

**PREPARASI *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) MENGGUNAKAN TiO_2
DENGAN EKSTRAK DAUN BAYAM MERAH (*Alternanthera
amoena*) SEBAGAI PEMBENTUK WARNA**

TUGAS AKHIR

untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana sains



Oleh

MAULIDIS

NIM. 84235

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2011**

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

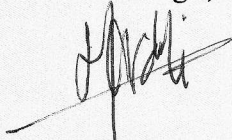
PREPARASI *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) MENGGUNAKAN TiO_2 DENGAN EKSTRAK DAUN BAYAM MERAH (*Alternanthera* *amoena*) SEBAGAI PEMBENTUK WARNA

Nama : Maulidis
NIM : 84235
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 04 Agustus 2011

Disetujui Oleh

Pembimbing I,



Dr. Hardeli, M.Si
NIP. 19640113 199103 1 001

Pembimbing II,



Dra. Hj Erda Sofjeni, M.Si
NIP. 19490816 197803 2 001

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Dengan ini dinyatakan bahwa :

Nama : Maulidis
NIM : 84235
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan judul:

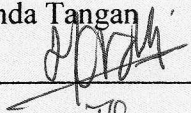
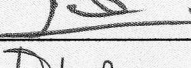
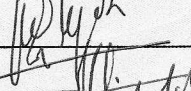
**Preparasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan TiO_2
Dengan Ekstrak Daun Bayam Merah (*Alternanthera
amoena*) Sebagai Pembentuk Warna**

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tugas Akhir
Program Studi Kimia Jurusan Kimia Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 04 Agustus 2011

Tim Penguji

Ketua : Dr. Hardeli, M.Si
Sekretaris : Dra. Hj Erda Sofjeni, M.Si
Anggota : Drs. Ali Amran, M.Pd, M.A, Ph.D
Anggota : Dra. Hj Irma Mon, M.Si
Anggota : Dra. Da'mah Agus

Tanda Tangan
: 
: 
: 
: 
: 

ABSTRAK

Maulidis (2011) : Preparasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan TiO_2 Dengan Ekstrak Daun Bayam Merah (*Alternanthera amoena*) Sebagai Pembentuk Warna

Dye-Sensitized Solar cell (DSSC) merupakan seperangkat sel surya yang berbasis fotoelektrokimia, yang melibatkan transfer muatan listrik dari suatu fasa ke fasa lain. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dye-sensitized solar cell dan mengetahui nilai konversi energi surya menjadi energi listrik serta nilai efisiensi yang dihasilkannya. Pada penelitian ini digunakan TiO_2 Degusa P-25 yang dilapiskan pada kaca konduktif melalui teknik sol-gel dan sebagai zat penyerap foton digunakan zat warna dari ekstrak daun bayam merah (*Alternanthera amoena*). Hasil karakterisasi dengan XRD pada serbuk TiO_2 menunjukkan puncak difraksi yang tinggi dan tajam. Karakterisasi pada substrat kaca yang telah dilapisi TiO_2 menggunakan SEM dan EDX. Dengan alat SEM terlihat TiO_2 dipermukaan kaca lebih merata. Dari EDX diperoleh zat yang dominan terdapat pada permukaan kaca adalah TiO_2 . Setelah dilakukan pengukuran menggunakan alat multimeter digital, sel surya dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan tegangan 349,8 mV dan arus listrik sebesar 0,87 mA untuk sel yang menggunakan elektrolit cair, efisiensi yang dihasilkan cukup baik yaitu 0,304 %, sedangkan untuk sel dengan elektrolit gel diperoleh tegangan sebesar 167,7 mV dan arus sebesar 0,0565 mA dengan efisiensi 0,01 % untuk area aktif seluas 1x1 cm .

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut asma Allah Yang maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Preparasi *dye-sensitized solar cell* (DSSC) menggunakan TiO_2 dengan ekstrak daun bayam merah (*alternanthera amoena*) sebagai pembentuk warna.”** Shalawat dan salam semoga selalu terlimpah curahkan bagi baginda Rasulullah Muhammad SAW, beserta segenap keluarga dan sahabatnya serta para pengikutnya yang setia hingga akhir zaman.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini terselesaikan dengan adanya bantuan moril maupun materil dari berbagai pihak, sehingga dengan hormat penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan waktu, bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dra. Hj Erda Sofjeni, M.Si selaku pembimbing II dan penasehat akademik yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, petunjuk dan bimbingan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Ali Amran, M.Pd, M.A, Ph.D, Ibu Dra. Hj Irma Mon, M.Si, dan Ibu Dra. Da'mah Agus selaku dosen penguji Tugas Akhir ini.
4. Bapak Drs. Zul Afkar, M.S dan Bapak Drs. Bahrizal, M.Si selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

5. Segenap Dosen serta karyawan dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
6. Rekan-rekan Mahasiswa jurusan Kimia FMIPA UNP atas dukungan dan do'anya, serta pihak lain yang telah membantu selama penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan andil dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah khazanah Ilmu Pengetahuan.

Padang, Juli 2011

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah	3
C. Pembatasan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).....	5
1. Gambaran Umum DSSC	5
2. Prinsip Kerja	6
3. Komponen-komponen DSSC.....	9
4. Perakitan DSSC.....	11
B. Titanium Dioksida (TiO ₂)	12
C. Zat Pembentuk Warna dari Bayam Merah.....	16
D. Karakterisasi Fotokatalis TiO ₂	18

1. XRD (Difraksi Sinar-X).....	18
2. SEM (Scanning Electron Microscope).....	19
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	21
B. Sampel Penelitian.....	21
C. Rancangan Penelitian	21
D. Alat dan Bahan	22
E. Prosedur Penelitian.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakterisasi Komponen DSSC.....	27
1. Analisa Hasil Karakterisasi XRD.....	27
2. Analisis Hasil Karakterisasi SEM-EDX.....	30
B. Analisis Data Hasil Pengukuran Sel Surya.....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	38
B. Saran	38
DAFTAR PUSTAKA.....	39
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rancangan Penelitian	22
2. Perbandingan Nilai $d(A)$ Dari Hasil Pengukuran dan Kartu Interpretasi Data Kristal Sintesis TiO_2	28
3. Persentase Unsur Dan Senyawa Yang Terkandung Dalam Lapisan TiO_2	32
4. Hasil Pengukuran Tegangan	34
5. Hasil Pengukuran Arus	35
6. Parameter DSSC	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Dye-sensitized Solar Cell.....	5
2. Skema Kerja dari DSSC.....	6
3. Skema dari Dua Struktur Umum sel DSSC (a) Struktur <i>Sandwich</i> , (b) Struktur Monolithic DSSC.....	12
4. Posisi energi celah pita beberapa semikonduktor dalam larutan pada pH=1.....	13
5. Skema proses fotoeksitasi dan deeksitasi.....	14
6. Struktur sianidin.....	16
7. Adsorpsi senyawa sianidin pada permukaan TiO ₂	17
8. Difraksi sinar X.....	19
9. Pola Difraksi TiO ₂ P-25 Degusa	27
10. Hasil Karakterisasi SEM tampak atas pada pembesaran (a) 4.000 dan (b) 40.000 kali.....	30
11. Hasil Karakterisasi SEM tampak samping dimana arah sinar-X horizontal terhadap lapisan tipis film TiO ₂	31
12. Analisis EDX	32
13. Arus tertinggi dihasilkan sebesar 0,87 mA	33
14. Kurva perbandingan lama perendaman dalam larutan ekstrak daun bayam merah dengan tegangan (mV)	34

15. Kurva perbandingan lama perendaman dalam larutan ekstrak daun bayam merah dengan Arus (mA).....	35
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alur Tahapan Preparasi DSSC.....	41
2. Skema Kerja Preparasi Komponen-komponen DSSC.....	42
3. Perakitan DSSC.....	44
4. Tabel Puncak Difraktogram Lapis Tipis TiO_2 P.25 Deggusa dan Perhitungan Ukuran Kristal TiO_2	45
5. Tabel interpretasi Data Kristal TiO_2	46
6. Perbandingan Nilai $d(A)$ Dari Hasil Pengukuran dan Kartu Interpretasi Data	48
7. Gambar Hasil Karakterisasi SEM.....	49
8. Hasil Karakterisasi EDX.....	50
9. Gambar-gambar Hasil Pengukuran.....	51
10. Tabel Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Terhadap Lama Perendaman Dalam Larutan Ekstrak Daun Bayam Merah.....	55
11. Perhitungan Nilai Efisiensi Maksimum Konversi Cahaya Matahari Menjadi Energi Listrik.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi mempunyai peranan penting dalam setiap segi kehidupan manusia. Penyediaan energi saat ini masih bergantung pada minyak, gas bumi dan berbagai sumber bahan bakar fosil lainnya. Dengan semakin menipisnya cadangan energi fosil ini, negara-negara didunia sedang berlomba-lomba mengembangkan energi alternatif yang dapat diperbaharui. Dari sekian banyak sumber energi yang dapat diperbaharui seperti angin, biomassa dan *hydro power*, penggunaan energi melalui sel surya (*solar cell*) merupakan alternatif yang cukup menjanjikan (Suherdiana, 2008).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. DSSC muncul seiring dengan perkembangan nanoteknologi yang beberapa tahun ke depan akan menjadi sangat penting bagi kehidupan manusia. Sel surya ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan dikenal sebagai Gratzel Cells. Efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi sel surya silikon yang dapat mencapai 17-25% (Helme, 2002). Namun demikian pembuatan sel surya silikon masih tidak ramah lingkungan dan proses perakitannya yang tidak sederhana menjadi suatu kendala (Septina, 2007). Di samping itu, sel surya konvensional jenis silikon ini memiliki keterbatasan suplai bahan baku silikonnya. Ini dapat dipahami karena harga silikon meningkat seiring dengan permintaan industri semikonduktor.

Pada DSSC terjadi proses absorpsi cahaya oleh molekul zat warna, Molekul zat warna yang menyerap cahaya matahari tersebut akan mengalami eksitasi elektron. Elektron yang tereksitasi tersebut langsung terinjeksi menuju semikonduktor nanokristal anorganik yang mempunyai *band-gap* yang lebar. Salah satu semikonduktor anorganik yang mempunyai *band-gap* lebar serta sering digunakan adalah Titanium dioksida (TiO_2) (Gratzel, 2003). Hal ini dikarenakan TiO_2 relatif mudah, inert, dan juga tidak beracun. Sehingga lebih aman digunakan dalam aplikasinya.

Berbagai optimasi juga telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sel surya tersensititasi zat warna, baik efisiensi konversi maupun penggunaan elektrolit yang sesuai. Elektrolit yang sering digunakan dalam desain sel surya berupa elektrolit cair. Sehingga perlu dilakukan perbandingan penggunaan elektrolit ini dengan elektrolit lain yaitu elektrolit gel polimer yang berisi larutan iodide/triiodida (I^-/I_3^-) (Maddu, 2007)

Karakteristik lain juga dibutuhkan yaitu penggunaan zat pembentuk warna yang mampu menyerap spektrum cahaya lebar dan cocok dengan pita energi TiO_2 sebesar 3,2 eV (Septina, 2007). Sejauh ini, pewarna yang digunakan sebagai sensitizer dapat berupa pewarna sintetis maupun pewarna alami. Pewarna sintetis umumnya menggunakan organologam berbasis *Ruthenium kompleks*, DSSC komersial ini telah mencapai efisiensi 10%, namun ketersediaan dan harganya yang mahal membuat adanya alternatif lain pengganti pewarna jenis ini yaitu pewarna alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah.

Beberapa penelitian terdahulu, telah menggunakan pewarna alami sebagai sensitizer. Linda (2010) telah memanfaatkan kulit manggis sebagai pewarna dengan efisiensi 0,091 %. dan Ridwan (2010) dengan pewarna dari ubi jalar ungu memperoleh efisiensi 0,11 %. Dari beberapa pewarna tersebut belum menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi sehingga perlu dicari sumber pewarna lain yang dapat meningkatkan efisiensi performansi DSSC.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan ekstrak daun bayam merah (*Alternanthera amoena*) sebagai pembentuk warna. Bayam merah merupakan salah satu bahan organik yang bisa digunakan sebagai zat pembentuk warna dalam DSSC karena mengandung senyawa antosianin. Kandungan antosianin dalam bayam merah bervariasi antara 0,05-0,4 mg/gram (Khandaker, 2010). Antosianin yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak daun, buah dan bunga (Suherdiana, 2008). Bayam merah dapat diperoleh di banyak tempat, sehingga mudah mendapatkannya dalam jumlah banyak.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Berapakah efisiensi dari DSSC berbasis semikonduktor anorganik TiO_2 dengan memanfaatkan ekstrak bayam merah sebagai sumber warna dan bagaimana hasil perbandingan elektrolit cair dan elektrolit gel dalam desain DSSC?”

C. Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang diangkat dibatasi pada beberapa aspek yaitu,

1. Perendaman sel dalam larutan ekstrak zat warna dilakukan selama 12, 24 dan 36 jam.
2. TiO_2 yang digunakan jenis P-25 Degussa
3. Elektrolit gel yang digunakan polimer PEG BM 2000 yang berisi larutan iodide/triiodida (I^-/I_3^-).
4. Ukuran DSSC yang dibuat adalah 1,2 x 1,4 cm.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan,

1. Pembuatan DSSC menggunakan ekstrak daun bayam merah sebagai pembentuk warna
2. Mengetahui jumlah arus listrik dan tegangan yang dihasilkan DSSC
3. Membandingkan efisiensi antara elektrolit cair dan elektrolit gel dalam desain DSSC.

E. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi sumbangan bagi ilmu pengetahuan terutama ilmu Fotokatalis untuk menemukan metode pemanfaatan energi alternatif dengan cara yang ramah lingkungan.

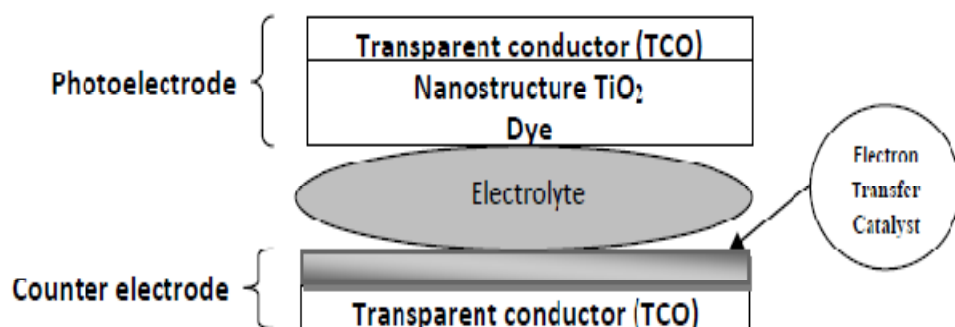
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

1. Gambaran Umum DSSC

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia, sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. 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, seperti terlihat pada Gambar 1.



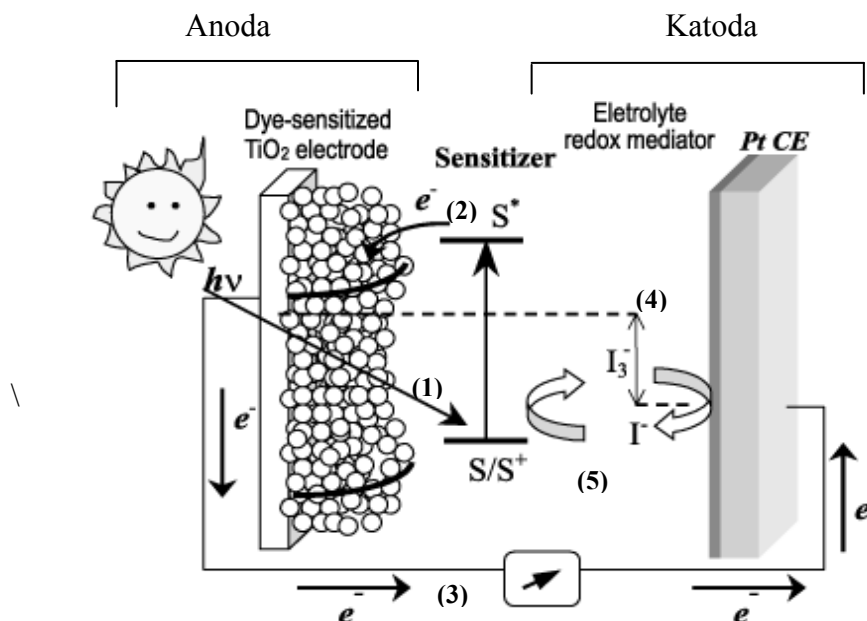
Gambar 1. Struktur Dye-sensitized Solar Cell (Byranvand, 2010)

Pada bagian atas dan alas sel surya merupakan glass yang sudah dilapisi oleh TCO (Transparent Conducting Oxide) biasanya SnO_2 , yang

berfungsi sebagai elektroda dan counter-elektroda. Pada TCO counter-elektroda dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I^-/I_3^- (iodida/triiodida). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori TiO_2 yang mana *dye* teradsorpsi di pori TiO_2 . Salah satu keuntungan utama teknologi DSSC dibandingkan dengan teknologi sel surya lain yaitu proses perakitannya yang relatif sederhana, dan peralatan fasilitas yang dibutuhkan relatif mudah dan murah.

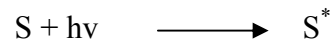
2. Prinsip kerja Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron yang di lihatkan pada Gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Skema Kerja dari DSSC (Longo, 2003)

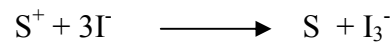
Prinsip kerja DSSC ini dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton **(1)**. Elektron tereksitasi dari *ground state* (S) ke *excited state* (S^{*}).



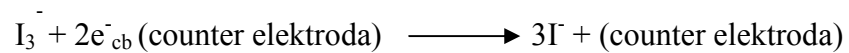
Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi **(2)** menuju *conduction band* (e_{cb}) TiO₂ sehingga molekul *dye* teroksidasi (S⁺).



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 **(3)**. Dengan adanya katalis pada *counter-elektroda*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I₃⁻), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berkombinasi dengan elektron membentuk iodida (I⁻) **(4)**.



Dengan kata lain, I₃⁻ Dihasilkan pada elektroda TiO₂ dan digunakan pada *counter electrode*, dengan demikian penyebarannya pada elektrolit saling berhubungan.. Demikian pula, I⁻ dihasilkan pada *counter-elektroda* dan disebarkan ke arah yang berlawanan dalam elektrolit. Iodida (I⁻) ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi **(5)**,

sehingga terbentuk suatu siklus transport electron (Helme, 2002). Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

Efisiensi

Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik pada DSSC merupakan daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC. Konversi energi matahari menjadi energi listrik menghasilkan arus listrik dan tegangan. Nilai arus listrik dan tegangan ini dapat diukur dengan menggunakan suatu alat yang disebut multimeter digital. Sedangkan besarnya efisiensi sel surya yang dihasilkan dapat dihitung menurut hubungan:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\%$$

P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan. P_{in} dapat bersumber dari matahari dengan intensitas sekitar 1000 W/m^2 atau 100 mW/cm^2 . Daya maksimum diberikan oleh hubungan:

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max}$$

Dengan V_{max} adalah tegangan maksimum yang dihasilkan sel surya dan I_{max} merupakan arus maksimum yang dihasilkan (Septina, 2007). Dari nilai η yang dihasilkan inilah kita bisa mengetahui bagus atau tidaknya konversi energi yang dihasilkan sehingga bisa dijadikan sebagai solusi energi alternatif.

3. Komponen-komponen DSSC

Substrat

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir. Material yang umumnya digunakan yaitu flourine-doped tin oxide ($\text{SnO}_2\text{:F}$ atau FTO) dan indium tin oxide ($\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$ atau ITO). Kedua material ini merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami kerusakan (*defect*) pada suhu tinggi (Helme, 2002), yang diperlukan pada proses pelapisan TiO_2 kepada substrat, diperlukan proses *sintering* pada temperatur 450-500 °C.

TiO₂

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya terhadap fotokorosi. Selain itu lebar pita energinya yang besar ($> 3\text{eV}$), dibutuhkan dalam DSSC untuk mengadsorbsi sebagian besar spektrum cahaya matahari (Sastrawan, 2006). Untuk aplikasinya pada DSSC, TiO_2 yang digunakan umumnya berfasa anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi.

Zat pembentuk warna

Fungsi absorpsi cahaya dilakukan oleh pewarna yang teradsorpsi pada permukaan TiO_2 . pewarna yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis ruthenium kompleks. Namun pewarna jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan ruthenium kompleks komersil

berharga mahal (Helme, 2002). Alternatif lain yaitu penggunaan pewarna dari buah-buahan dan daun-daunan, khususnya pewarna dari antosianin.

Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari pasangan redoks dalam pelarut yaitu I^- dengan I_3^- . Menurut Helme (2002) 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 spektral 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.

Berbagai optimasi telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sel surya tersensitisasi zat warna, baik efisiensi konversi maupun stabilitasnya. Oleh karena itu para peneliti telah mengembangkan elektrolit padat untuk mencegah terjadinya degradasi atau bocor, diantara elektrolit padat yang dapat digunakan adalah elektrolit gel polimer yang mengandung kopel redoks (Maddu, 2007), yaitu elektrolit gel berbasis PEG (polietilen glikol). Dalam hal ini PEG berfungsi sebagai media penyebaran pasangan redoks I^- dan I_3^- . Poli etilen glikol (PEG) merupakan polimer dari etilen oksida dan air. Pemberian nomor menunjukkan berat molekul rata-rata dari masing-masing polimer. Polietilen glikol yang memiliki berat rata-rata 200, 400,

dan 600 berupa cairan bening tidak berwarna dan yang memiliki berat molekul rata-rata lebih dari 1000 berupa lilin putih dan padat (Gustyan,2009), kepadatannya bertambah dengan bertambahnya berat molekul dari PEG.

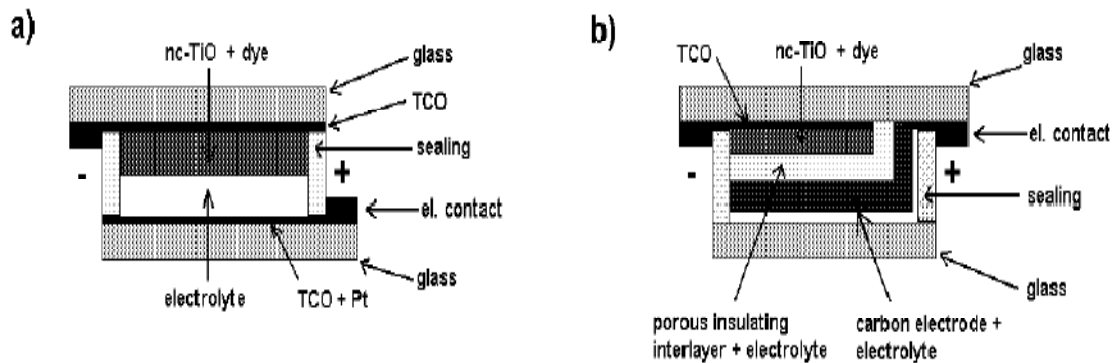
Katalis Counter-Elektroda

Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodida pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay dan Gratzel mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter-elektroda* karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter-elektroda* karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodida yang menyerupai elektroda platina (Helme, 2002).

4. Perakitan DSSC

Perakitan DSSC yang paling umum dilakukan di laboratorium adalah dengan menggabungkan dua kaca TCO dengan lapisan yang berbeda membentuk struktur *sandwich*, yaitu elektroda kerja dan counter-elektroda yang dilapisi katalis. Kay dan Gratzel mengembangkan tiga lapisan struktur sel *monolithic* untuk mengadaptasi proses produksi sel surya lapisan tipis sehingga lebih mudah mencapai tahap komersialisasi. Pada struktur *monolithic*, semua lapisan dari sel dideposisikan masing-

masing pada satu kaca yang dilapisi TCO, sedangkan satu kaca lain yang berlawanan berfungsi sebagai pelindung dan elektroda lawan.



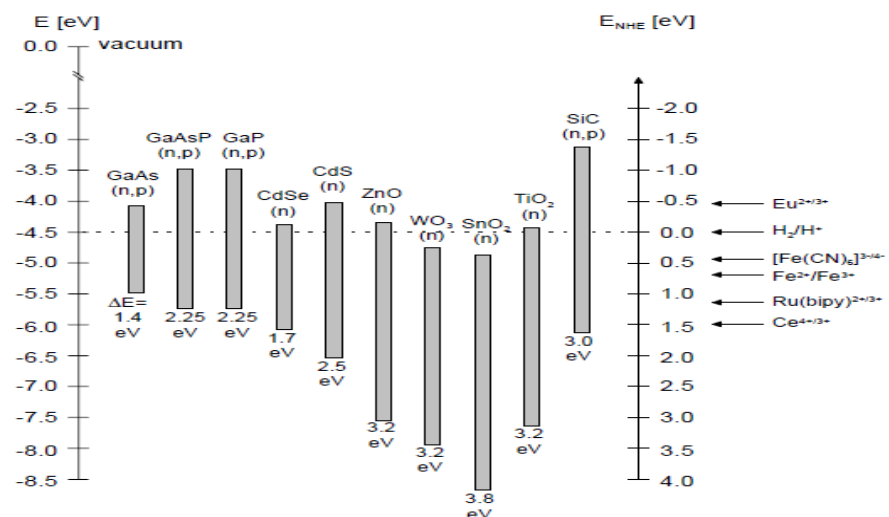
Gambar 3. Skema dari Dua Struktur Umum sel DSSC (a) Struktur *Sandwich*, (b) Struktur Monolithic DSSC (Helme, 2002)

B. Titanium Dioksida (TiO₂)

Bahan semikonduktor memiliki daerah energi kosong (void energy region), pada daerah tersebut tidak tersedia tingkat-tingkat energi untuk rekombinasi energi kosong tersebut. Daerah kosong tersebut memanjang dari puncak pita valensi terisi (*filled valency band*) hingga dasar pita konduksi kosong (*vacant conduction band*) disebut celah pita (*band gap*) (Linsebigler, 1995). Celah pita tersebut menentukan sensitifitas panjang gelombang dari semikonduktor yang bersangkutan terhadap radiasi.

Banyak semikonduktor logam oksida dan sulfida yang memiliki energi celah yang cukup untuk mengkatalisis reaksi kimia, seperti TiO₂ ($E_g = 3,2 \text{ eV}$), CdS ($E_g = 2,5 \text{ eV}$), ZnS ($E_g = 3,6 \text{ eV}$), SrTiO₃ ($E_g = 2,0 \text{ eV}$) dan lain-lain. Hampir semua material yang terdapat pada Gambar 4 dapat digunakan sebagai semikonduktor. Namun beberapa material tersebut kurang cocok digunakan sebagai katalis karena sifatnya yang kurang menguntungkan.

Semikonduktor logam sulfida bersifat tidak stabil dan mudah mengalami korosi. Besi oksida memiliki energi celah yang besar dan dapat mengalami korosi. Seng oksida tidak stabil secara kimia karena mudah larut dalam air membentuk Zn(OH)_2 pada permukaan partikel, sehingga pemakaian dalam waktu lama menyebabkan inaktivasi katalis. Semikonduktor TiO_2 merupakan katalis yang paling sesuai untuk proses fotokatalitik karena TiO_2 bersifat inert secara biologi, stabil terhadap fotokorosi dan korosi kimia dan harganya relatif murah (Linsebigler, 1995), sehingga cocok penggunaannya dalam aplikasi DSSC.

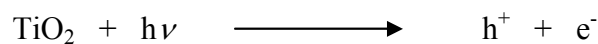


Gambar 4. Posisi energi celah pita beberapa semikonduktor dalam larutan pada pH=1 (Gnaser, 2004)

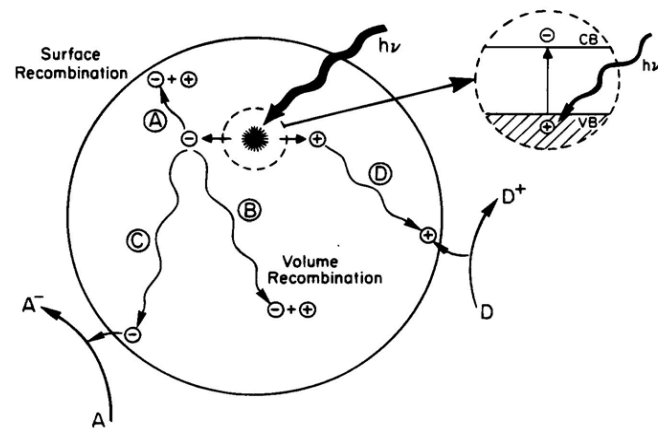
Di alam umumnya TiO_2 mempunyai tiga fasa yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*. TiO_2 dengan struktur *anatase* memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi dibandingkan *rutile* dilihat dari strukturnya, ion oksigen pada struktur *rutile* membentuk suatu heksagonal terjejal (hcp) dengan ketiga sudut Ti-O-Ti membentuk sudut 120° , sedangkan pada struktur *anatase* terbentuk

sudut 180^0 dan dua sudut 90^0 (Ismunandar, 2006). Dengan demikian, struktur *anatase* memiliki luas permukaan yang lebih besar dari pada *rutil*.

Fotokatalisis TiO_2 telah banyak dipakai untuk mengatasi masalah-masalah lingkungan seperti detoksifikasi udara dan air. Sebagai semikonduktor, TiO_2 mempunyai celah pita (*band gap*) sebesar 3,2 eV yang bila disinari dengan sinar UV berenergi $> 3,2$ eV atau pada panjang gelombang < 388 nm akan menghasilkan pasangan elektron (e^-) dan hole (h^+) (Linsebigler, 1995), seperti pada persamaan berikut:



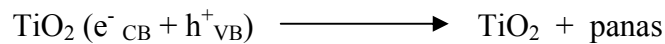
Mekanisme terbentuknya pasangan elektron-hole pada partikel semikonduktor TiO_2 dapat diilustrasikan seperti Gambar 5 di bawah ini.



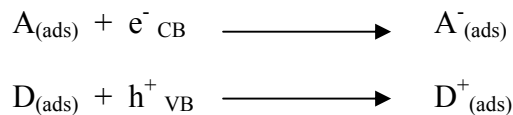
Gambar 5. Skema proses fotoeksitasi dan deeksitasi (Linsebigler, 1995)

Bila partikel TiO_2 disinari UV, maka elektron pada pita valensi (*valence band*, *VB*) akan mengadsorpsi sinar tersebut dengan energi $\geq$ band gap TiO_2 . Energi tersebut digunakan untuk berpindah ke pita konduksi (*conduction band*, *CB*) dan meninggalkan hole positif pada VB. Pasangan elektron-hole yang terbentuk sebagian berekombinasi di dalam partikel (jalur B), sebagian

lagi berekombinasi di permukaan partikel (jalur A), dan sebagian lagi sampai ke permukaan partikel tanpa mengalami rekombinasi. Reaksi rekombinasi pasangan e^- / h^+ dapat dilihat pada persamaan berikut ini (Linsebigler, 1995).



Elektron yang sampai ke permukaan partikel (jalur C) akan mendominasi dirinya kepada molekul teradsorpsi di permukaan (molekul yang teradsorpsi), sedangkan hole yang sampai ke permukaan (jalur D) akan menarik elektron dari molekul yang ada di permukaan partikel (mengoksidasi molekul tersebut).



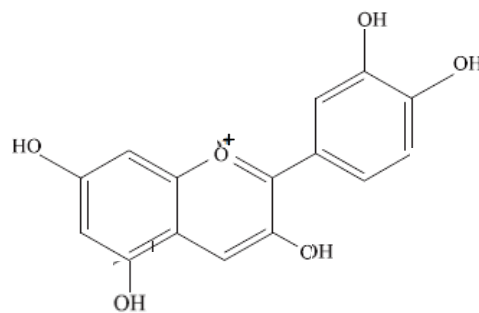
Semikonduktor TiO_2 merupakan semikonduktor yang paling sesuai untuk aplikasi lingkungan secara luas. Menurut Hoffman dalam Septina (2007) keunggulan TiO_2 dibandingkan fotokatalis semikonduktor lainnya adalah sebagai berikut,

- Mempunyai celah pita (band gap) yang besar (3,2 eV untuk anatase dan 3,0 eV untuk rutile), sehingga memungkinkan banyak terjadinya eksitasi elektron ke pita konduksi dan pembentukan hole pada pita valensi saat diinduksi cahaya UV.
- TiO_2 mempunyai sifat stabil terhadap cahaya (fotostabil)
- Mampu menyerap sinar UV dengan baik.
- Bersifat inert dalam reaksi.
- Tidak beracun dan tidak larut dalam kondisi eksperimen.
- Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, termasuk zat organik yang sulit terurai seperti haloaromatik, polimer, herbisida dan pestisida.
- Konsumsi energi yang rendah sehingga biaya yang diperlukan juga rendah.

C. Zat Pembentuk Warna dari Bayam Merah

Sumber zat pembentuk warna dalam desain sel surya *dye*-Sensitized solar cell (DSSC) berperan sebagai pompa elektron. Zat pembentuk warna identik dengan adanya gugus yang menghasilkan warna yang disebut sebagai kromofor. Pewarna yang digunakan adalah yang mengandung gugus kromofor terkonyugasi sehingga memungkinkan terjadinya transfer elektron.

Antosianin merupakan pewarna yang paling penting dan tersebar dalam tumbuhan, pigmen yang berwarna kuat dan larut dalam air adalah penyebab hampir semua warna merah, oranye, ungu, dan biru dalam bunga, daun dan buah pada tumbuhan (Harborne, 1987). Secara kimia semua antosianin merupakan turunan suatu struktur aromatik tunggal, yaitu sianidin yang semuanya terbentuk dari pigmen sianidin ini dengan penambahan atau pengurangan gugus hidroksil atau dengan metilasi atau glikosilasi. Struktur kimia sianidin ditunjukkan pada Gambar 6.

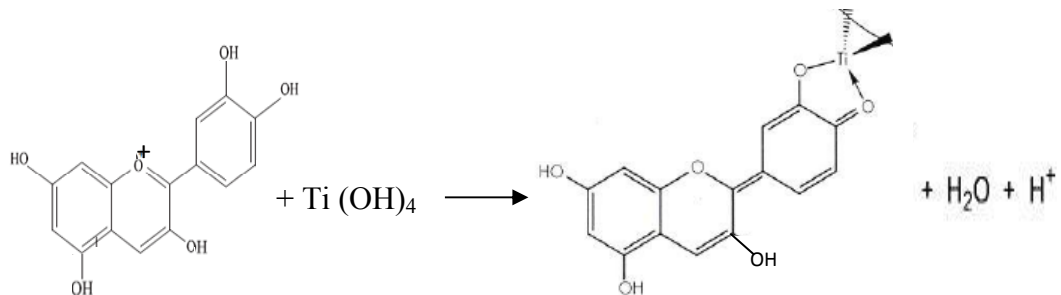


Gambar 6. Struktur sianidin (Harborne, 1987)

Dari struktur diatas dapat diketahui bahwa pigmen antosianin memiliki cukup banyak ikatan π terkonyugasi. Ikatan π ini berguna untuk menangkap

foton dari cahaya matahari yang mengenai sampel. Daerah yang paling berguna dari spektrum UV adalah daerah dengan panjang gelombang di atas 200 nm yaitu daerah transisi π ke π^* untuk senyawa dengan ikatan rangkap terkonjugasi serta beberapa transisi n ke σ^* dan n ke π^* (Fessenden, 1990).

Saat molekul antosianin ini berinteraksi dengan TiO_2 terjadi adsorpsi sianidin ke permukaan TiO_2 , menggantikan OH^- dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup sianidin (Septina, 2007), seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Adsorpsi senyawa sianidin pada permukaan TiO_2 (Septina, 2007)

Menurut Hidayat dalam Ikasari (2005) “Bayam merah mengandung antosianin jenis pelargonidin dan sianidin yang merupakan potensi untuk dapat dikembangkan sebagai pewarna alami”. Kandungan antosianin yang terdapat dalam bayam merah bervariasi antara 0,05-0,4 mg/gram (Khandaker, 2010). Warna merah dari bayam tersebut menunjukkan bahwa pada bayam merah mengandung pigmen, yang dapat digunakan sebagai pewarna alami pengganti pewarna sintetik. Dengan demikian, bayam merah dapat digunakan sebagai sumber pembentuk warna yang akan mengkonversi energi surya menjadi energi listrik.

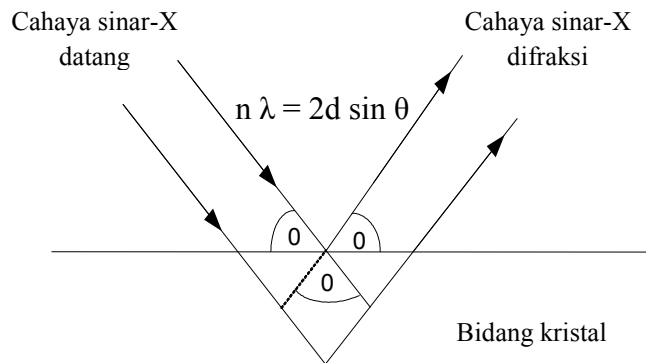
D. Karakterisasi Fotokatalis TiO₂

Karakterisasi katalis dilakukan untuk mengetahui data spesifik dari katalis TiO₂ yang terbentuk. Karakterisasi yang dilakukan pada semikonduktor ini adalah XRD dan SEM-EDAX. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui struktur kristal, ketebalan, morfologi permukaan, komposisi unsur, dan keaktifan DSSC.

1. XRD (Difraksi Sinar X)

Sinar X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895, di Universitas Wurtzburg, Jerman. Karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar-X. Sibilia (1988) menyatakan bahwa "Difraktometer sinar-X adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk melihat difraktogram (pola difraksi sinar-X) suatu padatan kristal yang bila diberi sinar-X".

Suatu kristal memiliki bidang yang dibentuk oleh atom-atom yang tertata secara teratur. Sinar-X yang mengenai bidang tersebut didifraksikan dengan sudut tertentu akan memiliki jarak antar bidang tertentu (d) dan sudut difraksi tertentu (2θ). Hubungan antar panjang gelombang sinar-X (λ) pada bidang kristal dengan jarak antar bidang (d) dan sudut difraksi (θ), tingkat difraksi (n), proses yang terjadi dijelaskan oleh Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Difraksi sinar X (West, 1989)

The Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) telah mempublikasikan pola difraksi bubuk lebih kurang 50.000 senyawa. Senyawa yang tidak dikenal diidentifikasi dengan membandingkan jarak interplanar dan intensitas pola bubuk untuk pola dalam file difraksi bubuk. Jika data fluorescence sinar X yang mendeskripsikan komposisi unsur ditambahkan, jumlah pola bisa direduksi. Pencarian sistematis dengan komputer biasanya berperan untuk identifikasi selama satu jam.

Selanjutnya untuk mengidentifikasi senyawa dalam bentuk bubuk, analisa pola difraksi juga bisa digunakan untuk menentukan ukuran kristal, derajat kristalinitas dari materi yang dipadatkan secara cepat, komposisi fasa daerah permukaan transformasi keramik yang dikuatkan dan penggabungan parameter lainnya dengan materi kristalin (West, 1989).

2. SEM (Scanning Electron Microscope)

Sibilia (1988) mengungkapkan bahwa “SEM digunakan untuk menyelidiki atau mengungkapkan topografi benda padat”. Alat ini jauh lebih unggul dari pada mikroskopi transmisi elektron atau optikal. Resolusi dari SEM ini adalah 3 nm, kira-kira dua kali lebih besar daripada

mikroskop optikal dan satukali lebih kecil daripada mikroskop transmisi elektron sehingga SEM memiliki perbedaan antara dua teknik lainnya.

Prinsip dari SEM ini ialah elektron mengisi areal kosong yang difokuskan dengan lensa elektromagnetik pada permukaan bahan. Spesies disinkronkan dengan tabung sinar katoda yang ditunjukkan atau ditampilkan pada layar, ketidakelastisan emisi elektron terpencar-pencar dari permukaan sampel dan bersatu dengan gemerlapan dari signal yang digunakan untuk mengatur kecemerlangan dari tabung sinar katoda. Kamera memberikan catatan *image* yang akan ditampilkan pada layar skematik (bagan) dari SEM. Aplikasi dari SEM ini digunakan untuk mempelajari fiber (serat) materi, keramik, campuran, logam, katalis, polimer dan materi biologi (Sibilia, 1988).

Untuk mengenali jenis atom dipermukaan yang mengandung multi atom para peneliti telah menggunakan teknik EDX (Energy Dispersive X-ray). Sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini, namun tidak semua SEM punya fitur ini. EDX dihasilkan dari Sinar X karakteristik, yaitu dengan menembakkan sinar X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. EDX (<http://www.unm.edu>).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan preparasi *dye-sensitized solar cell* (*DSSC*) dengan menggunakan ekstrak daun bayam merah sebagai pembentuk warna.
2. Arus dan tegangan tertinggi yang dihasilkan *DSSC* untuk sel dengan elektrolit cair adalah 0,87 mA dan 349,8 mV. Sedangkan sel dengan elektrolit gel adalah 56,5 μ A dan 167,7 mV.
3. Efisiensi konversi tertinggi energi matahari menjadi energi listrik yang dihasilkan oleh *DSSC* dengan menggunakan ekstrak daun bayam merah sebagai pembentuk warna untuk sel dengan elektrolit cair adalah sebesar 0,304 % sedangkan sel dengan elektrolit gel lebih rendah sebesar 0,01 %.

B. Saran.

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penggunaan zat warna antosianin yang lebih murni.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menentukan waktu optimum perendaman sel dalam larutan zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Byranvand, M, Bazargan, M.H, and Kharat, N. (2010). “*Performance Variation Of Nanostructure Dye Sensitized Solar Cells With Sputtered Gold And Sprayed Graphite Counter Electrodes*”. Vol. 5, pages 587-592
- Fessenden & Fessenden. (1990). (Aloysius Hadyana Pudjaatmaka:penterjemah). ”*Kimia Organik*”. Jakarta: Erlangga
- Fujishima, A., Hashimoto, and T. Watanabe. (1999). *TiO₂ Photocatalysis Fundamentals and Applications*, BKC, Inc. Japan.
- Gnaser, Hubert. Bernd H. and Christian Z. (2004). “*Nanocrystalline TiO₂ for Photocatalysis*”. Universitas Kaiserslautern : Germany. Vol 6: Pages 505–535
- Gratzel, Michael. (2003). “*Dye-Sensitized Solar Cells*”, journal of Photochemistry and Photobiology. Vol.4, 145-153.
- Gustyawan, Iwan. (2009). “*Formulasi Sediaan Salep Minyak Atsiri Daun Jeruk Nipis (citrus aurantifolia (crism & panz) swingle) Dengan Basis Polietilen Glikol 400 dan Polietilen Glikol 4000 Sebagai Anti Jerawat*”. Skripsi. Fakultas Farmasi. Surakarta. Diakses tanggal 8 Desember 2010.
- Helme, Janne. (2002). ”*Dye Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : technical review and preliminary tests*”. Master Thesis of Helsinki University of Technology.
- Harborne, J.B. (1987). (Kosasih Padmawinata: penterjemah) “*Metode Fitokimia, penuntun cara modern menganalisis tumbuhan*”. Bandung: penerbit ITB.
- Ikasari, Ninin. (2005). “*Ekstraksi Pewarna Alami Dari Bayam Merah (Alternanthera amoena Bac.) (Kajian Penggunaan Jenis Asam Dan Suhu Ekstraksi) Serta Aplikasinya Pada Yoghurt*”. Skripsi. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Ismunandar. (2006). “*Padatan Oksida Logam : Struktur, Sintesis, dan Sifat-sifatnya*”. Bandung: Penerbi ITB.
- Khandaker, Laila. Et. Al. (2010). “*Anthocyanin, Total Polyphenols and Antioxidant Activity of Common Bean*”. American Journal Of Food Technology.
- Linda, Aprlia P. (2010). “*Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Antosianin Kulit Manggis Sebagai Dye-Sensitizer Terhadap Efisiensi Sel Surya Jenis DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell)*”. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.