

KARAKTERISTIK RANGKAIAN EKIVALEN DIODA BLEND ORGANIK P3OT : PCBM

Winda Setya

Program Studi Pendidikan Fisika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung,
Indonesia

Email : suratwindasetya@uinsgd.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian karakteristik rangkaian ekivalen dioda *blend* organik P3OT:PCBM. Pada penelitian ini, lapisan *blend* P3OT:PCBM dideposisikan diantara elektroda transparan indium tin oxide (ITO) dan Al sebagai kontak. Karakteristik arus tegangan dioda dilakukan pada keadaan gelap dan terang. Penentuan parameter kelistrikan dioda ditentukan dengan model rangkaian ekivalen dioda anorganik. Dari hasil kajian, ketebalan lapisan P3OT:PCBM berpengaruh pada penurunan hambatan seri dioda dan peningkatan rapat arus saturasi dioda. Hasil ini bermanfaat untuk lebih memahami mekanisme fisis, yang pada gilirannya meningkatkan performa dan pengembangan dioda organik.

Kata kunci: Keterampilan Generik Sains, Solar System Scope, Tata Surya

ABSTRACT

Has conducted research diode characteristics equivalent circuit of the organic blend P3OT: PCBM. In this study, the blend of P3OT:PCBM was sandwiched between a transparent indium tin oxide (ITO) electrode and an Al backside contact. The current-voltage characteristic of the diode was measured under the dark and illumination. In order to determine the electrical parameters of the diode, we employed an equivalent circuit model developed originally for inorganic diode. As a result, the series resistance decreases while the reverse saturation current density increases by decreasing the thickness of P3OT:PCBM layer. This result may be useful for improving the performance of developing organic diode.

Keywords: *organic diode, P3OT, PCBM, equivalent circuit, current-voltage characteristic.*

DOI: <http://dx.doi.org/10.15575/jtlp.v2i2.6568>

Received: 23 Maret 2017 ; Accepted: 14 Juni 2017 ; Published: 1 September 2017

1. PENDAHULUAN

Dioda merupakan komponen dasar pada peranti elektronik seperti sel surya dan fotodetektor. Sifat dioda yang paling penting untuk aplikasi sel surya adalah adalah sifat fotokonduktif, yaitu besarnya arus yang dihasilkan saat dioda menyerap foton dari cahaya yang dipaparkan. Ada dua macam dioda menurut bahan aktifnya, yaitu dioda sambungan p-n dan dioda Schottky (Winder, 2001)].

Dioda sebagai peranti berbasis semikonduktor pertama kali ditemukan oleh Sir Fleming pada tahun 1904. Tahun 1950-an Germanium (Ge) sebagai semikonduktor anorganik telah banyak digunakan sebagai bahan pembuatan dioda dan tahun 1960-an Silikon (Si) mulai menggantikan germanium karena sifatnya yang lebih stabil pada suhu ruang. Proses pembuatan peranti berbahan dasar Ge dan Si tidak sederhana dan memerlukan biaya yang relaif banyak.

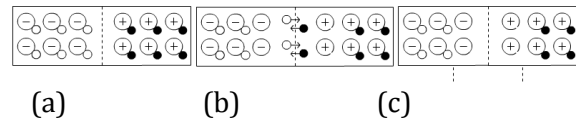
Sementara itu, bahan organik merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan Ge dan Si karena mempunyai beberapa kelebihan (Buxton, 2006; Hoppe, 2004; Nunzi, 2002; Spanggaard, 2004; Winder, 2001), antara lain mudah diproses menjadi lapisan misalnya dengan menggunakan *spin coating* atau vakum epeporasi, produksi skala besar secara kimiawi lebih mudah dibandingkan bahan anorganik sehingga biaya produksi dapat ditekan, koefisien serapan yang relatif tinggi (10^5 cm^{-1}) sehingga dapat dibuat peranti dengan ketebalan lapisan <100 nm, lebar celah energi, transport muatan dan sifat lainnya dapat diatur secara kimiawi, struktur kimia dan fungsinya dapat divariasasi dengan mudah (polimer, oligomer, dendrimer, organomineral, dye, pigmen, kristal cair, dll).

z atau *bilayer* yang tersusun atas lapisanpolimer terkonjugasi dan fullerene (C_{60}). Dengan struktur peranti dan bahan tersebut cahaya matahari yang diserap oleh sel surya adalah dalam rentang difusi eksiton *heterojunction* yang memberikan kontribusi bagi arus listrik yang dihasilkan (Winder, 2001).

Salah satu cara untuk meningkatkan

performa peranti adalah dengan membuat struktur campuran jenis p dan n dari bahan yang berbeda atau dikenal dengan *bulk heterojunction*. Dalam bahan semikonduktor organik, istilah yang bertindak sebagai donor merupakan pembawa muatan hole dan bahan organik yang bertindak sebagai akseptor merupakan pembawa muatan elektron. Ketika akseptor maupun donor menyerap foton, maka terbentuklah pasangan elektron-hole dengan energi ikat yang disebut eksiton. Melalui cara tersebut daerah disosiasi ditentukan terkait dengan ketebalan lapisan dari suatu peranti yang akan dibuat (Persson, 2004).

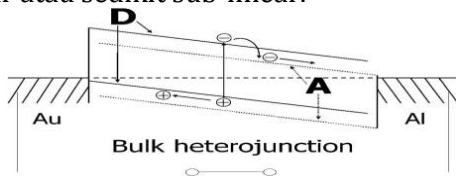
Persambungan p-n pada dioda merupakan tempat terjadinya disosiasi eksiton. Dioda organik lapisan tunggal akan membentuk persambungan Schottky dengan salah satu elektroda dan dioda dua lapisan atau *bilayer* akan membentuk sambungan p-n seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses pembentukan hubungan p-n, - menyatakan sebuah ion aseptor dan \circ sebuah hole, + menyatakan sebuah ion donor dan \bullet sebuah elektron, \leftarrow menyatakan medan listrik, (a) hubungan tepat sesudah terbentuk p-n, (b) pembawa berdifusi dan berekombinasi, (c) keadaan setimbang (Rio, 1999).

Bulk heterojunction adalah untuk mentautkan sedekat mungkin campuran komponen donor dan akseptor dalam volume *bulk* sedemikian sehingga masing-masing antar muka donor dan akseptor berada dalam jarak kurang dari panjang difusi eksiton dari tiap-tiap kedudukan serapan. Skema peranti *bulk heterojunction* dengan mengabaikan semua jenis pengaturan aras energi dan efek antar muka ditunjukkan pada Gambar 2. Kontak donor mempunyai fungsi kerja yang lebih tinggi dibandingkan fungsi kerja akseptor untuk menghasilkan pengumpulan

hole dan elektron berturut-turut. Eksiton tergenerasi foto hanya dapat didisosiasiakan di dalam lapisan tipis pada *heterojunction* sehingga peranti menjadi pembatas bagi difusi eksiton. Akibat dari antar muka didispersikan melalui bulk, tidak ada hilang atau *loss* yang berarti akibat panjang difusi eksiton sangat kecil karena idealnya semua eksiton akan didisosiasiakan selama masa hidup eksiton tersebut. Berdasarkan konsepsi tersebut, muatan juga dipisahkan dalam fase yang berbeda dan kemudian rekombinasi direduksi ke tingkat yang besar dan arus foto sering mengikuti intensitas cahaya secara linear atau sedikit sub-linear.



Gambar 2 Struktur peranti *bulk heterojunction*, D merupakan donor dan A merupakan akseptor (Hoppe, 2004).

Meskipun telah banyak penelitian yang membahas *poly* (3-octyl thiophene) (P3OT) sebagai donor dan (Spanggard, 2004) phenyl C₇₁ butyric acid methyl ester (PCBM) sebagai aseptor, tetapi belum banyak yang melporkan tentang pembuatan dioda dengan struktur *blend heterojunction* P3OT:PCBM dengan perbandingan 1:1 dengan elektroda ITO dan Al. Sifat dioda ditentukan oleh nilai beberapa parameter internalnya. Sayangnya, parameter-parameter tersebut tidak bisa diukur langsung dari eksperimen. Untuk mengatasi hal itu maka model komputasi merupakan cara yang digunakan untuk menentukan besaran fisis dan sifat kelistrikan dioda seperti faktor ideal (*n*), rapat arus saturasi (*J_{sc}*) dan hambatan seri (*R_s*) sebuah peranti ITO/P3OT:PCBM/Al.

Penelitian ini akan dikonsentrasikan untuk fabrikasi dioda lapisan tipis dan karakteristik arus tegangan dioda dengan struktur ITO/P3OT:PCBM/Al serta menentukan parameter internal kelistrikan dioda seperti hambatan seri (*R_s*), rapat arus saturasi dioda (*J_s*), dan faktor ideal dioda (*n*).

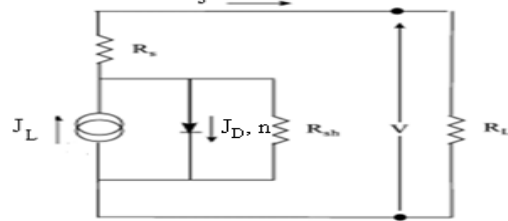
2. METODE PENELITIAN

Bagian metode ditulis dengan panjang 15 - 20% dari panjang artikel, berisi rancangan penelitian, teknik pengumpulan data dan sumber data serta cara analisis data.

Pada penelitian ini dilakukan fabrikasi dioda *blend heterojunction* dan perhitungan nilai parameter listrik dari data eksperimen secara numerik. Pembuatannya dimulai dengan pembuatan pola ITO, pembersihan substrat menggunakan *ultrasonic cleaner*, pembuatan larutan *blend* P3OT:PCBM di *spin coating* dengan kecepatan 3000 rpm diatas ITO dengan variasi waktu 10 detik, 20 detik dan 30 detik serta perlakuan *annel* pada variasi waktu 30 detik, dan deposisi Al menggunakan evaporator sebanyak 50 mg dengan arus 40 A.

Metode yang digunakan untuk mencari parameter internal dengan menggunakan persamaan rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan pada gambar 3, yaitu :

$$J_L \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) - \frac{V}{R_{sh}A} = J_s \left(\exp \left(q \frac{V - J_L R_s A}{nkT} \right) - 1 \right) - J_D \quad (1)$$



Gambar 3. Rangkaian ekuivalen dioda saat diberi cahaya

Penentuan parameter pada keadaan gelap (*R_s*, *J_s* dan *n*) dilakukan dengan cara menganggap nilai *R_{sh}* = ∞ dan *J_L* = 0 sehingga diperoleh persamaan dioda seperti pada persamaan 3.2, yaitu:

$$J_D = J_s \left(\exp \left(q \frac{V - J_L R_s A}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (2)$$

Penentuan parameter pada keadaan terang dilakukan dengan menganggap nilai *J_L* = |*J_{sc}*|. Nilai *J_{sc}* diperoleh saat *V* = 0 dan *V_{oc}* diperoleh saat *J* = 0 dengan menggunakan metode Newton Rapson. Persamaan untuk *J_{sc}* dan *V_{oc}* adalah:

$$V_{oc} = \frac{nk_b T}{q} \ln \left(1 + \frac{J_L}{J_s} \left[1 - \frac{V_{oc}}{J_L R_p A} \right] \right) \quad (3)$$

$$J_{sc} = \frac{1}{1 + \frac{R_s}{R_p}} \left[J_L - J_s \left[\exp\left(\frac{J_{sc} R_s A}{n k_b T}\right) - 1 \right] \right] \quad (4)$$

substitusi persamaan 4.4 ke persamaan 4.3 diperoleh:

$$1 + R_s A \left(1 - \exp\left[\frac{V_{oc}}{n k_b T}\right] + \frac{J_s}{V_{oc}} \right) + \frac{1}{J_{sc}} \left(J_L - J_s \left[\exp\left(\frac{J_{sc} R_s A}{n k_b T}\right) - 1 \right] \right) = 0 \quad (5)$$

Nilai R_p diperoleh dari persamaan 4.3 dan nilai R_s diperoleh dengan menggunakan metode Newton Raphson pada persamaan 4.5.

Simpangan minimum sebagai koreksi dari nilai parameter dioda adalah

$$S = \sum_{i=1}^k J_s \left(\exp\left(q \frac{V_i - J_i R_s A}{n k T}\right) - 1 \right) - J_L + \frac{V_i}{R_{sh} A} - J_i \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) \quad (6)$$

dengan J_i dan V_i adalah rapat arus dan tegangan yang diperoleh dari data eksperimen dan k adalah jumlah data karakterisasi arus tegangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan fabrikasi dioda *blend heterojunction* dan perhitungan nilai parameter listrik dari data eksperimen secara numerik.

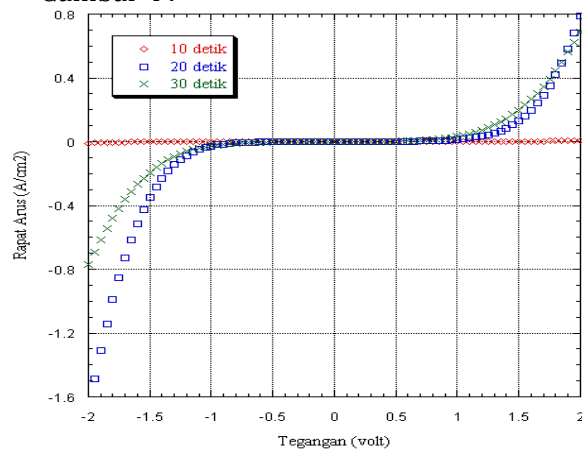
Karakterisasi arus tegangan merupakan salah satu cara untuk mengetahui sifat kontak dari suatu bahan. Kontak antara semikonduktor dan elektroda sebagai penghubung dengan peranti lainnya mempengaruhi kinerja peranti semikonduktor. Pada penelitian ini digunakan ITO sebagai kontak bawah dan Al sebagai kontak atas. Keduanya dipilih karena mempunyai selisih aras Fermi yang cukup besar.

Posisi LUMO dan HOMO untuk P3OT adalah 2,8 eV dan 5,05 eV dan PCBM adalah 3,7 eV dan 6,1 eV. P3OT sebagai semikonduktor tipe-p memiliki posisi aras Fermi dekat dengan HOMO dan PCBM sebagai semikonduktor tipe-n memiliki aras Fermi dekat dengan LOMO. ITO mempunyai fungsi kerja sebesar 4,83 eV dan Al 4,26 eV. Selisih energi Fermi ITO/P3OT sebesar 0,22 eV dan

PCBM/Al sebesar 0,56 eV.

Karakterisasi I-V dilakukan dalam keadaan gelap menggunakan I-V meter. Dioda diberi tegangan dari 0 – 2 V untuk bias maju dan bias mundur. Pencatatan arus dilakukan setiap kelipatan 0,05 V pada tegangan. Bias maju terjadi pada waktu ITO diberi tegangan positif dan Al diberi tegangan negatif. Ketika diberi tegangan positif pada ITO, terjadi penurunan potensial penghalang yang mengakibatkan elektron akan mengalir dari semikonduktor ke logam dan arus yang mengalir akan semakin besar. Sebaliknya jika diberi bias mundur maka akan terjadi peningkatan potensial penghalang yang mengakibatkan arus yang mengalir semakin kecil.

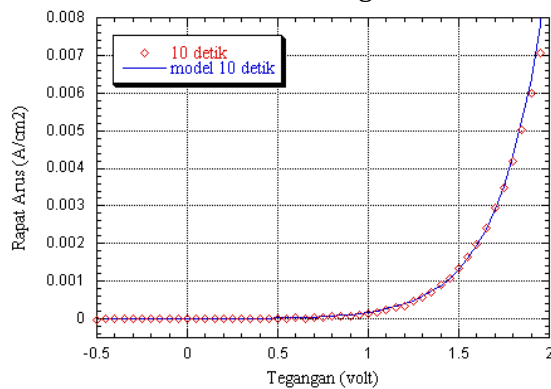
Arus yang mengalir saat diberi bias maju memiliki nilai yang jauh lebih besar daripada arus pada panjar mundur, sehingga peranti ini mempunyai karakteristik sebagai dioda. Arus pada pada saat diberi bias mundur mempunyai nilai hampir nol, tetapi arus meningkat saat diberi tegangan lebih dari -1 sehingga memungkinkan terjadinya tegangan dadal (*breakdown*). Hasil karakterisasi pada tegangan versus arus pada dioda ITO/P3OT:PCBM/Al ditunjukkan pada Gambar 4 .



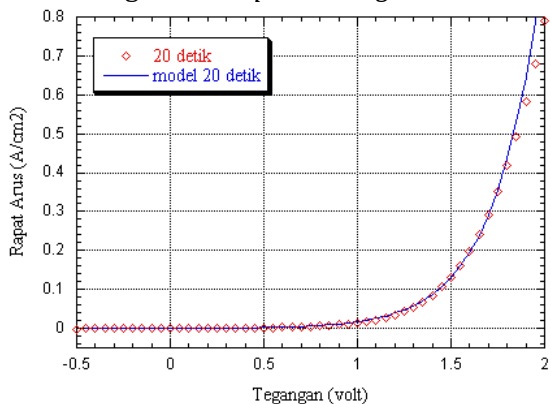
Gambar 4 Grafik karakteristik rapat arus-tegangan pada keadaan gelap dengan variasi lama *spin coating* 10 detik, 20 detik, dan 30 detik

Dengan menggunakan data eksperimen karakterisasi I-V, parameter-parameter internal listrik dengan iterasi R_s , J_s dan n

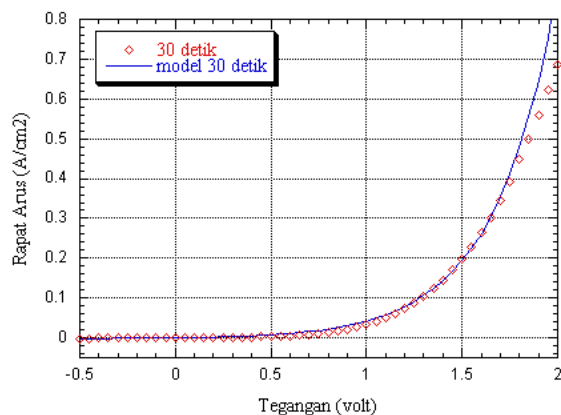
dapat ditentukan. Grafik pencocokan kurva dengan iterasi R_s dan J_s ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7. Secara grafis pengukuran $J-V$ dan R_s menentukan kelengkungan kurva yang akan mempengaruhi kinerja sel surya karena berkaitan erat dengan efisiensi daya. Sel surya akan memiliki efisiensi yang tinggi jika nilai R_s kecil dan nilai R_{sh} sangat besar.



Gambar 5 Kurva $J-V$ ITO/P30T:PCBM/Al dengan lama *spin coating* 10 detik



Gambar 6 Kurva $J-V$ ITO/P30T:PCBM/Al dengan lama *spin coating* 20 detik



Gambar 7 Kurva $J-V$ ITO/P30T:PCBM/Al dengan lama *spin coating* 30 detik

Hasil dari perhitungan parameter internal dioda ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai parameter dioda organik secara numerik

Perlakuan	n	J_s (A/cm^2)	R_s (Ω)
S10	1,5	$3,5 \times 10^{-6}$	62036,
S20	1,5	$327,3 \times 10^{-6}$	0
S30	1,5	$2229,7 \times 10^{-6}$	642,6
		10^{-6}	622,7

S10 adalah proses *spin coating* selama 10 detik, S20 adalah proses *spin coating* selama 20 detik, dan S30 adalah proses *spin coating* selama 30 detik. Berdasarkan tabel 5.1, ketebalan lapisan *blend* P30T:PCBM berpengaruh terhadap penurunan nilai hambatan seri.

Ketebalan lapisan dioda dengan cara memvariasi lama *spin coating* sangat berpengaruh pada penurunan nilai R_s . Besarnya nilai R_s pada eksperimen disebabkan oleh faktor koreksi yang tidak diperhitungkan dan akan berpengaruh pada kemiringan kurva saat V_{oc} . Nilai R_s akan menentukan kelengkungan kurva. Dalam dioda organik, nilai R_s akan mempengaruhi besarnya efisiensi daya saat dioda diberi penyinaran atau dalam sel surya. Nilai n akan mempengaruhi besarnya nilai J_s .

Lapisan ITO/P30T:PCBM/Al dengan lama *spincoating* 30 detik mempunyai nilai hambatan yang kecil $R_s = 622,7 \Omega$, tetapi nilai $J_s = 2229,7 \times 10^{-6}$.

4. PENUTUP

Pada penelitian ini telah berhasil dikarakterisasi diode organik ITO/P30T:PCBM/Al yang dibuat dengan variasi lama *spin coating* larutan *blend* P30T:PCBM yakni selama 10 detik, 20 detik dan 30 detik. Hasil $J-V$ dioda *blend* organik struktur ITO/P30T:PCBM/Al menunjukkan karakteristik diode dengan lama *spincoating* 30 detik mempunyai nilai hambatan seri sebesar $R_s = 622,7 \Omega$.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Dr. Kuwat Triyana, Jurusan Fisika UGM yang telah membimbing penelitian ini.

6. REFERENSI

- Buxton, G. A., Clarke, N., 2006, Computer Simulation of Polymer Solar Cells, *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* 15, pp. 13–26.
- Hoppe, H., Arnold, N., Meissner, D., dan Sariciftci, N. S., 2004, Modelling of Optical Absorbtion in Conjugated Polymer/Fullerene Bulk Heterojunction Plastic Solar Cells, *Thin Solid Films* 19, No. 7, pp.589-592.
- Nunzi, J. M., 2002, Organic Photovoltaic Material and Devices, *C. R. Physique* 3, pp.523-542.
- Persson, N. K., Schubert, M., Inganas O., 2004, Optical Modelling of a Layered Photovoltaic Device with a Polyfluorene Derivative/Fullerene as The Active Layer, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 83, pp.169–186.
- Rio, R., dan Iida, M., 1999, *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Spanggaard, H. dan Krebs, F. C., 2004, A Brief History of The Development of Organic and Polymeric Photovoltaic, *Solar Energy Materials and Solar Cell* 83, pp.125-146.
- Sze, S.M., 1981, *Physics of Semiconductor Devices* 2nd edition, John Wiley and Sons.
- Winder, C., 2001, Sensitization of Low Bandgap Polymer Bulk Heterojunction Solar Cells, Thesis Graduate School of Linz University.