

**PREPARASI SEL SURYA POLIMER HIBRID BERSTRUKTUR  
TERBALIK MENGGUNAKAN LAPISAN AKTIF P3HT:PCBM**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S1)  
pada Jurusan Kimia



**HENDRA ASMARA**

**NIM. 14036006/2014**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2018**

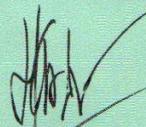
**PERSETUJUAN SKRIPSI**

**PREPARASI SEL SURYA POLIMER HIBRID BERSTRUKTUR  
TERBALIK MENGGUNAKAN LAPISAN AKTIF P3HT:PCBM**

**Nama** : Hendra Asmara  
**Nim** : 14036006/2014  
**Program Studi** : Kimia  
**Jurusan** : Kimia  
**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 3 Juli 2018

**Pembimbing I**



**Dr. Hardeli, M.Si**

**NIP. 19640113 199103 1 001**

**Pembimbing II**



**Hary Sanjaya, M.Si**

**NIP. 19830428 200912 1 007**

**HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi  
Program Studi Kimia  
Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Judul : Preparasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik  
Menggunakan Lapisan Aktif P3HT:PCBM

Nama : Hendra Asmara

NIM : 14036006/2014

Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 3 Juli 2018

**Tim Penguji**

Nama

1. Ketua : Dr. Hardeli, M.Si

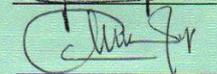
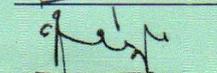
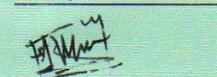
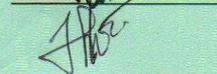
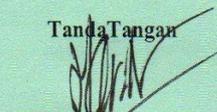
2. Sekretaris : Hary Sanjaya, M.Si

3. Anggota : Drs. Bahrizal, M.Si

4. Anggota : Edi Nasra, S.Si., M.Si

5. Anggota : Ananda Putra, M.Si, Ph.D

Tanda Tangan



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hendra Asmara  
TM/NIM : 14036006/2014  
Tempat/Tanggal Lahir : Sarik Alahan Tigo/ 13 Februari 1995  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : MIPA  
Alamat : Nagari Sarik Alahan Tigo, Kec Hiliran Gumanti  
No.HP/Telepon : 082389020134  
Judul Skripsi : Preparasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif P3HT:PCBM

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/ skripsi ini adalah hasil dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademi (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/ skripsi ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/ skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Karya tulis/ skripsi ini sah apabila telah ditandatangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/ skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi..

Padang, 3 Juli 2018

Yang membuat pernyataan,



Hendra Asmara  
NIM : 14036006

## ABSTRAK

### **Hendra Asmara (2018) : Preparasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif P3HT:PCBM.**

Sel surya polimer merupakan sel surya yang berbasis polimer dengan struktur *bulk heterojunction* menggunakan metoda lapisan tipis (*thin film*), yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi sel surya polimer menggunakan metoda *spin coating* dengan material semikonduktor organik. P3HT sebagai donor elektron dan PCBM sebagai akseptor elektron dicampur menjadi *bulk film* sebagai lapisan aktif (*active layer*) yang mampu menyerap cahaya matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah pelapisan polimer. Karakterisasi dilakukan pada lapisan aktif yang dideposisikan di atas doping ZnO pada substrat kaca ITO menggunakan X-RD dan SEM. Hasil karakterisasi X-RD terlihat puncak ZnO pada posisi sudut  $2\theta = 65,7393$ . Hasil karakterisasi terlihat morfologi permukaan dari lapisan aktif P3HT:PCBM yang cukup merata pada saat 4 kali pelapisan. Hasil konversi energi listrik dengan sumber cahaya sinar UV pada sampel 4 kali pelapisan yang di-*annealing* dengan suhu  $150^{\circ}\text{C}$  adalah 0,02 mA dengan efisiensi 4,6%. dan nilai tertinggi untuk variasi jumlah pelapisan pada empat kali pelapisan polimer P3HT:PCBM (3:1) sebesar 0,02 mA dengan efisiensi 4,6% .

**Kata Kunci : Sel Surya Polimer, P3HT:PCBM, PEDOT:PSS, X-RD, SEM.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Preparasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif P3HT:PCBM”**. Selama penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan dukungan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si selaku dosen Penasehat Akademik dan Pembimbing I.
2. Bapak Hary Sanjaya, S.Si. M.Si selaku dosen Pembimbing II. Sekaligus Ketua Prodi Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si. Bapak Ananda Putra, M.Si, Ph.D. Bapak Edi Nasra, M.Si selaku dosen penguji.
4. Bapak Dr. Mawardi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Edi Nasra, S.Si, M.Si sebagai Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
6. Bapak/Ibu staf Pengajar Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
7. Bapak/Ibu staf Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
8. Kedua Orang Tua penulis yang tercinta atas segala motivasi,dukungan dan doa nya.

9. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Skripsi ini.

Skripsi ini ditulis dengan berpedoman kepada buku Panduan Penulisan Tugas Akhir/Skripsi Universitas Negeri Padang. Untuk kesempurnaan skripsi ini, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Padang, April 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sel Surya ( <i>Solar Cell</i> ) .....	7
2.2 Sel Surya Polimer Hibrid .....	10
2.2.1 Lapisan Aktif P3HT:PCBM .....	12
2.2.2 Substrat Kaca TCO .....	13
2.2.3 ZnO .....	14
2.2.4 Lapisan PEDOT:PSS .....	16
2.2.5 Counter Elektroda.....	17
2.3 Efisiensi .....	18
2.4 Metode <i>Spin Coating</i> .....	19
2.5 Mekanisme Sel Surya Polimer .....	20
2.7 Metoda Karakterisasi SEM .....	21

2.8 Pengujian Sel Surya Polimer.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Jenis Penelitian, Waktu dan Tempat .....	24
3.2 Objek Penelitian .....	24
3.3 Variabel Penelitian.....	24
3.4 Desain Penelitian.....	25
3.5 Alat dan Bahan.....	25
3.6 Prosedur Penelitian.....	26
3.6.1 Preparasi Komponen-Komponen Sel Surya Polimer Hibrid.....	26
a. Litografi ITO .....	26
b. Preparasi ZnO .....	26
c. Preparasi Campuran P3HTV:PCBM .....	26
d. Preparasi PEDOT:PSS.....	27
e. Preparasi <i>Counter</i> Elektroda Karbon.....	27
3.6.2 Perakitan Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	27
3.6.3 Karakterisasi Film Tipis .....	28
3.6.4 Pengujian Arus Listrik Sel Surya .....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	30
4.1 Perakitan Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	31
4.2 Sel Surya Berbasis P3HT:PCBM.....	32
4.3 Karakterisasi Lapisan Aktif P3HT:PCBM dengan XRD dan SEM....	34
4.4 Sifat Listrik Sel Surya Polimer.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA .....	41
LAMPIRAN.....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat Fisik ZnO.....	15
3.2 Pengaruh Jumlah Pelapisan P3HT:PCBM.....	25
4.3 Data Hasil XRD.....	36
4.4 Pengaruh Variasi Jumlah Pelapisan Terhadap Sel Surya.....	37

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur Perbedaan Bilayer dan BHJ .....	10
2.2 Struktur Sel Surya Lapisan Aktif P3HT:PCBM.....	11
2.3 Struktur Semikonduktor Organik Tipe-n dan Tipe-p.....	12
2.4 Struktur P3HT:PCBM.....	13
2.5 Piringan Berputar dan Skema Tahapan <i>Spin Coating</i> .....	19
2.6 Struktur Sel Surya Polimer P3HT:PCBM.....	21
2.7 Rangkaian Pengukuran Karakterisasi I-V.....	23
2.8 Kurva Karakteristik I-V pada Sel Surya.....	23
4.9 Piranti Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	32
4.10 Pola XRD ZnO.....	35
4.11 Hasil SEM Lapisan Aktif P3HT:CBM 4 Kali Pelapisan.....	37
4.12 Tegangan Berdasarkan Pelapisan Pada Campuran Polimer Aktif.....	39
4.13 Efisiensi Berdasarkan Pelapisan Pada Campuran Polimer Aktif.....	40

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alur Tahapan Preparasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	45
2. Litografi ITO .....	46
3. Preparasi ZnO.....	47
4. Preparasi Campuran P3HT:PCBM (3:1) .....	48
5. Preparasi Pasta PEDOT:PSS.....	49
6. Preparasi <i>Counter Elektroda</i> Karbon .....	50
7. Alur Tahapan Penelitian Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	51
8. Perhitungan Nilai Efisiensi Hasil Konversi yang dihasilkan Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	52
9. Pengujian Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	54
10. Pengaruh Variasi Jumlah Pelapisan Terhadap Sel Surya.....	56
11. Hasil Karakterisasi XRD.....	57
12. Data X-RD.....	58
13. Hasil Karakterisasi SEM Lapisan Akif P3HT:PCBM (3:1).....	64
14. Hasil Perhitungan Ukuran Kristal ZnO.....	66

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Kebutuhan sumber energi fosil semakin hari semakin bertambah seiring dengan kemajuan teknologi dan populasi manusia. Penggunaan energi nuklir juga dilakukan oleh beberapa negara untuk mencukupi kebutuhan energi. Namun dapat dipastikan bahwa sumber energi fosil dan nuklir merupakan sumber energi yang terbatas dan tak dapat diperbaharui. Oleh karena itu pengembangan sumber energi baru dan terbarukan mutlak diperlukan. Akhir-akhir ini, pengembangan sel fotovoltaik lapisan tipis begitu pesat seiring semakin berkurangnya sumber energi fosil (Sutrisno.H. 2010).

Matahari merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kekurangan energi masa mendatang dan menyediakan kebutuhan konsumsi energi dalam waktu yang begitu lama. Matahari menjadi sasaran sumber energi terbarukan yang harus terus dikembangkan atau sumber energi yang bisa diperbaharui. Sel surya juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis mengingat tidak membutuhkan transmisi karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. Artinya energi dari matahari bisa dikonversi langsung oleh sel surya tanpa adanya sebuah generator dan bisa ditangani secara individu. Sel surya termasuk energi yang ramah lingkungan (Pratiwi,Z.R.dkk. 2013).

Seiring dengan perkembangan nanoteknologi, perkembangan sel fotovoltaik generasi ke-III menjadi prioritas dari dua generasi sel fotovoltaik

lainnya. Tujuan penelitian tentang sel surya saat ini difokuskan untuk peningkatan efisiensi dihasilkannya arus listrik dalam jumlah yang banyak dan biaya yang murah (Sutrisno, H. 2010).

Sel surya berbasis polimer mempunyai pengaruh yang sangat besar karena harga murah dan pembuatannya yang mudah, namun efisiensi yang dihasilkan masih rendah. Hal ini disebabkan belum optimumnya morfologi lapisan aktif dan masalah homogenitas antar lapisan di dalam sel-surya. Kim dalam Pratiwi, Z.R. (2013) menyebutkan sel surya berbasis polimer saat ini dapat menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu 6,5%. Sel surya polimer dengan lapisan aktif P3HT:PCBM dapat mencapai 5%. Pada penelitian Bahtiar, A., dkk (2011), perbandingan konsentrasi P3HT:PCBM yang digunakan adalah 1:1 dan efisiensi yang dihasilkan adalah 0,0005%. Harahap (2017), perbandingan konsentrasi P3HT:PCBM yang diperoleh adalah 3:1 pada suhu anelling  $150^{\circ}\text{C}$  dan efisiensi yang dihasilkan 2,58 %.

Pada tahun 1979 konsep pembuatan sel surya organik terbaru dilakukan oleh Tang. Dalam penelitiannya Tang menggabungkan 2 material semikonduktor organik pada suatu penghubung (heterojunction) dan menghasilkan efek foltaik (Saunders dan Turner, 2008). Pada tahun 1994 Yu et.al. melakukan penelitian dengan mencampurkan dua jenis semikonduktor polimer yang dikenal dengan istilah bulk heterojunction (Saunders, 2012). Dari hasil penelitian tersebut, maka dikembangkan dua jenis sel surya bulk heterojunction, yaitu sel surya polimer/polimer dan sel surya

polimer/nanopartikel semikonduktor anorganik sehingga disebut sel surya polimer hibrid (Saunders, 2012).

Salah satu cara untuk mengembangkan sel surya hibrid adalah konfigurasi normal. Konfigurasi normal adalah struktur yang terdiri dari lapisan aktif persambungan *bulk/bulk heterojunction* (BHJ) yang diapit oleh lapisan oksida logam transparan Indium Tin Oxide (ITO). BHJ berfungsi menjadi lapisan elektroda positif (anoda) dan memiliki kinerja yang lebih rendah terhadap ITO kemudian yang menjadi lapisan negatif (katoda) adalah *counter* elektroda (Jorgensen, 2008).

Para peneliti sudah banyak menggunakan metoda supaya bisa meningkatkan performansi dari sel surya. Metoda yang sudah dilakukan oleh peneliti seperti pemisahan fasa dalam lapisan persambungan *bulk*-nya (*bulk heterojunction*) dan pembawa muatan yang lebih baik serta mendisain konfigurasi sel yang terbaru (Dahou, 2010).

Pada struktur perangkat terbalik, antarmuka n atau p-type yang sesuai diperkenalkan di atas ITO atau di bawah elektroda logam yang mengubah polaritas perangkat. ITO mengumpulkan elektron dan elektroda logam untuk mengumpulkan lubang. Dengan cara inilah polaritas sel surya menjadi dibalik. Pada sel surya terbalik counter elektroda (elektroda kerja) yang lebih tinggi digunakan sebagai elektroda logam puncak. Elektroda logam ini stabil dari udara dan berada dalam kontak yang baik dengan lapisan organik sehingga mengurangi kompleksitas dan biaya fabrikasi perangkat. Bahan celah pita yang berenergi tinggi seperti seng oksida (ZnO) (Hau, 2008).

Konsentrasi larutan ZnO yang digunakan adalah 0,75 M. Konsentrasi tersebut digunakan untuk pelapisan dari 2,3,4 dan,5 kali pelapisan. Dengan demikian,diharapkan dapat menghasilkan energi yang tinggi.

Sel surya jenis ini walaupun pembuatannya mudah dan harga murah tapi mampu memberikan pengaruh untuk menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Perlu dilakukan kontrol terhadap morfologi lapisan aktif sel surya berupa perlakuan pelapisan pada lapisan aktifnya.Diharapkan sel surya polimerhibrid berstruktur terbalik ITO/ZnO/P3HT:PCM/PEDOT:PSS/Counter elektroda mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul **“Preparasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif P3HT:PCBM”**

## **B. Identifikasi Masalah**

1. Morfologi lapisan aktif P3HT:PCBM sangat mempengaruhi efisiensi sel surya yang dihasilkan.
2. Morfologi lapisan aktif juga dipengaruhi oleh perbandingan campuran P3HT:PCBM yang bertindak sebagai donor dan akseptor elektron.

## **C. Batasan Masalah**

Pada penelitian ini masalah yang akan diangkat dibatasi pada beberapa aspek:

1. Variasi pelapisan polimer pada lapisan aktif P3HT:PCBM dengan 1,2,3 dan 4,5 kali pelapisan.
2. Perbandingan campuran polimer antara P3HT:PCBM dengan perbandingan 3:1 pada suhu anelling 150<sup>0</sup> C.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan yang telah dijelaskan pada latar belakang, sehingga masalah yang akan dirumuskan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh pelapisan polimer yang diberikan terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya polimer menggunakan lapisan aktif P3HT:PCBM ?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi ZnO yang digunakan terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer menggunakan lapisan aktif P3HT:PCBM ?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan bertujuan:

1. Mengetahui pengaruh dari variasi jumlah pelapisan polimer terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya polimer menggunakan lapisan aktif P3HT:PCBM.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi ZnO yang digunakan terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer menggunakan lapisan aktif P3HT:PCBM.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Penelitian tentang sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik berbasis P3HT:PCBM memberikan beberapa manfaat diantaranya:

1. Memberikan informasi ilmu pengetahuan tentang perkembangan sumber energi yang dapat diperbaharui, yaitu sel surya polimer.

2. Memberikan informasi tentang pengaruh perbandingan jumlah pelapisan polimer P3HT:PCBM terhadap kerja sel surya polimer.
3. Memberikan informasi tentang pengaruh konsentrasi ZnO yang digunakan terhadap kerja sel surya polimer.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Sel Surya (*Solar Cell*)**

Semua yang diciptakan oleh Allah di dunia dan dilangit ada manfaatnya. Allah menciptakan sesuatu hal itu tidak lah sia-sia, misalnya saja matahari. Matahari diciptakan Allah memancarkan sinar yang begitu panas ke bumi pada siang hari. Matahari bisa dimanfaatkan untuk proses pengeringan pakaian selain itu juga bisa digunakan untuk pembangkit listrik tenaga surya. Energi matahari tidak akan pernah habis kecuali pada hari kiamat. Para peneliti menemukan suatu cara untuk memanfaatkan energi matahari tersebut yaitu sel surya (*solar cell*).

Sel surya merupakan suatu alat yang dapat mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik yang disebut juga *photovoltaic* (fotovoltaik). Pada tahun 1839, Becquerel menemukan efek fotovoltaik untuk mendeteksi adanya tegangan ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Kemudian pada tahun 1954, peneliti di Bell Telephone berhasil menemukan sel surya, untuk yang pertama kalinya, yang terbuat dari silikon berbasis p-n *junction* dengan efisiensi 6% (Septina, Wilman dkk. 2007).

Sampai saat ini teknologi pembuatan sel surya masih dikembangkan oleh para peneliti untuk mendapatkan sel surya yang memiliki efisiensi yang tinggi, murah, dan mudah dalam kegiatan produksi. Sel surya silikon tetap mendominasi pasar sel surya dengan efisiensi yang beragam dengan efisiensi tertinggi mencapai 41% untuk skala penelitian dan 20% untuk skala komersil.

Persentase penggunaan bahan sel surya belakangan ini adalah silikon polikristal 43%, silikon kristal tunggal 39%, silikon lapisan tipis 1%, silikon dalam bentuk ribbon 3%, sedangkan bahan selain silikon 14%. Namun, penelitian menggunakan bahan lain terus dilakukan hingga kini. Beberapa penelitian dalam tingkat sel surya telah dihasilkan misalnya Galium Arsenida (GaAs) dengan efisiensi mencapai 25%, Kadmium Tellurida (CdTe) dengan efisiensi 10,7% (Ariswan, 2013).

Sel surya organik merupakan generasi baru yang memanfaatkan bahan organik, mengandung ikatan Karbon (C), Hidrogen (H), atau Oksigen (O), yang bersifat seperti semikonduktor. Material-material organik yang digunakan sebagai perangkat elektronik dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu material organik yang berat molekulnya kecil dan polimer. Sel surya organik terbuat dari lapisan tipis material organik dengan ketebalan hingga rentang 100 nanometer (Hidayat, A.S. dkk. 2014).

*Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) atau sel surya tersensitasi *Dye* (pewarna) adalah salah satu tipe sel surya organik. *Dye* pada DSSC berfungsi untuk menggantikan peran Silikon pada sel surya konvensional yang harganya relatif mahal dalam proses fabrikasi (Hidayat, A.S. dkk. 2014). DSSC terdiri dari sepasang kaca elektroda yaitu elektroda kerja dan elektroda lawan yang mengapit elektrolit. Elektroda kerja merupakan kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang dilapisi semikonduktor celah lebar yaitu TiO<sub>2</sub> yang kemudian direndam dalam zat warna yang mengandung antosianin sebagai fotosensitizer sebagai transport pembawa muatan.

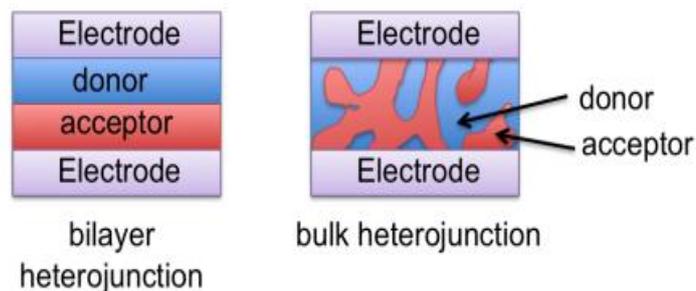
Sedangkan elektroda lawan merupakan TCO yang dilapisi karbon yang berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit (Hardeli, 2014). *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. DSSC muncul seiring dengan perkembangan nanoteknologi yang 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%. Namun demikian pembuatan sel surya silikon masih tidak ramah lingkungan dan proses perakitannya yang tidak sederhana menjadi suatu kendala. 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 (Hardeli, dkk. 2013).

Sel surya organik lainnya adalah sel surya berbasis polimer. Sel surya polimer menggunakan bahan polimer terkonjugasi yang bersifat semikonduktif. *Bulk-heterojunction* (BHJ) merupakan struktur sel surya polimer dengan material akseptor elektron dan donor elektron dicampur atau digabungkan. Fungsi bahan polimer atau organik semikonduktif adalah sebagai lapisan aktif dalam sel surya dan merupakan material yang kaya akan donor elektron dan akseptor elektron. (Pratiwi, Z.R., dkk. 2013) . Hal yang membedakan antara sel surya organik dan anorganik terletak pada muatannya. Pada sel surya organik, terdapat *exciton* yang merupakan

pasangan elektron-hole yang terikat sangat kuat. Agar terjadinya transpor muatan, maka *exciton* harus dibangkitkan dan didisiasikan menjadi elektron dan *hole* (Putra, A.K., 2014).

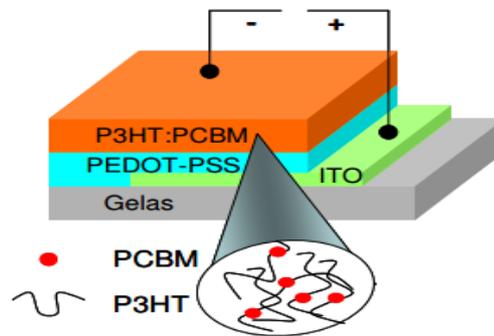
## B. Sel Surya Polimer

Sel surya polimer menggunakan bahan polimer terkonjugasi yang bersifat semikonduktif. Metoda yang sering digunakan dalam sel surya polimer adalah *heterojunction* (Putra, A.K., 2014). Metode *heterojunction* dibagi menjadi dua yaitu, metode *bilayer* dan metode *bulk* atau campuran. Pada metode *bilayer* atau *bilayer heterojunction*, material donor dan akseptor ditumpuk. Pada metode *bulk*, material donor dan akseptor dicampur. Perbedaan struktur antara *bilayer* dan *bulk heterojunction*, dapat diilustrasikan pada Gambar 1 (deBoisblanc, Jenna. 2010).



Gambar 1. Perbedaan struktur antara *bilayer* dan *bulk heterojunction* (deBoisblanc, Jenna. 2010)

Sel surya organik berbasis polimer dapat dibuat dengan struktur Gelas/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al (Bahtiar, A., dkk. 2011). Susunan dari komponen sel surya polimer, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

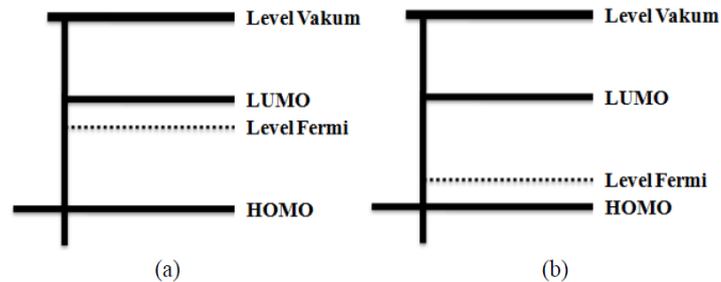


Gambar 2. Struktur sel surya dengan lapisan aktif campuran P3HT dan PCBM (Bahtiar, A., dkk. 2011).

Molekul-molekul dalam bahan organik berinteraksi melalui interaksi Van der Waals yang lemah. Hal ini mengakibatkan pita valensi dan pita konduksi terbentuk pada setiap molekul dengan lebar pita antar setiap molekulnya lebih kecil dari 0,1 eV. Bagian teratas dari keadaan yang ditempati oleh elektron pada pita valensi disebut *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO), sedangkan bagian terbawah dari keadaan yang tidak ditempati electron pada pita disebut dengan *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO). Pada kajian semikonduktor anorganik HOMO analog dengan pita valensi, sedangkan LUMO analog dengan pita konduksi (Pratiwi, H. 2009).

Apabila level fermi suatu bahan lebih dekat dengan LUMO, bahan tersebut dapat dikatakan bahan tipe-n dan berperilaku sebagai penerima elektron (akseptor), sedangkan apabila level fermi suatu bahan lebih dekat dengan HOMO, bahan tersebut dapat dikatakan bahan tipe-p dan berperan sebagai pemberi elektron (donor). Level vakum merupakan suatu level energi yang tidak terdapat muatan bebas di dalamnya. Celah energi atau energi gap (EG) merupakan lebar celah energi antara HOMO dan LUMO (Pratiwi, H.

2009). Struktur semikonduktor organik tipe-n dan tipe-p dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur semikonduktor organik (a) tipe-n dan (b) tipe-p (Pratiwi, H. 2009)

### C. Material Sel Surya Polimer

#### 1. Lapisan Aktif P3HT : PCBM

P3HT merupakan polimorf, yaitu membentuk struktur kristal yang berbeda tergantung pada kondisi pengolahan. P3HT mempunyai mobilitas pembawa muatan yang tinggi (Arya, Fredicha dkk. 2013). Mobilitas *hole* yang tinggi yakni sebesar  $3,8 \sim 3,9 \times 10^{-4}$ . P3HT memiliki fungsi kerja pada level HOMO 5,2 eV dan pada level LUMO sekitar dan 3,2 eV dengan berat molekul 65,5 gram/mol dan  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  (Chotimah, *et al.*, 2012).

P3HT dicampur dengan PCBM atau *[6,6]-phenyl-c61-butyric acid methyl ester* turunan *poly(p-phenylene vinylene)* sebagai bahan akseptor elektron sehingga disebut sebagai semikonduktor tipe-n. PCBM mempunyai rumus molekul  $\text{C}_{72}\text{H}_{72}\text{O}_2$  dengan berat molekul sebesar  $910.88 \text{ g mol}^{-1}$  dengan fungsi kerja pada level HOMO sekitar 6,0 eV dan pada level LUMO sekitar 4,2 eV (Bahtiar, A., dkk. 2011). Struktur P3HT dan PCBM menunjukkan kemiripan dengan kristal-*packing* C60 yang menghasilkan mobilitas elektron tinggi (Chotimah, dkk. 2012) dibandingkan dengan

*fulleren* lainnya yang memiliki sifat elektronik yang sama. Namun, *fulleren* memiliki penyerapan secara signifikan lebih tinggi (Hummelen, *et al.* 1995). Kedua material tersebut mempunyai *band gap* yang rendah (1,9 – 2,2 eV) dibandingkan material anorganik, memiliki daya penyerapan yang tinggi di daerah sinar tampak dan cenderung bersifat stabil sehingga sering digunakan dalam banyak penelitian. Struktur dari P3HT dan PCBM dapat dilihat Gambar 4.



Gambar 4. Struktur P3HT dan PCBM (Bahtiar, A., dkk. 2011)

## 2. Substrat Kaca TCO

Substrat yang digunakan pada sel surya yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. TCO berfungsi sebagai material substrat yaitu sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir (Septina, 2007).

Ada beberapa jenis lapisan tipis konduksi transparan yaitu SnO<sub>2</sub> dan ITO (Indium Tin Oxide). SnO<sub>2</sub> harganya lebih murah dari ITO, akan tetapi nilai resistivitasnya jauh lebih tinggi dari pada ITO. ITO merupakan campuran SnO<sub>2</sub> dan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan perbandingan Sn:In sekitar 5 : 95. Keunggulan dari ITO adalah resistivitasnya rendah (Wirjoadi dkk, 2002).

Lapisan tipis ITO biasanya berbentuk amorf. ITO memiliki konduktivitas yang rendah pada temperatur yang rendah, sehingga pemanasan pada temperatur yang tinggi diperlukan untuk memodifikasi sifat optik. Pada temperatur kalsinasi tertinggi, konduktivitas listrik akan semakin bagus (Hardeli, *et al.* 2016).

### 3. Zink Oksida (ZnO)

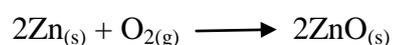
Zink Oksida (ZnO) merupakan semikonduktor tipe-n golongan II-VI dan terletak di batas antara semikonduktor yang bersifat ionik dan kovalen. ZnO memiliki luas celah (3.37 eV) dan energi ikatan sebesar 60 meV. ZnO memiliki sifat fisika dan kimia yang unik, diantaranya: kestabilan dan termalitas yang tinggi pada suhu kamar, fotostabilitas tinggi, koefisien pasangan elektrokimia yang tinggi, wilayah penyerapan radiasi yang luas, dan merupakan bahan yang multifungsi.

Sifat ZnO yang unik tersebut membuatnya sangat potensial digunakan sebagai semikonduktor, sebagai transistor film tipis, emisi lampu diode, sensor UV/ozon, biosensor, peralatan elektronik, optoelektronik dan teknologi laser (Kołodziejczak, *et al.*, 2014 dan Pimental *et al.*, 2016).

Tabel 1. Sifat Fisik ZnO

Sifat	Nilai
Struktur kristal	Wurtzite (stabil pada 300 K) , Zinc blende dan Rocksalt
Energi gap	3.3eV
Energi ikat eksitasi	60 meV
Kerapatan	5.606 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	1975 <sup>0</sup> C
Parameter kisi a <sub>0</sub>	0.32495 nm
C <sub>0</sub>	0.52069 nm
C <sub>0</sub> /a <sub>0</sub>	1.60
Konduktivitas termal	0.6, 1-1.2
Koefisien linier ekspansi (/ <sup>0</sup> C)	a <sub>0</sub> : 6.5.10 <sup>-6</sup> , c <sub>0</sub> : 3.0.10 <sup>-6</sup>
Konstanta dielektrik relatif	8.656
Indeks bias	2.008, 2.029

Menurut Prasatya dan Susanti (2013), Zinkc Oxide (ZnO) adalah suatu bahan semikonduktor yang mempunyai nilai band gap cukup lebar yaitu 3,37 eV sehingga cocok untuk diaplikasikan pada sel surya. Selain itu ZnO merupakan material semikonduktor yang menjanjikan untuk berbagai aplikasi pada teknologi modern. Material ZnO bisa dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi pembuatan perangkat semikonduktor seperti, sensor gas dan TCO. ZnO Termasuk bahan paduan golongan II dan VI antara logam dan oksida. ZnO mempunyai sifat optis, listrik, dan piezoelektrik yang baik dan diakui sebagai salah satu material semikonduktor oksida yang paling menjanjikan (Sun, Z.P., dkk. 2006). Secara umum, ZnO bisa dibuat dari reaksi antara logam Zn dan oksigen pada temperatur tinggi. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



Wujud ZnO berbentuk bubuk putih atau dikenal sebagai seng putih (zincite mineral). Biasanya mineral berisi sejumlah unsur mangan dan lainnya (Syamsuluri, 2014).

#### 4. PEDOT:PSS

Lapisan polimer terkonjugasi PEDOT:PSS atau Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) adalah yang paling umum digunakan sebagai lapisan menengah diantara lapisan aktif dan substrat ITO. Lapisan ini yang menentukan apakah hole atau elektron yang ditransportasi ke lapisan ITO (M. Girtan and M. Rusu, 2010).

Lapisan tengah memiliki fungsi sebagai pembawa muatan (positif atau negatif) ke elektroda yang berdekatan, dan mencegah terjadinya rekombinasi. Lapisan ini dapat berfungsi sebagai langkah untuk elektron atau lubang karena transisi antara bahan aktif dan elektroda dengan tingkat energi serasi (Krebs, C.F., 2010 ). Hal ini karena PEDOT:PSS merupakan polimer konduktif yang sifatnya transparan, mudah dibentuk, dan stabil (Yijie, Xia.2011).

PEDOT:PSS dapat didispersikan dalam air. Rantai PEDOT berhimpitan dengan rantai PSS melalui interaksi Coulum. Rantai PSS merupakan rantai panjang dan rantai dari PEDOT yaitu oligomerik (Yijie, Xia. 2011).

## 5. Counter Elektroda

Elektroda yang berfungsi mengalirkan elektron dalam rangkaian yang tersambung dengan elektroda utama disebut counter elektroda (elektroda bantu). Sehingga elektroda bantu berfungsi sebagai katoda dan yang berfungsi sebagai anoda adalah elektroda kerja. (Satria Hidayat, dkk, 2014).

### D. Sel Surya Hibrid Berstruktur Terbalik

Prinsip dasar dalam sel surya bahan polimer hibrid hampir sama dengan bahan sel surya polimer/*fullerene*. Bagian ter-atas dari keadaan yang ditempati oleh elektron pada pita valensi disebut *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO), sedangkan bagian terbawah dari keadaan yang tidak ditempati elektron pada pita disebut dengan *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO). Pada sel surya polimer hibrid, yang berperan sebagai donor adalah polimer P3HT dan material anorganik ZnO sebagai akseptor. Level energi pada P3HT adalah HOMO 5,2 eV dan LUMO 3,53 eV, sedangkan level energi pada ZnO adalah pita valensi 7,6 eV dan pita konduksi 4,4 eV relatif terhadap level vakum.

Polimer terkonjugasi dapat juga dikombinasikan dengan semikonduktor anorganik tipe-n seperti ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Pada sel surya hibrid polimer/semikonduktor anorganik, kelebihan dari kedua material ini digabungkan. Material polimer terkonjugasi merupakan semikonduktor yang dapat dilarutkan dalam proses fabrikasi sedangkan material semikonduktor anorganik memiliki mobilitas elektron yang tinggi. Polimer terkonjugasi dapat juga dikombinasikan dengan semikonduktor anorganik tipe-n seperti

ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Pada sel surya hibrid polimer/semikonduktor anorganik, kelebihan dari kedua material ini digabungkan. Material polimer terkonjugasi merupakan semikonduktor yang dapat dilarutkan dalam proses fabrikasi sedangkan material semikonduktor anorganik memiliki mobilitas elektron yang tinggi (Satiadi,R. 2013).

#### E. Efisiensi

Riset sel surya semakin berkembang disebabkan karena Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik. Arus listrik dan tegangan dihasilkan dari energi matahari dikonversi menjadi energi listrik. Arus listrik dan tegangan bisa diukur dengan alat multimeter digital. Nilai efisiensi yang dihasilkan dapat dihitung menurut hubungan:

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

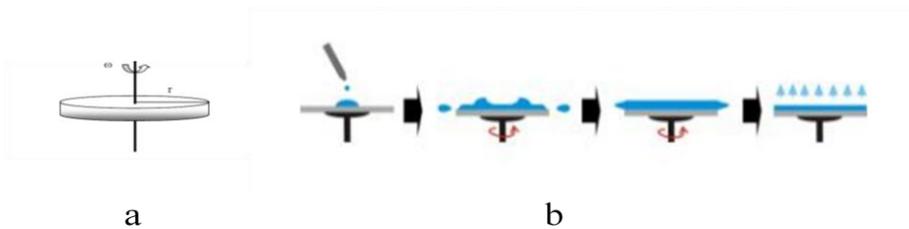
$P_{max}$  adalah daya maksimum yang dihasilkan sel surya dan  $P_{in}$  adalah daya dari sumber cahaya yang digunakan. Daya maksimum didapatkan dari hubungan antara:

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

$P_{in}$  merupakan sumber dari cahaya matahari yang memiliki intensitas sekitar 1000 W/m<sup>2</sup> atau 0,1 W/cm<sup>2</sup>.  $P_{in}$  bisa ditentukan dengan alat ukur lux meter untuk mengetahui intensitas cahaya.  $V_{max}$  adalah tegangan maksimum yang dihasilkan sel surya dan dibagi dengan luas permukaan daerah substrat.  $I_{max}$  merupakan arus maksimum yang dihasilkan dan dibagi dengan luas permukaan daerah substrat (Maddu, 2007).

## F. Spin Coating

Metode spin coating adalah metode pembentukan lapisan tipis dengan cara pemutaran atau spin. Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat dalam bentuk larutan atau gel. Bahan yang sudah disediakan diteteskan pada permukaan suatu substrat dan diletakkan diatas piringan yang memiliki kecepatan putar tinggi. Pada saat piringan sentripetal tersebut berputar sehingga bahan tertarik ke pinggir substrat dan tersebar secara merata. Hal ini dipengaruhi oleh gaya sentripetal. Dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 5. (a) Piringan Berputar dan (b) Skema Tahapan *spin coating*  
(Hidayat, A.S. dkk, 2014)

Spin Coating merupakan teknik khusus yang menggunakan deposit cairan dalam jumlah kecil, kemudian diputar dengan kecepatan tinggi pada suatu bidang datar. Alat deposisi spin coating yang ada saat ini masih memiliki keterbatasan (Erus Rustami, 2008), kecepatan putar yang dihasilkan pada nilai tertentu proses pengontrolannya masih manual. Kecepatan putaran yang dinyatakan dalam rotation per minute (rpm) adalah parameter yang sangat penting pada metode spin coating. Jika nilai kecepatan yang dihasilkan bervariasi maka hasil pelapisan material uji semakin beragam (Hidayat, A.S. dkk. 2014).

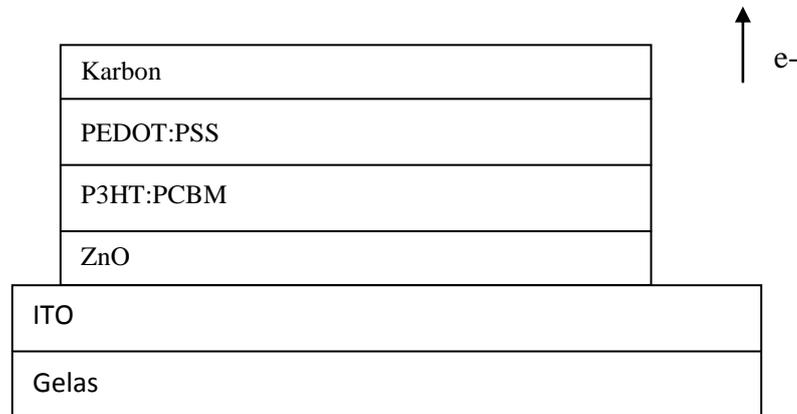
## G. Mekanisme Sel Surya Polimer

Pada saat perancangan suatu divais dan pemilihan suatu material, pengetahuan tentang mekanisme fisis perjalanan cahaya (foton) sangat penting. Langkah/tahap-tahap mekanisme fisis konversi foton menjadi arus listrik sebagai berikut:

1. Serapan foton : divais yang dikenai oleh foton harus diserap secara maksimal, material yang digunakan harus transparan dan memiliki koefisien refleksi rendah.
2. Pembentukan exciton : pada saat foton diserap oleh bahan aktif SSO menyebabkan terbentuknya suatu exciton.
3. Difusi dan migrasi exciton : proses migrasi terjadi ketika exciton bergerak sepanjang material melalui difusi .
4. Disosiasi exciton : suatu exciton berdisosiasi akan menjadi pasangan hole dan elektron.
5. Transport muatan : elektron dan hole yang sudah terdisosiasi akan bergerak ke elektroda (logam) yang sesuai. Elektroda kerja yang lebih rendah akan ditempati oleh elektron sedangkan hole pada elektroda kerja yang lebih tinggi.
6. Pengumpulan muatan : arus foto yang ditimbulkan oleh elektron dan hole yang sudah mencapai elektroda.

Dari keenam proses tersebut selain proses pembentukan arus foto yang menimbulkan adanya arus listrik dalam peranti sel surya, sehingga

jumlah efisiensi sel surya organik juga dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut (Chotimah, dkk, 2012).



Gambar 6. Struktur Sel Surya Polimer P3HT:PCBM

Prinsip kerja sel surya polimer sama dengan prinsip kerja DSSC. Bahan aktif yang berperan seperti *dye* merupakan bahan yang bersifat pendonor (P3HT) dan sebagai aseptor (PCBM) yang menghasilkan elektron tereksitasi pada saat diberikan energi cahaya. Material yang bersifat pendonor akan memperoleh energi foton eksitasi (electron dan hole). Sehingga dalam material, mobilitas yang dihasilkan oleh elektron dan hole berbeda (Chotimah, dkk. 2012).

## H. Metode Karakterisasi SEM

SEM (Scanning Elektron Microscopy) adalah peralatan untuk menguji atau melihat struktur permukaan sampel dengan perbesaran sampai dengan 1.000.000 x. Peralatan ini memiliki 2 modus operasional, *Low Vacuum* (untuk sampel nonkonduktif) dan *High Vacuum* (untuk sampel konduktif). Alat ini dilengkapi EDAX yaitu alat yang dapat digunakan untuk menguji kandungan unsur pada bahan yang dilihat struktur permukaannya. Kandungan

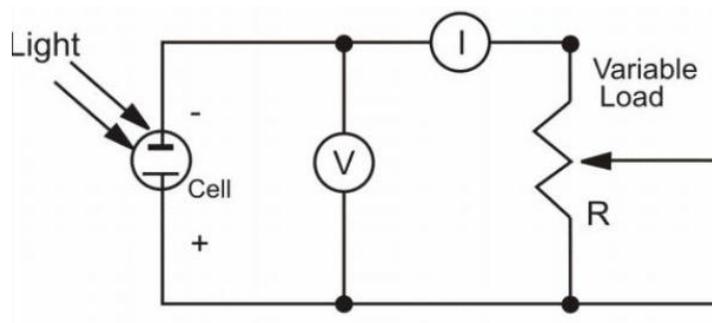
unsur yang dapat diuji mulai dari Berilium s/d Uranium. Sebaran unsur didalam bahan juga dapat dideteksi berupa *surface area,line* dan *mapping* (Abdullah, 2009).

Cara kerja SEM adalah pemancaran gelombang elektron pada lensa kondensor dan difokuskan sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. Ketika berkas sinar elektron mengenai cupllikan dan dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor backscatter akan menghasilkan elektron sekunder. Hasil dari SEM terdiri dari ribuan titik diberbagai intensitas pada permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi gambar. Untuk bisa diproyeksikan pada layar,pada lensa objektif bayangannya harus diperbesar dan berkas elektronnya dikonsentrasikan pada spesimen. (Gunawan, Budi dan Citra Dewi A. 2007).

SEM diaplikasikan untuk mempelajari/mengetahui fiber (serat) material, keramik, campuran, logam, katalis, polimer dan material biologis (Tjahjanto, 2001). Pada lapisan aktif proses karakterisasi SEM bertujuan untuk melihat suatu permukaan lapisan yang dipengaruhi oleh suhu *annealing* (Pratiwi, Z.R, dkk. 2013).

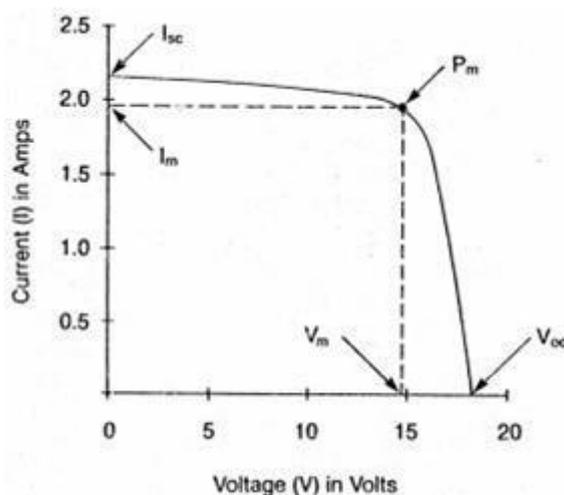
## **I. Pengujian Sel Surya Polimer**

Sel surya polimer yang sudah dirangkai dilakukan pengujian tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh sel surya polimer menggunakan multimeter digital, dengan rangkaian seperti Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Pengukuran Karakteristik I-V (Bazargan, 2010).

Penggunaan tegangan dari sel surya bergantung dari bahan semikonduktor yang digunakan. Jika menggunakan bahan silikon, maka tegangan yang dihasilkan dari setiap sel surya berkisar 0,5 V. Modul surya merupakan gabungan beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel sehingga memiliki karakteristik, seperti pada Gambar 8. Tegangan dihasilkan dari sel surya bergantung dari radiasi cahaya matahari. Untuk arus yang dihasilkan dari sel surya bergantung dari luminasi (kuat cahaya) matahari, seperti pada saat cuaca cerah atau mendung.



Gambar 8. Kurva Karakteristik I-V pada Sel Surya (Satwiko, 2012).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Doping ZnO sangat mempengaruhi nilai efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik. Konsentrasi doping ZnO yang digunakan adalah 0,75 M.
2. Variasi pada pelapisan polimer aktif P3HT:PCBM memberikan pengaruh terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik. Efisiensi yang dihasilkan adalah 4,6% pada 4 kali pelapisan.

#### **B. Saran**

Dari penelitian yang sudah dilakukan, disarankan:

1. Perlu dikaji kembali pembuatan lapisan tipis doping ZnO yang lebih baik untuk menghasilkan efisiensi pada sel surya yang lebih tinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pembuatan pasta PEDOT:PSS.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.dan Khairurrijal. 2009. Review: *Karakter Nanomaterial Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. No 1 Februari 2009.
- Ariswan. 2013. *Struktur Kristal, Morfologi Permukaan dan Sifat Optik Bahan CdSe Hasil Preparasi dengan Teknik Close Spaced Vapor Transport (CSV) untuk Aplikasi Sel Surya*. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng &DIY,Solo, 23 Maret 2013.
- Arya, Fredicha dkk. 2013. *Kajian Pengaruh Ketebalan Lapisan P3HT Pada Sel Surya Organik Berbasis Bahan Organik Dan Polimer*. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 01, No. 02: : 153-159.
- Bakhtiar, A., dkk. 2011. *Sel-Surya Polimer: State Of Art dan Progres Penelitiannya di Universitas Padjajaran*. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Vol. 01. No. 01:7-14
- Bazargan, 2010. *Performance Of Nano Structured Dye-Sensitized Solar Cell Utilizing Natural Sensitizer Operated With Platinum And Carbon Coated Counter Electrodes*. *International Journal of ChemTech Research*, Vol.2, No.1 : 615-619.
- Chotimah, dkk. 2012, “*Efek Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi Konversi Daya Sel Surya Organik Bulk Heterojunction Berbasis Poly(3 hexylthiophene) dan Phenyl C61 butyric Acid Methylester*, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*, Purworejo, 14 April 2012.
- DeBoisblanc, Jenna. 2010. *Synthesis and Characterization of P3HT:PCBM Organic Solar Cells*. Thesis. University of Catenburry.
- Erus, Rustami. 2008. *Sistem Kontrol Kecepatan Putar Spin Coating Berbasis Mikrokontroler ATmega8535*. Skripsi. Departemen Fisika : Institut Pertanian Bogor.
- Dahou F.Z, L. Cattin, J. Garnier, J. Ouerfelli, M. Morsli, G. Louarn, A. Bouteville,A. Khellil, J.C. Bernèd, Influence of anode roughness and buffer layer nature on organic solar cells performance, *Thin Solid Films Journal* 518 (2010) 6117–6122.
- Gunawan, Budi dan Citra Dewi A. 2010. *Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Elektron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG)*.