menjauhi keadaan dasarnya (orbit tersebut) dengan jarak (ke orbit lain) sesuai dengan energi foton yang diabsorpsinya. Jika yang menyerap energi foton itu adalah molekul klorofil atau pigmen yang lain, maka molekul itu akan berada dalam keadaan tereksitasi, dan energi eksitasi inilah yang digunakan dalam proses fotosintesis. Klorofil atau pigmen yang lain itu akan tetap dalam

keadaan eksitasi dalam waktu yang singkat, biasanya 10^{-9} detik atau kurang dari itu. Energi eksitasi akan hilang pada waktu elektron kembali ke orbitnya semula (Salisbury & Ross, 1995).

2. Pigmen Fotosintesis

a. Klorofil

Klorofil adalah pigmen hijau fotosintetis yang terdapat dalam tanaman, Algae dan Cynobacteria. Fungsi klorofil pada tanaman adalah menyerap energi dari sinar matahari untuk digunakan dalam proses fotosintesis yaitu suatu proses biokimia dimana tanaman mensintesis karbohidrat (gula menjadi pati), dari gas karbon dioksida dan air dengan bantuan sinar matahari (Subandi, 2008).

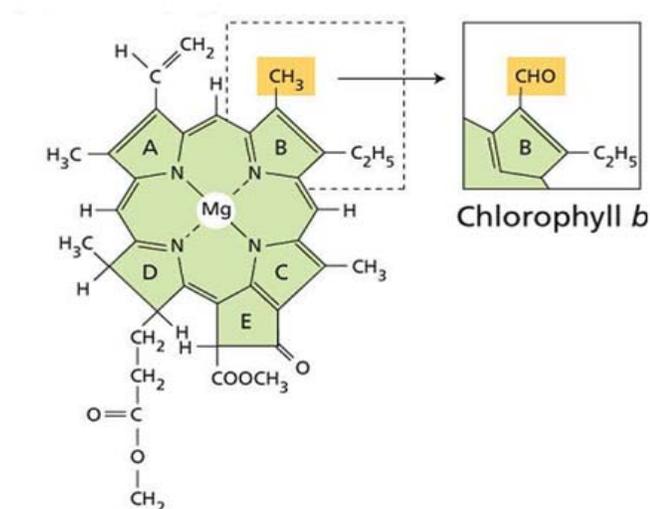
Klorofil merupakan molekul yang terdiri dari ikatan zat-zat karbon, hidrogen, nitrogen, dan magnesium yang memiliki aktivitas mengubah zat organik dari zat anorganik sederhana dengan bantuan sinar matahari. Klorofil mengubah tenaga radiasi matahari menjadi tenaga kimiawi melalui proses fotosintesis atau dengan kata lain menyimpan tenaga matahari dalam tumbuh-tumbuhan berupa makanan dan bahan bakar yang nantinya akan muncul sebagai api atau tenaga kalori sewaktu terjadi pembakaran (Arrohmah, 2007).

Klorofil pada tumbuhan dibedakan menjadi dua macam, yaitu klorofil a dan klorofil b. Identifikasi klorofil didasarkan pada karakteristik penyerapan sinar tampak. Spektrum sinar tampak klorofil a dan b digolongkan pada pita penyerapan cahaya yang tajam antara 400 – 500 nm

(daerah biru) dan 600 – 700 nm (daerah merah). Klorofil a menyerap daerah dengan panjang gelombang 430 nm dan 660 nm. Sedangkan klorofil b menyerap daerah dengan panjang gelombang 450 nm dan 640 nm. Keduanya menyerap dengan kuat daerah biru dan daerah merah (Aryetti, 2003).

Klorofil a berperan langsung dalam reaksi terang, yaitu reaksi yang membutuhkan cahaya matahari pada proses fotosintesis. Klorofil a terdapat pada pusat reaksi. Energi cahaya akan diubah menjadi energi kimia di pusat reaksi yang kemudian dapat digunakan untuk proses reduksi dalam fotosintesis. Elektron yang dilepaskan klorofil a mempunyai energi tinggi sebab memperoleh energi dari cahaya yang berasal dari molekul perangkat pigmen lainnya (Salisbury & Ross, 1995).

Struktur dari klorofil a dan klorofil b dapat diperlihatkan pada Gambar 4 .

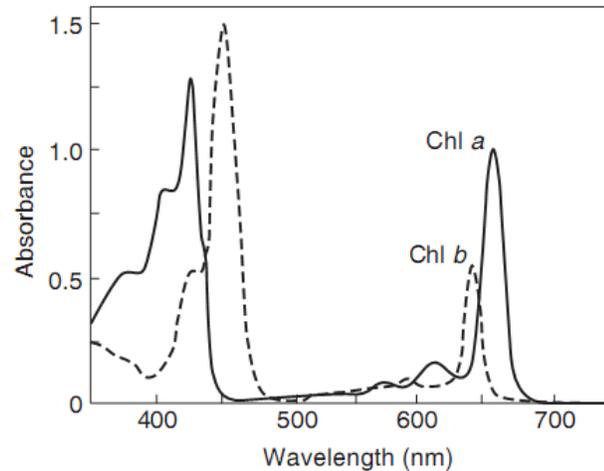


Gambar 4. Struktur Klorofil a dan Klorofil b (Ferreira, 2004)

Klorofil a hampir identik dengan klorofil b, hanya terdapat perbedaan struktur kimia di antara keduanya. Klorofil a adalah suatu struktur tetrapireol melalui ikatan Mg, dengan rumus empiris $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$. Sementara pada klorofil b terdapat gugus formil yang menggantikan gugus metil pada posisi yang ditunjukkan huruf B pada Gambar 4. Rumus empiris dari klorofil b adalah $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$. Perbedaan di antara struktur kimia inilah yang membuat kedua pigmen tersebut mempunyai spektra absorpsi yang berbeda sehingga warnanya juga berbeda. Klorofil a berwarna biru-hijau sementara klorofil b berwarna kuning hijau. Ketika foton cahaya diserap oleh klorofil b, energi disalurkan ke klorofil a sehingga seolah-olah klorofil inilah yang telah menyerap foton tersebut (Robinson, 1995).

Molekul klorofil membantu tanaman memperoleh energi dari cahaya matahari. Ketika molekul menyerap foton, salah satu elektron dari molekul yang berada pada keadaan dasar akan dinaikkan ke suatu orbital yang memiliki energi lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi biasanya elektron yang berasosiasi dengan ikatan rangkap yang tidak jenuh atau pada gugus kromofor $C=O$. Hal ini terjadi dikarenakan energi cahaya yang diserap akan menggerakkan elektron sehingga elektron bergerak ke tingkat energi yang lebih tinggi. Dengan demikian suatu molekul tertentu hanya menyerap foton yang sesuai dengan panjang gelombang tertentu, karena itulah setiap pigmen memiliki spektrum absorpsi yang unik (Carlson et al. 1996).

Spektrum aksi klorofil dapat dilihat pada Gambar 5 :



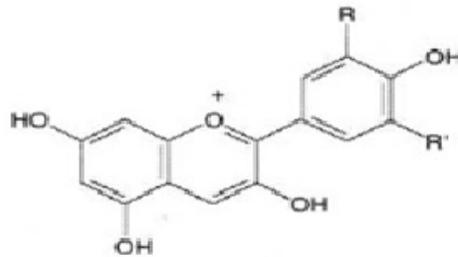
Gambar 5. Spektrum Aksi Klorofil a dan Korofil b (Arnold, 1991)

Spektrum aksi klorofil secara umum pada kisaran gelombang biru dan merah. Korofil a terutama menyerap cahaya biru-violet dan merah. Klorofil b menyerap cahaya biru dan merah kejinggaan dan memantulkan cahaya kuning hijau.

b. Karotenoid

Pada kloroplas selain klorofil a sebagai pusat reaksi terdapat juga pigmen aksesoris yaitu klorofil b dan pigmen karotenoid, yakni hidrokarbon yang mempunyai warna campuran kuning dan jingga. Beberapa karotenoid berfungsi dalam fotoproteksi yaitu menyerap dan melepaskan energi cahaya yang berlebihan, yang jika tidak dilepas akan merusak korofil (Wirahadikusumah, 1985).

Karotenoid mempunyai fungsi yang hampir sama dengan klorofil b, yaitu sama-sama menyerap cahaya berwarna biru dari spektrum gelombang elektromagnetik. Karotenoid menyerap daerah dengan panjang gelombang biru kehijauan yaitu antara 430 – 500 nm. Kedua pigmen ini berfungsi sebagai antena yang mengumpulkan cahaya untuk kemudian ditransfer ke pusat reaksi yang tersusun dari klorofil a. Struktur kimia karotenoid dapat dilihat pada Gambar 6 (Marwati, 2001).



Gambar 6. Struktur Kimia Karotenoid

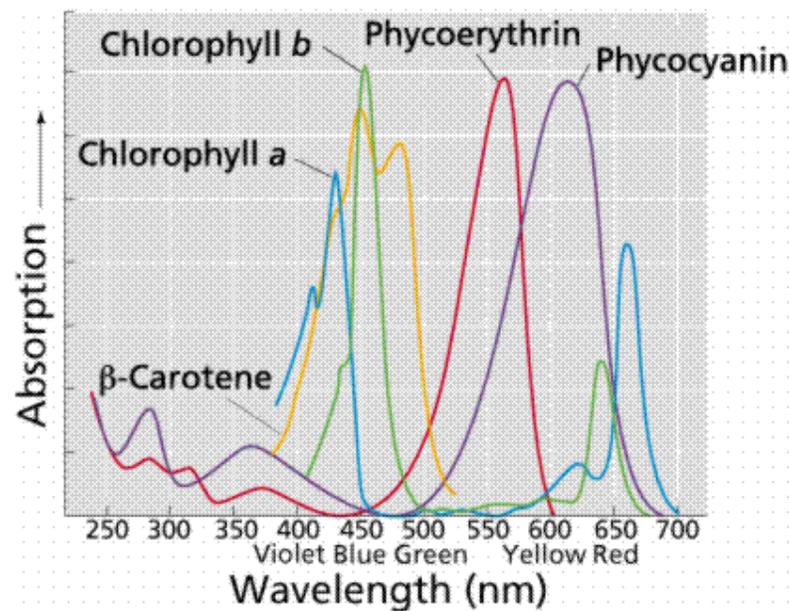
Pada proses fotosintesis pigmen karotenoid membantu peningkatan fungsi klorofil b dalam menyerap cahaya yang energinya di transfer ke klorofil a sebagai pusat reaksi.

Carotenoids ^{90% transfer} *chlorophyll a* *photosynthesis*

Terdapat 2 jenis karotenoid yaitu (Salisbury, 1995) :

1. *Phycobillins* terdiri dari *fikosianin* yang memberikan warna ungu pada daun, *fikoeretrin* yang memberikan warna merah pada daun dan *violutin* yang memberikan warna biru.
2. *Xantofil* (β *carotene*) memberikan warna kuning pada daun.

Peningkatan kandungan karotenoid membantu peningkatan kandungan klorofil pada daun, sehingga semakin banyak kandungan klorofil daun maka semakin tinggi daya serap atau nilai absorbansi dari daun tersebut. Spektrum absorbansi beberapa pigmen fotosintesis dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Spektrum Absorbansi Pigmen Fotosintesis

(www.whreeman.com)

Gambar 7 menjelaskan spektrum absorbansi beberapa pigmen karotenoid yang terdiri dari fikoeertrin yang teridentifikasi pada panjang gelombang 498-590 nm, fikocyanin yang teridentifikasi pada panjang gelombang 530-650 nm dan beta karoten yang teridentifikasi pada panjang gelombang 400-430nm.

3. Kadar Pigmen Daun

Molekul–molekul klorofil adalah bagian aktif yang menyerap cahaya matahari. Tingkat energi cahaya tampak sesuai dengan tingkat energi yang diperlukan untuk mengaktifkan molekul pigmen. Cahaya matahari diserap oleh molekul–molekul pigmen dalam bentuk energi foton yang digunakan oleh elektron–elektron untuk bertransisi ke tingkat energi yang lebih tinggi (Ar Rohmah, 2007).

Cahaya yang datang akan digunakan untuk membawa elektron sehingga terjadi proses eksitasi elektron-elektron ke tingkat yang lebih tinggi. Semakin banyak cahaya yang diserap maka semakin banyak aliran elektron. Semakin banyak elektron-elektron yang tereksitasi berarti kemampuan listriknya semakin baik sehingga material yang memiliki kandungan klorofil terbanyak akan mampu menyerap foton cahaya secara maksimal dan menghasilkan listrik secara maksimal pula (Arrohmah, 2007).

Penelitian tentang sifat optis dari pigmen beberapa daun telah dilakukan oleh Sianturi (2007) dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis. Penelitian tersebut menggunakan tiga jenis daun dengan warna yang berbeda yaitu daun berwarna merah, kuning dan ungu. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa spektrum absorbansi klorofil a dicapai masing-masing sampel pada panjang gelombang yang sama yaitu pada panjang gelombang biru (430 nm).

Pada perhitungan kadar klorofilnya diketahui bahwa sampel daun

berwarna ungu memiliki kandungan klorofil yang paling banyak yaitu sebesar 27 mg/mL, diikuti sampel daun bayam merah dan daun puring kuning masing-masing sebesar 22 mg/mL dan 16 mg/mL. Sehingga daun berwarna ungu memiliki kemampuan menyerap energi foton lebih baik dari sampel lain. Selain kadar klorofil didapatkan pula kadar karotenoid untuk daun berwarna ungu sebesar 2.8 mg/ml, sedangkan untuk daun berwarna merah diperoleh sebesar 2.5 mg/ml dan untuk daun berwarna kuning sebesar 1.97 mg/ml. Hasil ini menyimpulkan bahwa penambahan kadar karotenoid membantu peningkatan kadar klorofil sesuai dengan fungsi pigmen karotenoid sebagai pigmen pelengkap yang membantu peningkatan klorofil b dalam menyerap cahaya matahari. Sehingga semakin besar kadar karotenoid yang terdapat pada daun semakin besar pula kandungan klorofilnya (Salisbury, 1995).

Untuk mengetahui kadar klorofil a dan klorofil b diperoleh dengan memasukkan data ke dalam persamaan empiris berikut (Mariyana, 2004) :

$$\text{Klorofil a} = 12,21 A_a - 2,81 A_b \quad (2)$$

$$\text{Klorofil b} = 20,31 A_b - 5,03 A_a \quad (3)$$

$$\text{Klorofil total} = 8,02 A_a + 20,2 A_b \quad (4)$$

Dimana :

A_a = nilai absorbansi klorofil a dan klorofil b maksimum

A_b = nilai absorbansi klorofil a dan klorofil b minimum

4. Energi Listrik

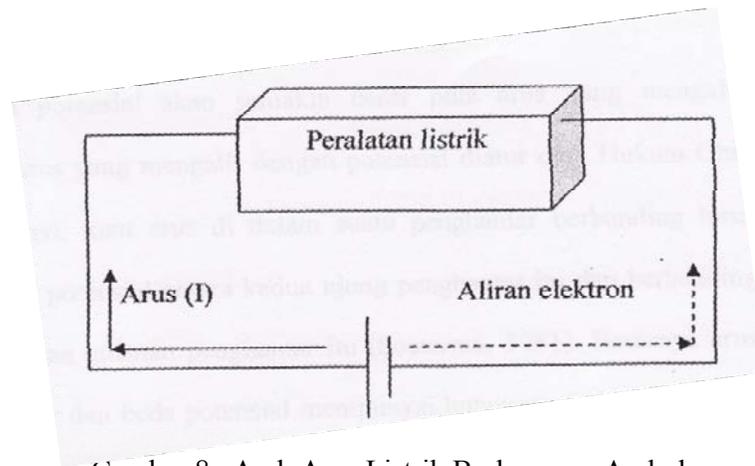
Energi listrik adalah energi yang dibutuhkan bagi peralatan listrik untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan ataupun untuk menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain. Energi yang dihasilkan dapat berasal dari berbagai sumber misalnya : air, minyak, batu bara, angin, panas bumi, nuklir, matahari dan lainnya. Energi ini besarnya dari beberapa volt sampai ribuan hingga jutaan volt. Energi listrik dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Sutrisno, 1983) :

$$W = qV = V I t \quad (5)$$

Dari persamaan (5) di atas diketahui parameter dari energi listrik sebagai berikut :

a. Arus Listrik

Arus listrik adalah gerakan atau aliran muatan listrik. Pergerakan muatan ini terjadi pada bahan yang disebut konduktor. Arus listrik pada konduktor mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah (berlawanan arah dengan gerak elektron), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8 :



Gambar 8. Arah Arus Listrik Berlawanan Arah dengan Aliran Elektron (Foster, 2000)

Kawat tembaga biasanya digunakan sebagai penghantar listrik dengan alasan harganya relatif murah, kuat dan tahan terhadap korosi. Pada dasarnya dalam kawat penghantar terdapat aliran elektron dalam jumlah yang sangat besar, jika jumlah elektron yang bergerak ke kanan dan ke kiri sama besar maka seolah-olah tidak terjadi apa-apa. Namun jika ujung sebelah kanan kawat menarik elektron sedangkan ujung sebelah kiri melepaskannya maka akan terjadi aliran elektron ke kanan (arah arus ke kiri). Aliran elektron inilah yang selanjutnya disebut arus listrik. Besarnya arus listrik diukur dengan satuan banyaknya elektron per detik. Satuan yang dipakai adalah ampere. Defenisi arus listrik dapat dirumuskan sebagai berikut (Sutrisno, 1983) :

$$I = \frac{Q}{t} \quad (6)$$

dimana :

I = kuat arus listrik (A)

Q = muatan listrik (C)

t = waktu (s)

b. Tegangan/beda potensial (V)

Besar arus yang mengalir ditentukan oleh besarnya beda potensial (dinyatakan dalam satuan volt). Jadi untuk sebuah konduktor semakin besar beda potensial akan semakin besar pula arus yang mengalir. Hubungan arus yang mengalir dengan potensial diatur oleh Hukum Ohm yaitu kuat arus di dalam suatu penghantar berbanding lurus dengan beda potensial antara kedua ujung penghantar itu dan berbanding terbalik dengan tahanan penghantar itu (Soetarmo, 1981). Besarnya arus yang mengalir dan beda potensial mempunyai hubungan linier sederhana, ditulis sebagai :

$$V = IR \text{ atau } R = \frac{V}{I} \quad (7)$$

dimana :

V = tegangan listrik (V)

I = kuat arus (A)

R = tahanan listrik (Ω)

C. Efek Fotovoltaik Pada Daun

Efek fotovoltaik (PV) adalah konversi energi cahaya menjadi energi listrik secara langsung. Konversi energi cahaya menjadi energi listrik ini dalam bentuk arus dan tegangan listrik. Sel surya yang banyak digunakan selama ini berbasis teknologi silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor elektronik.

Dalam pembuatan piranti sel surya harus mempertimbangkan kelestarian lingkungan. Sel surya ini dapat memanfaatkan bahan-bahan alam yang ramah lingkungan, sehingga disamping memberikan solusi krisis energi dan *global warming* juga dapat meningkatkan nilai tambah bahan-bahan alam atau organik. Sel surya organik mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sel surya konvensional. Sebagian bahan penyusun sel surya organik berasal dari alam sehingga mudah untuk didapat dan ramah lingkungan, energi dan teknologi yang digunakan untuk membuat sel surya organik lebih sedikit dibandingkan dengan sel surya konvensional (Petritsch, 2000). Sedangkan kelemahannya adalah kestabilan tegangan dan arus sel surya organik lebih rendah dibandingkan dengan sel surya konvensional.

Prinsip dasar dari fotovoltaik adalah peristiwa terjadinya efek fotolistrik pada sebuah permukaan logam. Energi radiasi yang mengenai sebuah permukaan logam berbentuk paket atau kuantum yang disebut foton. Tiap-tiap foton mempunyai frekuensi dan energi. Foton yang berfrekuensi

tinggi akan memiliki energi besar. Dalam hal ini diterangkan oleh Planck dalam bentuk (A. Desormeaux dkk, 1993) :

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (8)$$

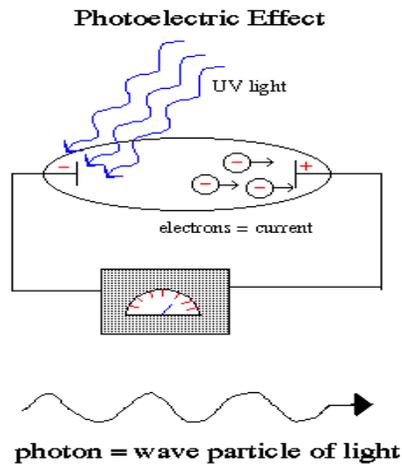
dimana : E = energi foton (eV)

h = konstanta Planck (6.623×10^{-34} J detik)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 ms⁻¹)

λ = panjang gelombang (nm)

Ketika seberkas cahaya dikenakan pada logam, ada elektron yang keluar dari permukaan logam. Gejala ini disebut efek fotolistrik. Efek fotolistrik diamati melalui prosedur sebagai berikut. Dua buah pelat logam (lempengan logam tipis) yang terpisah ditempatkan di dalam tabung hampa udara. Di luar tabung kedua pelat ini dihubungkan satu sama lain dengan kawat. Mula-mula tidak ada arus yang mengalir karena kedua plat terpisah. Ketika cahaya yang sesuai dikenakan kepada salah satu pelat, arus listrik terdeteksi pada kawat. Ini terjadi akibat adanya elektron-elektron yang lepas dari satu pelat dan menuju ke pelat lain secara bersama-sama membentuk arus listrik. Peristiwa di atas dapat dilihat pada Gambar 9:

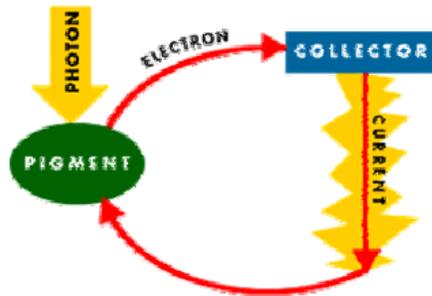


Gambar 9. Terjadinya Fotolistrik (<http://www.billing.net>)

Frekuensi tertentu dari cahaya dimana elektron terlepas dari permukaan logam disebut frekuensi ambang logam. Frekuensi ini berbeda-beda untuk setiap logam dan merupakan karakteristik dari logam itu. Hanya cahaya yang sesuai (yang memiliki frekuensi yang lebih besar dari frekuensi tertentu saja) yang memungkinkan lepasnya elektron dari pelat logam atau menyebabkan terjadi efek fotovoltaiik (yang ditandai dengan terdeteksinya arus listrik pada kawat). Ketika terjadi efek fotovoltaiik, arus listrik terdeteksi pada rangkaian kawat segera setelah cahaya yang sesuai disinari pada pelat logam (Rulli, 2003).

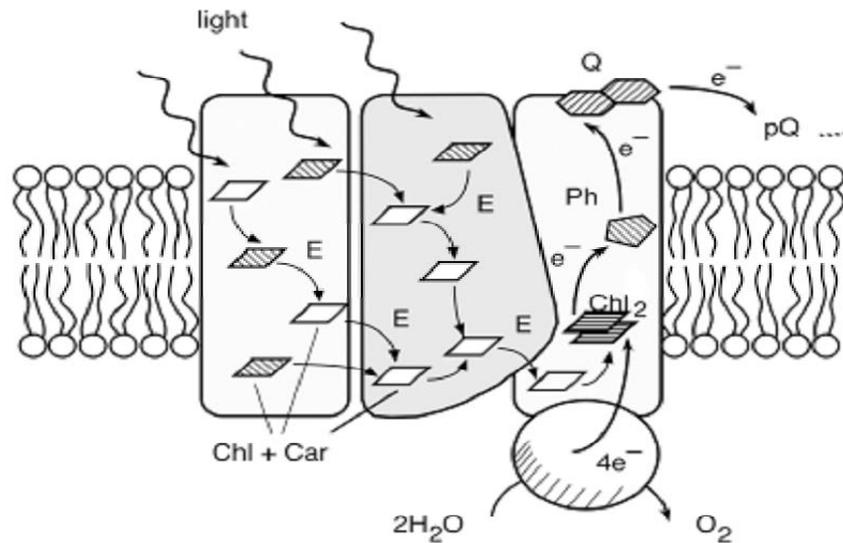
Sistem sel surya berbasis bahan biologi dapat diistilahkan dengan bio solar sel. Pada bio solar sel, foton cahaya mengeksitasi molekul pigmen. Energi ini menyebabkan elektron tereksitasi ke orbit yang lebih tinggi dan ditarik ke kolektor. Elektron yang terionisasi ke kolektor

kemudian menghasilkan arus listrik dan pada akhirnya kembali ke pigmen (David Tenenbaum, 1998).



Gambar 10. Terjadinya Elektron pada Fotosintesis (Tenenbaum, 1998)

Fotosintesis dimulai ketika cahaya mengionisasi molekul klorofil sehingga elektron-elektronnya terlepas dan elektron tersebut akan ditransfer sepanjang rantai transpor elektron. Energi dari elektron ini akan digunakan untuk fotofosforilasi yang menghasilkan ATP. Reaksi ini menyebabkan fotosistem mengalami kekurangan elektron yang dapat dipenuhi oleh elektron dari hasil ionisasi air yang terjadi bersamaan dengan ionisasi klorofil, hasil ionisasi elektron ini adalah elektron dan oksigen (David, 1998). Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Transfer Energi dalam Membran Tilakoid (Jackuezh, 2004)

Ketika cahaya mengenai klorofil (chl) dan karatenoid (car) maka energi yang dipancarkan oleh cahaya diterima oleh klorofil dan kemudian akan memecah molekul H₂O menjadi $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}^- + 4\text{H}^+$ kemudian elektron yang dihasilkan berpindah ke klorofil berikutnya (chl₂). Selanjutnya elektron dari klorofil tereksitasi ke plastoquinone melalui pheophitine dan quinone. Maka pada pemanfaatannya elektron yang tereksitasi inilah yang digunakan untuk menghasilkan parameter efek fotovoltaiik berupa arus dan tegangan. Dalam pemanfaatannya elektron ini kemudian akan mengalami ionisasi sehingga dapat menghasilkan parameter efek fotovoltaiik (Jackuezs, 2004).

Proses terjadinya efek fotovoltaiik pada larutan ekstrak pigmen ditandai dengan terjadinya pemisahan atom-atom yang terionisasi menjadi senyawa bermuatan setelah disinari cahaya. Pada larutan ekstrak pigmen daun, molekul klorofil dan karotenoid akan terurai menjadi ion-ion yang

bermuatan positif dan negatif. Jika larutan tersebut dihubungkan dengan tembaga (Cu) sebagai anoda dan seng (Zn) sebagai katoda maka ion-ion positif bergerak kearah tembaga (Cu) dan ion-ion negatif bergerak kearah seng (Zn). Bila kutub anoda, (Cu^+) dan kutub katoda (Zn^-) tersebut dihubungkan dengan kawat membentuk suatu rangkaian tertutup, maka akan terjadi aliran arus listrik. Elektron-elektron di dalam kawat bergerak dari Zn menuju Cu karena perbedaan potensial antara keduanya. Semakin banyak elektron yang mengalir dalam elektroda maka akan semakin besar arus dan tegangan yang dihasilkan (Rulli, 2003).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Nilai kuat arus dan tegangan maksimum pada masing-masing sampel berada pada panjang gelombang 447 nm (pada cahaya lampu berwarna biru) yaitu sebesar 0,0055 mA dan 0,46 mV untuk daun iler (ungu), 0,005 mA dan 0,042 mV untuk daun bayam merah (merah) serta 0,0046 mA dan 0,46 mV untuk daun puring (kuning). Nilai ini bersesuaian dengan kandungan pigmen masing-masing daun, dimana kadar pigmen paling tinggi dimiliki oleh daun iler (ungu).
2. Perbandingan arus dan tegangan maksimum yang dihasilkan dari ekstrak pigmen masing-masing sampel daun yang disinari dengan variasi cahaya lampu halogen adalah masing-masing sampel daun mencapai arus dan tegangan maksimum pada panjang gelombang biru dan hijau. Hal ini terjadi karena sifat pigmen dalam penyerapan cahaya yang terdapat dalam masing-masing daun.

B. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, diharapkan dapat meneliti arus dan tegangan yang dihasilkan dengan variasi suhu, dan lama penyinaran yang lebih lama dari yang telah dilakukan.
2. Untuk peneliti berikutnya, agar dapat dilanjutkan dengan mencari energi alternatif dari bahan-bahan biologi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, 2010. *Efek fotovoltaik dan piroelektrik*. <http://svhoong.com>. Di akses pada 7 april 2011.
- Anggraini, Laila. 2009. *Pembuatan Dye Sensitized Solar-Cell Dengan Memanfaatkan Sensitizer Ekstrak Kol Merah*, Jurusan kimia, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Arrohmah, 2007. *Studi Karakteristik Klorofil pada daun Sebagai Material Photodetector Organik*. Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Aryetti, 2003. *Diktat Kuliah Kimia Pangan*. D3 Analisis Kimia Jurusan Kimia Institut Pertanian Bogor.
- Beiser, A. 1987. *Concepts of modern physic*. Bandung : Erlangga.
- David, Tenenbaum. 1998. *Power Plant*. <http://wordpress.com> di akses pada tanggal 12 desember 2010.
- Dwijoseputro. 1994. *Pengantar Fisiologi Tanaman*. Jakarta : Gramedia.
- Farabee, M.J. 2000. *Photosynthesis*. The paper used for educational purpose. New York.
- Ferrierra. S, M. Sener, P. Qian, C. N. Hunter, and K. Schulten. *Basic concept transfer during photosynthesis*. New Journal of Physics, 12:085005, 2010.
- Freeman,H.A.,andR.J.Cogdell.1999. *Photosynthesis* . Netherlands.9|14. Photobiol. 63:257|264.
- Foster, Bob 2000. *Terpadu fisika*. Jakarta : Erlangga.
- Gardiner,A.T.,R.J.Cogdell,and S.Takaichi.1994.*The effect of growth conditions on the light-harvesting apparatus in Rhodospseudomonasaci- dophila*.Photosynth.Res. 38:159|167.
- Gratzel, M., 1998, *Aplication of Functionalized Transition Metal complexes in Photonic and Optoelectronic devices*, Cordination Chemistry Reviews, 177, 347-414.