

**KARAKTERISASI SEL SURYA POLIMER HIBRID BERSTRUKTUR
TERBALIK MENGGUNAKAN LAPISAN AKTIF PPV : PCBM DIDOPING
CuO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

**SHINTYA PUTRI
NIM 2014/14036017**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

PERSETUJUAN SKRIPSI

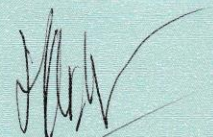
KARAKTERISASI SEL SURYA POLIMER HIBRID BERSTRUKTUR TERBALIK MENGGUNAKAN LAPISAN AKTIF PPV:PCBM DIDOPING CuO

Nama : Shintya Putri
Nim : 14036017/2014
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Februari 2019

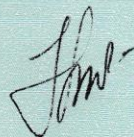
Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I,



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

Dosen Pembimbing II,



Hary Sanjaya, S.Si, M.Si
NIP. 19830428 200912 1 007

HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

*Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang*

Judul : **Karakterisasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur
Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif PPV:PCBM
Didoping CuO**

Nama : Shintya Putri

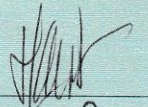
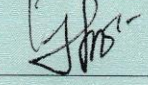
TM/NIM : 2014/14036017

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Februari 2019

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	Dr. Hardeli, M.Si	1. 
2	Sekretaris	Hary Sanjaya, S.Si, M.Si	2. 
3	Anggota	Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D	3. 
4	Anggota	Budhi Oktavia, M.Si, Ph.D	4. 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

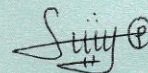
Nama : Shintya Putri
TM/NIM : 2014/14036017
Tempat/Tanggal Lahir : Padang / 14 Agustus 1996
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : MIPA
Alamat : Jl. Marapalam Indah X No. 12, Kelurahan Kubu
Marapalam, Kecamatan Padang Timur, Kota
Padang
No. Hp/Telepone : 081372444511
Judul Skripsi : Karakterisasi Sel Surya Polimer Hibrid
Berstruktur Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif
PPV:PCBM Didoping CuO

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (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, Februari 2019
Yang membuat pernyataan.



Shintya Putri
NIM : 1101510

ABSTRAK

Sel surya merupakan salah satu sumber energi listrik yang sedang banyak dikembangkan dimana sel surya dapat mengubah langsung energi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Salah satu jenis sel surya yang banyak dikembangkan saat ini yaitu sel surya polimer hibrid yang mana sel surya ini menggunakan polimer sebagai lapisan aktifnya yang bekerja menyerap cahaya matahari dan membangkitkan elektron pada saat cahaya matahari mengenai permukaan substrat.

Salah satu polimer yang banyak digunakan yaitu PPV:PCBM, polimer PPV dicampurkan dengan polimer PCBM dengan perbandingan 3:1 dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi dari perbandingan yang lainnya. Dalam preparasi sel surya polimer hibrid yang sudah ada mempunyai struktur litografi ITO/PEDOT:PSS/PPV:PCBM/Karbon, namun dalam sel surya dengan struktur litografi seperti ini mempunyai kendala yaitu PEDOT:PSS bersifat higroskopis jika diletakkan pada lapisan bawah akan menyerap air lebih banyak dan membuat kinerja dari sel surya jadi menurun. Dalam penelitian ini akan membahas sel surya polimer hibrid dengan struktur terbalik, dimana lapisan PEDOT:PSS terletak paling atas untuk menghindari kekurangan sel surya sebelumnya, dan dalam sel surya ini digunakan CuO sebagai doping untuk meningkatkan efisiensi dari sel surya.

CuO sebagai doping divariasikan dengan konsentrasi 0,5, 0,75, 1 mol dan tebal pelapisan juga divariasikan yaitu 1x, 2x, 3x pelapisan. Sel surya yang telah dipreparasi kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui ukuran kristal, tebal lapisan, dan struktur morfologi permukaan, *4-point probe system* untuk mengukur efisiensi. Hasil dari doping CuO ini terbukti dapat meningkatkan hasil efisiensi dari sel surya sebelumnya, hasil efisiensi tertinggi yaitu 3,237 % dengan konsentrasi CuO 1 mol dan 1x pelapisan. Ukuran kristal dari CuO yaitu 23,19 - 23,25 nm dengan ketebalan kristal 0,232242-0,137437 nm.

Kata Kunci : sel surya struktur terbalik, doping CuO, SEM, XRD

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil ‘Aalamiin, puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya hingga pada akhirnya penulis mampu merampungkan skripsi yang berjudul **“Preparasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif PPV:PCBM Didoping CuO.** demikian pula shalawat dan tazlim tidak lupa terkirimkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad S.A.W.

Proposal Penelitian ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan untuk memperoleh Sarjana S-1 pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Dalam menyelesaikan skripsi ini penulis banyak dibimbing dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
2. Bapak Hary Sanjaya, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
3. Bapak Edi Nasra, M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama ini.
4. Bapak Ananda Putra, M.Si dan Bapak Budhi Oktavia selaku dosen penguji yang telah memberikan saran demi kesempurnaan skripsi ini.

5. Kedua Orang Tua penulis tercinta atas segala motivasi, dukungan, serta bantuan baik secara moral, materi, dan spiritual.
6. Semua pihak yang telah memberikan masukan dan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis telah melakukan perbaikan sepenuhnya dalam skripsi ini. Namun, demi kesempurnaan skripsi ini, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga skripsi ini berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Padang, Februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
A. Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
B. Identifikasi Masalah	7
C. Rumusan Masalah	8
D. Batasan Masalah.....	7
E. Tujuan Penelitian	9
F. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
A. Sel Surya (<i>Solar Cell</i>)	Error! Bookmark not defined.
B. Sel Surya Polimer.....	Error! Bookmark not defined.
C. Material Sel Surya Polimer	Error! Bookmark not defined.
a. Lapisan aktif PPV:PCBM	Error! Bookmark not defined.
b. Substrat Kaca TCO.....	Error! Bookmark not defined.
c. Tembaga Oksida (CuO).....	Error! Bookmark not defined.
d. PEDOT:PSS	Error! Bookmark not defined.
e. <i>Counter</i> Elektroda	Error! Bookmark not defined.
D. Efisiensi.....	Error! Bookmark not defined.
E. Spin Coating.....	Error! Bookmark not defined.
F. Mekanisme Sel Surya Polimer	Error! Bookmark not defined.
G. Metode Karakteristik SEM	Error! Bookmark not defined.
H. Pengujian Sel Surya Polimer	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
A. Jenis Penelitian, Waktu Dan Tempat	Error! Bookmark not defined.

B. Objek Penelitian	Error! Bookmark not defined.
C. Variabel Penelitian	Error! Bookmark not defined.
D. Desain Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
a. Alat Dan Bahan.....	Error! Bookmark not defined.
E. Prosedur penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
a. Preparasi Komponen-Komponen Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik.....	Error! Bookmark not defined.
b. Perakitan Sel Surya Polimer Hibrid Berbanding Terbalik.....	Error! Bookmark not defined.
c. Karakteristik Film Tipis	Error! Bookmark not defined.
d. Pengujian Arus Listrik Sel Surya	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Perbedaan struktur antara *bilayer* dan *bulk heterojunction* (deBoisblanc, Jenna. 2010)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. Struktur sel surya dengan lapisan aktif campuran P3HT dan PCBM (Bahtiar, A., dkk. 2011).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. Struktur semikonduktor organik (a) tipe-n dan (b) tipe-p (Pratiwi, H. 2009).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. Struktur P3HT dan PCBM (Bahtiar, A., dkk. 2011)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 5. Struktur Kimia PEDOT:PSS (Jiao Li, *et al.*, 2009).**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 6. Piringan Berputar (a), Skema Tahapan *spin coating* (b) (Hidayat, A.S. dkk, 2014).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 7. Struktur Sel Surya Polimer P3HT:PCBM**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 8. Rangkaian Pengukuran Karakteristik I-V (Bazargan, 2010) **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

- Tabel 1. Karakteristik tembaga dioksida (CuO)**Error! Bookmark not defined.**
Tabel 2. Variasi konsentrasi CuO**Error! Bookmark not defined.**
Tabel 3. Pengaruh jumlah pelapisan P3HT:PCBM**Error! Bookmark not defined.**

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ketersediaan energi didunia ini semakin lama semakin menipis, termasuk juga ketersediaan sumber energi listrik. Listrik yang berasal dari sumber energi konvensional, seperti bahan bakar minyak, semakin lama semakin menurun. Disisi lain kebutuhan manusia akan listrik semakin meningkat. Manusia terus mencari dan mengembangkan sumber-sumber energi alternatif yang lain, yang dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik. Salah satu sumber energi alternatif yang digunakan sebagai sumber energi listrik adalah Sel Surya (Pendidikan & Upi, 2013). Sel surya merupakan salah satu divais elektronik yang dapat mengubah secara langsung energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan sumber energi yang tidak akan pernah habis, selama matahari memancarkan sinarnya ke bumi (Satiadi & Fleksibel, 2013).

Sinar matahari dapat dirubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya dengan cara mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi energi listrik. Ada tiga tipe atau generasi sel surya (sel fotovoltaik) (Green, 2003) :

1. Sel fotovoltaik generasi ke-I (*silicon wafer-based photovoltaic cells*).
2. Sel fotovoltaik generasi ke-II (*thin film photovoltaic cells*) yang merupakan suatu sel fotovoltaik dengan teknologi lapisan tipis. Sel fotovoltaik berbasis pewarna (*Dye Sensitized Solar Cells/DSSC*) dan sel fotovoltaik organik.

3. Sel fotovoltaike generasi ke-III (*advanced thin film photovoltaic cells*). teknologi pembuatan sel surya dari bahan polimer atau disebut juga dengan sel surya organik dan sel surya foto elektrokimia

Sel surya (sel fotovoltaike) generasi ke-I (*silicon wafer-based photovoltaic cells*) (Green, 2003). Sel-surya berbahan dasar silikon merupakan hasil dari perkembangan pesat semikonduktor anorganik (Sutrisno, 2010). Silikon bersifat tidak ramah lingkungan serta besarnya permintaan industri semikonduktor mengakibatkan suplai bahan baku jenis silikon semakin meningkat. Silikon sangat berperan penting di bidang mikroelektronika dan medis. Hal ini berdampak pada harga silikon yang semakin meningkat pula, sehingga biaya produksi lebih mahal dibandingkan dengan sumber energi dari energi fosil (Septina, 2007).

Sel fotovoltaike generasi ke-II (*thin film photovoltaic cells*) yang merupakan suatu sel fotovoltaike dengan teknologi lapisan tipis. Sel surya ini merupakan jenis sel surya yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano biasanya titanium dioksida yang diendapkan dalam sebuah perendam (*dye*). Sel surya ini sering juga disebut dengan *Graetzel cell* atau *dye-sensitized solar cells* (DSSC) (Green, 2003). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Hardeli, dkk., 2011), pembuatan sel surya jenis DSSC dengan elektrolit cair dan zat warna masih menghasilkan efisiensi yang rendah, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Anna, Maulina dkk (2014) dengan menggunakan *dye* dari ekstrak antosianin kulit buah Manggis, untuk itu dibutuhkan

sel surya yang murah dengan kinerja sel tinggi. Sel surya dari material organik sangatlah mudah dibuat, ringan, fleksibel, dan beraneka warna (Sutrisno, 2010).

Pengembangan sel fotovoltaik generasi ke-III menjadi prioritas dari tipe atau generasi sel fotovoltaik, karena penelitian tentang sel surya saat ini diarahkan untuk meningkatkan efisiensi dengan tujuan diperoleh arus listrik yang banyak (Sutrisno, 2010). Sel surya dengan bahan semikonduktor organik antara lain polimer terkonjugasi telah dikembangkan karena mempunyai potensi untuk diproduksi dengan harga fabrikasi yang murah, proses pembuatan relatif mudah dan dapat dikembangkan dengan substrat fleksibel (Krebs, 2009). Namun, di sisi lain sel surya polimer masih memiliki kekurangan seperti efisiensi yang masih rendah, mobilitas muatan pembawa yang masih rendah, dan juga masalah stabilitas dari lapisan aktif polimer jika digunakan dalam waktu yang cukup lama (Satiadi & Fleksibel, 2013).

Konsep baru dalam pembuatan sel surya organik dilakukan oleh Tang tahun 1979. Dalam penelitiannya Tang menggabungkan 2 material semikonduktor organik pada suatu penghubung dan menghasilkan efek fotovoltaik (Saunders dan Turner, 2008). Setelah penelitian itu muncul istilah *heterojunction* yang berarti penghubung dari 2 material semikonduktor organik. Tahun 1994 Yu et al. melakukan penelitian dengan mencampurkan dua jenis semikonduktor polimer, yang kemudian dikenal dengan istilah *bulk heterojunction* (Saunders, 2012).

Sel surya polimer merupakan sel surya dengan struktur *bulk heterojunction* dimana molekul-molekul dari dua jenis material polimer yang berfungsi sebagai donor elektron (tipe-p) dan akseptor elektron (tipe-n) dicampur menjadi film *bulk*

sehingga membentuk *heterojunction* diantara keduanya. Film *bulk* tersebut berfungsi sebagai *active layer* yang berkerja menyerap cahaya matahari dan membangkitkan elektron pada saat cahaya matahari mengenai permukaan substrat/kaca (Erlyta Septa Rosa,2013). Sel surya dengan bahan polimer telah dikembangkan karena mempunyai potensi untuk diproduksi dengan biaya yang lebih murah, proses yang lebih mudah, dan dapat dikembangkan dengan substrat yang fleksibel/plastik. Meskipun demikian efisiensi yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan dengan sel surya silikon, sehingga masih banyak peluang yang dapat dilakukan untuk mengembangkan sel surya berbasis polimer ini secara intensif (Erlyta Septa Rosa dan Shobih, 2013).

Sel surya polimer hibrid adalah salah satu pengembangan sel surya berbasis polimer secara intensif. *Hybrid bulk heterojunction* yaitu mencampurkan material semikonduktor organik dan material semikonduktor anorganik sebagai lapisan aktif sel surya (Erlyta Septa Rosa dan Shobih, 2013). Pada sel surya polimer hibrid, Material polimer merupakan semikonduktor yang dapat dilarutkan dalam proses fabrikasi sedangkan material semikonduktor anorganik memiliki mobilitas elektron yang tinggi, kelebihan dari kedua material ini digabungkan (Erlyta Septa Rosa dan Shobih, 2013). Secara keseluruhan perangkat untuk sel surya polimer hibrid memiliki struktur ITO / Pedot: PSS / Lapisan Aktif / Al. Dalam struktur ini, Indium Timah Oksida (ITO) berfungsi sebagai anoda, Al sebagai katoda. Lapisan aktif adalah campuran dari donor-elektron polimer terkonjugasi dan material akseptor elektron. Pedot: PSS, yang merupakan singkatan dari *poly(3,4-ethylenedioxythiophene)*:

poly(styrenesulfonate) sering digunakan sebagai bahan transportasi lubang di mana berfungsi sebagai lapisan anoda antarmuka untuk meningkatkan koleksi lubang, serta untuk meningkatkan anoda. Bila digunakan sebagai lapisan antarmuka anoda, karena sifat higroskopis dan keasamnya sangat tinggi, akan menurunkan kinerja Sel Surya Polimer. Dalam lingkungan yang lembab ia akan menyerap air dan dapat menyebabkan tergoresnya ITO dengan mudah (Abdillah & Septa, 2017). Karena itu, perlu untuk menggunakan metode alternatif untuk menghindari kelemahan ini seperti memanfaatkan bahan oksida logam tipe-p seperti CuO sebagai interlayer untuk mendapatkan Sel Surya Polimer hibrid lebih stabil, yaitu dengan menggunakan stuktur perangkat terbalik yang konvensional, dengan membalik karakteristik lapisannya. Dengan menggunakan struktur terbalik, antarmuka ITO / Pedot: PSS kelemahannya dapat dihindari (Abdillah & Septa, 2017).

CuO (tembaga oksida) digunakan sebagai pelapis antara ITO dengan Pedot: PSS agar menghindari tergoresnya kaca ITO oleh Pedot:PSS pada lingkungan yang lembab. Pemilihan semikonduktor berbahan dasar CuO sebagai pelapis ITO karena ia memiliki harga relatif murah, dan proses sintesis relatif mudah sehingga bahan ini cocok untuk aplikasi sel surya. Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor dengan besar energi gap < 6 eV. Semikonduktor berbahan dasar CuO memiliki energi gap 1,2 – 1,9 eV sehingga cocok digunakan untuk sel surya (Ahmad Habibi. 2014).

Polimer p-phenylene vinylene (PPV) polimer adalah polimer organik konduktif terkonjugasi memiliki ikatan ganda tunggal dalam bentuk unit berulang cincin

benzene gabungan dan obligasi transacetylene. Jenis obligasi memungkinkan electron akan terdelokalisasi sepanjang rantai polimer, sehingga memberikan sifat-sifat semikonduktor polimer. PPV memiliki daya serap sinar pada panjang gelombang 450-550 nm. Bahan PPV dengan penyerapan panjang gelombang cenderung menjadi bahan sel surya, karena sinar matahari memiliki energi tertinggi pada spektrum dengan panjang gelombang 500 nm. PPV bahan polimer disebut bahan donor elektron (Aernouts 2006) dan juga disebut semikonduktor jenis-p. energi orbital pada -5,3 eV untuk HOMO (Pendudukan tertinggi Molekuler orbital) dan LUMO (Terendah Tak Terisi Molecular Orbital) di-3,2 eV. Karakteristik efek fotovoltaiik sel surya PPV dengan penambahan polimer [6,6] fenil C61 asam butirat metil ester (PCBM) juga diamati untuk mendapatkan sel surya organik yang lebih baik. Bahan polimer PCBM dipilih karena memiliki pelarut yang sama seperti PPV dan akseptor (Aernouts, 2006) dan juga termasuk tipe-n semikonduktor. PCBM memiliki HOMO orbital - 5,1 eV dan LUMO - 3,7 eV adapun efesiensi yang dihasilkan dari penambahan ini yaitu 2.61 % (Hardeli, Sanjaya, Resikarnila, & Nitami, 2018).Efisiensi ini perlu ditingkatkan minimal menjadi 10% untuk produksi masal dan komersialisasi. Berbagai cara dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel-surya BHJ, diantaranya, penggunaan polimer baru, kontrol morfologi lapisan aktif dan optimasi struktur (Bahtiar & Aprilia, 2011).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul **“Karakterisasi Sel Surya Polimer Hibrid Berstruktur Terbalik Menggunakan Lapisan Aktif PPV:PCBM Didoping CuO”**. Penelitian ini diharapkan dapat

berguna untuk pembangkit listrik masa depan dengan fabrikasi yang murah dan bisa digunakan dalam jangka waktu lama.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan dikaji yaitu:

1. Perbandingan pencampuran PPV:PCBM 3:1 sangat mempengaruhi efisiensi sel surya yang dihasilkan.
2. Variasi konsentrasi CuO yang digunakan sangat mempengaruhi efisiensi sel surya yang dihasilkan.
3. Perbandingan pelapisan CuO yang digunakan sangat mempengaruhi efisiensi sel surya yang dihasilkan.

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang diangkat dibatasi pada aspek-aspek yaitu:

1. Perbandingan campuran polimer antara PPV:PCBM dengan perbandingan 3:1 pada suhu annealing 150°C .
2. Konsentrasi CuO divariasikan 0,5 M, 0,75 M, dan 1M.
3. Pelapisan CuO divariasikan dengan 1,2, dan 3 kali pelapisan.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi campuran polimer terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM?
2. Bagaimana pengaruh variasi perbandingan konsentrasi CuO terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM?
3. Bagaimana pengaruh variasi pelapisan CuO terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Menentukan pengaruh variasi campuran polimer terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM.
2. Menentukan pengaruh dari variasi perbandingan konsentrasi CuO yang digunakan terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan sel surya polimer menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM.
3. Menentukan pengaruh dari variasi jumlah pelapisan CuO terhadap jumlah arus dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian tentang sel surya polimer berbasis PPV:PCBM memiliki beberapa manfaat diantaranya:

1. Memberikan sumbangan ilmu pengetahuan mengenai pengembangan sumber energi yang dapat diperbaharui, yaitu sel surya berbasis polimer.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh perbandingan jumlah pelapisan polimer PPV:PCBM terhadap kerja sel surya polimer.
3. Memberikan informasi tentang pengaruh perbandingan konsentrasi CuO yang digunakan terhadap kerja sel surya polimer.
4. Mengetahui informasi tentang pengaruh pelapisan CuO yang digunakan terhadap kerja sel surya polimer.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sel Surya (*Solar Cell*)

Sel surya adalah sebuah alat yang mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik, yang juga biasa disebut dengan *photovoltaic* (fotovoltaik). Efek fotovoltaik ini pertama kali ditemukan oleh Becquerel pada awal tahun 1839, yang mendeteksi adanya tegangan ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. 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, W., dkk. 2007).

Sampai saat ini terdapat beberapa teknologi pembuatan sel surya yang sedang dikembangkan oleh para peneliti untuk mendapatkan sel surya yang memiliki efisiensi yang tinggi 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 mencapai 20% untuk skala komersil. Persentase penggunaan bahan sel surya dewasa ini adalah 43% silikon polikristal, 39% silikon kristal tunggal, 1% silikon lapisan tipis, 3% silikon dalam bentuk *ribbon* sedangkan 14% bahan selain silikon, namun demikian penelitian menggunakan bahan lain terus dilakukan hingga kini dan bahkan pada masa-masa yang akan datang. 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).

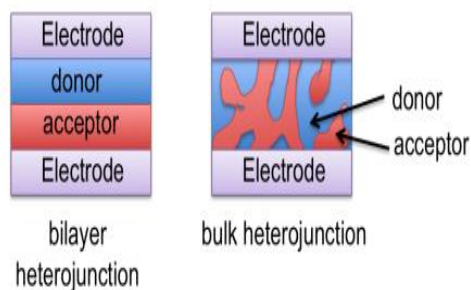
Sel surya organik merupakan generasi baru yang memanfaatkan bahan organik, yang pada umumnya mengandung ikatan Karbon, Hidrogen, atau Oksigen yang bersifat seperti semikonduktor. Material-material organik yang digunakan sebagai perangkat elektronik secara umum dikelompokkan menjadi dua golongan yaitu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

Salah satu tipe sel surya organik adalah *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) atau sel surya tersensitasi *Dye* (pewarna). Penggunaan *Dye* pada DSSC dilakukan untuk menggantikan peran Silikon pada sel surya konvensional yang harganya relatif mahal dalam proses fabrikasi. *Dye* disini juga berfungsi sebagai penyerap foton yang selanjutnya akan menghasilkan eksitasi elektron dan *hole*. Selanjutnya, elektron akan mengalir menuju TiO_2 dan elektroda, yang kemudian mengalir sebagai arus ke sirkuit luar (Hidayat, A.S., dkk. 2014).

1. Sel Surya Polimer

Sel surya organik lainnya adalah sel surya berbasis polimer. Sel surya polimer menggunakan bahan polimer terkonjugasi yang bersifat semikonduktif. Metoda yang sering dipakai dalam sel surya polimer adalah *heterojunction* (Putra, A.K., 2014).

Metode *heterojunction* secara umum dibagi menjadi dua yaitu, menggunakan *bilayer* dan menggunakan *bulk* atau campuran. Pada metode *bilayer* atau sering disebut *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)

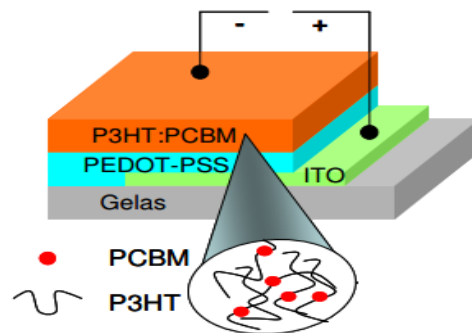


Gambar 1. Perbedaan struktur antara *bilayer* dan *bulk heterojunction* (deBoisblanc, Jenna. 2010)

Metode *bulk heterojunction* digunakan secara luas pada lapisan *photoactive*. Pencampuran antara donor dan akseptor pada lapisan aktif ini menghasilkan efisiensi yang tinggi serta menggunakan proses yang murah sehingga metode *bulk heterojunction* lebih unggul dibandingkan dengan metode bilayer (Gunes *et al*, 2007).

Bahan polimer atau organik semikonduktif digunakan sebagai lapisan aktif dalam sel surya merupakan material yang kaya akan donor elektron dan akseptor elektron yang berkerja menyerap cahaya matahari dan membangkitkan elektron pada saat cahaya matahari mengenai permukaan sel-surya. Elektron tersebut

kemudian akan mengalir melewati sepasang elektroda yaitu aluminium (Al) sebagai katoda yang ada dibawahnya dan menuju ke anoda transparan di atasnya menghasilkan arus listrik (Pratiwi, Z.R., dkk. 2013). Sel surya organik berbasis polimer dapat dibuat dengan struktur Gelas/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM (Bahtiar, A., dkk. 2011), susunan dari komponen sel surya polimer seperti ditunjukkan pada gambar berikut.

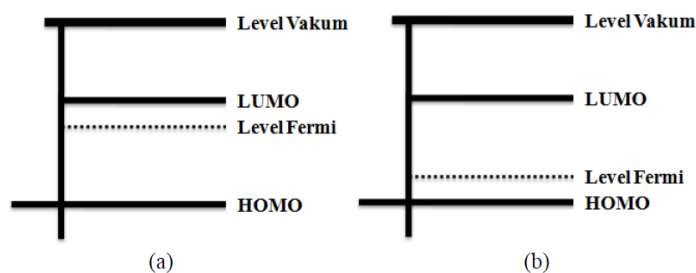


Gambar 2. Struktur sel surya dengan lapisan aktif campuran P3HT dan PCBM (Bahtiar, A., dkk. 2011).

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 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 adalah suatu level energi yang tidak terdapat muatan bebas pada level itu. Celah energi atau energi gap (EG) merupakan lebar celah energi antara HOMO dan LUMO (Pratiwi, H. 2009). Gambar berikut ini memperlihatkan struktur semikonduktor organik tipe-n dan tipe-p.



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

Perbedaan sel surya organik dan anorganik terletak pada muatannya dimana pada sel surya organik, terdapat *exciton*. *Exciton* merupakan pasangan *elektron-hole* yang terikat sangat kuat. Transpor muatan terjadi jika *exciton* dibangkitkan kemudian didisosiasikan menjadi elektron dan *hole* (Putra, A.K., 2014).

2. Sel Surya Polimer Hibrid

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-p seperti CuO. 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).

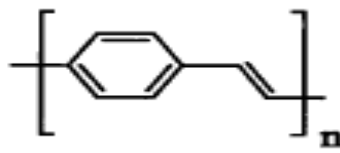
B. Material Sel Surya Polimer Hibrid

1. Lapisan Aktif PPV : PCBM

Polimer P-Phenylene Vinylene (PPV) adalah polimer organik konduktif terkonjugasi yang memiliki ikatan rangkap tunggal berupa bentuk unit berulang dari gabungan cincin benzena dan ikatan transasetilena. Jenis ikatan tersebut memungkinkan elektron-elektron π terdelokalisasi sepanjang rantai polimer,

sehingga mampu memberikan sifat semikonduktor pada polimer tersebut. PPV memiliki konduktivitas sebesar 10^{-9} – 10^{-13} S/cm (Bradley. 1987).

Struktur dari PPV dapat dilihat seperti gambar berikut.

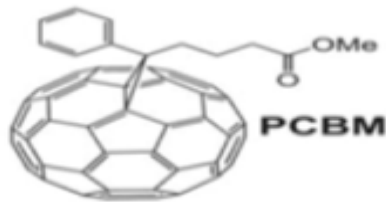


Gambar 4. Struktur PPV (Baskoroadi,G. 2011).

PPV mempunyai serapan sinar pada panjang gelombang 450-550 nm (Omer. 2012). PPV dengan serapan panjang gelombang tersebut berpeluang sebagai bahan sel surya, karena sinar matahari mempunyai energi tertinggi pada spektrum dengan panjang gelombang 500 nm (Kim. 2009). Bahan polimer PPV disebut bahan donor elektron (Aernouts. 2006) dan juga disebut semikonduktor tipe-p. Energi orbital pada -5,3 eV untuk HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dan LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) pada -3,2 eV (Oku et al., 2008)

Karakteristik efek fotovoltaiik sel surya PPV dengan penambahan polimer [6.6]-phenyl C61 butyric acid methyl ester (PCBM) juga diamati untuk memperoleh sel surya organik yang lebih baik. Bahan polimer PCBM dipilih karena mempunyai pelarut yang sama dengan PPV dan bersifat aseptor (Aernouts, 2006) dan juga termasuk semikonduktor tipe-n. PCBM mempunyai energi orbital HOMO – 6,1 eV dan LUMO – 3,7 eV (Zahlou *et al.*, 2014; Anonim, 2014).

Penambahan polimer PCBM pada PPV dilakukan dengan variasi konsentrasi. Struktur dari PCBM dapat dilihat dari gambar sebagai berikut.



Gambar 5. Struktur PCBM (Bahtiar, A., dkk. 2011).

Pembangkitan energi listrik pada sel surya terjadi berdasarkan efek fotolistrik, atau disebut juga efek fotovoltaiik, yaitu efek yang terjadi akibat foton dengan panjang gelombang tertentu yang jika energinya lebih besar daripada energi ambang semikonduktor, maka akan diserap oleh elektron sehingga elektron berpindah dari pita valensi (N) menuju pita konduksi (P) dan meninggalkan *hole* pada pita valensi, selanjutnya dua buah muatan, yaitu pasangan elektron-hole, dibangkitkan. Aliran elektron-*hole* yang terjadi apabila dihubungkan ke beban listrik melalui penghantar akan menghasilkan arus listrik. Pada sel-surya polimer, absorpsi cahaya dan transfer muatan listrik terjadi pada proses terpisah. Absorpsi cahaya terjadi pada lapisan aktif polimer yang ditandemkan dan transfer muatan oleh semikonduktor anorganik yang sering digunakan yaitu Titanium dioksida (TiO_2) (Septina, Wilman. 2007).

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_2 dan ITO (Indium Tin Oxide). SnO_2 harganya sangat murah, akan tetapi nilai resistivitasnya jauh lebih tinggi dari pada ITO, sedangkan ITO merupakan campuran SnO_2 dan In_2O_3 ; dengan perbandingan Sn:In sekitar 5 : 95. Keunggulan dari ITO adalah resistivitasnya rendah (Wirjoadi dkk, 2002).

TCO merupakan material yang sangat penting untuk digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi modern. TCO banyak digunakan untuk sel fotovoltaik. Selain itu, TCO juga diaplikasikan pada alat fotonik-elektronika seperti layar LCD atau plasma, layar *smartphone* hingga sensor cahaya (P.Sinaga.2009).

3. Tembaga(II) oksida (CuO)

Oksida tembaga memiliki dua fasa kristal yaitu Cu_2O dan CuO . Oksida logam CuO merupakan padatan ionik dengan titik leleh diatas 1300°C . CuO adalah oksida basa sehingga mudah larut dalam asam dan mineral. CuO mempunyai sistem kristal *monoclinic* merupakan bahan semikonduktor tipe-p karena memiliki band gap sekitar 1.2 - 1.9 eV. CuO murni memiliki koefisien absorpsi yang tinggi sehingga sebagian besar cahaya dapat diabsorpsi oleh CuO dalam bentuk lapisan tipis. CuO memiliki parameter kisi $a = 4.68 \text{ \AA}$, $b = 3.42 \text{ \AA}$, $c = 5.13 \text{ \AA}$, serta memiliki massa jenis 6.315 g/cm^3 . Sebagai material semikonduktor CuO memiliki keuntungan selain biaya pembuatan yang rendah juga ketersediaannya yang melimpah. Karakteristik dari CuO , Sebagaimana bahan semikonduktor dari

senyawa-senyawa oksida yang lain, senyawa CuO memiliki sifat optik dan listrik yang cocok untuk piranti sel surya dan baterai lithium sebagai elektroda aktif. Disamping itu senyawa CuO memiliki sifat kimia yang cocok untuk aplikasi katalis dan sensor gas (Ahmad Habibi,2014).

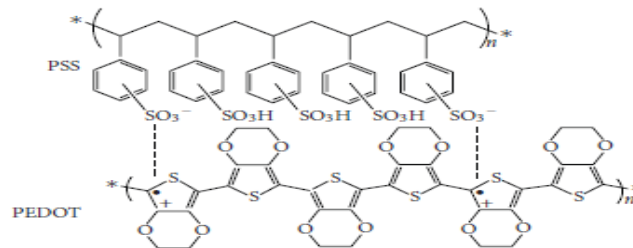
Tabel 1. Karakteristik tembaga dioksida (CuO)

Karakterisasi	
Rumus molekul	CuO
Massa molar (berat molekul)	79.545 g/mol
Warna	Hitam kecoklatan
Kerapatan	6.315 g/cm ³
Titik Leleh	1326 °C
Titih Didih	2000 °C
Energi Band gap	1.2 - 1.9 eV

4. PEDOT:PSS

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

ditransportasi ke lapisan ITO. Struktur kimia dan rantai dari PEDOT:PSS dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 7. Struktur Kimia PEDOT:PSS (Jiao Li, *et al.*, 2009).

Lapisan tengah memiliki berbagai fungsi memiliki 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, yang mana rantai PSS merupakan rantai panjang dan rantai dari PEDOT yaitu oligomerik (Yijie, Xia.2011). Aplikasi PEDOT:PSS antara lain sebagai *transparent anodes*, *buffer layer* dan aplikasi dalam *dye-sentized solar cells*. Dalam aplikasinya sebagai *buffer layer*, PEDOT:PSS dibentuk menggunakan metode *spin-coating*. Pada perkembangannya

modifikasi *buffer layer* dapat meningkatkan konversi energi pada sel surya organik dengan struktur *bulk heterojunction* (Ko, dkk., 2007).

5. Counter Elektroda

Counter elektroda atau elektroda bantu adalah elektroda yang berfungsi mengalirkan elektron dalam rangkaian yang tersambung dengan elektroda utama. Elektroda bantu akan berfungsi sebagai katoda, sedangkan elektroda kinerja berfungsi sebagai anoda (Satria Hidayat, dkk, 2014).

C. Efisiensi

Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik pada sel surya merupakan daya tarik berkembangnya riset mengenai sel surya. 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. Daya maksimum diberikan oleh hubungan:

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

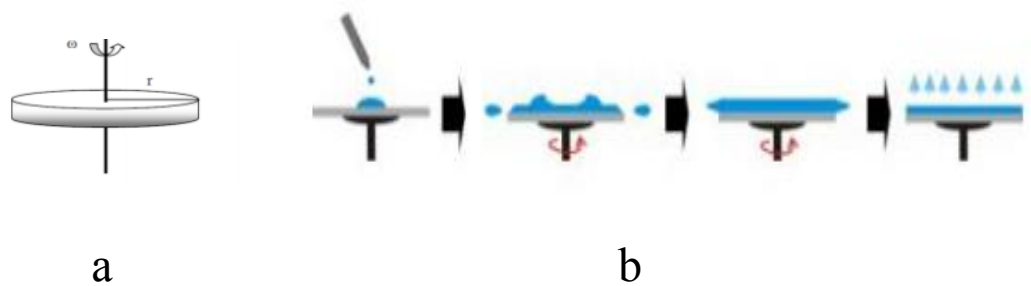
P_{in} dapat bersumber dari matahari dengan intensitas sekitar 1000 W/m^2 atau $0,1 \text{ W/cm}^2$. P_{in} ini dapat juga ditentukan dengan alat lux meter yang digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya. Dengan V_{max} adalah tegangan maksimum yang

dihasilkan sel surya dibagi dengan luas permukaan daerah substrat dan I_{max} merupakan arus maksimum yang dihasilkan dibagi dengan luas permukaan daerah substrat (Maddu, 2007).

D. *Spin Coating*

Secara umum penumbuhan film tipis material dapat dilakukan dengan metode konvensional seperti *spin coating*, *dip coating*, *electrophoresis*, *thermoporesis*, dan *settling (sedimentation)* merupakan bagian dari *metode sol-gel*. Metode *spin coating* lebih banyak digunakan dalam mendeposisikan film tipis, karena mempunyai berbagai kelebihan seperti penggunaan yang sangat sederhana dan dapat dikendalikan oleh parameter waktu, kecepatan putaran, dan juga kekentalan dari bahan pelapis yang digunakan (Setianingsih, Enni dan Nugerah Mede D.P, 2014)

Metode *spin coating* dapat diartikan sebagai sebuah metode pembentukan lapisan tipis melalui proses pemutaran atau spin. Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat dalam bentuk larutan atau gel, yang kemudian diteteskan diatas suatu substrat dan disimpan diatas piringan, yang dapat berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi. Karena adanya gaya sentripetal ketika piringan tersebut berputar maka bahan tersebut akan tertarik ke pinggir substrat dan tersebar secara merata. Sketsa putaran dan metode *spin coating* dapat dilihat pada gambar.



Gambar 8. Piringan Berputar (a), Skema Tahapan *spin coating* (b) (Hidayat, A.S. dkk, 2014)

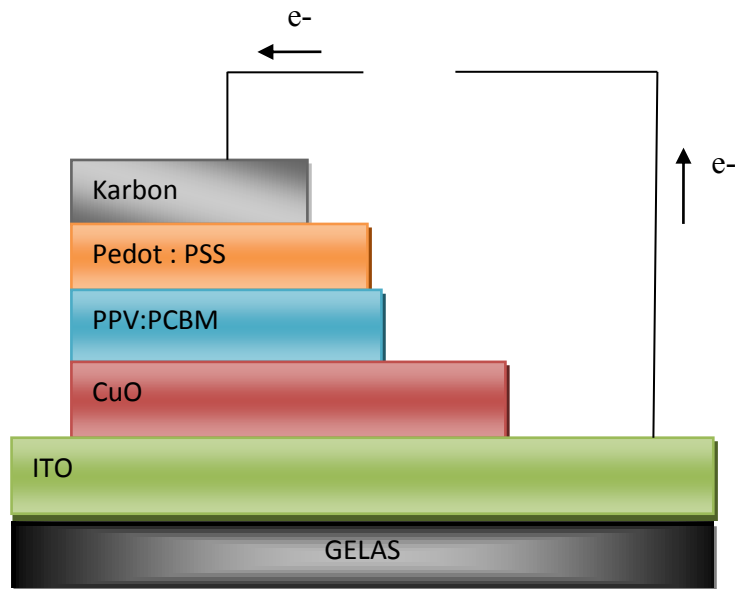
Spin Coating merupakan teknik khusus dengan menggunakan deposit cairan dalam jumlah kecil yang kemudian diputar pada kecepatan tinggi dalam suatu bidang datar. Alat deposisi *spin coating* yang ada saat ini juga masih memiliki beberapa keterbatasan (Erus Rustami, 2008), diantara kecepatan putar yang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

E. Mekanisme Sel Surya Polimer

Pengetahuan tentang bagaimana mekanisme fisis perjalanan cahaya (foton) dikonversi menjadi arus listrik sangat penting dalam merancang suatu divais dan pemilihan material. Mekanisme fisis konversi foton menjadi arus listrik melalui tahap-tahap berikut:

1. Serapan foton: foton yang mengenai divais haruslah diserap secara maksimal, sehingga material yang digunakan harus transparan dan mempunyai koefisien refleksi sangat kecil.
2. Pembentukan exciton : Eksiton terbentuk pada bahan aktif SSO setelah menyerap foton.
3. Difusi dan migrasi exciton : exciton yang terbentuk akan bergerak sepanjang material melalui difusi dan melakukan migrasi.
4. Disosiasi exciton : exciton akan berdisosiasi menjadi pasangan hole dan elektron.
5. Transport muatan : elektron dan hole yang telah terdisosiasi akan bergerak menuju elektroda (logam) yang sesuai. Elektron akan menuju elektroda yang mempunyai fungsi kerja yang lebih rendah dan hole menuju elektroda dengan fungsi kerja yang lebih tinggi.
6. Pengumpulan muatan : elektron dan hole yang dapat mencapai elektroda akan menimbulkan arus foto.

Keenam proses tersebut selain merupakan proses pembentukan arus foto yang menimbulkan adanya arus listrik dalam peranti sel surya, juga merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya efisiensi sel surya organik (Chotimah, dkk, 2012).



Gambar 9. Struktur Sel Surya Polimer PPV:PCBM

Prinsip kerja sel surya polimer mengikuti prinsip kerja dari DSSC. Bahan aktif berperan seperti *dye* merupakan bahan bersifat donor (PPV) dan aseptor (PCBM) yang menghasilkan elektron tereksitasi saat mendapat energi cahaya. Material donor akan mendapatkan energi foton eksitasi (elektron dan hole). Elektron dan hole yang dihasilkan mempunyai mobilitas yang berbeda dalam material. (Chotimah, dkk. 2012).

F. Instrumen Yang Digunakan

1. *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan teknik untuk mempelajari struktur dan susunan atom pada kristal. XRD menjadi metode yang secara umum dipakai untuk mengkarakterisasi material kristalin karena tidak merusak struktur kristal dari material yang uji. XRD memberikan informasi mengenai struktur, fasa, tekstur, ukuran rata-rata partikel, derajat kristalinitas, dan cacat pada kristal. Sinar X pada

instrumen XRD berasal dari tabung katoda yang telah disaring (difilter) agar dihasilkan sinar X monokromatik dan ditembakkan pada sampel. Interaksi dari sinar X dengan sampel membentuk sinar yang dihamburkan sesuai dengan hukum Bragg

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

n adalah bilangan bulat yang menyatakan orde refleksi, λ adalah panjang gelombang sinar X, d adalah jarak antar bidang, dan θ adalah sudut hamburan. Hukum ini menjelaskan hubungan antara panjang gelombang elektromagnetik dengan sudut hamburan dan jarak antar atom pada kisi kristal suatu senyawa. Ada tiga komponen utama pada instrument XRD, yaitu tabung sinar-X, wadah sampel, dan pendeteksi sinar-X (Bunaciu, Elena & Hassan, 2015).

2. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan sebuah mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Hasil karakterisasi SEM berupa foto penampang permukaan (*surface*) dan penampang lintang (*cross section*). Menganalisis penampang permukaan dapat diketahui mikrostruktur (termasuk porositas dan bentuk retakan) benda padat. Informasi lain yang diperoleh adalah ketebalan lapisan yang dapat dianalisis dari penampang lintang (Yuli A, Santi. 2011)

Cara kerja SEM adalah gelombang elektron yang dipancarkan di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. Berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian

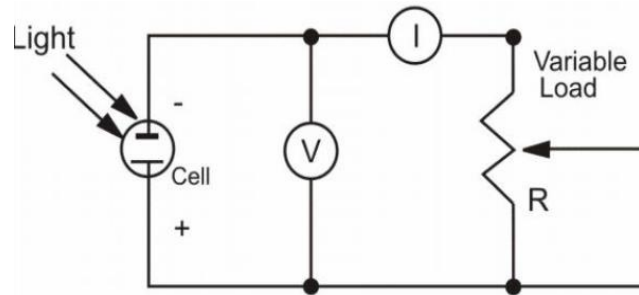
dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi gambar. Pada sistem ini berkas elektron dikonsentrasikan pada spesimen, bayangan diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar. (Gunawan, Budi dan Citra Dewi A. 2007).

SEM adalah metode spektroskopi yang menggunakan beam elektron dan dapat menghasilkan gambar permukaan sampel beresolusi tinggi. Prinsip dari metode ini adalah pemantulan beam elektron ketika mengenai elektron pada permukaan sampel. Interaksi beam elektron dengan elektron pada permukaan sampel menghasilkan beberapa sinyal yang nantinya ditangkap oleh detektor untuk menghasilkan gambar. Sinyal-sinyal ini diantaranya adalah *secondary electron* dan *back scattered electron* (Ritawidya, Rien. 2012).

Aplikasi dari SEM ini digunakan untuk mempelajari fiber (serat) material, keramik, campuran, logam, katalis, polimer dan material biologis (Tjahjanto, 2001). Karakterisasi SEM pada lapisan aktif dilakukan untuk melihat permukaan lapisan yang dipengaruhi oleh suhu *annealing* (Pratiwi, Z.R, dkk. 2013).

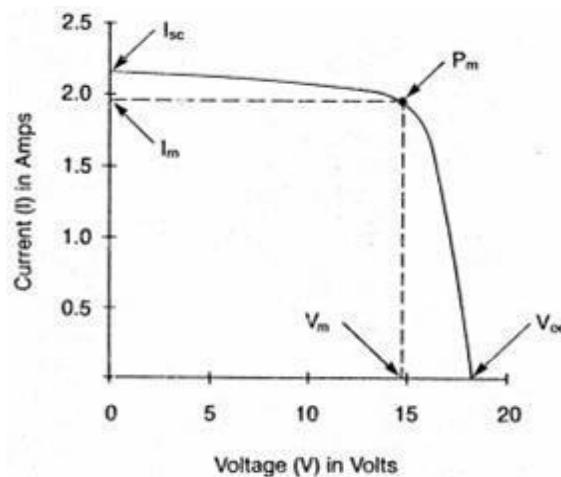
G. Pengujian Sel Surya Polimer

Pada sel surya polimer yang telah dirangkai dilakukan pengujian langsung tegangan dan kuat arus yang terukur dari sel surya polimer dengan menggunakan multimeter digital, dengan rangkaian sebagai berikut:



Gambar 10. 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 10. 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 11. Kurva Karakteristik I-V pada Sel Surya (Satwiko, 2012).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Effisiensi tertinggi yang diperoleh pada sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM didoping CuO yaitu 3,237% dengan konsentrasi CuO 1 mol dengan 1x pelapisan.
2. Semakin tinggi konsentrasi dan jumlah pelapisan maka semakin tinggi efisiensi yang di dapat, namun kesimpulan ini hanya berlaku sampai konsentrasi 0,75 mol, setelah konsentrasi 1 mol efisiensi akan berkurang dengan bertambah banyaknya pelapisan.
3. Sel surya polimer hibrid berstruktur terbalik menggunakan lapisan aktif PPV:PCBM didoping CuO belum dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dari sel surya sebelumnya.

B. SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar melakukan kajian lebih lanjut terhadap PEDOT:PSS yang pengukuran voltase, dan kuat arus pada sel surya selanjutnya sehingga sel surya selanjutnya dapat menghasilkan sel surya yang lebih tinggi.

REFERENSI

- Abdillah, R., & Septa, E. (2017). Structure Based on P3HT : PCBM Active Layer Pembuatan Sel Surya Polimer Hibrida dengan Susunan Terbalik Berbasis Lapisan Aktif P3HT : PCBM, *17*(1), 13–18.
- Ahmad habibi. 2014. Stuktur dan sifat optik Nanopartikel CuO yang di sintesis menggunakan metode sonokimia. IPB : Bogor
- Anna, Maulina dkk. 2014. *Preparasi Dye Sensitized Solar Cell Menggunakan Ekstrak Antosianin Kulit Buah Manggis (Graciana Mangostana L.)*. *Jurnal Saintek*. Vol. 6, No. 2. Hlm: 158-167.
- Ariswan. 2013. *Struktur Kristal, Morfologi Permukaan dan Sifat Optik Bahan CdSe Hasil Preparasi dengan Teknik Close Spaced Vapor Transport (CSVT) 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.
- Ayi Bahtiar, dkk. 2011. Jurnal Sel-Surya Polimer: state of art dan progres penelitiannya di universitas padjajaran, *1*(1), 7–14.
- 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.
- Bunaciu, Andrei A., Elena gabriela Udriștioiu dan Hassan Y. Aboul-Enein. 2015. “X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications”. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 45, 289–299. DOI: 10.1080/10408347.2014.949616.
- 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.

- Erlyta Septa Rosa. 2013 . Pembuatan Sel Surya Berbasis Polimer : Laporan Teknik Tematik : LIPI
- Erus, Rustami. 2008. *Sistem Kontrol Kecepatan Putar Spin Coating Berbasis Mikrokontroler ATmega8535*. Skripsi. Departemen Fisika : Institut Pertanian Bogor.
- Green, M.A, 2003, *Third Generation Photovoltaics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gunes, S., *et al*, 2007. *Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells*. *Chemical Reviews*, Vol. 107, No. 4. Hal :1324-1338.
- Hardeli, dkk., 2011, *Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Ubi Jalar Ungu, Wortel dan Kunyit Sebagai Sumber Zat Warna*, Unhas Makassar
- Hardeli, H., Sanjaya, H., Resikarnila, R., & Nitami, H. R. (2018). Solar Cell Polymer Based Active Ingredients PPV and PCBM. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 335(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/335/1/012029>
- Hardeli, dkk. 2013. “Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari berbagai Sumber Alami”. *Jurnal Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. Hlm. 155-161.
- Hau,S.T. dkk. *Air-Stable Inverted Flexible Polymer Solar Cells Using Zinc Oxide Nanoparticles as an Electron Selective Layer*. *Applied Physics Letters* 92.253301(2008).
- Hidayat, A.S. dkk. 2014. *Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO₂*. Bandung : Universitas Telkom.
- Hummelen, J.C., Knight, B. W., Lepeq, F., Wudl, F.; Yao, J.; Wilkins, C.L., 1995, “Preparation and Characterization of Fulleroid and Methanofullerene Derivatives”, *Journal of Organic Chemistry* 60(3), 532–538.

- Krebs, F.C. dkk. 2009. *A roll-to-roll Process to Flexible Polymer Solar Cell: Model Studies, Manufacture and Operational Stability Studies*. *Jurnal of Materials Chemistry*. (19), 5442–5451.
- Maddu, Akhiruddin & Zuhri, Mahfuddin. 2007. *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye*. *Jurnal Makara, Teknologi*, Vol. 11, No. 2 : 78-84
- Pendidikan, U., & Upi, I. (2013). Pengaruh Suhu Annealing Lapisan Aktif Polimer P3Ht : Pcbm Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya Polimer Yang Ditumbuhkan, 1(3), 1–9.
- Pratiwi, H. 2009. *Kajian Teoretik Mengenai Ketebalan Optimum Lapisan Perylene Pada Peranti Fotovoltaik Berbasis Bahan Organik Phthalocyanine/Perylene*. Skripsi. Jurusan Fisika : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pratiwi, Z.R. dkk. 2013. *Pengaruh Suhu Annealing Lapisan Aktif Polimer P3HT:PCBM Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya Polimer Yang Ditumbuhkan Di Atas Substrat Gelas*. *Fibusi*. Vol. 1, No. 3.
- P.Sinaga. 2009. *Pengaruh Temperatur Annealing Terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik Dan Sifat Optik Dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan ZnO:Al Yang Dibuat Dengan Teknik Screen Printing*. *Jurnal Pengajaran MIPA*. Vol. 14 No. 2. 51-59.
- Putra, A.K. 2014. *Pembuatan Sel Surya Polimer nc-ZnO:MDMO-PPV Pada Substrat Fleksibel*. Laporan Jurusan Teknik Elektro. Semarang : UNDIP.
- Satiadi, R., & Fleksibel, H. S. (2013). Rifan Satiadi , 2013 Pengaruh Komposisi Campuran Lapisan Aktif P3ht-Zno Terhadap Karakteristik Sel Surya Polimer Hibrid Substrat Fleksibel Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu, 1–8.
- Saunders, B R., & Turner, M L. 2008. *Nanoparticle-polymer photovoltaic cells*. *Advance in Colloid and Interface Science* 138, 1-23.
- Saunders, B R. 2012. *Hybrid nanoparticle/polymer solar cell : preparation, principle, and challanges*. *Journal of Colloid and Interface Science* 396, 1-15.
- Septina, Wilman. 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan OrganikInorganik(DyesensitizedSolarCel)*.
- Laporan Teknis Tematik Tahun 2013. (n.d.).

- Sutrisno, 2010, Sel fotovoltaiik generasi ke-III: *Pengembangan Sel Fotovoltaiik berbasis Titanium Dioksida*, Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wirjoadi dkk, 2002. *Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO:Al Pada Substrat Gelas Untuk Jendela Sel Surya*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN Yogyakarta.
- Yijie, Xia. 2011. *Highly Conductive Poly(3,4Ethylenedioxythiophene): Poly(Styrenesulfonate) (PEDOT:PSS) Films And Their Application In Polymer Photovoltaic Devices*. Thesis. Department Of Materials Science and Engineering: National University Of Singapore.