

**PENGARUH WAKTU *SPIN COATING* TERHADAP
STRUKTUR DAN SIFAT LISTRIK SEL SURYA PEWARNA
TERSENSITASI**

SKRIPSI

untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana sains



**DESI SUSANTHY
NIM. 05085/2008**

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

2013

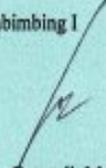
PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Waktu *Spin Coating* Terhadap Struktur dan Sifat Listrik Sel Surya Pewarna Tersensitisasi
Nama : Desi Susanthi
NIM : 05085
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

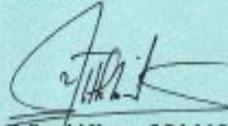
Padang, 15 Agustus 2013

Disetujui oleh :

Pembimbing I


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

Pembimbing II


Zulhendri Kamus S.Pd, M.Si.
NIP. 19751231 200012 1 001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Desi Susanthy
NIM : 05085
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan judul

PENGARUH WAKTU *SPIN COATING* TERHADAP STRUKTUR DAN SIFAT

LISTRIK SEL SURYA PEWARNA TERSENSITASI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Padang, 15 Agustus 2013

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Drs. Gusnedi, M.Si	
Sekretaris	: Zulhendri Kamus, S.Pd, M.Si	
Anggota	: Dra. Syakbaniah, M.Si	
Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si	
Anggota	: Dr. Yulkifli, M.Si	

ABSTRAK

Desi Susanthi : Pengaruh waktu *spin coating* terhadap struktur dan sifat listrik sel surya pewarna tersensitisasi

Krisis energi yang melanda dunia dapat dirasakan oleh bangsa Indonesia. Alternatif solusi dari energi permasalahan ini perlu dilakukan salah satunya mencari energi alternatif seperti memanfaatkan matahari, maka untuk itu diperlukan solusi agar pengganti energi alternatif yang dapat dimanfaatkan yaitu sel surya. Sel Surya Pewarna Tersensitisasi merupakan suatu alat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan interaksi foton dengan fotosensitizer. Secara garis besar sel surya tersusun oleh elektroda, dye, elektrolit, dan semikonduktor. Masing-masing zat penyusun ini memberikan nilai koefisien dalam kerja sel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh ketebalan lapisan tipis terhadap sifat listrik sel surya itu sendiri. Oleh karena itu dilakukan penelitian dengan tujuan mengubah energi matahari menjadi energi listrik.

Penelitian ini penelitian eksperimen, dilaboratorium Fisika Material dan Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP dan Fisika Material Jurusan Fisika UNAND . Pembuatan sampel dilakukan dengan cara metoda *spin coating*, dimana lapisan tipis TiO_2 sel surya dengan teknik *sol-gel* dengan 4 variasi waktu, Dye-sensitizer digunakan dye alami dari ekstrak kulit manggis sebagai pengganti *ruthenium complex*, Larutan elektrolit dibuat dengan campuran KI dan acetonitril, Elektroda karbon digunakan grafit dari pensil, bagian-bagian tersebut kemudian disusun dengan struktur sandwich, alat yang digunakan untuk pengujian karakterisasi dilakukan dengan UV-Vis untuk melihat nilai absorpsi dan struktur sampel atau bentuk sampel dan ketebalan dari sampel dengan SEM yang dilakukan di labor biologi UNP.

Dari hasil penelitian didapatkan ketebalan yang bervariasi bergantung pada waktu lamanya pemutaran *spin coating*, untuk waktu 2 menit *spin coating* ketebalannya $67,8 \mu\text{m}$, waktu *spin coating* 4 menit ketebalan $66,1 \mu\text{m}$, waktu *spin coating* 6 menit ketebalan $63,0 \mu\text{m}$, waktu *spin coating* 8 menit ketebalan $59,6 \mu\text{m}$. Absorpsi maksimal dari dye dihasilkan pada panjang gelombang $338,17 \text{ nm}$ dengan nilai absorpsi $2,270$. Hasil arus didapatkan $20 \mu\text{A}$ dan tegangan 130 mV pada ketebalan lapisan tipis $67,8 \mu\text{m}$, arus $500 \mu\text{A}$ dan tegangan 213 mV pada ketebalan $66,1 \mu\text{m}$, arus $18 \mu\text{A}$ dan tegangan 15 mV dengan ketebalan $63,0 \mu\text{m}$ dan arus $12 \mu\text{A}$ dan tegangan $1,7 \text{ mV}$ dengan ketebalan $59,6 \mu\text{m}$. Dari penelitian ini didapatkan 4 waktu *spin coating* dengan ketebalan $66,1 \mu\text{m}$ menghasilkan arus tertinggi sebesar $500 \mu\text{A}$ dan tegangan tertinggi sebesar 213 mV .

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pengaruh waktu spin coating terhadap struktur dan sifat listrik sel surya pewarna tersensitisasi*”.

Adapun penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis mendapatkan bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak selama penyelesaian skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si sebagai pembimbing I atas segala bantuannya yang telah tulus dan ikhlas memberikan arahan, membaca, memeriksa, mengoreksi dan memberikan saran-saran untuk perbaikan skripsi ini.
2. Bapak Zuhendri Kamus, S.Pd, M.Si sebagai pembimbing II dan juga sebagai Penasehat Akademis atas segala bantuannya yang telah tulus dan ikhlas memberikan arahan, membaca, memeriksa, mengoreksi dan memberikan saran-saran untuk perbaikan skripsi ini.
3. Ibu Dra. Syakbaniah, M.Si, ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si, dan Bapak Dr. Yulkifli, M.Si, dan selaku tim penguji yang telah memberikan masukan yang berarti demi kesempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematikadan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

5. Ibu Dra. Yurnetti, M.Pd sebagai Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai Ketua Prodi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Bapak dan Ibu staf Pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. Kedua orang tua dan teman-teman atas do'a dan dorongan semangat yang diberikan.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan hati yang telah mereka berikan kepada penulis. Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu fisika khususnya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kelengkapan skripsi ini. Semoga semua bantuan, kritik dan saran yang telah diberikan menjadi masukan positif bagi penulis.

Padang , Agustus 2013

Desi Susanthi

Nim. 05085

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Pertanyaan Penelitian.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II KAJIAN TEORI	
A. Sel surya secara umum.....	7
1. Sel surya konvensional.....	8
B. Dye sensitizer solar cells.....	10
1. Material DSSC.....	12
2. Prinsip kerja DSSC.....	16
C. Metoda sol gel	18
D. Intensitas cahaya.....	21

E. Arus dan tegangan.....	24
---------------------------	----

BAB III METODA PENELITIAN

A. Jenis Penelitian.....	26
B. Tempat Penelitian.....	26
C. Waktu Penelitian.....	26
D. Instrumen Penelitian.....	27
E. Variabel Penelitian.....	33
F. Prosedur Penelitian.....	34
G. Teknik Penumpulan Data.....	38
H. Teknik Analisa Data.....	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deksripsi Data	40
B. Analisa Data.....	46
C. Pembahasan.....	52

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan.....	56
B. Saran.....	56

DAFTAR PUSTAKA	58
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	60
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data panjang gelombang dan absorpsi dari dye kulit manggis.....	41
2. Ketebalan lapisan tipis variasi waktu.....	43
3. Data arus dan tegangan.....	46
4. Data olahan XRD (hkl).....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sel surya.....	9
2. Komponen dari Dye-Sensitized Solar Cell.....	11
3. Proses penetesan gel pada substrat.....	19
4. Alat spin coater.....	20
5. Radiasi yang Tampak.....	22
6. Kurva I dan V.....	23
7. Alur kerja kinerja lapisan tipis sel surya.....	24
8. Spin coater.....	27
9. Spektrofotometer UV-Vis.....	28
10. Magnetic stirer.....	28
11. Oven.....	29
12. Neraca digital.....	30
13. Multimeter digital.....	30
14. Luxmeter.....	31
15. Gelas ukur.....	31
16. Konduktif glass.....	32
17. Kertas Saring.....	32
18. Kulit manggis.....	33
19. Pengukuran arus dan tegangan.....	37
20. Alur tahapan pembuatan sel surya.....	38
21. Hasil absorpsi dye kulit manggis.....	40

22.	Ketebalan lapisan tipis.....	42
23.	Lapisan tipis tampak atas.....	44
24.	Perhitungan energi gap.....	47
25.	Grafik waktu deposisi dengan ketebalan lapisan tipis.....	48
26.	Grafik hubungan ketebalan dan arus.....	50
27.	Grafik hubungan ketebalan dan tegangan.....	51
28.	Grafik hubungan arus dan tegangan.....	51
29.	Proses penimbangan TiO_2	60
30.	Bahan pasta.....	60
31.	Campuran TiO_2 dan aquades.....	61
32.	Penggerusan TiO_2	61
33.	Melarutkan PVA.....	62
34.	Percampuran PVA dan TiO_2	62
35.	Tempat kaca.....	63
36.	Senitifikasi kaca.....	63
37.	Spin coating.....	64
38.	Penyaringan dye.....	64
39.	Bahan larutan elektrolit.....	65
40.	Larutan elektrolit.....	65
41.	Pembuatan elektroda pembanding.....	66
42.	Sampel sel surya.....	66
43.	Pengukuran.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi Penelitian	60
2. Data Base.....	68

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan bagian terpenting yang membuat manusia dapat melakukan segala sesuatu. Energi berasal dari bahasa Yunani yaitu *energia* yang merupakan kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja. Karna itu, energi adalah sumber kehidupan terbesar bagi umat manusia di bumi.

Krisis energi saat ini yang melanda dunia masih dapat dirasakan terutama di Indonesia. Pada tahun 2000 hingga tahun 2004 konsumsi energi primer Indonesia meningkat sebesar 5,2% per tahunnya, lebih spesifik lagi kebutuhan listrik di Indonesia terus bertambah sebesar 4,6% setiap tahun (Sutrisna,2009). Bukti nyata krisis energi melanda Indonesia adalah pemadaman listrik bergilir yang melanda daerah-daerah terpencil.

Sumber-sumber energi digolongkan menjadi yang dapat diperbarui dan yang tidak dapat diperbarui. Sumber energi yang dapat diperbarui adalah sumber energi yang dapat diusahakan kembali keberadaannya oleh manusia. Walaupun sumber energi tersebut dipergunakan atau dimanfaatkan oleh manusia, tetapi manusia dapat mengusahakan kembali sumber daya tersebut, sehingga tidak akan habis, sumber energi ini adalah air, tumbuhan dan hewan. Sumber energi yang tidak dapat diperbarui adalah sumber energi yang jika dipakai terus menerus akan habis dan tidak dapat diusahakan kembali keberadaannya. Manusia tidak bisa membuat atau memperbanyak keberadaan sumber energi ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Manusia hanya

bisa melakukan daur ulang terhadap sumber energi ini. Artinya manusia hanya bisa mengolah kembali bahan yang telah dipakai sehingga bisa dipergunakan atau dimanfaatkan kembali.

Energi merupakan besaran yang kekal, berdasarkan hukum kekekalan energi yaitu “energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk energi ke bentuk energi yang lain”(Hasbullah, M.T 2009). ini dapat terlihat pada konversi energi dimana perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lain. Energi termasuk besaran skalar karena tidak memiliki arah (Sunarti,titin 2004). Meningkatnya kebutuhan energi khususnya energi listrik disatu sisi dan semakin terbatasnya sumber energi konvensional atau bahan dasar fosil, telah menjadi pendorong untuk upaya-upaya mencari sumber energi yang baru terbarukan.

Energi yang ketersediaannya sangat melimpah dan ramah lingkungan namun belum digarap secara optimal khususnya di Indonesia adalah energi matahari. Potensi energi matahari di seluruh wilayah Indonesia yang berada di sepanjang garis katulistiwa sangat besar, dimana intensitas radiasi harian matahari rata-rata mencapai 4.8 kWh/m².

Sumber energi matahari yang dapat berupa energi panas dan energi cahaya. Sumber energi bukan hanya terdiri dari energi panas dan energi cahaya melainkan juga meliputi efek-efek matahari secara tidak langsung seperti tenaga angin, tenaga air, arus laut, tumbuhan, gas bumi, minyak bumi dan batubara. Ditinjau dari asalnya energi mempunyai bermacam-macam bentuk yaitu:

Energi potensial, energi kinetik, energi kimia, energi kalor, energi listrik, energi bunyi, energi nuklir, energi radiasi.

Sumber energi baru di masa mendatang akan semakin mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan dasar fosil untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang cadangannya semakin lama semakin menipis. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil terbukti telah menimbulkan masalah yang sangat serius bagi lingkungan yakni pencemaran udara yang berdampak buruk terhadap kualitas kesehatan manusia serta penyebab terjadinya pemanasan global (*global warming*).

Perlunya sumber energi alternatif akhir-akhir ini sangat banyak diperbincangkan, dengan energi yang berasal dari fosil yang keberadaannya tidak dapat diperbaharui. Potensi energi matahari yang sangat besar dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik terutama daerah di sepanjang garis katulistiwa yang sangat besar intensitas radiasi matahari. Karena itu banyak para ahli mencari cara menciptakan energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan manusia, dimana energi yang dihasilkan dapat diperbaharui. Energi yang dapat diperbarui tersebut berasal dari pancaran energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan cara menkonversi energi surya ini menjadi energi listrik seperti pembuatan sel surya/*solar cell*.

Pemanfaatan energi listrik dengan bantuan teknologi fotovoltaiik atau sel surya yaitu teknologi yang mampu mengubah sinar matahari secara langsung

menjadi energi listrik (A, karina. S, sawitko). Sel surya merupakan salah satu sumber energi listrik terbarukan, tetapi sel surya yang banyak digunakan pada saat ini berbahan dasar silikon merupakan hasil dari perkembangan teknologi semikonduktor anorganik. Sel surya berbahan dasar silikon tersebut mempunyai biaya produksi lebih mahal daripada sumber energi dari fosil. Untuk itu diperlukan sel surya yang murah dengan kinerja sel tinggi dan sel surya organik.

Sel surya dengan pemakaian zat warna alami menawarkan suatu alternative yang sangat murah terhadap photovoltaic berbasis silikon. Sel surya organik menggunakan zat warna organik sebagai *dye*-nya yang dikenal dengan *dye-sensitized solar cell (DSSC)*. *DSSC* merupakan salah satu sumber energi yang bagus dikembangkan untuk masa datang karena biaya produksinya yang relatif murah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses melibatkan material silikon itu sendiri. Sel surya ini memanfaatkan lapisan tipis TiO_2 dengan metoda *spin coating*.

Zat warna atau *dye* yang sering digunakan sebagai sensitizer dapat berupa zat warna sintesis maupun alami yang dapat diperoleh dari tumbuh-tumbuhan. Zat warna yang digunakan untuk menyerap cahaya matahari dapat diperoleh dari tumbuh-tumbuhan. Diantaranya telah dilakukan penelitian oleh Hao Sancun *et.al* (2006), Maddu (2007) dan Septina (2007) dimana masing-masing menggunakan ekstrak *black rice*, kol merah dan buah delima. Penelitian Hao Sancun (2006) dengan menggunakan bunga *Erythrina variegata* dan *Capsicum* yang masing-masing mengandung pigmen karoten menghasilkan arus sebesar 0,776 mA dan 0,225 mA. Pada penelitian ini akan dicoba menentukan arus dan tegangan yang dihasilkan dari sel surya zat warna alami dari ekstrak kulit manggis yang mana menghasilkan arus yang cukup tinggi yang dipengaruhi oleh nilai absorpsi pada kulit manggis tersebut. Untuk itu terkait dengan

hal ini maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh waktu spin coating terhadap struktur dan sifat listrik sel surya pewarna tersensitisasi”.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana Pengaruh waktu spin coating sel surya sensitizer terhadap struktur dan sifat listrik sel surya pewarna tersensitasi.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sel surya pewarna tersensitasi yang digunakan dari dye kulit manggis.
2. Sifat listrik sel surya pewarna tersensitasi yang diteliti berupa arus dan tegangan.
3. Variasi dari waktu penggunaan spin coating 4 buah sel surya dengan 2 menit, 4 menit, 6 menit, dan 8 menit.

D. Pertanyaan Penelitian

Untuk menentukan arah penelitian, maka penulis perlu membuat pertanyaan mengenai apa yang akan diteliti. Adapun pertanyaan penelitiannya yaitu:

1. Berapa nilai panjang gelombang absorbansi dari zat warna kulit manggis?
2. Bagaimana pengaruh waktu *spin coating* terhadap ketebalan dan struktur mikro lapisan tipis pada sel surya?
3. Bagaimana pengaruh waktu *spin coating* terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui nilai panjang gelombang absorpsi dari zat warna yang kulit manggis tersebut.
2. Mengetahui pengaruh waktu pada ketebalan dan struktur mikro lapisan tipis pada sel surya.
3. Mengetahui pengaruh waktu spin coating terhadap arus dan tegangan sel surya.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan nantinya dapat berkontribusi dalam:

1. Konsumen, sebagai sumber energi alternatif baru, dalam pengembangan energi kepada masyarakat.
2. Petani, meningkatkan kebutuhan pasar dengan adanya penelitian ini.
3. Peneliti, sebagai acuan atau sumber bagi peneliti lanjutan.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Sel surya

Sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran electron. Aliran electron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik.

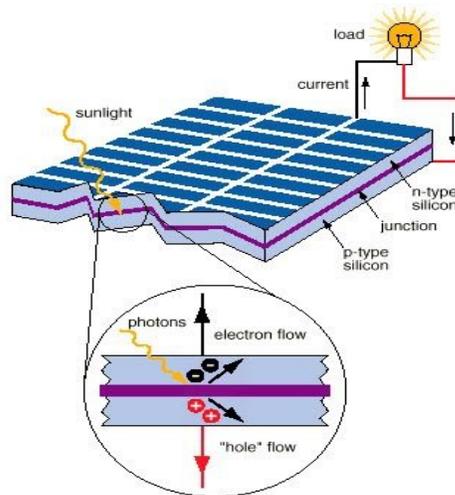
Sel surya, yaitu teknologi yang mampu mengubah sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik, merupakan sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah-besar diode p-n junction, di mana adanya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik. Pengubahan ini disebut efek Fotovoltaik. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai fotovoltaics. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit.

Sel surya pertama kali dibuat oleh Charles Fritts pada 1883 yang melapisi semikonduktor selenium dengan lapisan emas yang sangat tipis untuk membentuk junction. Era modern dalam pembuatan sel surya dimulai pada 1954, pada saat Bell Laboratories bereksperimen dengan semikonduktor dan menemukan bahwa silikon yang didoping dengan beberapa bahan memiliki sensitivitas yang sangat tinggi terhadap cahaya (suherdiana,2008). Sekarang ini sel surya yang berbasis silikon mendominasi pasar sel surya sekitar 82%.

Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spectrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel *photovoltaic*, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel *photovoltaic*. Foton yang terserap oleh sel *photovoltaic* inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik.

1. Sel surya konvensional

Prinsip Kerja Sel Surya Silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n *junction*. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor *doping-p* yang membentuk p-n junction dan subtract logam tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (electron) dan tipe-p (hole). Semikonduktor tipe-n didapatkan dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Sedangkan semikonduktor tipe-p diperoleh dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya kurang satu dari atom sekitar. Daerah yang ditinggalkan elektron ini disebut dengan hole. Ketika kedua material tersebut mengalami kontak, maka kelebihan elektron dari tipe-n akan berdifusi ke tipe-p sehingga area doping-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi antara keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p, Pada proses ini terbentuklah p-n junction(suherdiana,2008).



Gambar 1. Sel surya (Riky, 2009)

Pada saat cahaya mengenai permukaan silikon pada sel surya, ada beberapa hal yang mungkin terjadi dapat terlihat pada Gambar 1. Pertama, foton akan menembus silikon. Hal ini biasanya terjadi pada foton yang memiliki energi yang rendah. Kedua, foton akan dipantulkan oleh permukaan. Ketiga, foton akan diserap oleh silikon. Ketika foton diserap oleh silikon, maka hal tersebut dapat menyebabkan timbulnya panas maupun membentuk pasangan elektron-hole yang terjadi ketika energi foton yang datang lebih tinggi daripada lebar pita energi silikon. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga arus akan mengalir.

Sel surya silikon yang mendominasi pada saat ini harganya sangat mahal karna difokuskan akan ketersediaan silika yang tergolong minim. Selain itu, jenis sel surya berbasis teknologi murah yaitu sistem fotovoltaik yang paling terkenal dan juga diteliti dinamakan sel surya pewarna tersensitisasi (dye sensitizer solar cell).

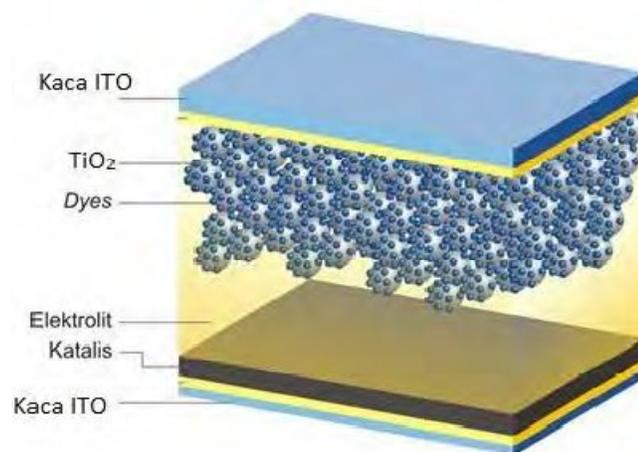
B. Dye sensitized solar cells

Dye Sensitized Solar Cell ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 di École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Swiss. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC merupakan terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan (Smestad, G.P., dan Gratzel, M., 1998).

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul dye yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif (Jung, 2005).

Sel surya nanokristal TiO_2 tersensitisasi dye dikembangkan sebagai konsep alternatif bagi piranti fotovoltaik konvensional berbasis silikon. Sistem sel surya ini pertama kali dikembangkan oleh Grätzel sehingga disebut juga sel Grätzel. Beberapa keuntungan sistem sel surya ini adalah proses fabrikasinya lebih sederhana tanpa menggunakan peralatan rumit dan mahal sehingga biaya fabrikasinya lebih murah. Efisiensi konversi sistem sel surya tersensitisasi dye telah mencapai 10-11%. Namun, sel surya ini memiliki kelemahan yaitu stabilitasnya rendah karena penggunaan elektrolit cair yang mudah mengalami degradasi atau kebocoran (Huang dkk, 2007). Sel surya

TiO₂ tersensitasi dye terdiri dari lapisan nanokristal TiO₂ berpori sebagai fotoanoda, dye sebagai fotosensitizer, elektrolit redoks dan elektroda lawan (katoda) yang diberi lapisan katalis (Kay, A., Grätzel, M., 1996). Struktur sel surya ini berbentuk struktur sandwich, dimana dua elektroda yaitu elektroda TiO₂ tersensitisasi dye dan elektroda lawan mengapit elektrolit. Berbeda dengan sel surya silikon, pada sel surya tersensitisasi dye, foton diserap oleh dye yang melekat pada permukaan partikel TiO₂. Dalam hal ini dye bertindak sebagai donor elektron yang dibangkitkan ketika menyerap cahaya, mirip fungsi klorofil pada proses fotosintesis.



Gambar 2. Komponen dari Dye-Sensitized Solar Cell (Heru,2011)

Komponen dan struktur dari *dye-sensitizer solar cells* (DSSC) diperlihatkan pada Gambar 2. Alas dan atasnya berupa kaca yang sudah dilapisi TCO (*transparent Conducting Oxide*) biasanya SnO₂ yang berfungsi sebagai elektroda dan counter-elektroda. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I⁻/I³⁻ (iodide/triiodide). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh

nanopori TiO₂ yang mana dye teradsorpsi di pori TiO₂. Dye yang umumnya digunakan yaitu jenis ruthenium complex.

1. Material DSSC

a. Subtrat kaca ITO

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (Transparent Conductive Oxide) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai lapisan pelindung dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir. Material yang umumnya digunakan yaitu flourine-doped tin oxide (SnF atau FTO) dan *Indium Tin Oxide* (ITO).

b. Molekul dye yang terserap oleh semikonduktor

Zat warna atau *dye* yang sering digunakan sebagai sensitizer dapat berupa zat warna sintesis maupun alami. Zat warna sintesis umumnya menggunakan organik logam berbasis ruthenium kompleks, namun zat warna sintesis ini cukup mahal. Sedangkan zat warna alami dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah. Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi zat warna. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer diantaranya ekstrak klorofil, karoten dan antosianin (Maddu, 2007). Ekstrak zat warna yang menghasilkan arus dan tegangan tertinggi terdapat pada kol merah dengan arus 5,6 μA dan 7,2 μA tegangan 500 mV dan 510 mV.

Proses fotosintesis pada tumbuhan telah membuktikan adanya senyawa pada tumbuhan yang dapat digunakan sebagai dye. Zat-zat tersebut ditemukan pada daun atau buah, yaitu antosianin, klorofil, dan xantofil. Peneliti telah membuktikan bahwa klorofil dan xantofil dapat tereksitasi dengan adanya penyinaran pada penerapan *dyes*. Sebagai hasil pengembangannya, peneliti telah mendapatkan efisiensi konversi energi yang lebih baik pada turunan *dyes* klorofil tersebut karena memiliki gugus carboxylate (Wang Song, dkk,2007).

Zat pewarna pada layer oksida DSSC berfungsi untuk menangkap foton cahaya. Selanjutnya foton tersebut akan diabsorpsi ke dalam nanopartikel TiO₂. Pada Gratzel *cell*, zat pewarna yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis *ruthenium complex*.

Namun, *dye* jenis *ruthenium complex* sulit untuk disintesis dan berharga mahal. Dewasa ini telah dikembangkan DSSC dengan zat pewarna organik yang murah dan mudah di dapat yaitu dengan menggunakan unsur pewarna alami (*Flavonoids*) dari buah-buahan, bunga, kayu, dan bahan organik lainnya. Flavonoids berfungsi sebagai proteksi terhadap sinar UV.

Garcinia mangostana merupakan salah satu nama buah yang cukup terkenal yaitu manggis. Genus *garcinia* ini merupakan tumbuhan tropis yang termasuk dalam familia *clusiaceae* dan mempunyai lebih kurang 180 spesies (Soewarno,2005; Elya,2003).

Karakteristik penting dari bahan dye yang digunakan yaitu mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan pita energi TiO_2 . Senyawa antosianin yang terdapat pada tumbuhan ternyata mampu dijadikan sebagai sensitizer. Buah manggis (*Garcinia Mangostana*) merupakan salah satu tumbuhan yang mengandung antosianin yang terdapat pada bagian kulitnya, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai dyesensitizer pada sel surya jenis DSSC (Suryadi, 2009).

Penggantian pewarna atau zat *photosensitizer* dengan sari buah alami ini dimungkinkan karena adanya karakteristik warna sebagaimana ekstrak buah dari tumbuhan lain. Warna dari ekstrak tumbuhan dapat menyerap maupun meneruskan spektrum cahaya tampak, karena pigmen yang terdapat pada zat warna memegang peranan penting dalam proses absorpsi cahaya.

c. Larutan elektrolit

Elektrolit yang sering digunakan sebagai pasangan redoks dalam pelarut adalah pasangan I^-/I_3^- . Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu

- 1) Potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari dye untuk tegangan sel yang maksimal.
- 2) Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.

- 3) Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien
- 4) Tidak adanya karakteristik spectral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
- 5) Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi
- 6) Mempunyai reversibilitas tinggi
- 7) Inert terhadap komponen lain pada DSSC
- 8) TiO_2

Dalam umumnya TiO_2 mempunyai tiga fasa yaitu rutil, anatase, dan brookite. Untuk aplikasi pada DSSC, TiO_2 yang digunakan umumnya berfasa anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi. Selain itu TiO_2 dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nanometer akan meningkatkan kinerja sel surya karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah dye yang terserap yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terserap (Septina, 2007).

d. Katalis counter elektroda

Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga efisien dalam aplikasinya pada DSSC.

Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternative, dapat digunakan counter-elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaan yang tinggi, counter-elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodida yang menyerupai elektroda platina (Smestad,1998).

DSSC mempunyai keunggulan yaitu selain teknik fabrikasinya relatif sederhana juga tidak memerlukan teknologi yang rumit sehingga biaya produksinya relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional yang semua proses melibatkan bahan silikon itu sendiri, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan separasi muatan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita lebar. Bahan semikonduktor yang sering digunakan sebagai elektroda dalam DSSC adalah TiO₂ (*Titanium Dioxide*). Hal itu dikarenakan TiO₂ memiliki fase Kristal yang reaktif terhadap cahaya, eksitasi elektron ke pita konduksi dapat dengan mudah terjadi apabila kristal ini dikenai cahaya dengan energi yang lebih besar daripada celah energinya. Selain itu TiO₂ relatif murah, inert, banyak dijumpai dan tidak beracun (Gratzel, 2006).

2. Prinsip kerja DSSC

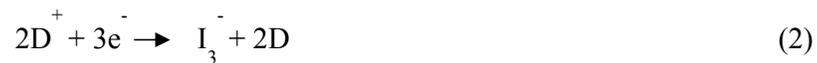
Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi

elektron pada molekul dye akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^{*}) terlihat pada reaksi kimia persamaan (1) berikut:



Elektron dari excited state kemudian langsung terinjeksi menuju conduction band (E_{CB}) titania sehingga molekul dye teroksidasi (D⁺).

Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻) maka molekul dye kembali ke keadaan awalnya (ground state) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi.



Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju counter-elektroda melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada counter-elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga hole yang terbentuk pada elektrolit (I₃⁻), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodide (I⁻).



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (septina.wilma,2007).

Elektroda dilapisi oleh layer nanopartikel yang dilapisi oleh molekul *dye* (zat pewarna) sensitasi. Molekul *dye* berfungsi sebagai penangkap foton cahaya, sedangkan nano partikel semikonduktor berfungsi menyerap dan meneruskan foton menjadi electron. Pada tempat elektroda diberi katalis, umumnya carbon atau platinum, berfungsi untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO.

Pada saat Foton (sinar matahari) yang terabsorpsi oleh dye akan mengalami eksitasi elektron pada dye. Kejadian ini memberikan energi yang cukup kepada elektron untuk pindah menuju conduction band dari TiO₂. Akibatnya elektron mengalir menuju elektroda, rangkaian listrik sampai counter elektroda. Elektrolit membawa elektron-elektron kembali ke dye yang berasal dari counter elektroda (CE) .

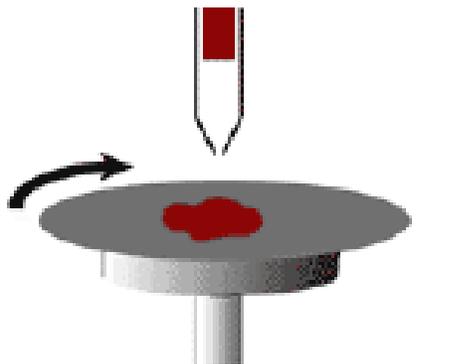
C. Metode sol-gel

Metode sol-gel merupakan metode penumbuhan film tipis yang memanfaatkan proses perubahan fase dari sol ke fase gel. Metode ini tergolong sederhana dengan biaya yang murah. Metode sol-gel memiliki beberapa teknik penumbuhan film tipis, salah satunya adalah dengan teknik *spin coating*.

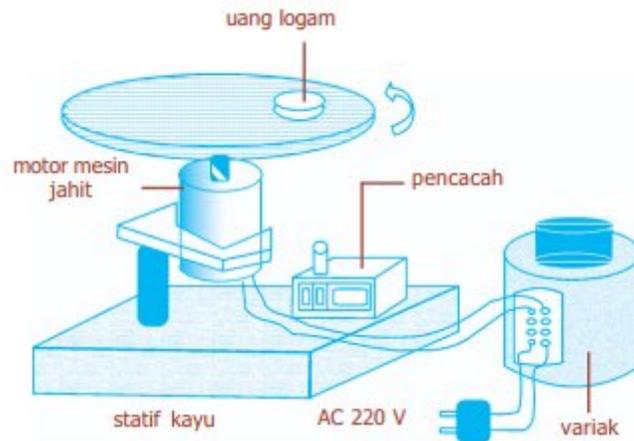
1. Teknik *Spin Coating*

Teknik *spin coating* merupakan salah satu teknik penumbuhan film tipis dengan metoda *sol-gel*. Prosedur pembuatan film tipis dengan teknik *spin coating* lebih mudah dalam pengoperasiannya dengan biaya

operasional yang rendah. Teknik ini memanfaatkan fenomena reaksi gaya sentripetal yang mengarah keluar pada benda berputar. Gaya setripetal adalah suatu benda bergerak melingkar maka benda akan mengalami gaya yang arahnya menuju ke pusat lingkaran. Besarnya gaya tersebut sebanding dengan kuadrat kecepatannya dan berbanding terbalik dengan jari-jari lingkarannya. Reaksi dari gaya ini akan menyebabkan gel yang dideposisikan pada substrat akan tersebar ke seluruh permukaan substrat dan membentuk lapisan tipis. Besar kecilnya gaya sentripetal yang bekerja pada gel dipengaruhi oleh laju putaran *spin-coater*.



Gambar 3. Proses penetasan gel pada substrat



Gambar 4. Alat spin coater (teguh,2010).

2. Laju spin coater

Kelajuan *spin-coater* merupakan salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi hasil lapisan tipis dengan teknik *spin coating*. Kelajuan *spin-coater* menentukan besarnya gaya sentripetal yang bekerja pada gel yang ditetaskan diatas substrat, berdasarkan persamaan (4) :

$$F = \quad (4)$$

Dimana F_{sp} merupakan gaya sentipetal yang bekerja pada *spin-coater* dengan laju putaran *spin-coater* .

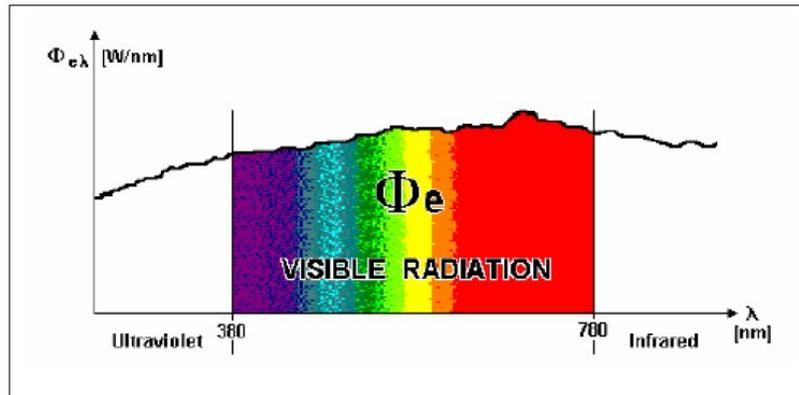
Laju putaran *spin-coater* mempengaruhi ketebalan dari lapisan tipis yang dihasilkan. Berdasarkan data dari Columbia University tahun 2002, peruban laju putaran *spin-coater* sekitar ± 50 rpm akan menyebabkan perubahan ketebalan film yang dihasilkan terhadap laju putaran *spinner*.

Waktu *spin* dan percepatan substrat ke arah kelajuan *spin* juga dapat mempengaruhi sifat fisis film yang dihasilkan. Semakin lama waktu *spin* film yang dihasilkan akan semakin tipis untuk molaritas gel yang sama. Percepatan putaran akan berpengaruh pada pola lapisan yang terbentuk di atas substrat, karena percepatan putaran akan memberikan torsi pada gel. Efek torsi berkemungkinan akan menghasilkan bayang-bayang substrat pada gel.

D. Intensitas cahaya

Cahaya merupakan satu bagian jenis gelombang elektromagnetis yang terbang ke angkasa. Gelombang tersebut memiliki panjang dan frekuensi tertentu, dapat dibedakan dari energi cahaya lainnya dalam spektrum elektromagnetisnya. Cahaya dipancarkan sebagai partikel-partikel kecil yang disebut *foton*.

Cahaya yang dapat dilihat pada spektrum elektromagnetik, diberikan dalam Gambar 3, menyatakan gelombang yang sempit diantara cahaya *ultraviolet* (UV) dan energy inframerah (panas). Gelombang cahaya merangsang retina mata, yang menghasilkan sensasi penglihatan yang disebut pandangan. Oleh karena itu, penglihatan memerlukan mata yang berfungsi dan cahaya yang nampak.



Gambar 5. Radiasi yang Tampak (Biro Efisiensi Energi, 2005).

Efek fotolistrik adalah peristiwa terlepasnya elektron-elektron dari permukaan logam (disebut sebagai elektron foto) ketika logam tersebut disinari dengan cahaya. Rumus energy berdasarkan teori kuantum adalah

$$= h \quad (5)$$

Efek fotolistrik dipengaruhi oleh dua sifat penting dari gelombang cahaya yakni intensitas cahaya dan frekuensi. Permukaan sel surya membutuhkan frekuensi minimum tertentu yang disebut frekuensi ambang (f_0) untuk dapat menghasilkan elektrofoto. Energy kinetik maksimum electron foton bertambah jika frekuensi cahaya diperbesar (hasbullah,2008).

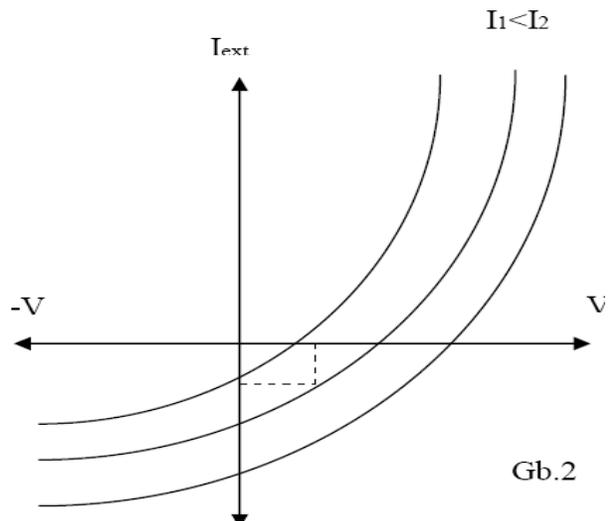
Sel surya p-n junction (sambungan p-n) disinari oleh cahaya yang memiliki energi photon lebih besar dari energi band gap material tersebut ,maka akan terbentuk pasangan elektron – hole. Jika sinar datang memiliki intensitas I dan frekuensinya f jatuh pada permukaan solar sel dengan sensitif area A , maka seluruh cahaya yang diserap oleh solar sel akan menghasilkan pasangan elektron –hole dengan efisiensi kuantum η . Jumlah pasangan elektron –hole yang dihasilkan didalam sel perdetik ialah:

$$n = \frac{\eta LA}{hf} \quad (6)$$

Pada kondisi tersebut solar sel bertindak sebagai sumber arus tetap (konstan) dengan besar arus photo dinyatakan oleh

$$i_f = ne = \frac{e\eta LA}{hf} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan tersebut arus photo berbanding lurus dengan intensitas radiasi sinar datang.



Gambar 6. kurva I V(sinaga,)

Daya maksimum akan dihasilkan oleh solar sel ketika perkalian $I_{ext} V$ adalah maksimum. Beban optimum ditentukan oleh titik (V_m, I_m) seperti ditunjukkan pada kurva karakteristik I-V dari solar sel sambungan p-n yang disinari oleh cahaya, seperti pada gambar 4. Adapun hubungan arus dan tegangan dapat dilihat pada persamaan (8) dimana:

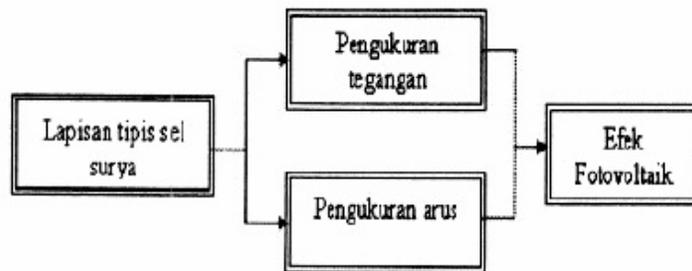
$$V = I.R \quad (8)$$

Hubungan tegangan dan arus sebanding dengan dikalikan hambatan pada sel surya tersebut.

E. Arus dan tegangan

Listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung digunakan atau disimpan lebih dahulu ke dalam baterai. Arus listrik yang dihasilkan adalah listrik dengan arus searah (DC) sebesar 3.5 A. Besar tegangan yang dihasilkan adalah 0.4-0.5V. Desain rangkaian panel-panel surya, secara seri atau paralel, untuk memperoleh output tegangan dan arus yang diinginkan. Untuk memperoleh arus bolak balik (AC) diperlukan alat tambahan yang disebut inverter.

Pengukuran arus dan tegangan sebagai uji kinerja lapisan tipis yang telah dibuat, dilakukan dengan mengukur tegangan dan arusnya sesuai alur kerja seperti



Gambar 7. Alur kerja kinerja lapisan tipis sel surya

Pengukuran arus dan tegangan fotovoltaiik dilakukan pada setiap sel surya. Di atas lapisan tipis sel surya, diberikan lapisan elektroda karbon yang digunakan untuk elektroda pembanding pada lapisan tipis sel surya. Gambar 7 menjelaskan alur kerja lapisan tipis sel surya dimana langkah pertama dari alur kerja tersebut dibuat lapisan tipis sel surya dengan metoda spin coating. Dilakukan pengukuran arus dan tegangan sel surya. Hasil dari pengukuran tersebut adalah efek fotovoltaiik yang memanfaatkan cahaya dari sinar foton.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Grafik UV-Vis terdapat puncak pada panjang gelombang 338.17 nm menandakan bahwa pigmen antocyanin yang ada pada kulit manggis dapat mengabsorpsi cahaya dengan panjang gelombang 338.17 nm yang masih dalam spektrum cahaya tampak.
2. Ketebalan lapisan TiO₂ akan meningkatkan jumlah dye yang dapat terserap. Besarnya kontak antara dye dengan cahaya yang datang akan meningkatkan arus foton yang dihasilkan sehingga performa sel juga meningkat. Ketebalan sel surya dengan bentuk karakterisasi SEM berkisaran (a) 67.8 μm (b) 66.1 μm (c) 63.0 μm dan (d) 59.6 μm .
3. Berdasarkan pengukuran nilai arus terbesar diperoleh 500 μA dan tegangan yang didapat 213 mV untuk sampel dengan ketebalan 66.1 μm .

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengalaman peneliti, maka peneliti menyarankan untuk:

1. Dalam pembuatan sel surya tersensitasi sebaiknya menggunakan dye yang mengandung getah alami, karna beberapa percobaan membuat dengan dye yang tidak mengandung getah menyebabkan lapisan tipis menjadi rontok. Sehingga mempersulit dalam pengambilan data.

2. Meneliti lebih lanjut sebaiknya dapat mengetahui penyebab kerontokan lapisan tipis yang dipengaruhi oleh dye yang tidak mengandung getah.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhilus, syamsir.2009.pengaruh hubungan seri-paralel pada rangkaian sel surya berwarna tersensitisasi (sspt) terhadap efisiensi konversi energy listrik.surabaya:ITB
- Eka Wulandari, Henni.2012. studi awal fabrikasi dye sensitized solar cell (DSSC) menggunakan ekstraksi bunga sepatu (*hibiscus rosa sinensis l*) sebagai dye sensitizer dengan variasi lama absorpsi dye. Institut Teknologi Sepuluh Nopember:surabaya
- Grätzel, M., dan R., Durrant, 2006, *Dye-Sensitized Mesoscopic Solar Cells*, chapter 8, 503-536.
- Hao, Sancun dkk. 2006. *Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell*. Journal of Solar Energy Vol 80, 209–214
- Hasbullah M.T.2009.Dasar konversi energi. Elecktrikal engineering dept energy conversion system. FPTK UPI
- Hilman, Catur dan Sa'diyah, Aminatus.2013. Analisis Pemanfaatan *Anthocyanin* Tumbuhan Tropis sebagai *Sensitizer* pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC).ITB
- Huang dkk, “*Preparation of a Novel Polymer Gel Electrolyte Gel based on N-methyl-quinoline Iodide and Its Application in Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell*”, J. Sol-Gel Sci, 2007.
- Jung,Hung Suk dkk.2005. *Natural dyes as photosensitizes for dye-sensitizer solar cell*. Journal of solar Energy. Vol 80,209-214.
- Maddu, Akhiruddin., Mahfuddin Zuhri, dan Irmansyah. 2007. *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye*. Bogor: Institut Pertanian Bogor. Jurnal Makara, Teknologi, Vol. 11, No. 2, 78-84
- Ningsih, Rachmawati. Karakterisasi Ekstrak Teh Hitam dan Tinta Cumi-cumi Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya Berbasis Pewarna Tersensitasi. UIN MALIKI: Malang
- Pancaningtyas, lidia & akhilus, syafsir. Peranan elektrolit pada performa sel surya tersensitizer. Surabaya: ITS keputih_sukolilo.
- Kuswanti,nur.2008. Contextual Teaching and Learning Ilmu Pengetahuan Alam.Jakarta: Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Rahmadhani, kholid. 2009. Pengaruh hubungan seri_paralel pada rangkaian sel surya berwarna tersensitizer (SSPT) terhadap efisiensi konversi energy listrik. surabaya: ITS-november.

- Ramdhani, Husein Slamet.2012.Pembuatan Sel Surya TiO₂ Tersensitisasi Dye Padat Dengan Elektrolit Polimer. Bogor: IPB
- Septina wilman.2007. Pembuatan prototype solar cell Murah dengan bahan organic ionganik(dye sensitized solar cell).ITB
- Smestad, G.P., dan Gratzel, M., 1998, “*Demonstrating electron Transfer and Nanotechnology : A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline energy Converter*”, J.Chem. Educ., 75, 752-756.
- Suhandi, Andi & Rusdiana, dadi.2010.PEMBUATAN SEL SURYA TIO₂ NANOKRISTAL BERBAHAN DASAR EOSIN Y SEBAGAI MATERIAL DYE. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sukma Widya Kumara, sukma. 2012. Studi awal fabrikasi dye sensitized solar cell (DSSC) dengan menggunakan ekstraksi daun bayam (*amaranthus hybridus l.*) sebagai dye sensitizer dengan variasi jarak sumber cahaya pada DSSC.Institut Teknologi Sepuluh Nopember:surabaya
- Sulisyanto, heri. Wiyono, edy.2008.ilmu pengetahuan alam. Jakarta: pendidikan nasional
- Sunarti, titin.2004. *usaha energy dan daya*. Jakarta: departement pendidikan nasional
- Wang Song, dkk, “*TiO₂ films prepared by micro-plasma oxidation method for dye-sensitized solar cell*”, *Eletochimia Acta* 53, 2007.
- WWW3.petra.ac.id/library/cari_bahan.php
- Zamrani R.A.2013.Pembuatan Dan Karakterisasi Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Kulit Buah Manggis Sebagai Dye Sensitizer Dengan Metode Doctor Blade. Institut Teknologi Sepuluh Nopember:Surabaya