

PENGEMBANGAN PROTOTIPE SEL SURYA DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL) LAPISAN TiO₂/GRAFIT MENGGUNAKAN CAMPURAN PCBM:P3HT

Fandi Oktasendra^{1*}, Sarinah Pakpahan¹, Sampe Napitupulu¹, Samsidar¹,
Nurhidayah¹, Faizar Farid²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Mendalo Darat, Jambi 36361

²Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Mendalo Darat, Jambi 36361

E-mail: f.oktasendra@unja.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini telah berhasil dibuat prototipe sel surya organic tipe dye-sensitized solar cells (DSSC) lapisan TiO₂/grafit dengan menambahkan lapisan aktif polimer campuran phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM) dan regioregular poly(3-hexylthiophene) (P3HT). Dye dari ekstrak buah naga digunakan sebagai photosensitizer untuk menghasilkan exciton. Campuran PCBM:P3HT divariasikan dengan perbandingan 1:1, 1:2 dan 2:1 untuk melihat pengaruh dari masing-masing polimer. Hasil karakterisasi absorpsi menggunakan UV-Vis spektrometer pada lapisan TiO₂/Grafit yang ditambahkan dengan lapisan PCBM:P3HT menunjukkan peningkatan nilai serapan pada panjang gelombang 300 – 650 nm. Namun, peningkatan ini tidak sejalan dengan peningkatan nilai efisiensi sel surya. Hasil pengukuran I-V karakteristik dibawah penyinaran sinar matahari langsung menunjukkan penurunan efisiensi sel surya sebesar 20.4% pada penambahan campuran PCBM:P3HT (1:1), 43.6% untuk PCBM:P3HT (1:2) dan 96.5% untuk PCBM:P3HT (2:1). Penurunan ini lebih disebabkan karena menurunnya nilai tegangan sirkuit terbuka, V_{oc}. Selain itu, nilai efisiensi sel surya yang rendah (yakni < 1%) disebabkan karena nilai rapat arus yang sangat kecil yakni pada orde beberapa mikro Ampere. Kami menduga kecilnya nilai rapat arus ini disebabkan oleh nilai resistansi internal yang cukup besar pada sel surya serta berubahnya peran lapisan PCBM:P3HT yang seharusnya berfungsi untuk meningkatkan penghantaran exciton menjadi pusat rekombinasi. Hal ini mungkin disebabkan karena tebalnya lapisan PCBM:P3HT yang dibuat menggunakan metode drop-casting seperti yang ditunjukkan dari hasil karakterisasi SEM.

Kata Kunci: Sel surya DSSC, dye-sensitized, poly(3-hexylthiophene), [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester, lapisan TiO₂/Grafit.

Abstract

[Title: Development of a Solar Cell Prototype of TiO₂/Graphite Based DSSC (Dye Sensitized Solar Cells) With Addition of PCBM:P3HT Blend Layer] We have successfully designed a prototype of Dye-sensitized solar cells (DSSC) based on TiO₂/Graphite layer with the addition an active layer of mixed blend of phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM) dan regioregular poly(3-hexylthiophene) (P3HT). Dye extracted from the dragon fruit was used as a photosensitizer to create the excitons. PCBM:P3HT blends were varied with weight ratios of 1:1, 1:2, and 2:1 in order to investigate the influence of each polymer. The characteristic of UV-spectra of TiO₂/Graphite film added with a PCBM:P3HT layer shows an increase of absorbance in the range of wavelength of 300 – 600 nm. However, this increase of absorbance is not followed by the increase of power conversion efficiency (PCE) of the solar cells. The current – voltage characteristic measurement under illumination of direct sunlight shows a decrease of PCE of about 20% with the addition of 1:1 blend of PCBM:P3HT, 43.6 % for 1:2 blend and 96.5% for 2:1 blend. This decrease of PCE is mainly an effect of the decrease of the open circuit voltage, V_{oc}. In addition, the PCE of the solar cells is considerably low, which is less than 1%. This is a consequence of the low of short circuit current density (J_{sc}), which is only in order of some micro Amperes. We suspect that the high internal sheet resistance in the cells might cause this low J_{sc}. Furthermore, it could be affected by the role of PCBM:P3HT that has changed from as a transport layer for the excitons to as a center of recombination. This could be a result of thick layers of PCBM:P3HT, which were deposited by drop-casting method, as shown by the SEM images.

Keywords: DSSC solar cells, dye-sensitized, poly(3-hexylthiophene), [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester, TiO₂/Graphite layer.

PENDAHULUAN

Berkembangnya penelitian sel surya generasi ke tiga telah banyak menarik perhatian semenjak ditemukannya sel surya berbasis *dye* tersintesisasi atau *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) oleh grup riset Gratzel^[1]. Kelebihan tipe sel surya ini adalah teknologi berbiaya rendah, fabrikasi yang mudah dan tidak membutuhkan teknologi tinggi. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO₂, molekul *dye* yang terabsorpsi di permukaan TiO₂, dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif. TiO₂ telah banyak digunakan pada sel surya karena efisiensi yang relative tinggi[2-4], fabrikasi yang mudah [5,6], biaya rendah [7,8], toksitas yang rendah [8] dan stabilitas berjangka panjang [9]. Namun, TiO₂ memiliki lebar pita yang besar ($E_g = 3.2 \text{ eV}$) sehingga hanya cocok untuk panjang gelombang ultraviolet. Berbagai upaya dilakukan untuk menurunkan lebar pita ini, diantaranya dengan mendoping dengan serbuk grafit. Farid, dkk melaporkan lebar pita TiO₂ sebesar 2.2 eV diperoleh pada pendopingan 14% grafit [10].

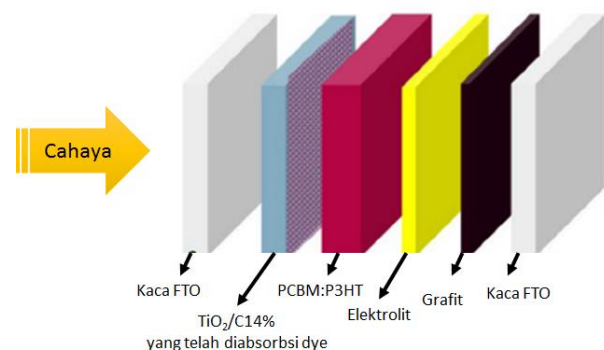
Polimer yang berasal dari turunan fullerenes (C60) telah banyak menarik perhatian karena sifatnya yang bagus untuk mentransfer pembawa muatan [11]. Salah satu yang banyak digunakan pada sel surya adalah poly(3-hexylthiophene) (P3HT) dan [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM). Keunggulan P3HT adalah bisa berperan sebagai donor dan memiliki mobilitas hole yang lebih tinggi ($10^{-4} - 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) serta stabilitas lingkungan yang bagus [12,13]. PCBM berperan sebagai akseptor yang memiliki kemampuan transfer elektron yang lebih bagus dan juga afinitas elektron yang lebih tinggi. Pada penelitian ini, kita mencoba untuk menggunakan campuran PCBM:P3HT sebagai lapisan pentransfer pembawa muatan.

METODE

Substrat kaca FTO dengan ukuran 10 x 10 cm dibeli dari SOLARONIX, Swiss. Serbuk poly(3-hexylthiophene) (P3HT) dibeli dari Richest Group, China dan [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM) dibeli dari Sollene BV, Belanda. Kedua serbuk tidak mendapat perlakuan lebih lanjut sebelum digunakan. Serbuk TiO₂ teknis dan grafit dibeli dari Bratachem, Indonesia.

Kaca FTO dipotong dengan ukuran 2.5 x 1.5 cm, lalu dibersihkan dengan Ultrasonic Cleanser dan aseton selama 10 menit. Pasta TiO₂ dibuat dengan menambahkan 2 gr polivinil alcohol (PVA) ke dalam 20 ml aquades lalu distirer selama 10 menit pada suhu 80°C. Sebanyak 2 gr serbuk TiO₂ dimasukkan ke dalam larutan tadi lalu diaduk dan kemudian ditambahkan serbuk grafit sebanyak 14% yang telah dilarutkan dalam 1 ml aquades. Pasta yang telah dibuat lalu dideposisikan pada substrat kaca dengan metode *doctor blade* sehingga membentuk daerah aktif dengan dimensi 1.5 x 1.5 cm².

Setelah pemanasan pada hot plate selama 30 menit, substrat kaca dicelupkan dalam larutan *dye* buah naga selama 15 menit. Larutan *dye* disiapkan dengan merendam potongan-potongan buah naga ke dalam pelarut 25 ml methanol, 4 ml asam asetat dan 20 ml aquades selama 24 jam. Setelah larutan *dye* terabsorpsi secara sempurna pada lapisan TiO₂/C14%, larutan PCBM:P3HT yang dilarutkan ke dalam pelarut chloroform dideposisikan dengan metode drop-casting. Larutan PCBM:P3HT dibuat dengan perbandingan massa 1:1, 1:2 dan 2:1 sehingga membentuk larutan polimer konduktor dengan konsentrasi 15 mg/mL. Sebagai counter electrode, serbuk grafit diarsirkan pada kaca FTO lalu bakar sampai jelaga api menutupi permukaan konduktif FTO. Sel surya DSSC dibuat dengan menjepit kaca FTO yang terdiri dari lapisan TiO₂/C14%/dye/PCBM:P3HT dan counter electrode dengan meninjeksikan larutan elektrolit KI+I₂ diantara kedua kaca tersebut. Ilustrasi struktur DSSC yang dibuat ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



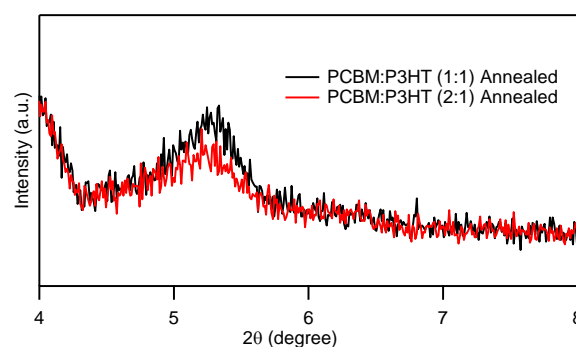
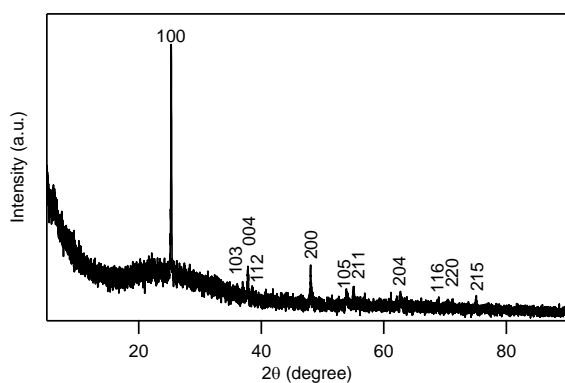
Gambar 1. Struktur sel surya DSSC.

Pengkarakerisasian lapisan TiO₂/C14% dan PCBM:P3HT dilakukan dengan uji kekristalan dengan alat XRD, uji morfologi dengan SEM dan uji absorbansi dengan UV-Vis spektrometer. Uji XRD dilakukan di Fakultas Sains dan Teknologi,

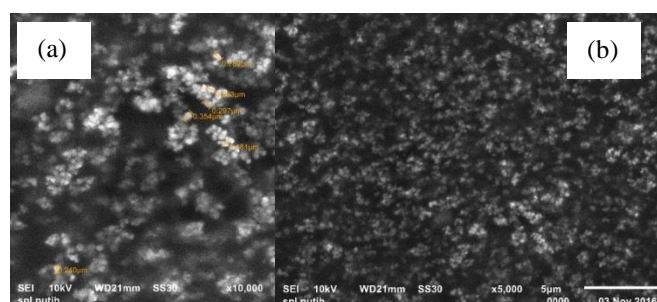
Universitas Jambi, uji SEM di Balai Tekstil Bandung, dan UV-Vis di Lab Terpadu Universitas Jambi. Pengukuran karakteristik I-V dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus menggunakan multimeter di bawah penyinaran matahari langsung di FST Unja pada tengah hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kita telah membuat peralatan sel surya DSSC lapisan TiO_2 yang didoping dengan grafit 14% (selanjutnya disebut $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$) dengan mengabsorbiskan larutan *dye* dari ekstrak buah naga pada lapisan tersebut dan mendeposisikan campuran PCBM:P3HT dengan rasio massa 1:1, 1:2 dan 2:1 di antara lapisan $\text{TiO}_2/\text{C14\%}/\text{dye}$ dan elektrolit. Uji kekristalan setiap lapisan dengan menggunakan XRD menghasilkan pola difraksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pola difraksi dari lapisan $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (a) memperlihatkan puncak-puncak yang bersesuaian dengan yang dimiliki oleh fase anatase berdasarkan analisis data JCPDS. Hasil ini sesuai dengan yang diperoleh pada penelitian sebelumnya [10] dimana lapisan $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$ memiliki struktur kristal tetragonal. Dari puncak tertinggi pada orientasi 100 dapat dihitung ukuran Kristal dengan menggunakan metode Debye Scheerer dimana diperoleh ukuran Kristal sekitar 74 nm. Nilai ini sedikit lebih besar dari yang dilaporkan sebelumnya yaitu sekitar 52 nm. Spektrum difraksi XRD dari lapisan campuran PCBM:P3HT yang telah dipanaskan dalam oven pada suhu 100 °C selama 10 menit (Gambar 2 (b)) menunjukkan terdapatnya fase Kristal yang ditandai dengan puncak pada sudut $2\theta \approx 5.2^\circ$ untuk campuran dengan rasio 1:1 dan 2:1. Meskipun pada referensi [14] dilaporkan bahwa penambahan jumlah PCBM dalam campuran dapat mengganggu pembentukan fase kekristalan, namun dengan adanya proses pemanasan kristanilitas dari lapisan dapat ditingkatkan.

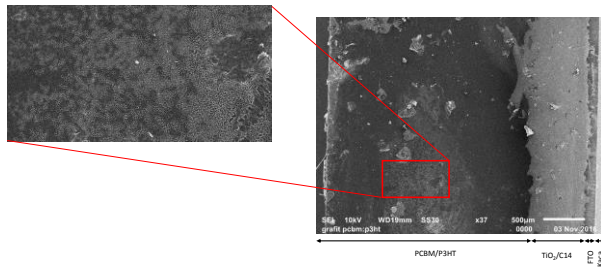


Gambar 2. Pola XRD dari (a) Lapisan $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$ dan (b) PCBM:P3HT setelah dilakukan pemanasan dalam oven pada suhu 100° C selama 10 menit



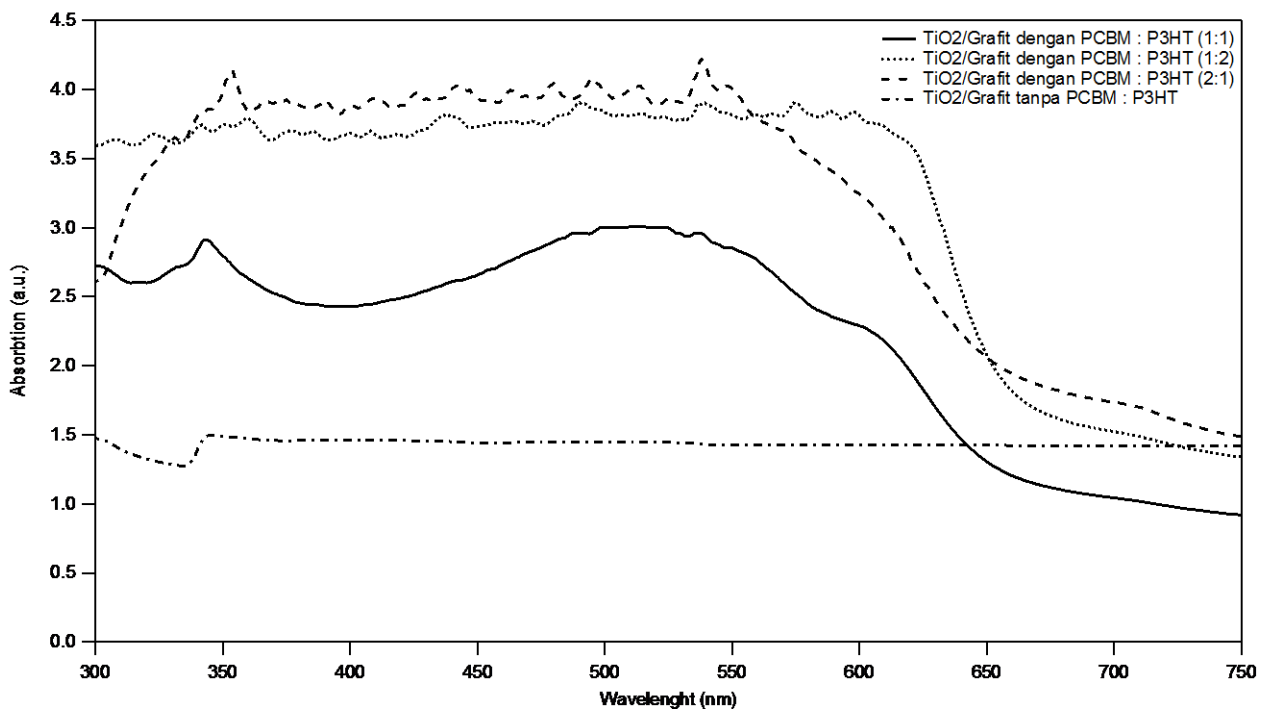
Gambar 3. Hasil scan menggunakan SEM pada permukaan lapisan $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$ dengan perbesaran (a) 5.000 kali dan (b) 10.000 kali.

Gambar 3 menunjukkan hasil scan permukaan lapisan $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$ dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JSM-6510 pada perbesaran yang berbeda. Dari bentuk morfologi lapisan terlihat partikel $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$ tersebar cukup merata dan homogen dengan ukuran partikel berada pada rentang 0.215 – 0.354 μm . Selain itu, uji SEM juga dilakukan pada penampang melintang sel surya untuk melihat ketebalan setiap lapisan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat bahwa lapisan $\text{TiO}_2/\text{C14\%}$ memiliki ketebalan sekitar 0.5 μm . Hal yang perlu menjadi perhatian di sini adalah bahwa lapisan PCBM:P3HT memiliki ketebalan yang cukup tinggi yaitu sekitar 2.5 μm . Teknik pendeposisian PCBM:P3HT dengan cara *drop-casting* tidak dapat menghasilkan lapisan yang cukup tipis. Dari citra SEM tersebut, terlihat pelarut masih terkandung dalam lapisan. Namun, Kristal polimer sudah terbentuk yang berada diantara pelarut seperti yang ditunjukkan pada perbesaran gambar (Gambar 4 kiri).



Gambar 4. Hasil scan SEM pada penampang melintang lapisan $TiO_2/C14\%$ /PCBM:P3HT yang dideposisikan pada substrat kaca FTO (kanan). Gambar yang diperbesar (kiri) memperlihatkan bentuk polimer campuran PCBM:P3HT

Hasil pengukuran absorbansi lapisan $TiO_2/C14\%$ dan yang ditambah dengan lapisan PCBM:P3HT dengan rasio 1:1, 2:1 dan 1:2 ditunjukkan oleh Gambar 5. Pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang 300 – 750 nm. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa nilai absorbansi lapisan yang ditambah dengan lapisan PCBM:P3HT mengalami peningkatan dibandingkan dengan lapisan $TiO_2/C14\%$ saja. Peningkatan nilai absorbansi terjadi pada rentang 350 – 650 nm yakni pada rentang cahaya tampak. Pada campuran PCBM:P3HT 1:1 terlihat puncak absorpsi pada panjang gelombang 525 nm dan 343 nm.



Gambar 5. Spektum absobansi UV-Vis dari lapisan $TiO_2/C14\%$ dan dengan penambahan lapisan PCBM:P3HT dengan rasio 1:1, 1:2, dan 2:1.

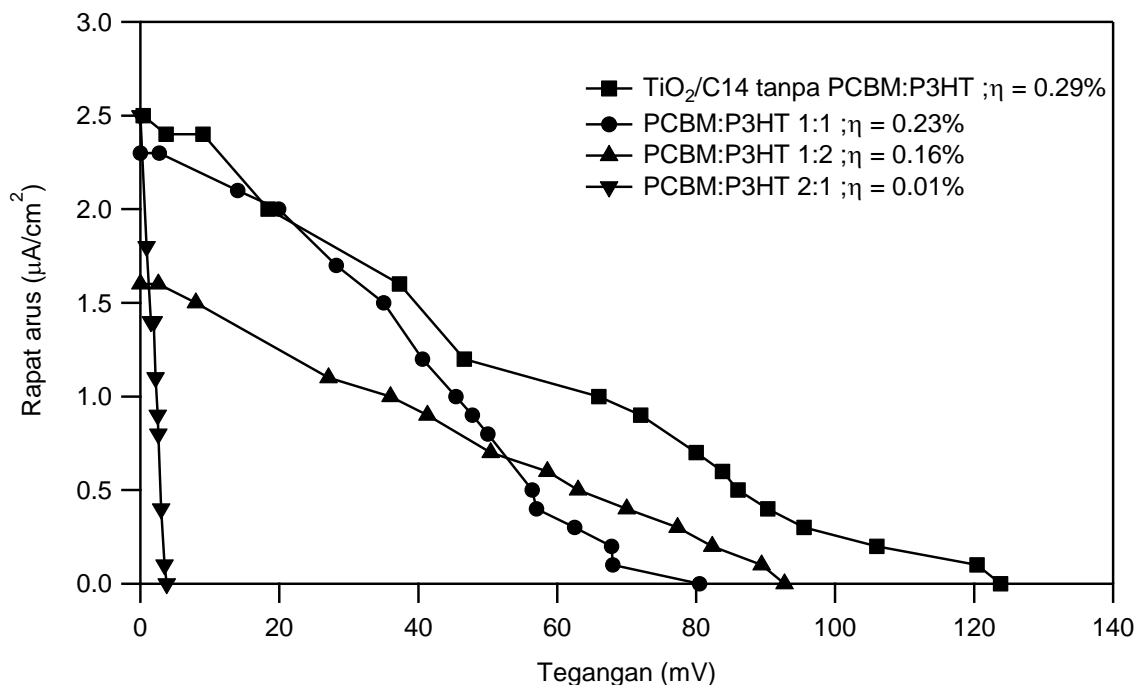
Hasil pengukuran karakteristik I-V pada sel surya DSSC ditunjukkan pada Gambar 6. Parameter-parameter performansi sel surya seperti rapat arus short circuit, J_{sc} , tegangan open circuit V_{oc} , *Fill Factor* FF dan efisiensi η ditabulasikan pada Table 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi diberikan oleh sel surya tanpa ditambah dengan campuran PCBM:P3HT. Penambahan PCBM:P3HT justru malah menurunkan nilai efisiensi terutama melalui penurunan nilai V_{oc} . Penurunan efisiensi 20.4% diperoleh jika ditambah

lapisan PCBM:P3HT rasio 1:1. Sedangkan penurunan efisiensi 43.6 % dan 96.5 % diberikan oleh penambahan lapisan PCBM:P3HT rasio 1:2 dan 2:1. Hal ini tentu tidak sesuai dengan hipotesa awal dimana penambahan PCBM:P3HT dapat meningkatkan nilai efisiensi. Ketidak sesuaian ini mungkin saja disebabkan karena lapisan PCBM:P3HT yang dibuat dengan metode drop-casting sangat tebal sehingga PCBM:P3HT tidak bisa menghantarkan exciton dengan baik dan malah menjadi pusat rekombinasi. Selain itu, nilai resistansi

internal pada lapisan PCBM:P3HT yang cukup besar yakni sekitar 400 Ohm/cm^2 juga berperan mengurangi nilai efisiensi. Nilai resistansi internal ini juga berperan dalam memberikan nilai rapat arus yang kecil. Kecilnya nilai rapat arus berakibat pada kecilnya nilai efisiensi yakni $< 1\%$.

Rasio massa PCBM:P3HT juga menarik perhatian pada hasil pengukuran I-V karakteristik

ini. Nilai efisiensi terbesar diperoleh pada rasio massa 1:1 yakni 0.23%. Pada rasio massa PCBM:P3HT 1:2, nilai efisiensi turun menjadi 0.16% karena menurunnya nilai J_{sc} meskipun nilai V_{oc} mengalami peningkatan. Pada rasio massa PCBM:P3HT 2:1, penurunan efisiensi sangat signifikan mejadi 0,01 % disebabkan karena nilai V_{oc} yang sangat kecil.



Gambar 6. Kurva karakteristik rapat arus terhadap tegangan dari sel surya pada penyinaran di bawah matahari langsung dengan kerapatan sinar 100 mW/cm^2 (AM 1.5) dan daerah aktif 1.25 cm^2

Tabel 1. Parameter karakteristik rapat arus-tegangan dari sel surya DSSC dengan tanpa PCBM:P3HT, dan dengan PCBM:P3HT dengan rasio 1:1, 1:2 dan 2:1 di bawah penyinaran AM 1.5, $P_{in} = 100 \text{ mW/cm}^2$, daerah aktif 1.25 cm^2 .

	V_{oc} (mV)	J_{sc} ($\mu\text{A/cm}^2$)	FF (%)	η (%)
TiO ₂ /C14%	123.8	2.5	21.3	0.293
PCBM:P3HT (1:1)	80.5	2.3	28.3	0.233
PCBM:P3HT (1:2)	92.7	1.6	25	0.165
PCBM:P3HT (2:1)	3.8	2.5	28	0.01

SIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian kita telah berhasil membuat prototype sel surya DSSC dengan struktur FTO/TiO₂/C14%/dye/PCBM:P3HT/Elektrolit/G rafit/FTO. Penambahan lapisan PCBM:P3HT mampu meningkatkan daya absorbansi pada rentang panjang gelombang 300 – 600 nm. Namun, meningkatkannya daya absorbansi ini tidak sejalan

dengan meningkatnya nilai efisiensi. Efisiensi mengalami penurunan sebesar 20.4 % pada penambahan PCBM:P3HT rasio massa 1:1, penurunan 43.6% pada PCBM:P3HT 1:2 dan 96.5% pada rasio 2:1. Meskipun demikian, efisiensi yang diperoleh juga sangat kecil ($< 1\%$) dikarenakan nilai rapat arus yang kecil. Efisiensi terbesar dari sel surya dengan lapisan PCBM:P3HT diperoleh pada rasio massa 1:1 yaitu sebesar 0.23%.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Islam, S. P. Singh, M. Yanagida, M. R. Karim, and L. Han, *Int. J. Photoenergy* (2011): article ID 75742.
- Alem S, de Bettignies R, Nunzi J, et al.(2004) : *Efficient polymer-based interpenetrated network photovoltaic cells*. *Appl Phys Lett*, 84: 2178–2180.
- A. R. Zainun, S. Tomoya, U. M. Noor, M. Rusop, and I. Masaya, *Mater. Lett.* 66, 254 (2012).
- B. O'Regan and M. Gratzel. (1991): *Nature* 353, pp. 338.
- B. O'Regan and M. Grätzel. (1991): *Nature* 353, 737.
- Faizar Farid, Heriyanti, *Disain Prototipe Sel Surya DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Lapisan Grafit/TiO₂ Berbasis Dye Alami*, Penelitian Kelompok, Universitas Jambi. Jambi. 2015.
- Ma W, Yang C, Gong X, et al. (2005) : *Thermally stable, efficient polymer solar cells with nanoscale control of the interpenetrating network morphology*. *Adv Funct Mater*, 15: 1617–1622.
- S. P. Singh, A. Islam, M. Yanagida, and L. Han, *Int. J. Photoen.* (2011): 520848.
- P.A. Liddell, Paul A. Liddell, J. P. Sumida, A. N. Macpherson, L. Noss, G. R. Seely, K. N. Clark, A. L. Moore, T. A. Moore, D. Gust. (1994) : *Photochem. Photobiol.* 60, pp. 537.
- P. Joshi, Y. Xie, M. Ropp, D. Galipeau, S. Bailey, and Q. Qiao. (2009): *Energy Environ. Sci.* 2, 333.
- P. M. Sommeling, M. Spa'th, H. J. P. Smit, N. J. Bakker, and J. M. Kroon, *J. Photochem. Photobiol. A.* (2004) : *Chem.* 164, 137.
- P. Vanlaeke,, A. Swinnen, I. Haeldermans, G. Vanhoyland, T. Aernouts, D. Cheyns, C. Deibel, J. D'Haen, P. Heremans, J. Poortmans, J.V. Manca. (2006) : *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90 2150–2158.
- Y. Chiba, A. Islam, Y. Watanabe, R. Komiya, N. Koide, and L. Han, *Jpn. J. Appl.*(2006): *Phys.* 45, L638.
- Z. Huang, X. Liu, K. Li, D. Li, Y. Luo, H. Li, W. Song, L. Q. Chen, and Q. Meng, (2007) : *Electrochem. Commun.* 9, 596.