

PEMBUATAN SEL SURYA HIBRIDA DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN LAPISAN AKTIF MDMO-PPV DAN ZnO

Yunus Tonapa Sarung

Jurusan Teknik Kimia, Program Studi DIII Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung
sarungtonapa@gmail.com

ABSTRAK- Sel surya adalah sebuah perangkat yang bisa mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Kebutuhan akan energi listrik semakin banyak, akibat dari semakin tingginya pertumbuhan ekonomi dan teknologi. Sel surya polimer hibrida ini merupakan solusi yang berpotensi dalam kehidupan di masa depan untuk menjawab krisis energi yang diakibatkan eksploitasi energi fosil secara besar-besaran yang ada di bumi dan masalah lingkungan hidup. Berbagai penelitian dapat mengetahui sel surya yang memiliki nilai efisiensi sebaik mungkin. Sel surya dengan struktur Bulk Heterojunction Cells yang berbasis bahan polimer terkonjugasi, yaitu Poly[2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylenevinylene (MDMO-PPV) dan ZnO (Zinc Oxide).

Keuntungan menggunakan polimer dan bahan anorganik tersebut adalah banyak antarmuka donor dan acceptor

dalam lapisan aktif, sehingga ada banyak tempat disosiasi atau pemisahan exciton. Kondisi ini memungkinkan bahan yang bersifat donor untuk mentransfer muatan negatif segera ke bahan acceptor. Substrat yang digunakan adalah substrat plastik PET yang berlapis lapisan ITO yang berperan sebagai anoda, yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan substrat kaca. Teknik pembuatan sel surya polimer hibrida ini dengan teknik spin coating. Pelarut yang digunakan adalah campuran dari Chlorobenzene dan propanol, sehingga polimer bisa tercampur dengan baik. Dengan dilakukan beberapa variasi berupa konsentrasi larutan dan perbandingan massa sehingga dapat diperoleh target efisiensi sebesar 1,6%. Sehingga dapat menentukan karakteristik listrik yang terbaik. Dalam penelitian ini dibuat dalam enam variasi yang berbeda yaitu variasi konsentrasi dan perbandingan massa. Efisiensi yang terbaik yang diperoleh adalah 0,0763% dari variasi perbandingan massa 7:3 dan konsentrasi 5 mg/mL.

Kata Kunci: *Sel Surya Polimer Hibrida, Bulk Heterojunction Cells, MDMO-PPV, ZnO*

I. PENDAHULUAN

Cadangan energi yang berasal dari fosil semakin menipis maka untuk memenuhi suplai energi diperlukan sumber energi yang besar dan bersifat kontinyu agar suplai energi dapat terpenuhi. Salah satu sumber energi yang besar dan bersifat kontinyu tersedia adalah energi surya. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar, yaitu mencapai 3×10^{24} joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Jadi dengan menutup 0,1 % permukaan

bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10 %, sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia (Yuliarto, 2006 dan Hardian, dkk, 2010).

Berdasarkan hal tersebut maka para peneliti melakukan penelitian dan pengembangan besar-besaran untuk mencari sistem pembangkit listrik secara ekonomis untuk memanfaatkan energi

surya sebagai sumber utama bahan bakar dengan bantuan sel surya.

Sel surya berdasarkan perkembangan teknologi saat ini dan bahan pembuatannya dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

1) Sel surya yang terbuat dari semikonduktor

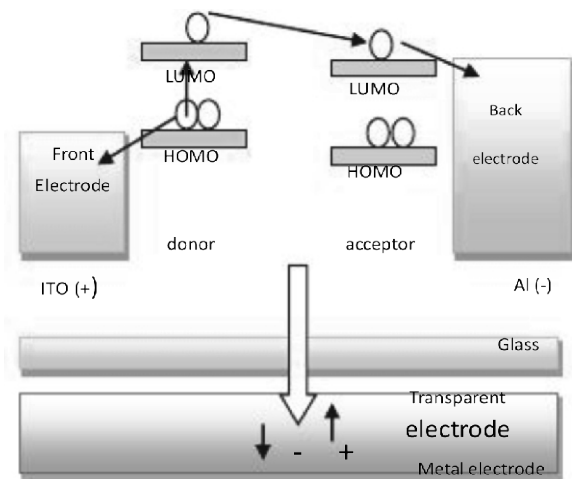
anorganik, seperti: silikon, galium, dll.

- 2) Sel surya yang terbuat dari semikonduktor organik, seperti: P3HT, PCBM, MDMO.

Sel surya polimer hibrida ini umumnya menggunakan suatu kombinasi dari polimer terkonjugasi (donor elektron) dengan bahan semikonduktor anorganik (akseptor elektron) sebagai lapisan aktif untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi muatan listrik (Beek dkk., 2005). Material polimer terkonjugasi yang umumnya digunakan dalam sel surya ini adalah polimer yang mudah untuk diproses dan memiliki energi gap yang rendah (Bundgaard dan Krebs, 2007). Material semikonduktor anorganik yang digunakan adalah material yang memiliki mobilitas pembawa muatan yang tinggi, hal ini untuk mengatasi keterbatasan transpor muatan oleh material organik (Beek dkk., 2004). Dalam penelitian ini material semikonduktor organik yang berfungsi sebagai donor adalah MDMO-PPV (Poly[2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylenevinylene]) dan material semikonduktor anorganik yang berfungsi sebagai akseptor adalah ZnO (Zinc Oxide).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Perpaduan antara bahan-bahan elektron pendonor dan penerima elektron dalam lapisan aktif sel surya, dimana exciton akan dibuat dalam bahan lainnya yang dapat terdifusi ke antarmuka permukaan sel surya, sehingga mendukung dalam pemisahan muatan dan perpindahan muatan yang akan terjadi. Karena memiliki waktu aktif yang pendek dan mobilitas yang lemah yang mengakibatkan panjang difusi dari exciton dalam semikonduktor organik dibatasi pada 10 nm.



Dari gambar diatas diketahui bahwa setelah dilakukan proses penyerapan cahaya oleh bahan aktif, transfer muatan akan lebih mudah terjadi karena pencampuran donor dan penerima elektron berjalan dengan baik. Dalam aplikasinya adalah beberapa penelitian dalam Bulk Heterojunction cells seperti perpaduan antara MDMO-PPV:PCBM, ataupun P3HT:PCBM, dimana memiliki konversi efisiensi daya secara berturut turut adalah sebesar 3% dan 3,85%. Dimana kondisi proses yang terjadi untuk mencapai efisiensi tersebut harus dalam keadaan stabil dalam suhu operasi sebesar 850C dengan waktu operasi penggunaan sel surya bisa selama 1000 jam. [Rene Janssen, 2005]

Dalam Bulk Heterojunction Cells ada beberapa hal yang bisa diperbaiki untuk meningkatkan efisiensi dari sel surya tersebut mencakup mengenai

- a) Kombinasi bahan baku polimer yang akan digunakan
- b) Peningkatan ketebalan lapisan sel surya
- c) pergeseran spectrum penyerapan sehingga memperpanjang range dari panjang gelombang penyerapan tersebut.

Selanjutnya MDMO-PPV (Poly[2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylenevinylene]) dan ZnO akan dicampur dan dijadikan sebagai lapisan aktif pada sel surya polimer hibrid. Penggunaan

MDMO-PPV (Poly[2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylenevinylene]) pada lapisan aktif dikarenakan polimer ini menghasilkan tegangan yang tinggi. Pemilihan ZnO sebagai akseptor pada lapisan aktif karena material ini tidak beracun, harganya lebih murah dibandingkan dengan akseptor organik seperti PCBM dan dapat diproses pada temperatur yang cukup rendah (Beek dkk., 2004).

Untuk kontak ohmic tegangan rangkaian terbuka dari Bulk Heterojunction sebagai sel surya polimer fotovoltaik akan diatur tingkat energinya dengan Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) dan Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) dari donor dan penerima elektron. Untuk kebanyakan perpaduan polimer dalam sel surya ini memiliki posisi level band dari donor dan penerima elektron mencapai 0,4-0,8 V. [Rene Janssen, 2005]

Sel Surya Polimer MDMO-PPV:ZnO

Dalam perkembangan teknologi sel surya mengalami perkembangan yang cukup pesat. Khususnya dalam perkembangan perangkat Bulk Heterojunction photovoltaic, yang memiliki tantangan dalam hal menemukan kestabilan dan keseimbangan antara daerah antar muka yang tinggi dalam suatu sel surya untuk menghasilkan sel surya yang efektif dalam segi biaya dan tepat dalam perpindahan elektron menuju elektroda. Sejauh ini sel surya Bulk Heterojunction photovoltaic dibuat menggunakan polimer/polimer, campuran molekul, atau polimer/flouerene dengan efesiensi antara 3-4%. Dalam Bulk Heterojunction photovoltaic ada yg dikenal sebagai p-type (positif) dan n-type (negatif), dalam hal ini p-type adalah MDMO-PPV (pendonor) dan n-type adalah ZnO (penerima). Idealnya dalam pembuatan sel surya tersebut dilapisi oleh lapisan ITO dan tertutup oleh

material elektroda berupa alumunium. Dalam Bulk Heterojunction photovoltaickontrol dari morfologi sangat penting, terutama untuk memastikan jalur perkolasi untuk kedua electron dan hole yang berpindah ke elektroda. [www.afm-journal.de/L.J.A Koster dkk.]

Conjugated Polimer (polimer terkonjugasi) merupakan makromolekul organik yang terdiri dari satu rantai tunggal maupun berpasangan secara bergantian. Polimer terkonjugasi ini bias dipadukan dengan n-tipe anorganik semikonduktor, seperti anorganik polimer hibrida nanocomposites yang akan memberikan keuntungan untuk kedua bahan tersebut. Kebanyakan bahan semikonduktor memiliki nilai band gap nya antara 0.1 dan 2.2 eV.

Bahan yang digunakan adalah MDMO-PPV poly-(2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylenevinylene) dan ZnO. MDMO-PPV berperan sebagai pendonor elektron, sedangkan Kristal ZnO berperan sebagai penerima electron yang menuju elektroda. Dalam hal ini diketahui bahwa perpaduan antara MDMO-PPV dan ZnO diperkirakan memiliki efesiensi 1,6%, namun lebih rendah jika dibandingkan dengan efesiensi dari polimer sel surya hibrida MDMO-PPV:PCBM sebsar 2,5%. [L J.A. Koster dkk.,2007]

Dalam kenyataanya sel surya MDMO-PPV:ZnO ini melampaui perangkat hibrida lainnya dalam hal Open Circuit Voltage (Voc) dan Fill Factor (FF), oleh karena itu dalam pembuatan sel surya harus bisa meningkatkan Short circuit current (Jsc). Dalam perangkat Bulk Heterojunction photovoltaic, morfologi dari lapisan aktif dalam sel surya menjadi hal yang sangat penting dalam kemampuan sel surya tersebut. Salah satunya adalah tegangan antar muka, ataupun mengetahui transient photoinduce absorption atau penyerapan sementara lapisan dimana akan menyelidiki pergerakan dari electron-elektron dan rekombinasi antar muka di MDMO-PPV:ZnO. Ataupun dalam hal ini bisa diketahui mengenai Transmission

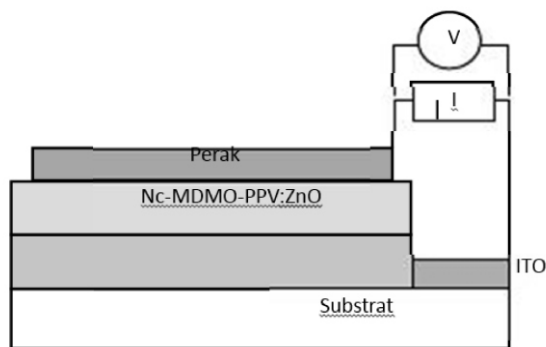
Interface Microscopy (TEM) dan tapping mode atomic force microscopy (TM-AFM) [J. Phys.Chem. B 2005,Beek dkk.].

Dalam pembuatan sel surya perpaduan antara MDMO-PPV:ZnO, bahan semikonduktor tersebut akan dijepit dalam suatu lapisan transparan dari indium tin oxide (ITO) yang akan dilapisi oleh bahan berupa PEDOT:PSS (poly[3,4- ethylenedioxythiophene] :poly[styrene sulfonate]), dengan ketebalan 60 nm, dengan rasio massa optimum untuk MDMO-PPV:ZnO adalah 1:2, sesuai untuk ZnO (volume). Pelarut yang digunakan adalah methanol/etanol dan clorobenzene.

Dalam kenyataan dalam pembuatan sel surya memiliki beberapa faktor yang penting agar dapat meningkatkan penyerapannya yaitu dengan mempertebal lapisan (substrat) dan pergeseran

spectrum penyerapan sehingga memperpanjang range dari panjang gelombang penyerapan tersebut. Jika mobilitas terlalu kecil dan lapisan terlalu tipis maka waktu transit electron pada perangkat sel surya menjadi lebih panjang daripada waktu tinggalnya. Intensitas spectrum sel surya adalah pada panjang gelombang 700 nm (maksimum).

Prinsip Kerja dari Sel Surya Polimer



Prinsip kerja sel surya khususnya untuk perangkat Bulk Heterojunction photovoltaic dimana perpaduan dari pendonor elektron (electron donating) dan penerima elektron (electron acceptor). Ketika cahaya matahari terserap oleh sel surya, yaitu tepatnya pada saat cahaya matahari terserap maka lapisan aktif akan

merespon cahaya dan mengkonversi menjadi pembawa muatan. Yang diapit oleh sepasang elektroda. Dimana pada lapisan aktif itu terdapat bahan atau lapisan semikonduktornya. Pada semikonduktor jenis P yaitu MDMO-PPV ini akan terbentuk banyak hole (pembawa muatan listrik positif) yang jumlahnya lebih banyak dari jumlah elektronnya, dimana aliran electron akan dibawa oleh jenis P yang tersambung dengan kutub positifnya (anoda) ke jenis N yaitu ZnO yang terhubung dengan kutub negatifnya (katoda), maka akan terjadi perpindahan sejumlah electron atau arus yang mengalir. Dalam sel surya sering dikenal istilah kontak sel atas (perak) dan kontak sel bawah (substrat). Kontak atas sel surya yang berbentuk grid perlu didesain secara optimal karena berfungsi untuk mengumpulkan arus yang dihasilkan oleh sel surya. Arus ini akan mengalir ke permukaan sel dari dalam bulk sel kemudian menembus lapisan aktif yang terdifusi lalu dikumpulkan pada kontak atas sel [J.E. Beek dkk., 2005].

Dalam sel surya terdapat substrat yang dilapisi oleh ITO yang harus transparan dan tembus cahaya. Sifat ini penting karena tanpa cahaya yang mengenai penyerap cahaya, foton tidak akan mengeksitasi eksiton pada lapisan penyerap cahaya. Tanpa adanya eksiton yang tereksitasi, tidak akan terjadi pemisahan eksiton yang berarti tidak akan dihasilkan muatan listrik. Sifat penghantar listrik dari kaca kemudian dipergunakan untuk menghantarkan elektron, dan secara keseluruhan listrik, menuju sirkuit dan kembali ke sel surya. Khusus mengenai kembalinya elektron ke sel surya, kaca konduktif yang memegang peran ini disebut juga sebagai elektroda lawan. Lapisan ITO merupakan lapisan yang bersifat transparan dan memiliki konduktifitas paling baik diantara material oksida lain. Peran ITO dalam sel surya adalah sebagai anoda. Dan logam alumunium sebagai katoda.

Karakteristik I-V Fotovoltaik

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V). Adapun beberapa hal yang berhubungan dengan karakteristik dari sel surya seperti berikut :

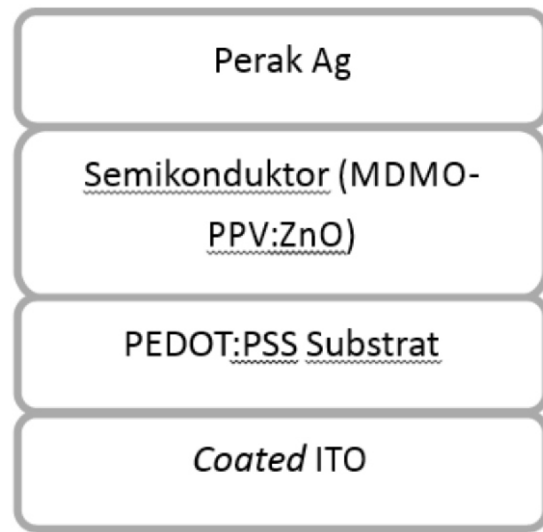
- 1) Arus Short Sircuit
Isc adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh modul sel surya dengan cara menge-short-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul surya. Dan nilai Isc akan terbaca pada amperemeter. Arus yang dihasilkan modul surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan.
- 2) Tegangan Open Circuit (Voc)
Voc adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau bisa disebut juga arus sama dengannol. Cara untuk mencapai open circuit (Voc) yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negatif.
- 3) Daya Keluaran Maksimum (Pm)
Daya keluaran maksimum ialah hasil kali dari arus dan tegangan pada setiap titik kurva.
- 4) Faktor Pengisian (ff)
Faktor pengisian sel surya merupakan perbandingan antara daya keluaran maksimum terhadap daya teoritisnya atau dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$ff = \frac{P_{mp}}{P_{th}} = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{OC} I_{SC}}$$

Semakin besar nilai fill factor atau efisiensinya maka sel tersebut semakin baik (Toifur dkk, 2007).

- 5) Efisiensi (η).

$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{P_{in}} \times 100 \%$$



Gambar 3 Tahapan Lapisan Sel Surya

Setelah penentuan desain, polimer yang akan digunakan, dan juga substrat yang akan digunakan, kemudian proses selanjutnya adalah etching ITO. Dimana dilakukan proses penyesuaian substrat sesuai dengan pola atau desain yang telah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan proses deposisi PEDOT:PSS atau dilakukan proses pelapisan PEDOT:PSS terhadap substrat di atas ITO sesuai dengan pola yang ditentukan dengan menggunakan metode Spin Coating. Karena dengan desain yang rapat, metode inilah yang memungkinkan jika dibandingkan dengan metode Screen Printing. Setelah proses pelapisan PEDOT:PSS selesai, dilakukan pembuatan lapisan semikonduktor dengan menggunakan polimer yang campuran dari MDMO-PPV:ZnO. Pembuatan larutan ini juga dilakukan dalam enam variasi yang berbeda, sehingga enam sel surya yang dihasilkan. Kemudian dilakukan proses pelapisan kembali larutan terhadap substrat diatas PEDOT:PSS dari substrat sesuai dengan pola atau desain yang telah ditentukan. Metode yang digunakan adalah Spin Coating. Setelah

proses pembuatan lapisan semikonduktornya, selanjutnya dilakukan proses evaporasi perak dengan menggunakan alat thermal evaporator. Sehingga dengan alat ini akan mengevaporasi perak dan uapnya akan menempel pada substrat diatas lapisan semikonduktor yang sesuai dengan pola yang telah ditentukan. Setelah proses ini selesai sel surya dilaminasi menggunakan sealent thermoplastic, kaca penjepit, dan plastic PET sehingga sel surya akan terlindungi oleh bahan-bahan tersebut. Tahap akhir yang akan dilakukan adalah proses pengujian karakterisasi hubungan arus-tegangan berupa grafik, sehingga dapat diketahui seperti Voc, Isc, Fill Factor, Pmax dan lain-lain.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan sel surya polimer MDMO-PPV dan ZnO yang dibuat dengan struktur Bulk Heterojunction Cells dan memiliki konfigurasi sebagai berikut:

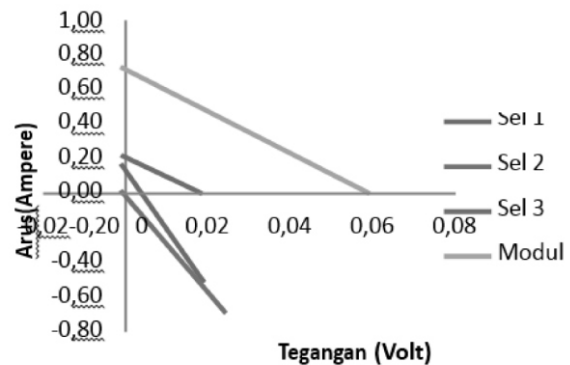
Substrat PET/ITO/PEDOT:PSS/MDMO-PPV:ZnO/Ag dengan dimensi PET 83mm x 33 mm dan luas aktif 260 mm². Desain sel surya hibrida terdiri dari tiga buah sel yang terangkai seri membentuk sebuah modul. Pengaruh perbandingan massa antara MDMO-PPV:ZnO dan konsentrasi larutan polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO menjadi fokus dalam penelitian ini. Untuk mengetahui karakteristik listrik dari sel surya tersebut dilakukan dengan cara menyinari sel surya tersebut dengan lampu Xenon dengan intensitas cahaya sebesar 500 Watt/m pada temperatur kamar.

- 1) Sel surya Polimer Hibrida MDMO-PPV:ZnO dengan perbandingan massa 1:1

Sel surya hibrida ini pada konsentrasi rendah yaitu 5 mg/mL dan pekat yaitu 10 mg/mL mengalami short, yang disebabkan oleh beberapa faktor.

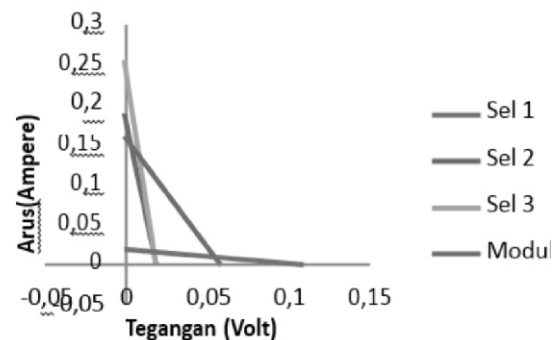
Gambar 4 memperlihatkan kurva I-V dari sel surya polimer hibrida MDMO-

PPV:ZnO pada konsentrasi 5 mg/mL untuk perbandingan massa 1:1.



Gambar 4 konsentrasi 5 mg/mL dengan perbandingan massa

Sedangkan Gambar 5 memperlihatkan kurva I-V dari sel surya polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO pada konsentrasi 10 mg/mL untuk perbandingan massa 1:1.



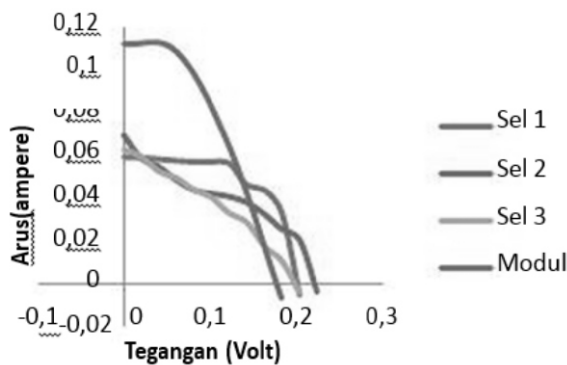
Gambar 5 konsentrasi 10 mg/mL dengan perbandingan massa MDMO-PPV dan ZnO 1:1

Berdasarkan Gambar 4.1 dan 4.2 dapat diketahui bahwa kedua modul dan sel nya mengalami short. Hal ini disebabkan oleh alignment sel surya yang tidak tepat, dimana terjadi tumpang tindih antara satu sel dengan sel lainnya dalam suatu modul. Kemudian faktor lainnya adalah pada saat proses evaporasi perak, jarak antara pemanas dengan substrat terlalu dekat, sehingga uap perak dapat menembus lapisan polimernya yang akan mengakibatkan short pada modul atau sel surya tersebut. Akibat terjadi short pada kedua modul tersebut penentuan karakteristik listrik yaitu seperti Voc, Isc, Pmax, Fill Factor, maupun efisiensi tidak bisa

ditentukan.

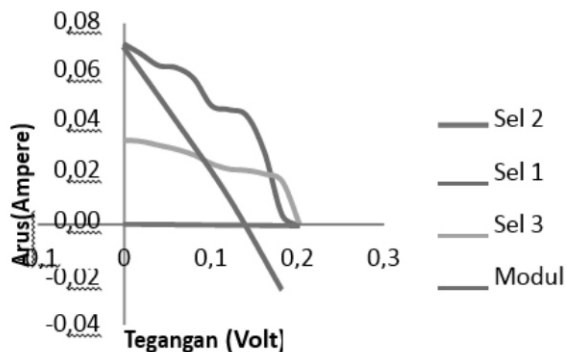
2) Sel surya Polimer Hibrida MDMO-PPV:ZnO dengan perbandingan massa 7:3

Selain itu pada sel surya polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO pada perbandingan massa 7:3 dengan variasi konsentrasi yang sama yaitu 5 mg/mL dan 10 mg/mL ada sebagian sel yang mengalami short dan tidak mengalami short. Gambar 6 memperlihatkan kurva I-V dari sel surya polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO pada konsentrasi 5 mg/mL untuk perbandingan massa 7:3.



Gambar 6 konsentrasi 5 mg/mL dengan perbandingan massa MDMO-PPV dan ZnO 7:3

Dari Gambar 6 terlihat bahwa pengukuran I-V baik dalam ketiga sel ataupun modul tidak mengalami short. Hal ini di dukung oleh alignment sel surya yang baik. Sehingga dapat diketahui berapa nilai Voc, Isc, sampai nilai efisiensinya. Sedangkan Gambar 7 memperlihatkan kurva I-V dari sel surya polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO pada konsentrasi 10 mg/mL untuk perbandingan massa



Gambar 7 konsentrasi 10 mg/mL dengan perbandingan massa

Kemudian jika dilihat dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa sel 2 dan modul mengalami short sedangkan sel 1 dan sel 3 tidak mengalami short. Jika dalam satu modul yang memiliki tiga sel yang disusun seri, jika ada satu sel yang mengalami short maka pengukuran I-V pada modul akan mengalami short pula. Short ini bisa terjadi disebabkan oleh alignment yang kurang baik pada sel 2 sehingga terjadi short. Namun dalam perbandingan massa 7:3 (MDMO-PPV:ZnO) tidak terpengaruh oleh jarak yang dekat antara pemanas dengan substrat pada saat proses evaporasi perak, sehingga uap perak tidak bisa menembus lapisan polimer dengan perbandingan massa 7:3. Namun dengan range jarak yang baik maka nilai karakteristik listrik akan meningkat.

Berdasarkan kurva kedua modul yaitu pada Gambar 6 dan Gambar 7 dapat diperoleh variabel yang menjadi perbandingan karakteristik listrik dari sel surya polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO seperti yang disajikan pada Tabel 1

Tabel1. 15 mg/mL dan 10 mg/mL dengan perbandingan massa MDMO-PPV:ZnO 7:3

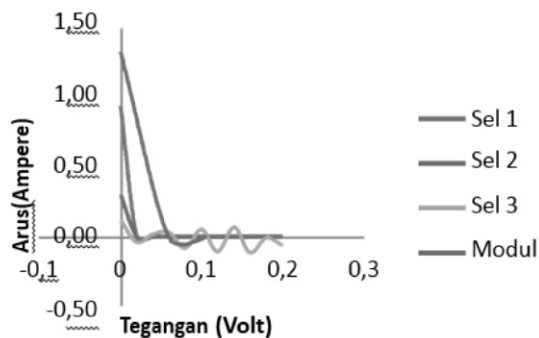
Karakteristik Listrik	Sel Surya Konsentrasi 5 mg / ml			
	Sel 1	Sel 2	Sel 3	Modul
Voc (Volt)	0,2027	0,2230	0,2026	0,1818
Isc (Amper)	0,0593	0,0696	0,0627	0,1121
Pmax(Watt)	0,0071	0,0054	0,0041	0,0078
Fill Factor	0,5920	0,8380	0,3202	0,3818
Efisiensi (%)	0,0014	0,0011	0,0008	0,0763

Karakteristik Listrik	Konsentrasi 10 mg/ ml			
	Sel 1	Sel 2	Sel 3	Modul
Voc (Volt)	0,2028	0,0000	0,2027	0,0000
Isc (Amper)	0,0718	0,0000	0,0334	0,0000
Pmax(Watt)	0,0061	0,0000	0,0032	0,0000
Fill Factor	0,4183	0,0000	0,4779	0,0000
Efisiensi (%)	0,0012	0,0000	0,0007	0,0000

Dari tabel 1 terlihat bahwa pada sel surya dengan konsentrasi 5 mg/mL mempunyai karakteristik listrik yang baik dibandingkan dengan konsentrasi 10 mg/mL, hal itu dapat dilihat dari tingginya nilai Voc, Isc, FF, hingga efisiensinya. Pada konsentrasi 10 mg/mL karakteristik modul yang dihasilkan tidak baik, akibat dari kondisi short yang terjadi dari beberapa sel, sehingga terjadi kebocoran arus. Jika dibandingkan dengan literatur yang ada, konsentrasi optimum dari penelitian di University of Eindhoven adalah pada konsentrasi 3 mg/mL, yang memiliki efisiensi sebesar 1,6 %.

3) Sel surya Polimer Hibrida MDMO-PPV:ZnO dengan perbandingan massa 3:7

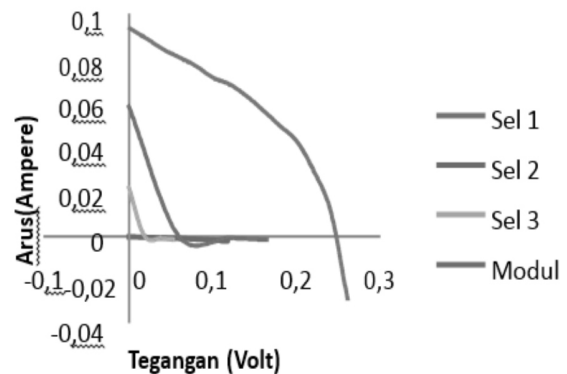
Pada sel surya dengan perbandingan massa 3:7 hasil pengukuran untuk tiap sel atau modulnya mengalami short, kecuali pada sel 1 di modul dengan konsentrasi 10 mg/mL. Gambar 8 memperlihatkan kurva I-V dari sel surya polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO pada konsentrasi 5 mg/mL untuk perbandingan massa 3:7.



Gambar 8 konsentrasi 5 mg/mL dengan perbandingan massa MDMO-PPV dan ZnO 7:3

Dari kurva I-V pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa dengan konsentrasi rendah semua sel maupun modulnya mengalami short, yang diakibatkan oleh alignment sel surya yang rapat, sehingga kemungkinan kesalahan akan semakin besar, ataupun karena pada saat proses evaporasi

perak jarak antara alat dengan substrat yang terlalu dekat yaitu 5 cm, sehingga uap perak akan menembus lapisan polimer. Sehingga untuk mengetahui karakteristik listrik pada sel surya tersebut tidak bisa ditentukan, karena seluruh sel maupun modul mengalami short. Sedangkan Gambar 9 memperlihatkan kurva I-V dari sel surya polimer hibrida MDMO-PPV:ZnO pada konsentrasi 10 mg/mL untuk perbandingan massa 3:7.



Gambar 9 konsentrasi 10 mg/mL dengan perbandingan massa MDMO-PPV dan ZnO 3:7

Jika dilihat dari kurva I-V pada Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa jika ada sel yang mengalami short, maka akan mempengaruhi terhadap modulnya, meskipun ada 1 sel yang tidak mengalami short. Faktor yang mengakibatkan hal tersebut adalah desain yang rapat dan kecil sehingga dalam penyesuaian alignment dalam pembuatan sel surya yang akan membuat kemungkinan kesalahan terjadi akan semakin tinggi. Jika ada salah satu sel yang tidak short, hal ini mengindikasikan bahwa uap perak tidak bisa menembus pada konsentrasi 10 mg/mL dengan perbandingan massa MDMO-PPV:ZnO ialah 3:7, dimana yang dominan adalah ZnO. Dengan konsentrasi yang pekat bisa memproteksi lapisan polimer dari uap perak yang bisa menerobos lapisan tersebut. Adapun karakteristik listrik yang diperoleh pada sel 1 yaitu seperti pada Tabel 2

Tabel 2 Karakteristik listrik pada konsentrasi 10 mg/mL dengan perbandingan massa 7:3 pada sel 1

Karakteristik Listrik	Hasil
Voc (Volt)	0,2435
Isc (Amper)	0,0892
Pmax (Watt)	0,0091
Fill Factor	0,4186
Efisiensi(%)	0,0018

Dari hasil-hasil yang diperoleh terhadap semua sel surya yang dihasilkan berdasarkan perbedaan konsentrasi larutan dan perbandingan massanya, ada beberapa komponen penting yang bisa menunjang keberhasilan dalam pembuatan sel surya hibrida diantaranya adalah

1) Desain sel surya

Desain menjadi hal yang cukup penting dalam pembuatan sel surya. Karena dengan pola atau desain yang baik, maka pembuatan sel surya akan berjalan baik dengan hasil yang baik pula. Namun desain yang cukup rumit atau memiliki space tiap selnya yang sempit dan rapat, akan menjadi kendala dalam keberhasilan pembuatan sel surya. Karena faktor kesalahan pada pembuatan akan menjadi lebih besar. Dengan desain yang baik bisa meminimalisir terjadinya short dalam pengaplikasian nya.

2) Polimer yang digunakan

Polimer adalah salah satu faktor utama dalam pembuatan sel surya, karena disana terdapat lapisan semikonduktor yang sangat berperan penting dalam suatu sel surya, sehingga dalam suatu penelitian diperlukan proses penentuan massa atau konsentrasi larutan polimer yang paling baik, agar diperoleh hasil yang sesuai dengan target penelitian. Pentingnya memahami sifat fisik dan kimia dari polimer yang digunakan menjadi kunci dalam menangani bahan yang digunakan, agar pada saat proses dan penanganan bahan berjalan dengan baik. Dalam penelitian ini digunakan total enam variasi yang digunakan, sehingga bisa mengetahui perbedaan dan membandingkan hasil dari karakteristik listrik tiap sel

surya pada setiap modul sel surya. Dan polimer yang digunakan adalah MDMO-PPV dan sedangkan bahan anorganik yang digunakan adalah ZnO.

3) Substrat yang digunakan

Substrat adalah bahan baku dasar dalam pembuatan sel surya. Substrat yang baik adalah memiliki resistivitas yang tinggi. Dalam keadaan ideal resistivitas substrat berbanding lurus dengan efisiensi sel surya sehingga semakin tinggi resistivitas substrat yang digunakan maka efisiensinya akan lebih tinggi juga. Namun substrat pun memiliki kelebihan dan kekurangan, contohnya adalah untuk substrat kaca memiliki resistivitas yang lebih tinggi dari substrat PET, namun substrat kaca memiliki kekurangan seperti kaku, memerlukan tempat yang luas, dan berat (dalam jumlah besar). Namun substrat PET memiliki kelenturan dan ringan, meskipun substrat PET memiliki resistivitas yang lebih kecil dan harganya yang mahal. Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah substrat PET dengan resistivitas sebesar $12 \text{ } \Omega / \square$. Sedangkan substrat kaca memiliki resistivitas sebesar $60 \text{ } \Omega / \square$.

4) Ketelitian proses

Ketelitian proses merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam keberhasilan pembuatan sel surya, seperti dalam pemotongan substrat, ataupun alignment substrat yang harus sesuai dengan pola. Jika alignment tidak sesuai, kemungkinan besar sel surya berpotensi mengalami short atau gagal. Bahkan pada saat akan melakukan proses seperti spin coating dan evaporasi, alignment masker terhadap substrat harus tepat, karena jika masker bergeser, akan mengakibatkan alignment tidak sesuai dengan desain yang seharusnya. Sel surya yang telah dibuat dengan konsentrasi yang rendah yaitu 5 mg/mL dengan perbandingan massa MDMO - PPV:ZnO (7:3) mempunyai karakteristik listrik yang terbaik, yaitu seperti pada Tabel 3

Tabel 3 Karakteristik listrik pada konsentrasi 5 mg/mL dengan perbandingan massa 7:3

Karakteristik Listrik	Sel Surya Konsentrasi 5 mg / ml			
	Sel 1	Sel 2	Sel 3	Modul
Voc (Volt)	0,2027	0,2230	0,2026	0,1818
Isc (Amper)	0,0593	0,0696	0,0627	0,1121
Pmax(Watt)	0,0071	0,0054	0,0041	0,0078
Fill Factor	0,5920	0,8380	0,3202	0,3818
Efisiensi (%)	0,0014	0,0011	0,0008	0,0763

Meskipun demikian hasil tersebut masih jauh dari yang diharapkan, dimana target efisiensi adalah 1,6%, namun efisiensi terbaik yang bisa diperoleh adalah 0,0763%. Salah satu faktor yang menyebabkan efisiensi yang dihasilkan lebih rendah adalah substrat yang digunakan. Dimana substrat yang digunakan adalah substrat PET yang memiliki resistivity yang rendah, sedangkan efisiensi yang dihasilkan dari literatur sebesar 1,6 % menggunakan substrat kaca dengan nilai resistivity yang lebih besar, meskipun luas area aktif dari literatur dengan aktual dari penelitian relatif sama yaitu kurang lebih sebesar 20 cm². Adapun perbandingan hasil yang diperoleh dengan literatur dijelaskan pada Tabel 4.4

Tabel 4 Perbandingan Sel Surya Polimer Hibrida MDMO-PPV:ZnO

Komponen	Aktual	Literatur (University of Groningen and Eindhoven)
Substrate (ITO)	Plastic	Glass
Resistivity	12 Ω/	60 Ω/
Materials	PEDOT:PSS Ag Chlorobenzene-Propanol (90%:10%)	PEDOT:PSS Al Chlorobenzene-Methanol (95%:5%)
Method	Spin Coating (2500 rpm/min)	Spin Coating (1000 rpm/min)
Concentration	5 dan 10 mg/mL	3-6 mg/mL
Mass Ratio	7:3	1:2/6,5:3,5
Efficiency	0,0763 %	0,2-1,6 %

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sel surya polimer berbasis MDMO-PPV:ZnO telah berhasil di tumbuhkan di atas substrat PET . Perbandingan massa pada campuran lapisan aktif berpengaruh terhadap karakteristik sel surya polimer dimana dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Komposisi pada campuran lapisan aktif MDMO-PPV dan ZnO berpengaruh terhadap kinerja dari sel surya , berdasarkan hasil percobaan komposisi yang terbaik ialah pada perbandingan 7:3 dimana pada perbandingan itu MDMO-PPV lebih dominan dalam campuran lapisan aktif dan membentuk lapisan yang baik.
- 2) Konsentrasi yang terbaik dalam penelitian ini ialah 5 mg / ml karena dengan konsentrasi ini maka akan membentuk lapisan yang yang baik sehingga pada lapisan tersebut memiliki mobilitas muatan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Ibrahim, M., Roth, H K., Schroedner, M., Konkin, A., Zhokhavets, U., Gobsch, G., Scharff, P. & Sensfuss, S.(2005). The influence of optoelectronic properties of poly(3-alkylthiophenes) on the devices parameters in flexible polymer solar cells. *Organic Electronics* 6, 65-77.

Beek, W J E., Wienk, M M., & Janssen, R A J. (2004). Efficient Hibrida Solar Cells from Zinc Oxide Nanoparticles and a Conjugated Polymer. *Advanced Materials* 16 No 12, 1009-1013.

Beek, W J E, Wienk, M M., & Janssen, R A J. (2005). Hibrida polymer solar cells based on zinc oxide. *Journal of Materials Chemistry* 15, 2985-2988.

Beek, W J E., Wienk, M M., Kemerink, M., Yang, X., & Janssen, R A J.. (2005). Hibrida Zinc Oxide conjugated polymer bulk

- heterojunction solar cells. *Journal Physisc Chemistry B* 109, 9505-9516.
- Beiser, A. (1987). *Konsep Fisika Modern* (Alih Bahasa The Houw Liong). Jakarta: Erlangga.
- Bundgaard, E., & Krebs, F. C. (2007). Low band gap polymers for organic photovoltaics. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 91, 954-985.
- Lorenzo, Eduardo. 1994. *Solar Electricity, Engineering of Photovoltaic Systems*. Institute of Solar Energy. Polytechnic University of Madrid.
- Mintorogo, Danny S. 2003. Strategi aplikasi sel surya (photovoltaic cells) pada Perumahan dan bangunan komersial. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Jenny Nelson, "Physics of Solar Cell", Imperial College Press, 2003.
- Gray, Theodore (2009). *The EElements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe*. Black Dog and Leventhal Publishers. hlm. 43.
- O'Mara, William C. (1990). [Handbook of Semiconductor Silicon Technology](#). William Andrew Inc. hlm. 349–352
- Martin A. Green, "SOLAR CELLS: Operating Principles, Technology and System Applications". 1982, New Jersey, Prentice-Hall.
- Saunders, B R., & Turner, M L. (2008). Nanoparticle–polymer photovoltaic cells. *Advances in Colloid and Interface Science* 138, 123.
- Saunders, B R. (2012). Hibrida nanoparticle/polymer solar cell : preparation, principles, and challenges. *Journal of Colloid and Interface Science* 369, 1–15.
- Krebs, F. (2009). Polymer solar cell modules prepared using roll-to-roll methods: knife-over-edge coating, slot-die coating and screen printing. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 93, 465-475.
- Kwok, K Ng. (1994). *Complete Guide To Semiconductor Devices* (Second Edition). New Jersey: McGraw-Hill, Inc.
- Rene, J. (2005). "Introduction to polymer solar cells." *MRS Bulletin*, 30, 33-36.
- Saunders, B R., & Turner, M L. (2008). Nanoparticle–polymer photovoltaic cells. *Advances in Colloid and Interface Science* 138, 1–23.
- Wang, Y., Wei, W., Liu, X., Ge, Y. (2011). "Research Progress On Polymer Heterojunction Solar Cells." *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 98, 129-145 [Online], tersedia: <http://www.elsevier.com/locate/solmet>
- Yu, G., Gao, J., Hummelen, J. C., Wudl, F., Heeger, A. J. (1995). Polymer Photovoltaic Cells: Enhanced Efficiencies via a Network of Internal Donor-Acceptor Heterojunctions. *Apply. Phys. Lett.*, 270. 1789-1791
- Yuliarto, B. (2011). *Solar Sel, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan*. [Online], tersedia: <http://www.esdm.go.id/legislasi-dan-publikasi.html> (3 Agustus 2012)
2013. *Sel Surya: Struktur dan Cara Kerja*. <http://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/> diakses tanggal 5 Februari 2014
2012. *Produksi Silikon untuk Panel Surya*. <http://cmis307unsrat.blogspot.com/2010/01/silikon> _31 diakses tanggal 8 Februari 2014