

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN PENGUATAN KOMPETENSI**

**Pembuatan Prototipe Dye sensitized solar Cell Berbasis  
Semikonduktor Nanopori TiO<sub>2</sub>**



Oleh:  
**Drs. Yuyu R. Tayubi, M.Si**  
**Dr. Lilik Hasanah**  
**Ahmad Aminudin, M.Si**

Dibiayai oleh Dana UTU Perguruan Tinggi Universitas Pendidikan Indonesia,  
Sesuai dengan surat Rektor Universitas Pendidikan Indonesia Nomor:  
2773/UN40/PL/2011, Tanggal 28 April 2011

**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA**  
**FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU**  
**PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154

No. Telp. Kantor (022)2004548

November, 2011

**LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN AKHIR  
PROGRAM PENELITIAN PENGUATAN KOMPETENSI**

Judul Penelitian : Pembuatan Prototipe Dye sensitized solar Cell  
Berdasarkan Semikonduktor Nanopori TiO<sub>2</sub>  
Nama Ketua Peneliti : Drs. Yuyu R. Tayubi, M.Si  
NIP. : 132689853  
Pangkat/Gol./Jabatan : Pembina/ IV a/ Lektor Kepala  
Jurusan/Fakultas : Fisika/ FPMIPA  
Alamat Rumah : Perumahan Gening Mas No.21 Ujung Berung  
Bandung  
Telepon/HP/Faksimile/e-mail : 02270071759  
Nama Anggota Peneliti (jika ada) :

No.	Nama dan Gelar	Bidang keahlian	Instansi Jurusan/Fakultas/Asal PT
1.	Dr. Lilik Hasanah	Fisika Komputasi	Fisika/FPMIPA/UPI
2.	Ahmad Aminudin, Msi	Fisika Instrumentasi	Fisika/FPMIPA/UPI

Jangka Waktu Penelitian : 1 tahun  
Total Biaya yang dibutuhkan : Rp. 25.000.000,-

Bandung, 24 November 2011

**Mengetahui,  
Dekan FPMIPA UPI**

**Ketua Peneliti,**

**Dr. Asep Kadarohman, M.Si.**  
NIP. 196305091987031002

**Drs. Yuyu R. Tayubi, M. Si.**  
NIP. 132689853

**Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat**

**Prof. Dr.Sumarto, MSIE**  
NIP. 195507051981031005

## ABSTRAK

Salah satu piranti elektronik yang dapat mengubah secara langsung energi radiasi matahari menjadi energi listrik adalah sel surya. Sel surya merupakan sumber energi yang tak akan pernah habis, selama matahari memancarkan sinarnya ke bumi. Diperkirakan bahwa sel surya akan menjadi sumber pembangkit listrik andalan di masa datang karena penggunaannya yang sangat praktis terutama untuk suplai energi di daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik. Sebagai negara kepulauan daerah-daerah seperti ini banyak dijumpai di Indonesia. Selain itu sumber energi ini ramah lingkungan karena dalam proses konversinya tidak menghasilkan polutan sama sekali.

Penelitian polimer untuk aplikasi sel surya jumlahnya masih terbatas karena kebanyakan para peneliti masih tertarik untuk mengeksplor sel surya dari bahan semikonduktor kristal. Namun karena sel surya berbasis polimer memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi sehingga memudahkan untuk mendesainnya sesuai dengan kebutuhan pasar, maka sangatlah layak dan berpotensi untuk diteliti dan dikembangkan sehingga menjadi kandidat sel surya yang efisiensinya tinggi, fleksibilitasnya tinggi dan harganya murah.

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk membuat sel surya yang memiliki efisiensi tinggi yang dibuat dari bahan polimer Eosin-Y sebagai material dye dalam struktur *dye-sensitized solar cell* dengan menggunakan teknik *sol gel spin coating* dengan pertimbangan teknik penumbuhan ini memiliki keunggulan dalam hal biaya operasional dan biaya produksinya yang murah.

Hasil karakterisasi I-V terhadap sampel sel surya berbasis Eosin-Y sebagai material dye dengan intensitas cahaya  $4,45808 \times 10^{-4}$  watt/cm<sup>2</sup> dapat diperoleh rapat arus sel terhubung singkat  $I_{sc} = 1,08 \times 10^{-3}$  mA/cm<sup>2</sup> dan tegangan sel terbuka  $V_{oc} = 71$  mV dengan efisiensi 0,0177 % untuk waktu dipping selama 120 menit.

**Kata Kunci:** Sel Surya, Eosin-Y, dye sensitized, Sol gel Spin coating

## ABSTRACT

The energy crisis that we are nowadays facing is certainly not the first one of human history, but it could be the first for which the energetic challenge is not only limited to the availability of the resources but also to the sustainability of the production methods.

Electronic polymers for photovoltaic energy applications may lead to the use of inexpensive materials with power conversion efficiencies that, though not as great as silicon photovoltaics, compare favorably with other thin film technologies. The main advantages of organic polymers is low productions cost for devices manufactured with the help of printing technology.

Focus of this research was to fabrication of solar cell using eosin-y as dye material with dye sensitized structure by sol gel method. The main advantage of sol gel method is low production cost.

The performance of the cell was`studied by recording the photocurrent voltage characteristic of the cell under an illumination of  $4,45808 \times 10^{-4}$  watt/cm<sup>2</sup>. Results of this characterization were the open circuit voltage Voc and short current Isc. The cell with 0,6 cm<sup>2</sup> active area showed that conversion efficiency was 0.0177 %, Isc was  $1,08 \times 10^{-3}$  mA/cm<sup>2</sup> and Voc was 71 mV for dipping time 120 minute.

**Keywords:** Solar cell, Eosin-Y, dye sensitized, Sol gel method

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1. LATAR BELAKANG	1
2. PERUMUSAN MASALAH	2
3. MAKSUD DAN TUJUAN	3
4. OUTPUT YANG DIHASILKAN	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	
1. ENERGI SURYA	5
2. DYE SENSITIZED SOLAR CELL	5
BAB 3 METODE PENELITIAN	
1. PENYUSUNAN INSTRUMEN	9
2. PENGUMPULAN DATA	10
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
1. ANALISIS PORI TITANIUM DIOKSIDA	17
2. ANALISIS SPEKTRUM SERAPAN EOSIN Y	19
3. KARAKTERISTIK IV DAN EFISIENSI DSSC	20
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
1. KESIMPULAN	26
2. SARAN	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	

## BAB I PENDAHULUAN

### 1. LATAR BELAKANG

Energi adalah salah satu tantangan yang kita hadapi pada abad 21 ini. Berdasarkan survey yang dilakukan oleh Professor Ricards Smalley dari Rice University mengenai masalah terbesar yang akan dihadapi manusia untuk 50 tahun mendatang, ternyata energi menduduki peringkat pertama. Cadangan sumber energi fosil di seluruh dunia dihitung sejak 2002 yaitu 40 tahun untuk minyak, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil tersebut, di dunia sekarang ini terjadi pergeseran dari penggunaan sumber energi tak terbarukan menuju sumber energi yang terbarukan. Dari sekian banyak sumber energi terbarukan seperti angin, biomass dan *hydro power*, penggunaan energi melalui *solar cell* / sel surya merupakan alternatif yang paling potensial. Hal ini dikarenakan jumlah energi matahari yang sampai ke bumi sangat besar, sekitar 700 Megawatt setiap menitnya. Bila dikalkulasikan, jumlah ini 10.000 kali lebih besar dari total konsumsi energi dunia.

Piranti sel surya yang memiliki unjuk kerja tinggi biasanya terbuat dari bahan semikonduktor. Dalam pengembangannya, sel surya dibuat berbasis bahan semikonduktor kristalin seperti kristal Silikon (c-Si), kristal Galium Arsenat (c-GaAs), kristal InP dan kristal CdTe. Meskipun teknologi fabrikasinya sudah cukup maju dan efisiensi konversi yang dicapainya cukup tinggi (~ 25 %), namun pengembangannya untuk memenuhi kebutuhan pasar terganjal oleh kendala mahal biaya produksi, terutama biaya untuk pengadaan substrat bahan kristalin yang harganya mahal. Sebagai konsekuensinya modul sel surya yang tersedia di pasaran saat ini harganya masih cukup tinggi, sehingga penggunaannya pun masih sangat terbatas karena dipandang belum ekonomis. Untuk mengatasi kendala tersebut, pengembangan sel surya berbasis material organik (polimer) menjadi alternatif yang tepat. Sifat yang dimiliki oleh material organik adalah tingkat fleksibilitas yang bagus sehingga sangat memungkinkan untuk membuat sel surya yang fleksibel yang dapat memudahkan dalam pengembangan desain sel surya untuk memudahkan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Keunggulan

lainnya dari sel surya berbasis material organik adalah dalam proses pembuatannya tidak memerlukan teknologi tinggi sehingga biaya produksi menjadi jauh lebih murah dibanding sel surya dari bahan kristalin. Hal ini dimungkinkan karena lapisan tipis material organik dapat ditumbuhkan di atas substrat gelas atau bahkan plastik yang harganya relatif murah. Meskipun efisiensi yang dicapai sel surya yang terbuat dari material organik masih lebih rendah dibanding yang dicapai sel surya c-Si, tetapi karena biaya produksinya yang jauh lebih murah dan penggunaannya yang fleksibel, maka saat ini sel surya berbasis polimer banyak digunakan di beberapa negara maju, seperti Jepang.

Tetapi seiring dengan perkembangan nanoteknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu *dye-sensitized solar cell* (DSSC). DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses melibatkan material 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 inorganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai bandgap lebar.

Salah satu semikonduktor ber-bandgap lebar yang sering digunakan yaitu Titanium Dioxide ( $\text{TiO}_2$ ).  $\text{TiO}_2$  umum digunakan karena inert, tidak berbahaya, semikonduktor yang murah, selain memiliki karakteristik optik yang baik. Namun untuk aplikasinya dalam DSSC,  $\text{TiO}_2$  harus memiliki permukaan yang luas sehingga dye yang teradsorb lebih banyak yang hasilnya akan meningkatkan arus photo. Selain itu penggunaan bahan dye yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan pita energi  $\text{TiO}_2$  juga merupakan karakteristik yang penting

## 2. PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini akan diarahkan pada *pertama*, studi penumbuhan dye Eosin-Y dengan teknik *sol-gel* untuk menentukan parameter-parameter penumbuhan yang optimum sehingga menghasilkan film yang memiliki karakteristik listrik

yang baik sehingga dapat diaplikasikan untuk pembuatan sel surya. *Kedua*, pembuatan prototipe sel surya berbasis polimer yang memiliki efisiensi yang tinggi.

Dengan demikian permasalahan penelitian ini dirumuskan dalam bentuk pertanyaan berikut :

- a. Pada waktu perendaman (*dipping time*) berapakah elektroda kerja TiO<sub>2</sub> direndam ke dalam dye Eosin-Y yang dapat menghasilkan polimer yang memiliki karakteristik listrik yang baik sehingga dapat diaplikasikan pada sel surya dengan struktur DSSC?
- b. Berapakah efisiensi konversi yang dapat dicapai prototipe sel surya polimer berstruktur DSSC yang dibuat ?

Untuk menjawab pertanyaan penelitian ini akan dilakukan studi penumbuhan dye Eosin-Y dengan teknik penumbuhan *sol gel* dengan melakukan optimasi pada parameter penumbuhan seperti molaritas larutan dan waktu pencelupan (*dipping*) untuk menghasilkan polimer yang memiliki karakteristik listrik yang baik untuk aplikasi sel surya. Selanjutnya pada tahap berikutnya akan dibuat sel surya dari berbasis polimer yang akan diuji efisiensi konversinya.

### **3. MAKSUD DAN TUJUAN**

Penelitian polimer untuk aplikasi sel surya jumlahnya masih terbatas karena kebanyakan para peneliti masih tertarik untuk mengeksplor sel surya dari bahan semikonduktor kristal. Namun karena sel surya berbasis polimer memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi sehingga memudahkan untuk mendesainnya sesuai dengan kebutuhan pasar, maka sangatlah layak dan berpotensi untuk diteliti dan dikembangkan sehingga menjadi kandidat sel surya yang efisiensinya tinggi, fleksibilitasnya tinggi dan harganya murah.

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk membuat sel surya dengan struktur DSSC yang memiliki efisiensi tinggi yang dibuat dari bahan dye Eosin-Y dengan menggunakan teknik *sol gel* dengan pertimbangan teknik penumbuhan ini memiliki keunggulan dalam hal biaya operasional dan biaya produksinya yang murah.



#### 4. OUTPUT YANG DIHASILKAN

Sel surya merupakan piranti elektronik yang dapat mengubah secara langsung energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan sumber energi yang tak akan pernah habis, selama matahari memancarkan sinarnya ke bumi. Diperkirakan bahwa sel surya akan menjadi sumber pembangkit listrik andalan di masa datang karena penggunaannya yang sangat praktis terutama untuk suplai energi di daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik. Sel surya yang memiliki fleksibilitas yang tinggi sulit dicapai dengan menggunakan semikonduktor kristal, sehingga sebagai alternatif pemecahannya adalah dengan membuat sel surya dari bahan polimer yang memiliki fleksibilitas tinggi dan daya tahan termal tinggi. Untuk meningkatkan efisiensi konversi yang dicapai dari sel surya berbahan polimer tentu harus dipilih bahan polimer yang memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap spektrum cahaya matahari. Bahan polimer yang memiliki karakteristik tersebut yang digunakan dalam penelitian ini adalah dye Eosin-Y yang akan dibuat dengan teknik penumbuhan yang sederhana dan biaya produksi murah seperti *sol gel* sehingga menguntungkan secara ekonomis. Output yang akan dihasilkan dalam penelitian ini adalah berupa prototipe sel surya DSSC berbahan dasar dye Eosin-Y berbasis semikonduktor nanopori TiO<sub>2</sub>.

## BAB II LANDASAN TEORI

### 1. Energi Surya

Energi surya adalah radiasi yang diproduksi oleh reaksi fusi nuklir pada inti matahari. Matahari mensuplai hampir semua panas dan cahaya yang diterima bumi untuk digunakan makhluk hidup. Energi surya sampai ke bumi dalam bentuk paket-paket energi yang disebut foton.

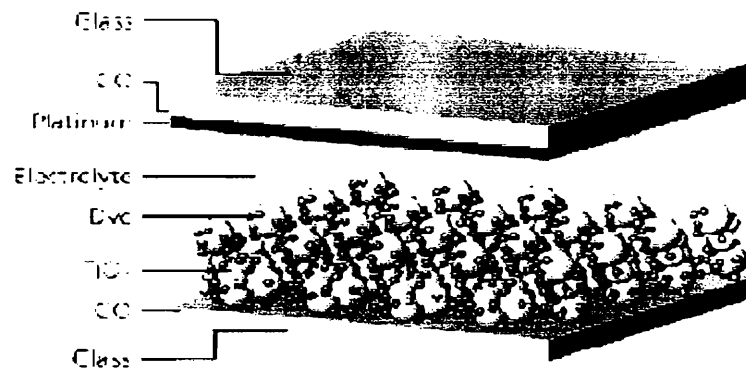
Dalam kaitannya dengan sel surya, perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik, terdapat dua parameter dalam energi surya yang paling penting : pertama intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang datang kepada permukaan per luas area, dan karakteristik spektrum cahaya matahari. Intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi disebut konstanta surya, yaitu sebesar  $1365 \text{ W/m}^2$ . Setelah disaring oleh atmosfer bumi, beberapa spektrum cahaya hilang, dan intensitas puncak radiasi menjadi sekitar  $1000 \text{ W/m}^2$ . Nilai ini adalah tipikal intensitas radiasi pada keadaan permukaan tegak lurus sinar matahari dan pada keadaan cerah. Sebagai contoh apabila seseorang mengikuti pergerakan matahari dalam delapan jam, maka rata-rata intensitas radiasi surya yang diterima per hari kira-kira  $1000 (8/24) = 333 \text{ W/m}^2$ . Pada permukaan yang diam, nilai tipikal pada keadaan cerah yaitu antara  $180\text{-}270 \text{ W/m}^2$ . Data energi surya untuk kepentingan ekonomis umumnya direpresentasikan dalam unit *insolation*.

### 2. Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

#### 2.1. Struktur dan Prinsip Kerja Sel Surya 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 bahan disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori  $\text{TiO}_2$ ,

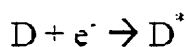
molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan  $\text{TiO}_2$ , dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada **Gambar 1**



**Gambar 1.** Struktur *Dye-sensitized Solar Cell*

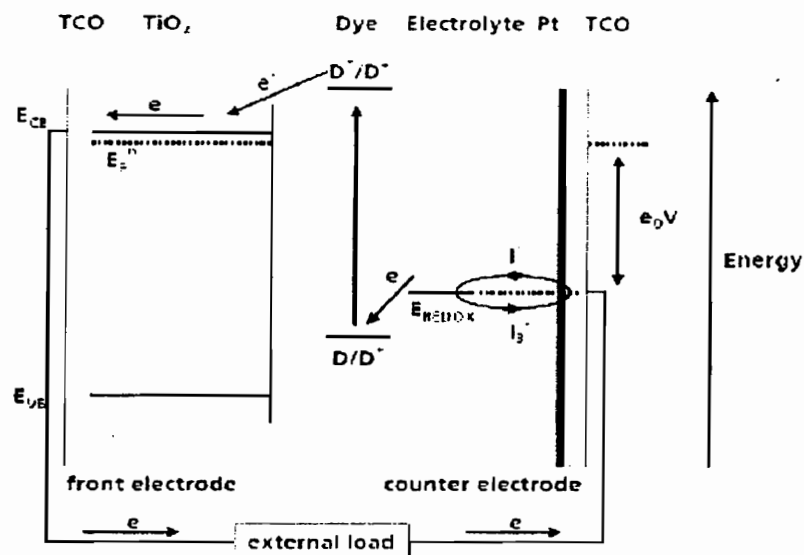
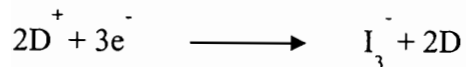
Pada bagian atas dan alas sel surya merupakan *glass* yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*) biasanya  $\text{SnO}_2$ , yang berfungsi sebagai elektroda dan counter-elektroda. Pada TCO counter-elektroda dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$  (iodide/triiodide). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori  $\text{TiO}_2$  yang mana *dye* teradsorpsi di pori  $\text{TiO}_2$ . *Dye* yang umumnya digunakan yaitu jenis ruthenium complex.

Skema kerja dari DSSC ditunjukkan pada **Gambar 2**. 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* ( $\text{D}$ ) ke *excited state* ( $\text{D}^*$ ).



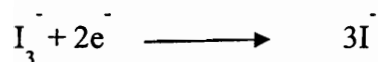
Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju conduction band ( $E_{\text{CB}}$ ) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi ( $\text{D}^+$ ). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit ( $\text{I}^-$ ) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya

(ground state) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi.



Gambar 2. Skema Kerja dari DSSC

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 ( $I_3^-$ ), 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.

## 2.2. Performan Sel surya

Parameter penting dalam sel surya yang menentukan efisiensi sel surya adalah  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$  yang masing-masing adalah tegangan rangkaian terbuka dan arus

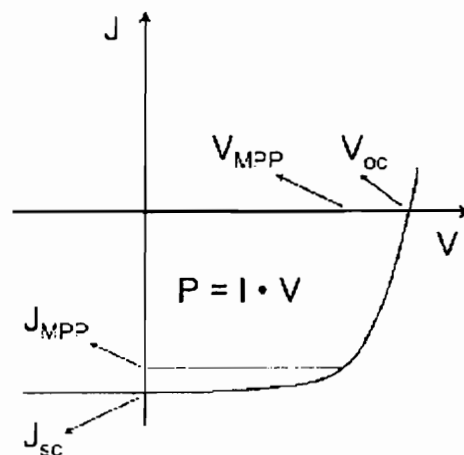
rangkaian tertutup. Parameter lain yang juga menentukan efisiensi konversi sel surya adalah nilai faktor pengisi (*fill factor*,  $F_F$ ). Efisiensi sel surya akan semakin tinggi jika nilai  $F_F$  semakin besar. Nilai  $F_F$  ini berhubungan dengan hambatan dalam sel surya (hambatan seri dan hambatan paralel), yang keduanya ditentukan oleh kualitas material sel surya serta kualitas persambungan antar lapisan. Nilai  $F_F$  dihitung dari kurva arus-tegangan (I-V) setelah pengukuran, berdasarkan persamaan:

$$FF = \frac{V_{mpp} I_{mpp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (1)$$

dengan  $V_{mpp}$  dan  $I_{mpp}$  masing-masing adalah tegangan dan arus pada titik operasi optimum, sedangkan efisiensi konversi ( $\eta$ ) sel surya didefinisikan sebagai presentase daya keluaran optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{\Phi A} \times 100\% \quad (2)$$

dengan  $\Phi$  adalah intensitas penyinaran dan  $A$  adalah luas permukaan sel surya yang disinari.



Gambar 3. Karakteristik I-V sel surya

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 1. Kesimpulan

Penelitian ini diarahkan pada *pertama*, studi penumbuhan dye Eosin-Y dengan teknik *sol-gel* untuk menentukan parameter-parameter penumbuhan yang optimum sehingga menghasilkan film yang memiliki karakteristik listrik yang baik sehingga dapat diaplikasikan untuk pembuatan sel surya. *Kedua*, pembuatan prototipe sel surya berbasis polimer yang memiliki efisiensi yang tinggi.

Sesuai dengan permasalahan penelitian yang harus dicari jawabannya melalui penelitian ini yaitu :

- a. Optimasi waktu perendaman (*dipping time*) elektroda kerja TiO<sub>2</sub> dalam dye Eosin-Y yang dapat menghasilkan polimer yang memiliki karakteristik listrik yang baik sehingga dapat diaplikasikan pada sel surya dengan struktur DSSC.
- b. Nilai efisiensi konversi yang dapat dicapai prototipe sel surya polimer berstruktur DSSC yang telah dibuat.

Dari hasil penelitian ini telah diperoleh data dan dianalisis yang menunjukkan bahwa *dipping time* elektroda kerja TiO<sub>2</sub> dalam eosin-Y berpengaruh terhadap nilai efisiensi konversi sel surya DSSC. DSSC yang memiliki efisiensi konversi tertinggi adalah DSSC yang memiliki *dipping time* 2 jam, yaitu  $17,7 \times 10^{-3} \%$ . Kemudian diikuti DSSC 3 jam dan 1 jam. Hal ini berarti bahwa *dipping time* optimum untuk DSSC berbasis TiO<sub>2</sub> dengan fotosensitizer Eosin Y dengan luasan aktif 0,6 cm<sup>2</sup> adalah 2 jam. Jika perendaman dilakukan lebih lama, maka akan terjadi penurunan efisiensi konversi pada DSSC.

#### 2. Saran

Untuk Mengoptimalkan nilai efisiensi konversi sel surya DSSC maka perlu dikaji pengaruh konsentrasi larutan Dye Eosin terhadap efisiensi sel surya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ana F. Nogueira, J. R. Durrant, Marco A. De Paoli, (2001), *Adv. Mater.*, 13,826
2. C.J. Brabec, S.E. Shaheen, C. Winder, (2002), *Appl. Phys. Lett.*, 80,1288
3. D.F. O'Brien, P.E. Burrows, S.R. Forrest, *Adv. Mater.*, 1998, 10,1108
4. F. Cao, G. Oskam, P.C. Searson, (1995) *J. Phys. Chem.*, 99,17071