

# TESIS

Pembuatan Kaca Konduktif dari Tin (II) Chloride dengan metode Sprai  
untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell*

Disusun dan diajukan oleh

**MASBIN DAHLAN**

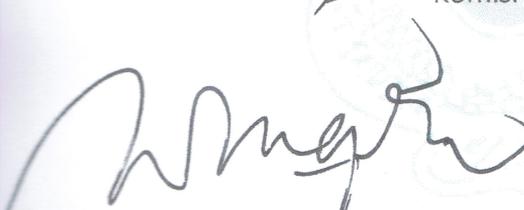
Nomor Pokok P2201216009

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

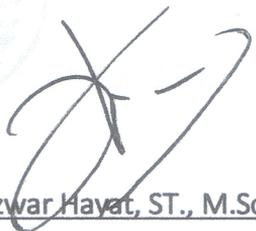
Pada tanggal 22 Januari 2019

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui  
Komisi Penasehat,

  
Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST. MT

Ketua

  
Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D

Anggota

  
Ketua Program Studi Magister  
Mesin,



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com), S.T, M.T

  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin,



Dr. Ir Muhammad Arsyad, M.T

**PEMBUATAN KACA KONDUKTIF DARI TIN (II)  
CHLORIDE DENGAN METODE SPRAI UNTUK  
APLIKASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL**

**CONDUCTIVE GLASS FROM TIN (II) CHLORIDE  
WITH SPRAY METHOD FOR DYE SENSITIZED  
SOLAR CELL APPLICATION**

**MASBIN DAHLAN**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2019**



**PEMBUATAN KACA KONDUKTIF DARI TIN (II)  
CHLORIDE DENGAN METODE SPRAI UNTUK  
APLIKASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL**

**MASBIN DAHLAN**



**PROGRAM STUDI KONVERSI ENERGI  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2019**



**PEMBUATAN KACA KONDUKTIF DARI TIN (II)  
CHLORIDE DENGAN METODE SPRAI UNTUK  
APLIKASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister**

**Program Studi**

**Teknik Mesin/Konversi Energi**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MASBIN DAHLAN**

**Kepada**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**SEKOLAH PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2019**



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Masbin Dahlan

Nomor Mahasiswa : P2201216009

Program studi : Teknik Mesin/Konversi Energi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, Januari 2019

Yang menyatakan

**Masbin Dahlan**



## PRAKATA

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang karena berkat-Nya dan anugrah-Nyalah sehingga membuka jalan bagi penulis untuk dapat menyelesaikan tesis ini.

Penyusunan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Magister pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Meskipun dalam penyusunan tesis ini penulis menghadapi banyak hambatan dan tantangan, namun atas bantuan dari berbagai pihak, akhirnya hambatan dan tantangan tersebut dapat penulis lewati. Untuk itu, pada kesempatan ini dengan tulus penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua beserta seluruh keluarga saya atas doa , cinta kasih, bantuan, nasehat dan motivasinya. Semoga Tuhan selalu memberikan berkat dan kesehatan.
2. Bapak Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST.,MT selaku Ketua Komisi Penasehat dan Bapak Azwar Hayat,ST.,M.Sc., Ph. D selaku Anggota Komisi Penasehat yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan saran sampai dengan penyusunan tesis ini
3. Seluruh staf dan dosen pengajar Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang tidak bisa disebutkan satu-

tu namanya atas segala ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama ini.



4. Bapak Direktur beserta Staf Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya
5. Kepada seluruh teman-teman Pascasarjana Teknik Mesin Unhas khususnya angkatan 2016
6. Kepada teman-teman angkatan 2009 di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Unhas atas segala bantuan dan motivasinya
7. Kepada adik angkatan di Departemen Mesin Fakultas Teknik Unhas, atas segala bantuan selama pengambilan data untuk tesis ini

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin agar tesis ini dapat terselesaikan dengan baik, namun tentunya tesis ini, masih jauh dari sempurna, tetapi penulis sangat menghargai bila mendapat perbaikan dan koreksi yang bertujuan untuk penyempurnaan tesis ini. Akhir kata, semoga tesis ini bermanfaat ke depannya.

Makassar, Januari 2019

Penulis



## ABSTRAK

**MASBIN DAHLAN.** *Pembuatan Kaca Konduktif Dari Tin (II) Chloride Dengan Metode Sprai Untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell* (dibimbing oleh **Andi Erwin Eka Putra** dan **Azwar Hayat**)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pembuatan kaca konduktif SnCl<sub>2</sub> menggunakan Teknik sprai dengan larutan Tin (II) chloride, mengetahui karakteristik kaca konduktif yang menggunakan larutan Tin (II) Chloride dengan berbagai variasi jumlah sprai larutan, dan mengetahui pembuatan sel surya menggunakan kaca konduktif dengan pewarna alami buah naga.

Penelitian menggunakan metode eksperimen yaitu melakukan pengujian karakterisasi kaca konduktif yang telah dibuat dengan metode sprai *pyrolysis* dan membuat *Dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan pewarna alami.

Hasil penelitian menunjukkan karakterisasi kaca konduktif SnCl<sub>2</sub> dengan metode sprai yaitu nilai conductivity sebesar 20 ohm/cm, nilai transmitansi sebesar 87, 10 %, dan nilai roughness average (Ra) sebesar 0,010 µn. Efisiensi kerja DSSC yang telah dibuat sebesar 0,00308968%.

Kata Kunci : Energi surya, Sel surya, DSSC, Kaca konduktif FTO, Tin (II) Chloride, sprai pyrolysis.



## ABSTRACT

**MASBIN DAHLAN.** *Conductive Glass From Tin (Ii) Chloride With Spray Method For Dye Sensitized Solar Cell Application* (supervised by **Andi Erwin Eka Putra** and **Azwar Hayat**)

This study aims to determine how to make SnCl<sub>2</sub> conductive glass using a sponge technique with a solution of Tin (II) chloride, to know the characteristics of conductive glass using a solution of Tin (II) Chloride with various amounts of solution sheets, and to know the making of solar cells using conductive glass with dyes natural dragon fruit.

The study used an experimental method that is testing the characterization of conductive glass that has been made using the spray pyrolysis method and making Dye sensitized solar cell (DSSC) with natural dyes.

The results showed the characterization of SnCl<sub>2</sub> conductive glass with the sprai method, namely the conductivity value of 20 ohms / cm, the transmittance value of 87, 10%, and the average roughness value (Ra) of 0.010 μn. DSSC work efficiency has been made at 0.00308968%.

**Keywords :** *Solar energy, solar cells, DSSC, FTO conductive glass, Tin (II) Chloride, spray pyrolysis.*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	iv
<b>PRAKATA</b> .....	v
<b>ABSTRAK INDONESIA</b> .....	vii
<b>ABSTRAK INGGRIS</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Batasan Masalah .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
A. Sel Surya .....	5
B. Perkembangan sel surya .....	7
C. Sel surya silikon .....	11
D. Sel surya lapisan tipis .....	15
E. Dye sensitized solar cell (DSSC) .....	16
F. Karakterisasi kaca konduktif .....	25



G. Timah (II) kloride .....	28
H. Aplikasi kurva IV pada sel surya organik .....	29
I. Matahari.....	32
J. Buah Naga .....	36
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	39
B. Alat dan Bahan .....	39
C. Diagram Alur Penelitian.....	41
D. Prosedur Penelitian.....	42
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>46</b>
A. Kaca Konduktif .....	46
B. Pelapisan Elektroda TiO <sub>2</sub> .....	55
C. Ekstraksi Dye .....	56
D. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus .....	58
E. Analisis DSSC .....	66
<b>BAB V. PENUTUP .....</b>	<b>69</b>
A. Kesimpulan .....	69
B. Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>71</b>
<b>    RAN .....</b>	<b>75</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat beberapa jenis bahan ITO dan FTO.....	20
Tabel 4.1 Hasil pengujian conductivity .....	47
Tabel 4.2 Hasil pengujian transmitansi.....	47
Tabel 4.3 Hasil pengujian roughness average (Ra) .....	51
Tabel 4.4 Hasil pengujian DSSC dengan kaca konduktif SnCl <sub>2</sub> .....	63
Tabel 4.5 Hasil pengujian DSSC dengan kaca konduktif komersil .....	63



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Thin film solar cell .....	8
Gambar 2.2 Dye sensitized solar cell .....	10
Gambar 2.3 Modul surya .....	11
Gambar 2.4 Junction antara semikonduktor tipe-p .....	12
Gambar 2.5 Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction .....	13
Gambar 2.6 Struktur dari sel surya komersial .....	14
Gambar 2.7 Susunan Satu Sel DSSC .....	17
Gambar 2.8 Skema Kerja dari DSSC .....	18
Gambar 2.9 Grafik hubungan transmitansi dan Panjang gelombang .....	27
Gambar 2.10 Struktur timah (II) klorida .....	28
Gambar 2.11 Kurva performansi I-V .....	29
Gambar 2.12 Modul Kurva I-V .....	30
Gambar 2.13 Matahari .....	33
Gambar 2.14 Struktur Skematik Matahari .....	35
Gambar 2.15 Pyranometer PSP Eppley .....	36
Gambar 2.16 Buah naga .....	37
Gambar 4.1 Grafik hubungan transmitansi dan Panjang gelombang kaca 1 ...	48
Gambar 4.2 Grafik hubungan transmitansi dan Panjang gelombang kaca 2 ...	48
Gambar 4.3 Grafik hubungan transmitansi dan Panjang gelombang kaca 3 ...	49
Gambar 4.4 Grafik hubungan transmitansi dan Panjang gelombang kaca 4 ...	49



Gambar 4.5 Grafik hubungan kaca komersil .....	50
Gambar 4.6 Permukaan kaca 1.....	51
Gambar 4.7 Permukaan kaca 2.....	52
Gambar 4.8 Permukaan kaca 3.....	52
Gambar 4.9 Permukaan kaca 4.....	52
Gambar 4.10 Permukaan kaca komersil.....	53
Gambar 4.11 Hasil pengujian Roughness .....	54
Gambar 4.12 Pembuatan batas pelapisan TiO <sub>2</sub> .....	55
Gambar 4.13 Penimbangan daging buah naga.....	56
Gambar 4.14 Proses penyaringan ekstrak dengan menggunakan saringan.....	57
Gambar 4.15 Perendaman kaca yang telah dilapisi TiO <sub>2</sub> .....	58
Gambar 4.16 Elektroda lawan dan elektroda kerja .....	59
Gambar 4.17 Pengukuran arus dan tegangan DSSC.....	60
Gambar 4.18 Grafik efisiensi DSSC SnCl <sub>2</sub> Vs DSSC Komersil .....	64
Gambar 4.19 DSSC yang telah dibuat .....	66



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pengujian laboratorium .....	70
Lampiran 2. Potret kegiatan penelitian .....	75
Lampiran 3. Daftar Istilah .....	82



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Cadangan energi yang ada saat ini adalah 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara (Anh, Quan Vo. 2006). Beberapa alternatif untuk memecahkan masalah kelangkaan tersebut muncul diantaranya penggunaan energi nuklir yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti batu bara dan gas alam. Namun pemanfaatan energi ini memiliki beberapa kekurangan yaitu memiliki radiasi yang dapat membahayakan dan sangat beresiko.

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini. Salah satu aplikasi energi surya adalah pemanfaatannya dalam konversi energi cahaya menjadi listrik yaitu dengan sel surya. Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan, mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun (M.S.W. Kumara, G. Prajitno 2012). Pengembangan sel surya menjadi sebuah tuntutan ketika manusia dihadapkan pada berbagai kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil dan global warming.

Indonesia yang terletak di antara  $6^{\circ}$  LU –  $11^{\circ}$  LS dan  $95^{\circ}$ BT -  $141^{\circ}$  BT merupakan salah satu negara yang menerima panas matahari lebih banyak dari pada negara lain, yaitu  $4800 \text{ watt/m}^2/\text{hari}$  (Manan, S. 2009). Setiap detik matahari

konversi 5 ton materi menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luar



sebanyak 6,41.107 W/m<sub>2</sub>/hari (Arora, 2010,46). Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 3 x 10<sup>24</sup> joule per tahun (Ananda, 2007,843). Intensitas matahari yang dapat ditangkap di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sub>2</sub>/hari dengan pemanfaatan baru sebesar 12,1 MW (Sugiyono et al, 2014,17).

Sel surya sendiri merupakan salah satu energi alternatif yang bekerja untuk merubah energi matahari menjadi energi listrik (Susmiyanto et al, 2013, 104-105). Sel surya terbuat dari bahan semi konduktor seperti *Silikon, Titanium Oksida, Germanium*, dll (McDonald S.A. et al, 2005, 138-142). Sel surya dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan perkembangan teknologi dan bahan pembuatan yang digunakan, yakni sel surya yang terbuat dari silikon tunggal dan silikon *multikristal*, sel surya lapis tipis (*thin film solar cell*), dan sel surya organik atau *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* (Gratzel M, 2003, 145-153).

DSSC mulai dikembangkan Grätzel dan O'Regan pada tahun 1991. Pembuatan jenis sel surya tersensitisasi ini tergolong mudah dan tidak membutuhkan biaya mahal. DSSC tersusun dari beberapa komponen antara lain, semikonduktor (sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara insulator (isolator) dan konduktor), oksida, lapisan *dye* (pewarna), elektroda, dan elektrolit.

Semikonduktor yang banyak di gunakan saat ini ialah kaca, biasa di sebut kaca konduktif (*conductive glass*). Kaca konduktif ini sudah banyak di komersilkan

dan sudah di pasarkan dengan harga yang relatif tinggi, tetapi



tentunya dengan karakterisasi yang baik pula. Adapun beberapa perusahaan yang telah mengembangkan kaca konduktif ini ialah Nanocs dengan besar konduktifitas sebesar 5(Ohm/sq) kemudian PG&O dengan konduktifitas sebesar 4, 5 (Ohm/sq) dan NSG dengan besar konduktifitas <7 (Ohm/sq).

Ada dua jenis kaca konduktif yang dikembangkan saat ini, *flourine-doped tin oxide* (FTO) dan *indium tin oxide* (ITO). Jenis Pembuatan FTO ini diharapkan dapat menggantikan fungsi ITO karena proses pembuatan yang sederhana dan biaya yang relatif rendah. *Prekursor timah klorida* dengan *doping fluorine* dengan proses pelapisan dengan teknik sprai *pyrolysis* dapat dipertimbangkan sebagai suatu terobosan baru di dalam struktur device sel surya tersensitasi zat pewarna.

## B. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dihadapi pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membuat kaca konduktif dengan Teknik sprai menggunakan larutan Tin (II) Chloride.
2. Bagaimana perbedaan karakteristik kaca konduktif dengan variasi jumlah sprai larutan Tin (II) Chloride.
3. Bagaimana membuat sel surya menggunakan kaca konduktif dari Tin (II) Chloride dengan pewarna alami buah naga.



### **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan sebagai sasaran utama yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui metode pembuatan kaca konduktif menggunakan Teknik sprai dengan larutan Tin (II) chloride.
2. Mengetahui karakteristik kaca konduktif yang menggunakan larutan Tin (II) Chloride dengan berbagai variasi jumlah sprai larutan.
3. Mengetahui pembuatan sel surya menggunakan kaca konduktif dengan pewarna alami buah naga.

### **D. Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Area aktif dari sel surya dibatasi dengan besar diameter 0,5cm
2. Perpindahan panas yang terjadi pada sel surya di abaikan

### **E. Manfaat Penelitian**

1. Bagi kalangan peneliti, penelitian ini diharapkan berguna bagi pengembangan pembuatan sel surya
2. Bagi kalangan masyarakat, untuk memberikan pengetahuan sehingga dapat lebih memanfaatkan energi surya
3. Bagi kalangan pemerintah, dapat dibantu untuk memperbanyak /memproduksi sel surya dengan kapasitas yang besar agar dapat digunakan untuk energi terbarukan



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Sel Surya

Sejarah pengembangan teknologi sel surya atau yang juga disebut *Photovoltaic* (PV) dimulai ketika seorang fisikawan di Perancis, Antoine-César Becquerel, melakukan serangkaian penelitiannya pada tahun 1839. Becquerel menemukan bahwa tegangan listrik terjadi saat cahaya jatuh pada elektroda yang digunakannya pada penelitian tersebut. Inilah pengamatan yang pertama kali dalam sejarah terhadap efek dari *Photovoltaic*. Istilah photo atau foto berasal dari bahasa Yunani yang berbunyi “*phos*” berarti cahaya dan kata “*voltaic*” merupakan pengembangan dari istilah *Volt* yang diambil dari nama Alessandro Volta, seorang pelopor dalam pengembangan energi listrik. *Photovoltaic* secara harfiah berarti cahaya listrik. *Photovoltaic* lebih sering disingkat dengan PV.

Menurut Encyclopedia Britannica, orang yang pertama kali membuat Solar Cell adalah Charles Fritts pada tahun 1883. Ilmuwan berkebangsaan AS ini menggunakan lapisan *Selenium* sebagai semikonduktor yang sangat tipis dan dilapisi dengan emas. Tapi sinar matahari yang dikonversi menjadi listrik dengan menggunakan Solar Cell buatannya itu hanya menghasilkan efisiensi sebanyak 1% saja. Bisa dikatakan bahwa Solar Cell buatannya masih sangat jauh dari efektif. Pada tahun 1905 Albert Einstein mengeluarkan publikasi paper menjelaskan fenomena pada efek *fotoelektrik*.



Ilmuwan lain yang punya andil penting dalam pengembangan *Photovoltaic* adalah Russel Ohl. Sarjana yang bekerja pada AT & T Bell Labs ini juga menjadi ilmuwan yang memelopori penelitian di bidang semikonduktor. Pada tahun 1941 Ohl menggunakan *silicon* pada Solar Cell yang dibuatnya. Panel surya buatan Ohl ini mendapatkan paten bernomor US2402662 dan nama Russel Ohl dikaitkan dengan pengembangan Solar Cell modern. Langkah yang lebih besar pengembangan bidang *Photovoltaic* ini terjadi tahun 1954 ketika tiga orang peneliti (Gerald Pearson, Calvin Fuller dan Daryl Chapin) dari Laboratorium Bell secara tidak sengaja menemukan bahwa *silicon* dengan *impurities* tertentu menjadi sangat sensitif terhadap cahaya. Mereka bertiga pun menjadi orang yang pertama membuat perangkat praktis yang mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel surya buatan mereka bisa mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik dengan tingkat efisiensi sebanyak 6%. Battery solar cell pun dibuat pertama kali pada tanggal 25 April 1954.

Satelit buatan manusia yang pertama kali menggunakan perangkat solar cell adalah Vanguard 1 yang diluncurkan pada bulan Maret 1958. Satelit ini menggunakan battery solar cell yang dibuat oleh perusahaan Hoffman Electronic. Selanjutnya pada tanggal 4 Oktober 1955, perusahaan Bell telah berhasil menggunakan battery solar cell buatannya untuk mengoperasikan system operator telepon di Georgia. Dengan menggabungkan *Galium* dan *Arsenik* untuk dijadikan sebagai bahan semikonduktor yang lebih maju, Zhores Ivanovich Alferov seorang

Rusia yang juga merupakan politikus dan anggota parlemen di negaranya,



telah berhasil membuat panel surya yang lebih efektif. Penemuan ini kemudian dikembangkan oleh para ilmuwan AS hingga bisa dibuat panel surya yang memiliki efisiensi 17% dalam menghasilkan energi listrik. Angka efisiensi itu terus meningkat karena lebih banyak lagi kalangan ilmuwan dan industri yang berperan aktif dalam pengembangan bidang *Photovoltaik* ini.

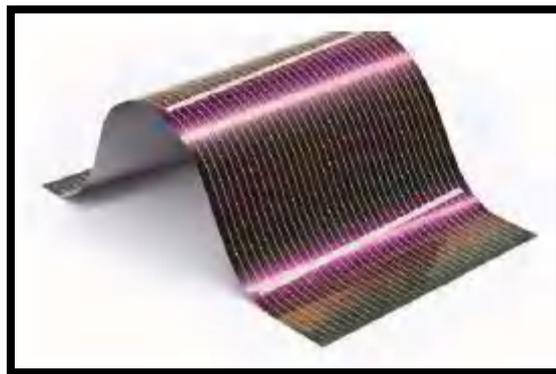
## B. Perkembangan sel surya

Peneliti sedang mengembangkan sel surya yang memiliki efisiensi tinggi, murah, dan mudah dalam pembuatannya. Pada generasi pertama, teknologi pertama yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti adalah teknologi yang menggunakan bahan silikon kristal tunggal. Teknologi ini mampu menghasilkan sel surya dengan efisiensi yang sangat tinggi. Masalah terbesar yang dihadapi dalam pengembangan silikon kristal tunggal ini untuk dapat diproduksi secara komersial sel surya ini harganya sangat mahal sehingga membuat solar sel panel yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif. Teknologi yang kedua adalah dengan menggunakan silikon *poli kristal*. Saat ini, hampir sebagian besar panel solar sel yang beredar di pasar komersial berasal dari *screen printing* jenis silikon *poli kristal* ini. Wafer silikon *poli kristal* dibuat dengan teknologi *casting* berupa balok silikon dan dipotong-potong dengan metode *wire-sawing* menjadi kepingan (wafer), dengan ketebalan sekitar 250–350 micrometer. Teknologi ini bisa diperoleh sel surya lebih murah meskipun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan

silikon kristal tunggal.



Pada Generasi kedua, sel surya yang dibuat dengan teknologi lapisan tipis (*thin film*). Teknologi pembuatan sel surya dengan lapisan tipis ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya pembuatan solar sel mengingat teknologi ini hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe *silikon wafer*. Metode yang paling sering dipakai dalam pembuatan silikon jenis lapisan tipis ini adalah dengan *Plasma-enhanced chemical vapor deposition* (PECVD) dari gas silane dan hidrogen. Lapisan yang dibuat dengan metode ini menghasilkan silikon yang tidak memiliki arah orientasi kristal atau yang dikenal sebagai *amorphous silikon* (non kristal).



Gambar 2.1 : Thin Film Solar Cell

<https://materia.nl/article/innovation-thin-film-solar-cells-at-mx2016/>

Selain menggunakan material dari silikon, sel surya lapisan tipis juga dibuat dari bahan semikonduktor lainnya yang memiliki efisiensi solar sel tinggi seperti *Cadmium Telluride* (Cd Te) dan *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS). Efisiensi tertinggi saat ini yang bisa dihasilkan oleh jenis solar sel lapisan tipis ini adalah

9,5% yang berasal dari solar sel CIGS. Keunggulan lainnya dengan tipe lapisan tipis adalah semikonduktor sebagai lapisan solar sel bisa



dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan divais solar sel yang fleksibel. Persoalannya adalah material ini belum dapat diterima dengan baik karena mengandung unsur *cadmium* yaitu logam lunak dan putih kebiruan ini secara kimiawi serupa dengan dua logam stabil lainnya pada golongan 12, seng dan raksa, yang bersifat mudah terbakar.

Penelitian agar harga solar sel menjadi lebih murah selanjutnya memunculkan teknologi generasi ketiga yaitu teknologi pembuatan sel surya dari bahan *polimer* (rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identik yang disebut monomer) atau disebut juga dengan sel surya *organik* dan sel surya *foto elektrokimia*. Sel Surya *organik* dibuat dari bahan semikonduktor *organik* seperti *polyphenylene vinylene* dan *fullerene*.

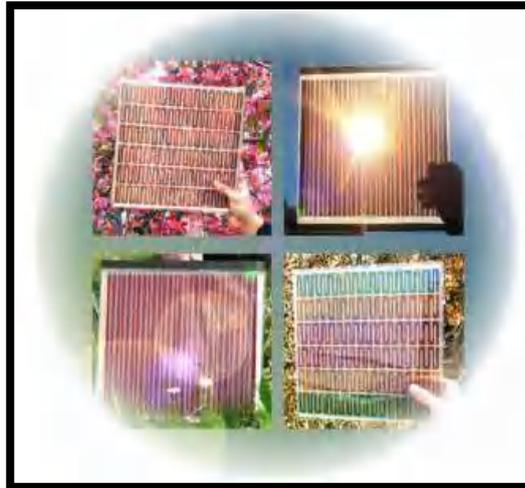
Pada solar sel generasi ketiga ini *photon* (partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik) yang datang tidak harus menghasilkan pasangan muatan seperti halnya pada teknologi sebelumnya melainkan membangkitkan *exciton* (ikatan antara elektron dengan hole yang dapat memancarkan energi berupa cahaya). *Exciton* inilah yang kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor (yang biasanya di rekatkan dengan organik semikonduktor berada di antara dua keping konduktor) untuk menghasilkan pasangan muatan dan akhirnya menghasilkan efek arus foto (*photocurrent*), cara kerja *photodiode* adalah ketika *photodiode* diberikan sinar (foton) maka akan terbentuk pasangan *hole-elektron*.

*Hole* merupakan lubang yang terbentuk ketika suatu molekul atau atom kekurangan

Sedangkan sel surya *photokimia* merupakan jenis sel surya *exciton* yang



terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang diendapkan dalam sebuah perendam *dye*. Teknologi ini pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis solar sel ini sering juga disebut dengan Graetzel sel atau DSSC.



Gambar 2.2 : *Dye Sensitized Solar Cell*

<http://www.robertson.chem.ed.ac.uk/research/dye-sensitised-perovskite-and-hybrid-solar-cells>

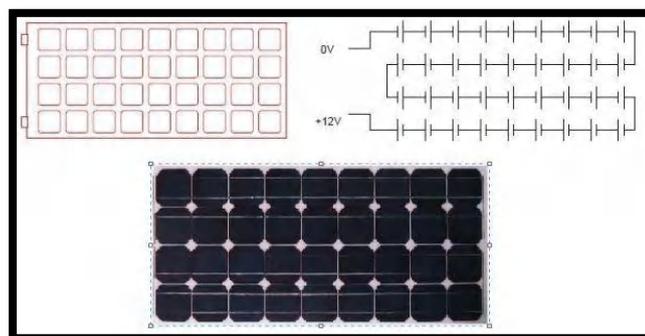
Graetzel sel ini dilengkapi dengan pasangan redok yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padat atau cairan). Komposisi penyusun solar sel seperti ini memungkinkan bahan baku pembuat Graetzel sel lebih fleksibel dan bisa dibuat dengan metode yang sangat sederhana seperti *screen printing*. Meskipun solar sel generasi ketiga ini masih memiliki masalah besar dalam hal efisiensi dan usia aktif sel yang masih terlalu singkat, solar sel jenis ini akan mampu memberi pengaruh besar dalam sepuluh tahun ke depan mengingat harga dan proses

annya yang akan sangat murah.



### C. Sel Surya Silikon

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti *dioda*, yaitu komponen elektronika yang terdiri dari dua kutub dan berfungsi menyearahkan arus dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm<sup>2</sup>. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (*Air Mass 1.5*). Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar di bawah menunjukkan ilustrasi dari modul surya.

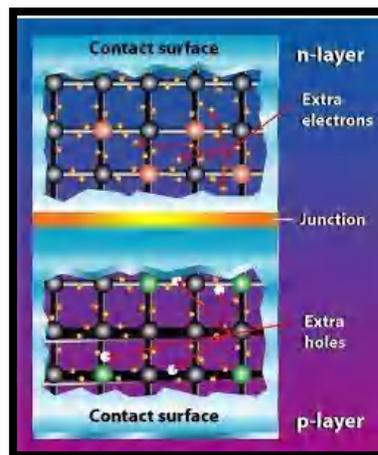


Gambar 2.3 : Modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya yang dirangkai seri untuk memperbesar total daya output.

[/teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/](http://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/)



Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor *tipe-p* dan *tipe-n*. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor *tipe-n* mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor *tipe-p* mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon *tipe-p*, silikon didoping oleh *atom boron* (elemen metaloid *trivalen*, boron banyak terdapat di batu borax) sedangkan untuk mendapatkan material silikon *tipe-n*, silikon didoping oleh *atom fosfor* (*Fosforus* berupa nonlogam, bervalensi banyak, termasuk golongan nitrogen, banyak ditemui dalam batuan fosfat anorganik dan dalam semua sel hidup tetapi tidak pernah ditemui dalam bentuk unsur bebasnya). Ilustrasi di bawah menggambarkan *junction* semikonduktor *tipe-p* dan *tipe-n*.

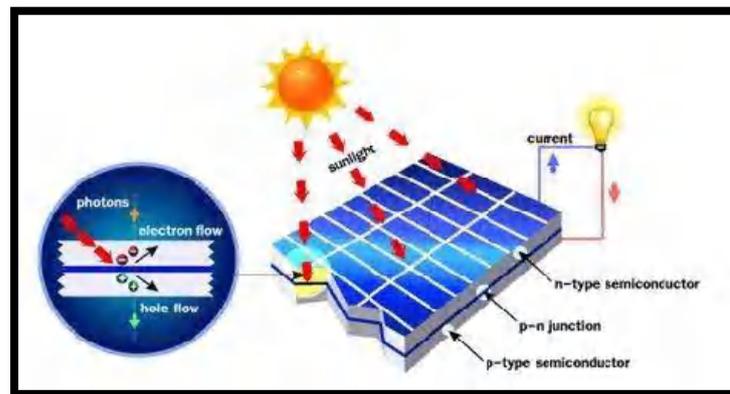


gambar 2.4: *Junction* antara semikonduktor *tipe-p* (kelebihan hole) dan *tipe-n* (kelebihan elektron)

<https://teknologisurya.wordpress.com/tag/p-n-junction/>



Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor *tipe-p* dan *tipe-n* terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor *tipe-n* ke *tipe-p* sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor *tipe-n*, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor *tipe-p*. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan *p-n junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar di bawah.



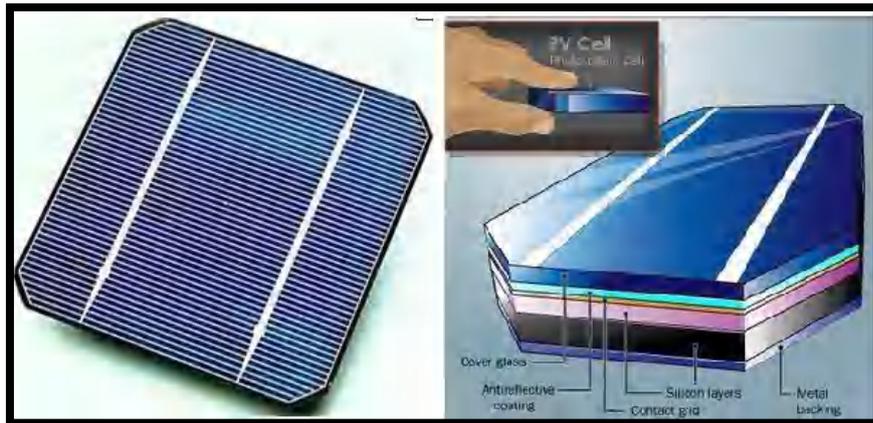
Gambar 2.5 : Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip *p-n junction*.  
<https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>

Sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya

satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel berbeda pula (Jenis-jenis teknologi surya akan dibahas di tulisan “Sel Surya :



Jenis-jenis teknologi”). Dalam tulisan ini akan dibahas struktur dan cara kerja dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (thin film/lapisan tipis).



Gambar 2.6 : Struktur dari sel surya komersial yang menggunakan material silikon sebagai semikonduktor.

<https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>

Gambar di atas menunjukkan ilustrasi sel surya dan juga bagian-bagiannya.

Secara umum terdiri dari :

#### 1. Substrat/Metal backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya.

Material substrat juga harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum.

DSSC dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat



masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti ITO dan FTO.

## 2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar di atas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik.

### D. Sel Surya Lapisan Tipis

Untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material  $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$  (CIGS),  $CdTe$  (kadmium telluride), dan *amorphous silikon*, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti  $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$  (CZTS) dan  $Cu_2O$  (copper oxide).

Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor *tipe-p* (material-material yang disebutkan di atas) dan *tipe-n* (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk *p-n junction*. *P-n junction* ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya. Pengertian semikonduktor *tipe-p*, *tipe-n*, dan juga prinsip *p-n junction* dan sel surya akan

as dibagian “cara kerja sel surya”.



### 1. Kontak metal / *contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, di atas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

### 2. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

### 3. Enkapsulasi / *cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

## E. *Dye sensitized solar cell (DSSC)*

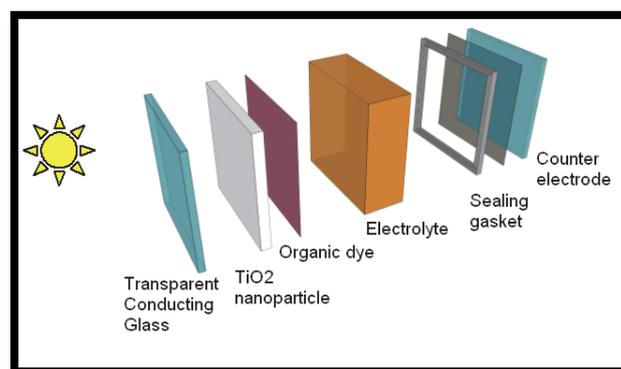
DSSC merupakan sel surya yang tersensitasi oleh zat warna. Sel surya ini dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Gratzel pada tahun 1991 menemukan bahwa  $TiO_2$  (*titanium dioksida*) yang disensitasi oleh *dye* dalam larutan elektrolit dapat menghasilkan arus listrik dengan efisiensi 7,1 %. Solar ini kemudian disebut sebagai DSSC. Peningkatan efisiensi dari DSSC terus



dikembangkan. Hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan yaitu 10 % (Gratzel, 2003).

DSSC menggunakan molekul zat warna yang teradsorpsi pada semikonduktor oksida nanokristalin seperti  $TiO_2$ . Pengumpulan sinar matahari atau penyerapan cahaya (oleh pewarna) dan proses pengumpulan muatan (oleh semikonduktor) dipisahkan, menirukan penyerapan cahaya alami dalam proses fotosintesis. (Yang Jiao, et al., 2012).

DSSC tersusun dari tiga komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit. Elektroda kerja merupakan lapis tipis  $TiO_2$  pada substrat kaca transparan berkonduksi (*Transparent Conductive Oxide*) yang mengadsorpsi zat warna kompleks Ru (II) sebagai *sensitizer*. Sedangkan elektroda lawan pada sel Grätzel berupa substrat kaca transparan berkonduksi yang dilapisi platina (Pt) sebagai katalis reaksi redoks. Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks  $I^-/I_3^-$  dalam pelarut organik. Adapun susunan satu sel DSSC dapat dilihat pada gambar di bawah.



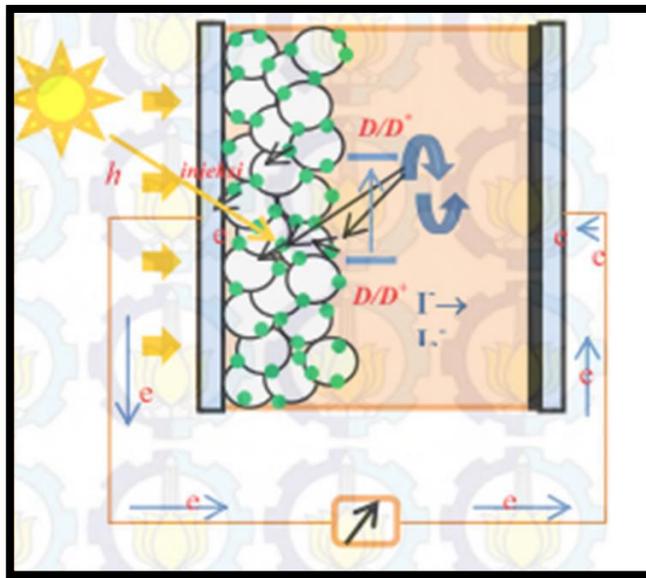
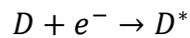
Gambar 2.7: Susunan Satu Sel DSSC Seperti Sandwich  
[isurya.wordpress.com/2013/10/02/seputar-kaca-transparan-konduktif-oksida-karakteristik-dan-pembuatan-indium-tin-oxide/](http://isurya.wordpress.com/2013/10/02/seputar-kaca-transparan-konduktif-oksida-karakteristik-dan-pembuatan-indium-tin-oxide/)



## 1. Cara Kerja DSSC

Prinsip kerja dari DSSC, pada dasarnya merupakan reaksi dari transfer elektron, meliputi (Setiawan dkk, 2015):

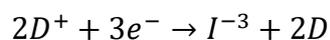
- a. Terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D\*)



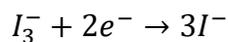
Gambar 2.8: Skema Kerja dari DSSC

<http://biaunikniski.blogspot.co.id/2013/10/final-project-ku.html>

- b. Kemudian setelah dari *excited state*, elektron langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E<sub>CB</sub>) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D<sup>+</sup>). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I<sup>-</sup>) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



- c. Elektron akan mengalir menuju elektroda *Counter-Elektrode* (CE) melalui rangkaian eksternal setelah mencapai elektroda *Working Electrode* (WE).
- d. Adanya katalis pada elektroda CE, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit ( $I_3^-$ ), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk *iodide* ( $I^-$ ).



- e. *Iodide* ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus *transport* elektron. kemudian dari siklus ini, secara langsung akan terjadi konversi cahaya matahari menjadi listrik.

Prinsip kerja DSSC diawali dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul dye akibat absorpsi foton dari keadaan *ground state* (S) menuju excited state (S\*). Kemudian Energi dari foton tersebut cukup untuk menginjeksi elektron masuk ke pita konduksi dari TiO<sub>2</sub> meninggalkan molekul dye ke keadaan oksidasi S<sup>+</sup>. Kemudian elektron mengalir menuju anode (elektroda negatif) melalui TiO<sub>2</sub> dengan proses difusi. Selanjutnya melalui *external load* menuju katode (elektroda positif). Setelah itu Pada katode, elektron berpindah menuju triiodida pada elektrolit menghasilkan iodine. Dan Siklus dilanjutkan dengan reduksi *dye* oleh iodine pada elektrolit. (Gratzel, 2003:146).

## 2. Komponen DSSC

Komponen-komponen yang terdapat pada rangkaian DSSC adalah sebagai



t:

a. Substrat

Di bagian depan DSSC terdapat lapisan substrat kaca, yang di atasnya menutupi lapisan tipis berupa lapisan transparan. Lapisan ini sangat penting karena memungkinkan sinar matahari masuk sel saat melakukan pembawa elektron ke sirkuit luar. Lapisan luar atau substrat yang sering digunakan adalah TCO. Material yang dipakai pada umumnya adalah FTO atau ITO dan *Aluminum-doped zinc oxide (AZO)*, yang memenuhi kedua persyaratan, ITO merupakan substrat yang terbaik di antara semua substrat TCO. Namun, karena ITO mengandung logam langka, beracun dan mahal, beberapa kelompok riset menggantikan ITO dengan FTO. Film tipis AZO juga banyak dikaji karena bahannya murah, tidak beracun dan mudah didapat. (Yang Jiao, et al., 2012).

Properti dari jenis khas ITO dan FTO dari beberapa produsen terkenal ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1: Sifat beberapa jenis bahan ITO dan FTO. (Yang Jiao, et al., 2012).

Conductive glass	Company	Light transmittance	Conductivity (Ohm/sq)	Thickness (mm)	Size (cm×cm)
ITO	Nanocs	>85%	5	1.1	1x3
ITO	PG&O	85%	4.5	1.1	2×3
FTO	NSG	>84%	<7	3	100×100

b. Lapisan  $TiO_2$

$TiO_2$  merupakan bahan semikonduktor yang bersifat *inert*, istilah *inert* dipakai dalam banyak hal, terutama kimia untuk menggambarkan bahwa suatu senyawa atau zat tahan terhadap reaksi kimia.  $TiO_2$  stabil terhadap



fotokorosi dan korosi oleh bahan kimia (Hoffmann, 1995). Aplikasi  $TiO_2$  sebagai semikonduktor telah banyak dilaporkan. Berbagai metode dilakukan dalam aplikasi pemanfaatan  $TiO_2$  pada DSSC diantaranya Wang dkk (2007), melaporkan penelitiannya tentang preparasi  $TiO_2$  dengan metode *Micro-Plasma Oxidation* (MPO), Menzies dkk (2005) dengan metode sintesa sol-gel.

Titanium dioksida, dikenal juga sebagai titanium (IV) oksida atau titania, adalah oksida dari titanium, dengan rumus molekul  $TiO_2$ . Mempunyai berat molekul 79,90 g/mol; densitas 4,26 g/cm<sup>3</sup>,  $TiO_2$  tidak menyerap cahaya tampak tetapi mampu menyerap radiasi UV sehingga dapat menyebabkan terjadinya radikal hidroksil pada pigmen sebagai fotokatalis. terhidrat yang selanjutnya dikalsinasi pada 800OC.  $TiO_2$  merupakan bahan semikonduktor yang memiliki sifat optik yang baik dan mempunyai nilai celah pita energi yang lebar yaitu 3,2 eV yang hanya aktif dalam cahaya ultraviolet (Ari Wobowo, D. 2006).

Lapisan  $TiO_2$  memiliki *bandgap* (selisih atau celah energi antara pita valensi dengan pita konduksi) yang tinggi (>3 eV) dan memiliki transmisi optik yang baik. Penggunaan  $TiO_2$  diantaranya untuk manufaktur elemen optik. Selain itu  $TiO_2$  berpotensi pada aplikasi divais elektronik seperti DSSC, sensor gas, dan lain-lainnya (Marchad, 2004).

$TiO_2$  dengan struktur *nanopori* yaitu ukuran pori dalam skala nano  
n menaikkan kinerja sistem karena struktur *nanopori* mempunyai



karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang *teradsorp*. Suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat kepada suatu padatan atau cairan (zat penjerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat terjerap, adsorbat) pada permukaannya, yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorb.

c. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC adalah pasangan redoks iod dan triiodida. Dalam proses redoks, elektrolit menghasilkan elektron dan melakukan proses siklus dalam sel (Gratzel, 1998,752) yang menggantikan elektrolit zat warna yang tereksitasi. *Excited state* (keadaan tereksitasi) adalah keadaan di mana ada elektron yang menempati tingkat energi yang lebih tinggi. Untuk mempercepat proses reaksi dalam sel digunakan katalis yaitu karbon (Prasetyo, dkk, 2014,47).

Prasetyo, dkk (2014,47) telah melakukan variasi elektrolit terhadap kinerja DSSC dengan menggunakan *KI*, *NaI* dan *TEAl* dan mencampurkan masing-masing elektrolit dengan  $I_2$ . Berdasarkan nilai efisiensi, elektrolit *KI* lebih baik dibandingkan dengan elektrolit lainnya yaitu 0,057% sedangkan elektrolit *NaI* dan *TEAl* adalah 0,0014% dan 0,0006%.

d. Zat Warna

Komponen selanjutnya adalah zat warna. Material ini memberikan pengaruh pada semikonduktor terhadap cahaya. Di dalam proses DSSC,



cahaya foton yang diserap oleh zat warna akan mengalami eksitasi elektron. Proses ini memberikan energi kepada elektron untuk pindah menuju pita konduksi dari  $TiO_2$ . Akibatnya elektron mengalir menuju elektroda, rangkaian listrik sampai ke *counter elektroda*. Elektrolit kemudian membawa elektron-elektron kembali ke zat warna yang berasal dari *counter elektroda* (Nuryadi, 2011,35).

DSSC pada umumnya menggunakan suatu zat warna buatan pada rangkaian sel surya. Salah satu *dye* yang *disintesis* (sebuah proses pembentukan sebuah molekul tertentu dari "precursor" kimia) dari campuran logam dan senyawa organik adalah  $N_3$  *rhutenium complex*. Zat warna ini telah diaplikasikan pada DSSC dan diketahui memiliki efisiensi yang sangat tinggi (Gratzel, 2003,148).

Zat warna alami dapat digunakan sebagai *fotonsitizer* pada DSSC, tetapi efisiensinya masih lebih rendah dibandingkan zat warna sintesis. Zat warna alami diperoleh dari ekstrak bagian-bagian tumbuhan seperti daun, batang atau bunga. Zat warna alami memiliki beberapa keuntungan dibandingkan *dye* sintesis seperti tidak beracun atau berbahaya, lebih murah dan ramah lingkungan (Hug, dkk, 2014,224) sehingga berpotensi sebagai bahan zat warna alternatif. Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan zat warna alami. Diantaranya DSSC dengan menggunakan zat warna dari ekstrak raspberry dan kembang sepatu dengan tingkat efisiensi 3,04%

hamed, 2012,1370).



Beberapa senyawa kimia yang berperan pada zat warna alami yaitu *antosianin*, *karotenoid*, *klorofil* dan *flavonoid* (Ludin, 2014,338). Antosianin (bahasa Inggris: *anthocyanin*, dari gabungan kata Yunani : *anthos* = "bunga", dan *cyanos* = "biru") adalah pigmen larut air yang secara alami terdapat pada berbagai jenis tumbuhan. Sesuai namanya, pigmen ini memberikan warna pada bunga, buah, dan daun tumbuhan hijau, dan telah banyak digunakan sebagai pewarna alami pada berbagai produk pangan dan berbagai aplikasi lainnya. (Winefield,dkk, 2008,298 )

*Antosianin* dapat menyerap cahaya dan membentuk sebuah warna pada tanaman. Penggunaan *antosianin* pada DSSC telah dilakukan misalnya pada buah strawberry dimana tegangan yang dihasilkan akan semakin besar apabila konsentrasi *antosianin* strawberry besar. Konsentrasi *antosianin* strawberry 6,4 mg/100 gr diperoleh tegangan 271,3 mV sedangkan konsentrasi 11,5 mg/100 gr menghasilkan tegangan 516,6 mV (Misbachudin, 2013,5).

Penelitian ini menggunakan ekstrak zat warna buah naga merah yang berwarna merah. Kandungan alami yang terdapat dalam buah naga merah adalah antosianin, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *dye* untuk efisiensi DSSC yang lebih baik.

e. Electroda Lawan

Di bagian belakang DSSC ada substrat gelas lain yang dilapisi lapisan

s. Elektroda lawan merupakan substrat kaca FTO yang dilapisi oleh



katalis. Katalis dibuat dari bahan yang berfungsi mempercepat kinetika reaksi kimia dalam proses reduksi triiodid pada substrat FTO. Beberapa bahan dan metode yang dapat digunakan dalam pendeposisian ke FTO. Salah satu bahan yang dapat diseposisikan pada FTO adalah serbuk Platina. Pt (Platina) digunakan sebagai katalis untuk meregenerasi I<sup>-</sup> dan sebagai bahan katoda. Pt (Platina) adalah bahan terbaik secara teknis untuk membuat perangkat yang efisien. Tapi mengingat tingginya biaya, katoda karbon sudah ada pengganti yang ideal, seperti karbon hitam, karbon nanotube dll. Metode yang dapat digunakan dalam pembuatan *counter* elektroda antara lain *sputtering*, *spin coating*, *screen printing* dan *spray pyrolysis*. (Yang Jiao, et al., 2012).

Pada tahun 2006, kelompok Grätzel menggunakan karbon hitam sebagai bahan elektroda kontra, dan mencapai efisiensi 9,1% yaitu 83% dari yang menggunakan Pt (Platina). (Yu et al., 2009). Polimer juga bisa digunakan. Film *polianilin* pada baja tahan karat dengan elektrokimia dasar polimerisasi telah dipublikasi sebagai elektroda counter DSSC karena material ini murah dan tidak rapuh (Qin et al., 2010).

## F. Karakterisasi Kaca Konduktif

### 1. Konduktivitas

Konduktivitas / electric sering disebut juga daya hantar listrik (DHL) maksudnya adalah gambaran numeric dari kemampuan air untuk meneruskan

Senyawa organik adalah penghantar listrik (konduktor) yang baik,



sedangkan senyawa anorganic adalah penghantar listrik yang lemah. Kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik yang dinyatakan dalam Umhos/cm (Us/Cm) Dalam arti lain, *konduktivitas* adalah kemampuan menghantarkan panas, listrik dan suara. Semua logam kebanyakan penghantar yang baik karena terdiri dari electro-electron.

## 2. Transmittansi

Transmittansi (T) merupakan fraksi antara intensitas radiasi masuk (I<sub>0</sub>) terhadap intensitas yang keluar (I) dari material dengan ketebalan t. Hukum Lambert menyatakan intensitas berkas cahaya yang datang kemudian diserap dan diteruskan oleh suatu medium sebanding dengan intensitas berkas cahaya yang keluar.

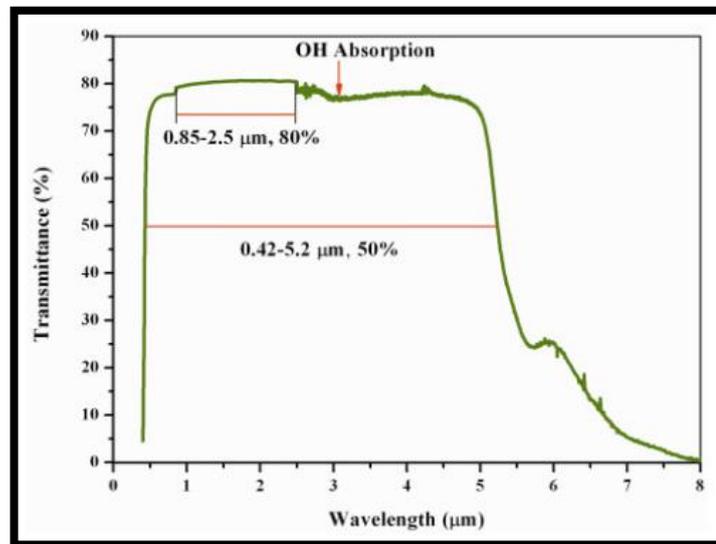
*Absorbansi* suatu cahaya oleh suatu molekul merupakan bentuk interaksi gelombang cahaya dan atom atau molekulnya. Energi cahaya diserap oleh atom atau molekul digunakan oleh elektron di dalam atom tersebut untuk bertransisi dari E<sub>1</sub> ke tingkat energi yang lebih tinggi (E<sub>2</sub>). *Absorbansi* hanya terjadi jika selisih kedua tingkat energi tersebut ( $\Delta E = E_2 - E_1$ ) bersesuaian dengan energi cahaya atau foton yang datang yakni  $\Delta E = E_{\text{foton}}$ . *Absorbansi* terjadi pada saat foton masuk bertumbukan langsung dengan atom-atom material dan menyerahkan energinya pada elektron atom. Foton mengalami perlambatan dan akhirnya berhenti, sehingga pancaran sinar yang keluar dari material berkurang dibanding saat masuk ke material. *Absorbansi* dari energi cahaya dapat

menyebabkan elektron tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi apabila



energi yang diabsorpsi tersebut lebih besar dari tingkat energi elektron tersebut.

*Absorbansi* merupakan logaritma kebalikan dari transmitansi.



Gambar 2.9: grafik hubungan transmitansi dan Panjang gelombang  
<https://wahyudistkip.wordpress.com/2012/12/05/transmitansi-dan-absorbansi/>

### 3. Kekasaran

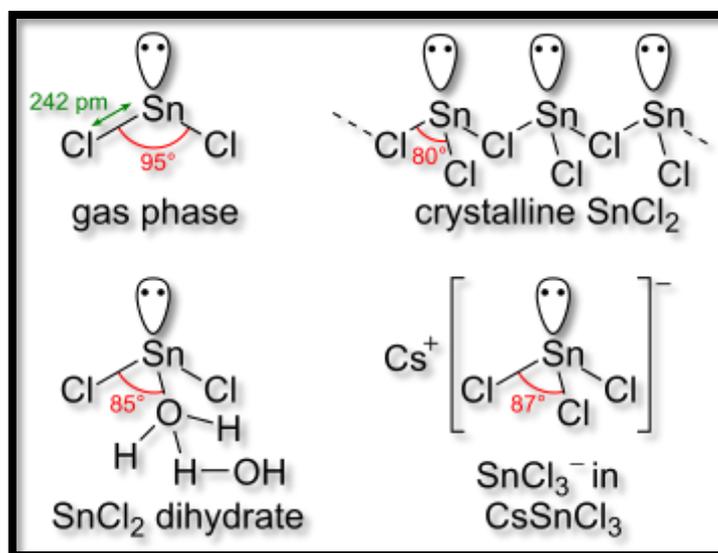
*Roughness*/kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra). Ra merupakan parameter kekasaran yang paling banyak dipakai secara internasional. Ra didefinisikan sebagai rata-rata aritmatika dan penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata-rata. Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan stylus berbentuk diamond untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat indicator pengukur kekasaran permukaan benda uji.



### G. Timah(II) kloride/*Tin (II) Chloride*

Timah(II) klorida adalah suatu padatan kristalin putih dengan rumus kimia  $\text{SnCl}_2$ . Senyawa ini membentuk suatu dihidrat yang stabil, namun larutan berairnya cenderung mengalami *hidrolisis*, terutama jika panas.  $\text{SnCl}_2$  umum digunakan sebagai agen pereduksi (dalam larutan asam), dan dalam bak elektrolitik untuk pelapisan timah.

$\text{SnCl}_2$  memiliki pasangan elektron sunyi, karenanya molekul dalam fase gas menekuk. Dalam keadaan padat, kristal  $\text{SnCl}_2$  membentuk rantai yang dihubungkan melalui jembatan klorida seperti yang ditunjukkan. Dihidrat juga berkoordinasi tiga, dengan satu molekul air dikoordinasikan ke timah, dan molekul air kedua dikoordinasikan dengan air yang pertama. Bagian utama dari tumpukan molekul menjadi lapisan ganda di kisi kristal, dengan "kedua" air terjepit di antara lapisan.

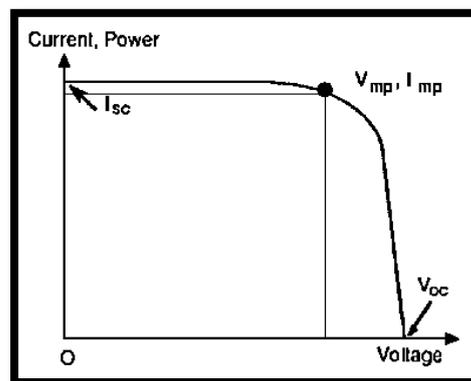


Gambar 2.10: Struktur timah(II) klorida dan senyawa terkait  
[https://id.wikipedia.org/wiki/Timah\(II\)\\_klorida](https://id.wikipedia.org/wiki/Timah(II)_klorida)



## H. Aplikasi Kurva IV Pada sel surya organik

Kurva IV adalah sebuah kurva yang menunjukkan arus dan tegangan yang diaplikasikan kepada sebuah peralatan elektronik. Salah satu tujuan dibuatnya Kurva IV adalah untuk mencari Daya Maksimum yang dimiliki peralatan elektronik tersebut. Pada sel surya organik (OPV) juga dilakukan pengukuran untuk menampilkan kurva IV. Konfigurasi pertama untuk membuat kurva IV adalah memasang sel surya yang ditempelkan ke voltmeter dan amperemeter yang rangkai juga dengan resistor variabel. Pengukuran dilakukan dengan mengubah resistansi yang nantinya berdampak pada munculnya nilai tegangan dan arus. Total pengeluaran listrik (*wattage*) dari solar cell panel adalah sebanding dengan voltase/ tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. Solar cell panel dapat menghasilkan arus dari voltase yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus dari voltase yang relatif konstan. Karakteristik output dari solar cell panel dapat dilihat dari kurva performansi, disebut *I-V curve*. *I-V curve* menunjukkan hubungan antara arus dan voltase.



Gambar 2.11: kurva performansi, disebut *I-V curve*. *I-V curve* menunjukkan hubungan antara arus dan voltase.

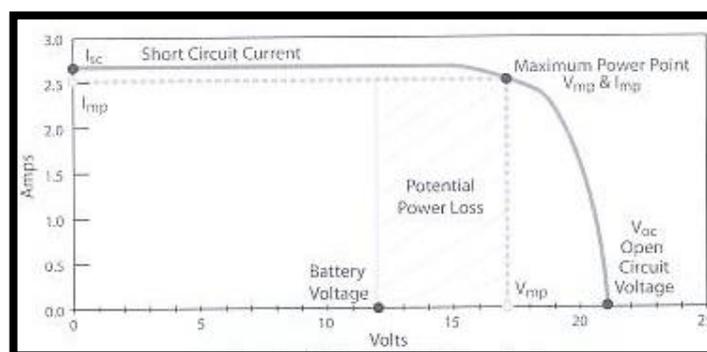
<http://www.panelsurya.com/index.php/id/home>



Gambar diatas menunjukkan tipikal *kurva I-V*. Voltase (V) adalah sumbu horizontal. Arus (I) adalah sumbu vertikal. Kebanyakan *kurva I-V* diberikan dalam Standar *Test Conditions* (STC) 1000 watt per meter persegi radiasi (atau disebut satu matahari puncak/ *one peak sun hour*) dan 25 derajat Celcius/ 77 derajat Fahrenheit suhu solar cell panel. Sebagai informasi STC mewakili kondisi optimal dalam lingkungan laboratorium. Kurva I-v terdiri dari 3 hal yang penting yaitu: *Maximum Power Point* ( $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ ), *Open Circuit Voltage* ( $V_{oc}$ ), dan *Short Circuit Current* ( $I_{sc}$ )

1. *Maximum Power Point* ( $V_{mp}$ & $I_{mp}$ )

Pada kurva I-V, Maximum Power Point  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ , adalah titik operasi, dimana maksimum pengeluaran/ output yang dihasilkan oleh solar cell panel saat kondisi operasional. Dengan kata lain,  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$  dapat diukur pada saat solar cell panel diberi beban pada 25 derajat Celcius dan radiasi 1000 watt per meter persegi. Pada kurva di atas voltase 17 volts adalah  $V_{mp}$ , dan  $I_{mp}$  adalah 2,5 ampere. Jumlah watt pada batas maksimum ditentukan dengan mengalikan  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ , maksimum jumlah watt pada STC adalah 43 watt.



Gambar 2.12: Modul kurva i-v (12VDC Nominal)  
<http://www.panelsurya.com/index.php/id/home>



Output berkurang sebagaimana voltase menurun. Arus dan daya output dari kebanyakan modul solar cell panel menurun sebagaimana tegangan/ voltase meningkat melebihi maximum power point.

## 2. *Open circuit voltage (Voc)*

Voc, adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (current). Pada kurva I-V, Voc adalah 21 volt. Daya pada saat Voc adalah 0 watt. Voc solar cell panel dapat diukur dilapangan dalam berbagai macam keadaan. Saat membeli modul, sangat direkomendasikan untuk menguji voltase untuk mengetahui apakah cocok dengan spesifikasi pabrik. Saat menguji voltase dengan multimeter digital dari terminal positif ke terminal negatif. Voc dapat diukur pada pagi hari dan sore hari.

## 3. *Short Circuit Current (Isc)*

Isc, adalah maksimum output arus dari solar cell panel yang dapat dikeluarkan (output) di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau short circuit. Pada kurva I-V diatas menunjukkan perkiraan arus 2,65 Ampere. Daya pada Isc adalah 0 watt. Short circuit current dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung terminal positif dan negatif dari modul solar cell panel. Hal yang tidak kalah penting adalah *Fill Factor*(FF) yang merupakan rasio dari daya maksimum dengan daya yang dihasilkan dari perkalian Voc dan Isc. Secara visual bahwa *Fill Factor* adalah area segi empat yang terbesar di dalam kurva IV. *Fill Factor* dapat diperoleh dengan rumus:

$$FF = \frac{I_{pmax} \cdot V_{pmax}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$



Setelah mendapatkan *Fill Factor*, efisiensi sel surya atau *Power Conversion Efficiency* (PCE) dapat dicari dengan mengkombinasikan hasil *Isc*, *Voc*, dan *FF*.

$$PCE = \frac{Isc.Voc.FF}{P_{light}}$$

*Plight* adalah daya yang dihasilkan dari cahaya yang ditangkap oleh suatu area sel surya.

$$P_{light} = I \cdot A$$

## I. Matahari

Matahari dalam sistem tata surya mempunyai peranan sangat besar, antara lain matahari sebagai pusat peredaran dan sebagai sumber tenaga di lingkungan tata surya. Matahari merupakan bola gas mahabesar yang menyala. Diameter matahari kira-kira 1.400.000 km, lebih dari 100 kali diameter bumi. Massa matahari itu sama dengan 333.420 kali massa bumi.

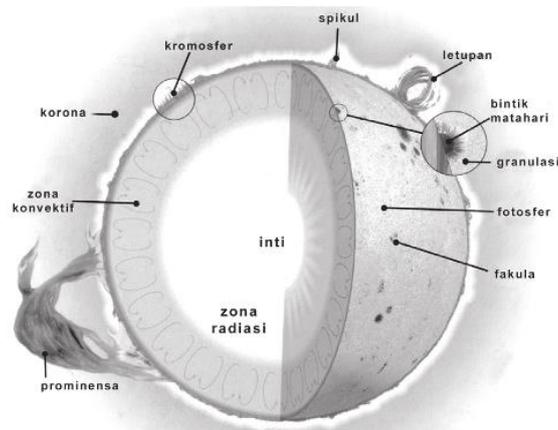
Matahari mempunyai suatu tarikan gravitasi sebesar 28 kali lebih kuat daripada tarikan gravitasi bumi. Hal ini berarti bahwa seseorang yang beratnya 90 kg di permukaan bumi, jika berada di permukaan matahari beratnya akan menjadi  $28 \times 90$  kg atau sama dengan 2.520 kg atau 2 1/2 metrik ton.

Di pusat matahari suhunya mencapai 14.000.000 °C atau lebih, namun suhu pada permukaan matahari jauh lebih dingin, yaitu antara 5.000 °C dan 6.000 °C.

Suhu ini masih cukup panas untuk menguapkan hampir semua zat yang ada di bumi,

padat maupun zat cair.





Gambar 2.13 : Matahari

[https://sainsmini.blogspot.co.id/2014/10/pengertian-dan-penjelasan-tentang\\_10.html](https://sainsmini.blogspot.co.id/2014/10/pengertian-dan-penjelasan-tentang_10.html)

Matahari secara langsung atau tidak langsung merupakan sumber energi bagi kehidupan manusia. Sinar matahari yang sampai ke bumi hanya sekitar setengah milyar dari seluruh hasil energi matahari, hal ini disebabkan letak matahari yang sangat jauh dari bumi. Pengaruh energi matahari terhadap kehidupan manusia di bumi antara lain, sebagai berikut.

a. Pengaruh sinar inframerah

Sinar inframerah sebagai salah satu spektrum cahaya matahari yang tidak kasat mata sebetulnya memiliki potensi dan efek panas yang terbesar. Pengaruhnya terhadap kehidupan yaitu mempunyai peranan pada terbentuknya siklus air di bumi (sinar inframerah menguapkan air laut, lalu pada saatnya air laut akan menggembun dan turun sebagai hujan).

b. Pengaruh sinar ultraviolet

Sinar ultraviolet sebagai salah satu spektrum cahaya matahari yang tidak kasat mata sebetulnya memiliki potensi dan efek kimia yang terbesar. Pengaruhnya



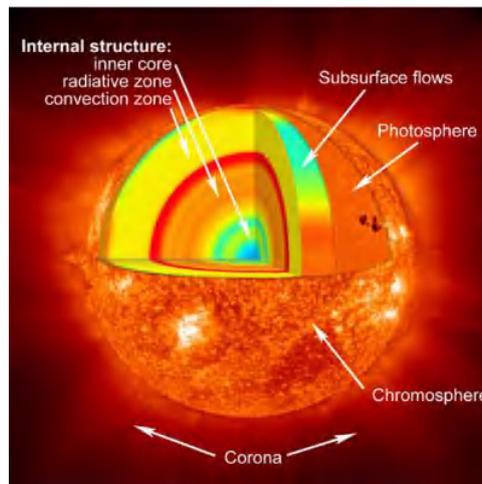
terhadap kehidupan, antara lain: memiliki daya pembasmi terhadap bibit penyakit, terutama penyakit kulit; memberikan energi kepada tumbuhan untuk melakukan proses asimilasi; sebagai sumber provitamin D yang berfungsi untuk membantu pertumbuhan dan kesehatan tulang manusia. Energi pancaran matahari dapat diubah langsung menjadi energi listrik, yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan hidup manusia. Energi pancaran matahari dapat diubah langsung menjadi energi kalor. Energi kalor dapat digunakan untuk memanaskan air yang berguna untuk mandi air hangat.

Matahari adalah bola gas yang sangat panas dengan diameter  $1,39 \times 10^9$  m dan jarak rata-rata  $1,5 \times 10^{11}$  m dari bumi. Seperti yang terlihat dari bumi, matahari berputar pada porosnya sekali setiap 4 minggu. Matahari membutuhkan waktu sekitar 27 hari pada daerah khatulistiwa dan daerah kutub memakan waktu sekitar 30 hari untuk setiap putaran.

Matahari memiliki temperatur 5777 K. Suhu di daerah pusat luar diperkirakan  $8 \times 10^6$  sampai  $40 \times 10^6$  K dan massa jenisnya diperkirakan sekitar 100 kali dari air. Struktur skematik dari matahari ditunjukkan pada Gambar 10. diperkirakan bahwa 90% dari energi yang dihasilkan di wilayah 0 sampai 0.23R (dimana R adalah jari-jari matahari) yang mengandung 40% dari massa matahari. Pada 0.7R jarak dari pusat, suhu telah turun menjadi sekitar 130.000 K dan massa jenis turun menjadi  $70 \text{ kg/m}^3$ , proses konveksi mulai menjadi penting, dan zona 0,7-1,0 R dikenal sebagai zona konvektif. Dalam zona ini suhu turun menjadi sekitar 5000 K

a jenis sekitar  $10\text{-}5 \text{ kg/m}^3$





Gambar 2.14. Struktur Skematik Matahari  
<http://budisma.net/2014/12/struktur-lapisan-matahari.html>

### Radiasi Matahari

Radiasi surya yang tersedia diluar atmosfer bumi seperti yang diungkapkan oleh konstanta surya sebesar  $1353 \text{ W/m}^2$  dikurangi oleh intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. *Solar constant* adalah energi dari matahari persatuan waktu diterima pada satuan luas permukaan tegak lurus terhadap arah rambatan dari radiasi pada rata-rata jarak bumi-matahari di luar atmosfer.

Radiasi yang tiba di bumi telah mengalami perubahan yang disebabkan oleh refleksi dan penyebaran di atmosfer bumi. Radiasi yang tak mengalami perubahan arah disebut radiasi sorot (beam radiation= $I_b$ ) sedang radiasi yang telah mengalami perubahan arah karena refleksi dan penyebaran dinamakan radiasi difusi (diffuse radiation= $I_d$ ). Jumlah radiasi sorot dan difusi radiasi global ( $I_g$ ). Pada cuaca terang radiasi sorot  $0,9 \text{ kW/m}^2$ . Radiasi difusi diukur berdasarkan atas fluks gelombang

yang tiba pada permukaan horinzontal menghadap ke atas.





Gambar 2.15. Pyranometer PSP Eppley

[http://www.eausolaire.eu/tss\\_scripts/eausolaire\\_explanation.htm](http://www.eausolaire.eu/tss_scripts/eausolaire_explanation.htm)

Fluks radiasi matahari diukur dengan menggunakan alat piranometer dan pyrhelimeter. Untuk mengukur radiasi global dan difusi adalah alat piranometer. Bila terpasang horizontal dan menghadap ke atas, radiasi yang terukur adalah radiasi global. Bila alat tersebut digunakan dengan perlengkapan tudung (untuk menghalangi radiasi sinar langsung yang tiba pada alat, maka yang diukur adalah radiasi difusi. Untuk mengukur radiasi sorot digunakan alat pirhelimeter. Sensor pada alat tersebut senantiasa diarahkan ke sinar matahari, sehingga radiasi difusi terhalang dan yang terukur adalah radiasi sorot.

## J. Buah Naga

Buah naga (*Inggris: pitaya*) adalah buah dari beberapa jenis kaktus dari marga *Hylocereus* dan *Selenicereus*. Buah ini berasal dari Meksiko, Amerika Tengah dan Amerika Selatan namun sekarang juga dibudidayakan di negara-negara seperti Taiwan, Vietnam, Filipina, Indonesia dan Malaysia. Buah ini juga



dapat ditemui di Okinawa, Israel, Australia utara dan Tiongkok selatan. *Hylocereus* hanya mekar pada malam hari.

Pada tahun 1870 tanaman ini dibawa orang Perancis dari Guyana ke Vietnam sebagai tanaman hias. Oleh orang Vietnam dan orang Cina buahnya dianggap membawa berkah. Oleh sebab itu, buah ini selalu diletakkan di antara dua ekor patung naga berwarna hijau di atas meja altar. Warna merah buah terlihat mencolok di antara warna naga-naga yang hijau. Dari kebiasaan inilah buah itu di kalangan orang Vietnam yang sangat terpengaruh budaya Cina dikenal sebagai thang loy (buah naga). Istilah Thang loy kemudian diterjemahkan di Eropa dan negara lain yang berbahasa Inggris sebagai dragon fruit (buah naga).



Gambar 2.16 : Buah Naga

<https://dedaunan.com/mengenal-khasiat-buah-naga-merah-yang-luar-biasa/>

Morfologi tanaman buah naga terdiri dari akar, batang, duri, bunga, dan buah. Akar buah naga hanyalah akar serabut yang berkembang dalam tanah pada batang atas sebagai akar gantung. Akar tumbuh di sepanjang batang pada bagian punggung

dan perut batang. Pada bagian duri, akan tumbuh bunga yang bentuknya mirip *Epiphyllum*. Bunga yang tidak rontok berkembang menjadi buah. Buah



naga bentuknya bulat agak lonjong seukuran dengan buah avokad. Kulit buahnya berwarna merah menyala untuk jenis buah naga putih dan merah, berwarna merah gelap untuk buah naga hitam, dan berwarna kuning untuk buah naga kuning. Di sekujur kulit dipenuhi dengan jumbai-jumbai yang dianalogikan dengan sisik naga. Oleh sebab itu, buah ini disebut buah naga.

Batangnya berbentuk segitiga, durinya sangat pendek dan tidak mencolok, sehingga sering dianggap "kaktus tak berduri". Bunganya mekar pada awal senja jika kuncup bunga sudah berukuran sekitar 30 cm. Mahkota bunga bagian luar yang berwarna krem, mekar sekitar pukul sembilan malam, lalu disusul mahkota bagian dalam yang putih bersih, meliputi sejumlah benang sari yang berwarna kuning. Bunga seperti corong itu akhirnya terbuka penuh pada tengah malam, karena itu buah naga dikenal sebagai night blooming cereus. Saat mekar penuh, buah naga menyebar bau yang harum. Aroma ini untuk memikat kelelawar, agar menyerbuki bunga buah naga.

