

EFEK KONSENTRASI P3HT:PCBM PADA REDUCED GRAPHENE OXIDE TERHADAP EFISIENSI SEL SURYA ORGANIK BULK HETEROJUNCTION

Putu Ekayani Sri Tussniari¹, Komang Nikastri Tussning Dewi², Ketut Nikastri Tussning Putri³

¹UGM, Yogyakarta, ^{2,3}UNUD, Bali

e-mail :¹pututussniari@gmail.com, ²tussningdewi@gmail.com, ³putriketut21@gmail.com

ABSTRACT

The bulk heterojunction (BHJ) organic solar cell (OSC) has been fabricated using reduced graphene oxide (rGO), poly-3-hexylthiophene (P3HT) polymer and phenyl-C61-butyric acid methylester (PCBM). In this study, the rGO, P3HT and PCBM materials act as hole transport layer (HTL), donors and acceptors for the active layer, respectively. The aim of this research was to determine the effect of variations in the concentration of rGO/P3HT:PCBM blending on the absorbance value and efficiency of OSC. The study begins with the synthesis of rGO from graphite powder using the Hummer method at a reduction temperature of 80 °C. The results of characterization using UV-Vis spectroscopy, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy showed that graphene oxide (GO) and rGO had the same absorption as commercial GO and rGO. Furthermore, rGO/P3HT:PCBM blending was made with various concentrations of 2, 4, 6 and 8 mg/mL with a ratio of P3HT:PCBM of 1:1. The energy gap value from the absorbance blending with the UV-Vis spectrophotometer is about 2.279 eV. Then measured the I-V value and efficiency using the Keithley 2401A. Measurement of the SSO efficiency value in the state of illumination with a concentration of 2, 4 and 6 mg/mL of $0.4 \times 10^{-4}\%$, $1.1 \times 10^{-4}\%$ and $4.6 \times 10^{-4}\%$ respectively. The highest efficiency value was obtained at a concentration of 8 mg/mL, which is $6 \times 10^{-4}\%$. This shows that the blending concentration of rGO/P3HT:PCBM affects the efficiency value at OSC. The higher the concentration, the resulting increased efficiency value as well.

Keywords : Efficiency, Gap Energy, OSC, P3HT:PCBM, rGO

INTISARI

Sel surya organik (SSO) bulk heterojunction (BHJ) telah dibuat menggunakan material reduced graphene oxide (rGO), polimer poly-3-hexylthiophene (P3HT) dan phenyl-C61-butyric acid methylester (PCBM). Pada penelitian ini, material rGO, P3HT dan PCBM masing-masing bertindak sebagai hole transport layer (HTL), donor dan akseptor lapisan aktif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi blending rGO/P3HT:PCBM terhadap nilai absorbansi dan efisiensi SSO. Kajian diawali dengan sintesis rGO dari serbuk grafit dengan metode Hummer pada temperatur reduksi 80 °C. Hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis, spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) menunjukkan bahwa graphene oxide (GO) dan rGO dengan memiliki serapan yang sama dengan GO dan rGO komersial. Selanjutnya dibuat blending rGO/P3HT:PCBM dengan variasi konsentrasi 2, 4, 6 dan 8 mg/mL dengan perbandingan P3HT:PCBM adalah 1:1. Nilai energi gap dari hasil absorbansi blending dengan spektrofotometer UV-Vis adalah sekitar 2,279 eV. Kemudian dilakukan pengukuran nilai I-V dan efisiensi menggunakan Keithley 2401A. Pengukuran nilai efisiensi SSO pada saat kondisi terang dengan konsentrasi 2, 4 dan 6 mg/mL masing-masing sebesar $0.4 \times 10^{-4}\%$, $1.1 \times 10^{-4}\%$ dan $4.6 \times 10^{-4}\%$. Nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada konsentrasi 8 mg/mL yaitu

sebesar $6 \times 10^{-4}\%$. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi blending *rGO/P3HT:PCBM* mempengaruhi nilai efisiensi pada SSO. Semakin tinggi konsentrasi, nilai efisiensi yang dihasilkan semakin meningkat pula.

Kata kunci : Efisiensi, Energi gap, P3HT:PCBM, rGO, SSO

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir telah dikembangkan secara intensif sel surya dengan bahan semikonduktor organik atau yang dikenal dengan sel surya organik (SSO) (Triyana dkk, 2009). Kelebihan SSO diantaranya memungkinkan adanya rekayasa hingga level molekuler dan sintesis bahan semikonduktor organik juga tidak terbatas, bahkan dapat diekstraksi dari tumbuh-tumbuhan yang dapat dibudidayakan. Ekstrak forpirin alam dari miko-alga telah terbukti mempunyai potensi sebagai bahan terbarukan bukan hanya sebagai bahan aktif sel surya organik, tetapi juga untuk fotodetektor organik (Supriyanto dkk, 2010). Penelitian SSO jenis lain yang sedang dikembangkan adalah divais *bulk heterojunction* (BHJ) berbasis *poly-3-hexylthiophene* (P3HT) dan *phenyl-C61-butyric acid methylester* (PCBM). Tipe BHJ menjadi pilihan karena bahan aktif polimer yang berperan sebagai donor dan akseptor langsung dalam satu *blend*. Beberapa penelitian yang berkaitan dengan preparasi material aktifnya telah banyak dilakukan, diantaranya pengaruh variasi pemberian pelarut dan *annealing* (Ibrahim dan Ambacher, 2005), ketebalan bahan aktif yang sesuai dan juga kinerja sel terhadap kondisi ruangan (Septina, 2007). Bervariasinya hasil penelitian, juga didiagnosis adanya pengaruh morfologi lapisan tipisnya (Bahtiar dkk, 2011). Namun meskipun upaya-upaya peningkatan efisiensi telah dilakukan (Supriyanto dkk, 2010), hingga saat ini secara faktual efisiensi SSO berbasis BHJ masih rendah.

Salah satu cara yang dikembangkan saat ini untuk meningkatkan efisiensi pada SSO yaitu dengan pengaplikasian *graphene* sebagai bahan elektroda dalam organik fotovoltaiik (OPV) sel surya untuk menggantikan indium tin oxide (ITO). Hal ini karena kemampuan penyerapan *graphene* mencapai 97,7% (Novoselov dkk, 2004). Sedangkan kemampuan penyerapan ITO hanya mencapai 80 % (Yu dkk, 2009). Park dkk melaporkan bahwa OPV berbasis *graphene* cenderung memiliki hasil perangkat yang jauh lebih baik jika dibandingkan OPV berbasis ITO pada metode penelitian yang sama (Park dkk, 2012). Akan tetapi, penggunaan *graphene* pada perangkat OPV masih memiliki kekurangan. Yu dkk melaporkan performa perangkat OPV berbasis *graphene* belum optimal. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan modifikasi pada permukaan lapisan tanpa mengurangi kemampuan penyerapan, salah satunya dengan metode *non-covalent chemical functionalization* yaitu dengan pemberian doping bahan kimia pada *graphene* (Yu dkk, 2009).

Sintesis *graphene* dapat dilakukan dengan menggunakan metode sintesis secara kimia, yaitu melakukan sintesis *graphene oxide* (GO) terlebih dahulu kemudian ikatan oksida pada GO direduksi dengan menggunakan suatu senyawa kimia agen pereduksi. Sintesis GO secara kimia menggunakan bubuk *graphite* yang dioksidasi dengan asam kuat disebut dengan metode Hummer (Hummer's, 1958). Sehingga dalam penelitian ini digunakan metode Hummer untuk melakukan sintesis GO kemudian mereduksi ikatan oksida padanya menggunakan senyawa kimia pereduksi. Namun kelemahan pada metode ini adalah tidak dapat diperoleh *graphene* murni monolayer, tetapi akan diperoleh *reduced graphene oxide* (rGO) yang bersifat tidak murni atau terdapat banyak atom pengotor menyusun strukturnya. Hal ini menyebabkan perbedaan pita energi antara rGO dengan *graphene*

monolayer, sehingga kajian terhadap bentuk pita energi pada rGO dengan perlakuan kondisi proses sintesis yang berbeda-beda menarik diamati.

Pada sel surya organik BHJ, *hole transport layer* (HTL) antara lapisan aktif yaitu P3HT:PCBM dan elektroda memainkan peranan penting dalam mempengaruhi efisiensi dan stabilitas perangkat sel surya. *Graphene* memiliki sifat optik yang dapat diatur, konduktivitas listrik tinggi, stabilitas termal dan kimia, merupakan material standar yang sering digunakan sebagai *hole transport layer* (HTL) pada sel surya organik karena berperan sebagai lapisan penghalang elektron (*electron blocking layer*) dan mengurangi energi barrier antara lapisan ITO dan lapisan aktif (Chang dkk, 2014). Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi sel surya berbasis *graphene* dan polimer adalah efisiensi kuantum eksternal atau penyerapan (absorbansi) foton/cahaya oleh material aktif menjadi elektron. Penyerapan foton salah satunya dipengaruhi oleh komposisi polimer. Oleh karena itu, yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah pengaturan konsentrasi *blending* polimer yaitu PCBM dan P3HT, dengan upaya ini jarak level Fermi antara PCBM dan P3HT diharapkan dapat berkurang sehingga pembentukan muatan dari rekombinasi eksiton menjadi lebih baik.

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan fungsionalisasi *reduced graphene oxide* (rGO) pada sistem sel surya organik *bulk heterojunction*, yaitu pada lapisan aktif dan *hole transport layer* (HTL). Sistem sel surya organik BHJ yang akan dikaji yaitu dengan konfigurasi ITO/rGO/P3HT:PCBM/Al dengan variasi konsentrasi P3HT:PCBM. Adapun hasil yang diharapkan dengan menambahkan rGO sebagai lapisan *buffer* pada lapisan aktif P3HT:PCBM yaitu bertambahnya pembawa muatan dan akibat pembentukan eksiton menjadi lebih efektif, sehingga terjadi peningkatan efisiensi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sintesis *reduced graphene oxide* (rGO)

Material rGO disintesis dari serbuk grafit menggunakan metode Hummer (Suhendar, 2016). Pertama-tama, 1 g grafit dan 0,5 g NaNO₃ dicampur dengan 23 mL H₂SO₄ 98% dan diaduk dengan stirer selama 2 jam. Setelah proses pengadukan berjalan satu jam, 8 g KMnO₄ ditambahkan secara bertahap ke larutan tersebut, suhu dijaga kurang dari 20 °C (dalam *ice bath*). Setelah 2 jam pengadukan, larutan dikeluarkan dari *ice bath*, kemudian larutan diaduk pada suhu 40 °C (dalam *heat bath*) selama 20 jam. Larutan yang dihasilkan diencerkan dengan menambahkan 200 mL aquades secara bertahap sambil diaduk. Larutan tersebut selanjutnya ditambahkan dengan H₂O₂ 30 % sebanyak 5 mL. Kemudian terbentuk *graphite oxide*, lalu dipisahkan dari larutan dengan *centrifuge* dengan kecepatan rotasi 6000 rpm selama 1 jam sampai pH mendekati netral. Endapan yang didapatkan kemudian dikeringkan menggunakan *furnace* pada suhu 80 °C selama 4 jam sehingga diperoleh serbuk *graphene oxide* (GO). Selanjutnya GO dilarutkan dalam aquades (3 mg/mL) kemudian disonikasi dengan vibrator ultrasonik selama 3 jam dan ditambahkan 1 µL *hydrazine* 80 wt%. Larutan lalu diaduk pada suhu reduksi 80 °C selama 3 jam. Kemudian rGO dipisahkan dari larutan menggunakan *centrifuge* dengan kecepatan rotasi 6000 rpm selama 1 jam dan dikeringkan menggunakan *furnace* selama 2 jam didapatkan serbuk rGO. Material GO dan rGO dikarakterisasi dengan spektroskopi UV-Vis (*Ocean Optics USB4000*) dan FTIR (*Thermoscientific Nicolet iS-10*) masing-masing pada rentang spektrum 200-800 nm dan 4000-500 cm⁻¹.

2.2 *Blending* rGO/P3HT:PCBM

Langkah awal dilakukan pembuatan empat larutan rGO, dengan menyiapkan 5 mg rGO dilarutkan dalam 10 mL aquabides, larutan disonikasi selama 30 menit. Kemudian dibuat *Blending* P3HT:PCBM dengan perbandingan 1:1 yang dilarutkan dengan *dichlorobenzene* dengan empat variasi konsentrasi 2, 4, 6 dan 8 mg/mL dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama kurang lebih 45 menit. Kemudian pada empat larutan P3HT:PCBM tersebut ditambahkan empat larutan rGO yang telah dibuat sebelumnya dan disonikasi selama 30 menit hingga terbentuk larutan rGO/P3HT:PCBM yang homogen. Karakterisasi optik yang dilakukan yaitu mengetahui nilai absorbansi sampel dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis (*Ocean Optics USB4000*) pada rentang spektrum 200-700 nm.

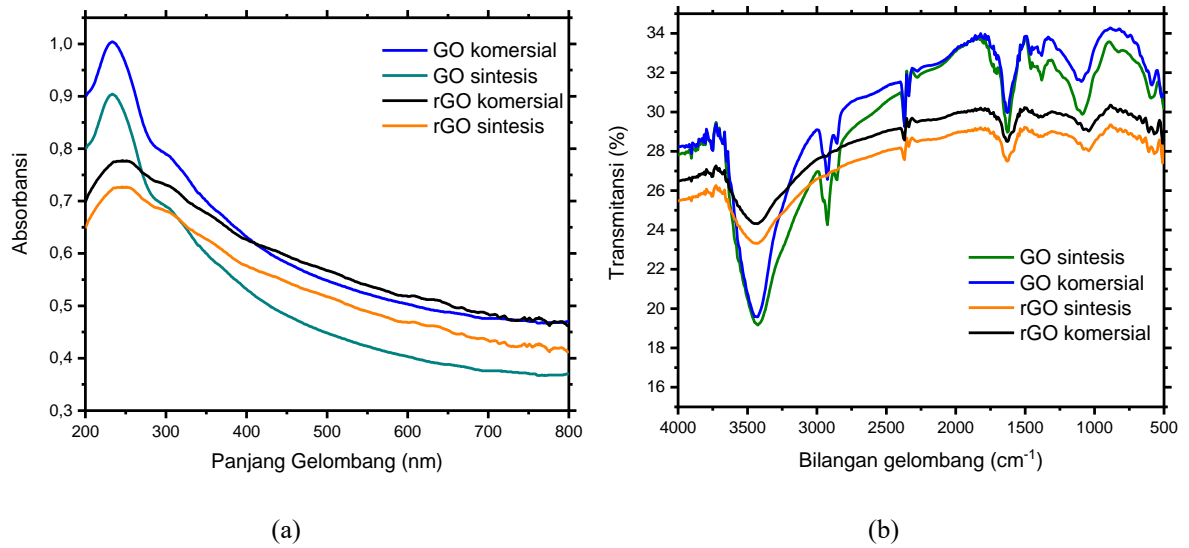
2.3 Fabrikasi dan karakterisasi sel surya organik (SSO)

SSO dibuat dengan struktur yaitu ITO/rGO/P3HT:PCBM/Al yang memiliki ukuran 2,5 x 2,5 cm dengan luas area aktif 2,6 cm². Penumbuhan lapisan tipis rGO/P3HT:PCBM dilakukan dengan menggunakan teknik *spin coating* dan evaporasi untuk aluminium (Al). Karakteristik arus-tegangan (I-V) SSO menggunakan *Keithley* 2401A. Pada saat keadaan terang disinari dengan lampu halogen dengan intensitas 1000 W/m². Kutub positif *Keithley* dihubungkan dengan elektroda positif SSO yakni kaca ITO, sedangkan pada kutub negatif *Keithley* dihubungkan dengan Aluminium. Selanjutnya didapatkan grafik I-V dan dihitung nilai efisiensi dari SSO.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

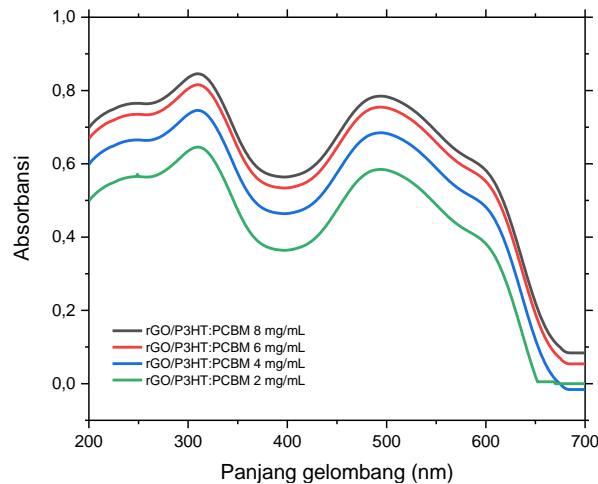
Hasil uji absorbansi dengan spektroskopi UV-Vis dari GO dan rGO yang dibandingkan dengan GO dan rGO komersial *Sigma-Aldrich* ditunjukkan pada Gambar 1 (a). Dua puncak serapan pada 230 dan 300 nm dapat dikorelasikan dengan transisi elektronik dari orbital $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$. Kedua puncak ini merupakan karakteristik absorbansi GO. Gambar 1 (a) juga menunjukkan bahwa pada rGO hanya muncul satu puncak pada panjang gelombang 270 nm. Puncak ini merupakan karakteristik rGO yang berhubungan dengan transisi elektronika orbital $\pi \rightarrow \pi^*$ (Li dkk, 2008).

Gambar 1 (b) menunjukkan hasil uji dengan menggunakan spektroskopi FTIR dari GO dan rGO yang dibandingkan dengan GO dan rGO komersial *Sigma-Aldrich*. Pada bilangan gelombang 3500 cm⁻¹ yang menunjukkan bahwa GO memiliki sifat hidrofilik dan rGO memiliki sifat hidrofobik, serta rGO sintesis memiliki kesamaan spektrum dengan rGO komersial. Dapat disebutkan bahwa penurunan spektrum pada ~ 1600 cm⁻¹ sebagai GO yang direduksi menjadi rGO, disimpulkan bahwa adanya ikatan C = C dengan hibridisasi sp² karena adanya energi hidrazin (Li dkk, 2008).



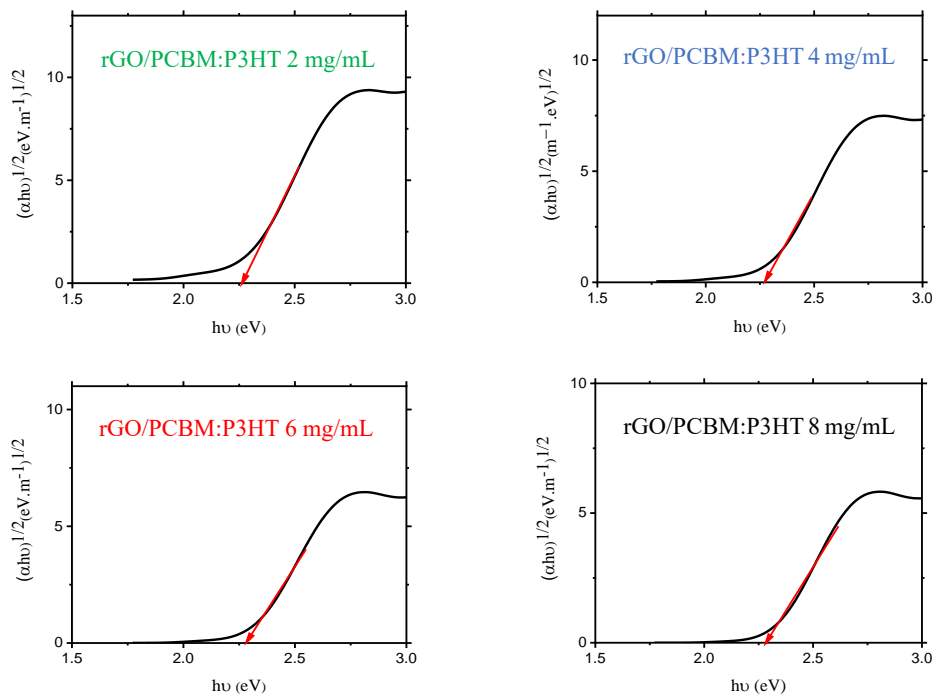
Gambar 1. Spektrum (a) UV-Vis dan (b) FTIR GO dan rGO sintesis dibandingkan dengan GO dan rGO komersial *Sigma-Aldrich*.

Pada Gambar 2 menunjukkan spektrum absorbansi UV-Vis dari *blending* rGO/P3HT:PCBM, dibuat dari empat konsentrasi yang berbeda. Pita absorbansi rGO/P3HT:PCBM berada pada panjang gelombang 200–700 nm, puncaknya sekitar 335 nm dan 420 nm. Hal ini seharusnya merupakan hasil dari larutan *blending* rGO/P3HT:PCBM, namun tidak ada interaksi *ground state* yang signifikan antara kedua bahan tersebut. Oleh karena itu, tidak ada transfer muatan yang terjadi pada *ground state* rGO/P3HT:PCBM, sehingga tidak mengurangi jarak level Fermi antara PCBM dan P3HT.



Gambar 2. Spektrum absorbansi rGO/P3HT:PCBM pada konsentrasi yang berbeda

Plot *Tauc* yang ditunjukkan pada Gambar 3 digunakan untuk memperkirakan energi gap dari *blending* rGO/P3HT:PCBM. Perhitungan energi gap pita diekstraksi dengan persamaan Tauc. Dari grafik spektrum absorbansi dapat ditentukan energi gap (Eg). Kurva spektrum absorpsi diubah menjadi kurva energi ($h\nu$) vs koefisien absorpsi ($ah\nu$)^{1/2}.



Gambar 3. Plot $Tauc$ dari konsentrasi *blending* rGO/PCBM:P3HT

Penentuan energi gap diperoleh dengan persamaan $Tauc$ (Bhatt dkk, 2012) seperti berikut:

$$(\alpha h\nu) = k (h\nu - E_g)^m \quad (1)$$

Perkiraan energi gap larutan rGO/P3HT:PCBM dengan berbagai konsentrasi ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Energi gap *blending* rGO/P3HT:PCBM

Konsentrasi (mg/mL)	Energi gap (eV)
2	2,264
4	2,271
6	2,285
8	2,294

Hasil perhitungan energi gap rata-rata diperoleh sekitar 2,279 eV. Energi gap pita rGO/P3HT:PCBM meningkat sedikit dari 2,264 menjadi 2,294 eV karena konsentrasi rGO dinaikkan menjadi 8 mg/mL. Nilai-nilai ini kompatibel dan energi gap pita antara P3HT dan PCBM sesuai dengan penelitian sebelumnya (Zheng dkk, 2015).

Selanjutnya dilakukan pengolahan grafik I-V SSO. Grafik I-V pada penelitian ini dilakukan pada saat kondisi terang. Kuadran pada saat keadaan terang berada pada kuadran IV. Kurva terang digunakan sebagai parameter untuk menentukan nilai efisiensi. Perhitungan efisiensi konversi daya (η) telah dilakukan dengan menggunakan persamaan (Tiwari dkk, 2010):

$$\eta = V_{oc} I_{sc} FF / P_{in} \quad (2)$$

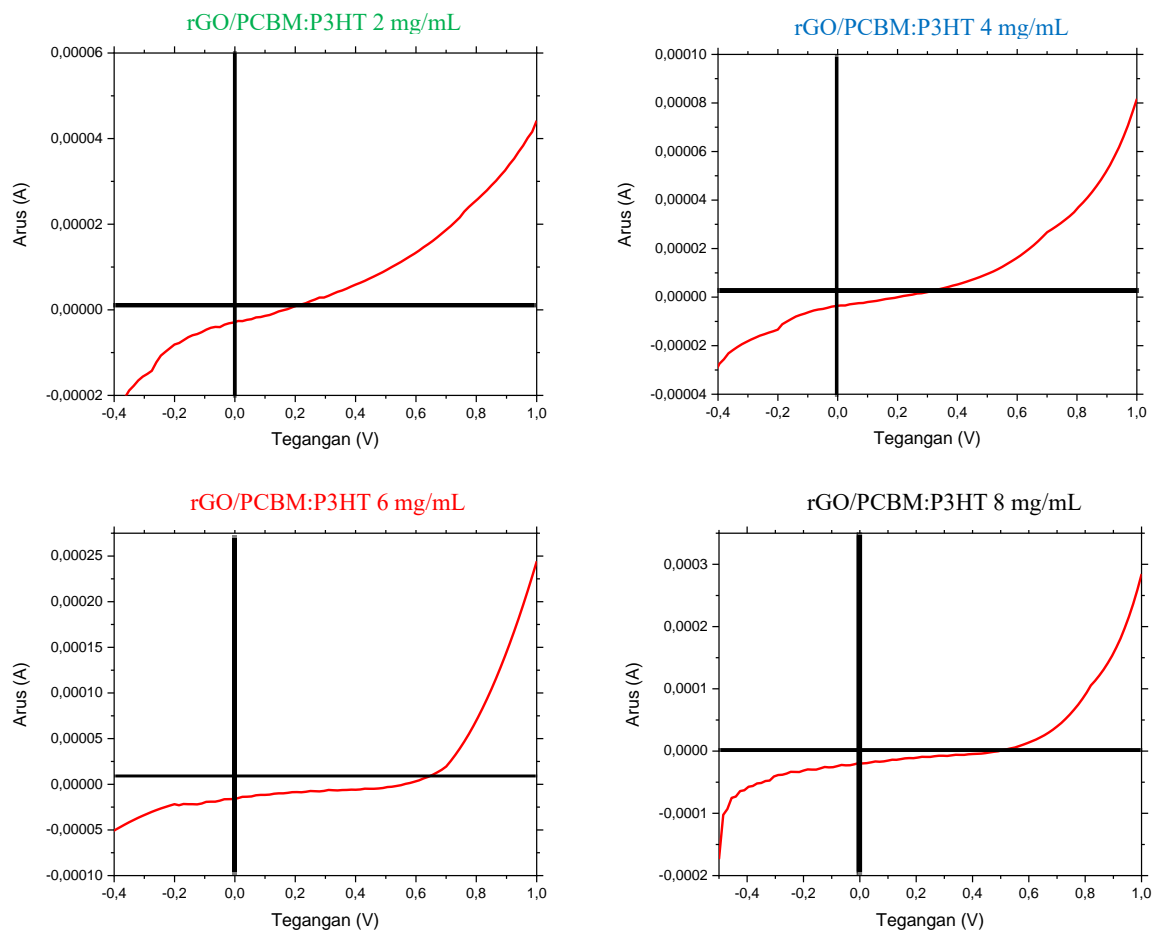
dimana V_{oc} , I_{sc} , P_{in} dan FF masing-masing adalah tegangan yang dihasilkan dengan arus sel surya sama dengan nol, arus yang dihasilkan pada saat tegangan sel surya sama dengan nol, daya lampu dan *fill factor* (FF). Parameter

FF mengukur kualitas sel surya sebagai sumber daya dan dihitung menggunakan persamaan berikut (Tiwari dkk, 2010):

$$FF = V_{max} I_{max} / V_{oc} I_{sc} \quad (3)$$

dimana V_{max} dan I_{max} masing-masing adalah tegangan dan arus yang dihasilkan pada saat daya maksimum dari solar sel.

Kinerja sel surya dapat dilihat berdasarkan efisiensi konversi energi cahaya ke listrik. Nilai efisiensi dari sebuah sel surya dapat dihitung melalui grafik arus-tegangan (I-V), berdasarkan grafik tersebut dapat ditentukan nilai FF. Pada keadaan terang, karakteristik I-V dengan konsentrasi massa masing-masing 2, 4, 6 dan 8 mg/mL ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Karakteristik I-V rGO/P3HT:PCBM dengan variasi konsentrasi

Hasil karakteristik I-V dari nilai I_{max} , V_{max} , I_{sc} dan V_{oc} ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Karakteristik Sel Surya Organik

Konsentrasi (mg/mL)	I_{max} (μ A)	V_{max} (V)	I_{sc} (μ A)	V_{oc} (V)	FF	η ($10^{-4}\%$)
2	3,95	0,1	5,27	0,13	0,58	0,4
4	3,96	0,25	5,6	0,29	0,61	1,1
6	20,5	0,205	26,6	0,385	0,41	4,6
8	21	0,26	30,7	0,415	0,43	6

Dari Tabel 2 terlihat bahwa untuk konsentrasi massa 2 mg/mL diperoleh $I_{sc} = 5,27 \mu A$, $V_{oc} = 0,13 V$, $FF = 0,58$ dan efisiensi = $0,4 \times 10^{-4}\%$. Sedangkan pada konsentrasi massa 8 mg/mL diperoleh $I_{sc} = 30,7 \mu A$, $V_{oc} = 0,415 V$, $FF = 0,43$ dan efisiensi = $6 \times 10^{-4}\%$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi, maka akan meningkatkan I_{sc} dan efisiensi konversi daya. Nilai absorbansi pada Gambar 2 mempengaruhi nilai foton yang diserap sel surya organik. Semakin banyak foton yang diserap maka semakin banyak elektron yang didapat. Nilai V_{oc} berhubungan dengan bahan donor HOMO dan bahan akseptor LUMO. Nilai efisiensi yang dihasilkan juga meningkat dengan bertambahnya nilai I_{sc} .

4. KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat sel surya organik *bulk heterojunction* rGO/P3HT:PCBM dengan empat variasi konsentrasi yaitu 2, 4, 6 dan 8 mg/mL. Pada penelitian ini, material rGO bertindak sebagai *hole transport layer*, sedangkan P3HT dan PCBM masing-masing bertindak sebagai donor dan akseptor elektron. Hasil perhitungan energi gap rata-rata diperoleh sekitar 2,279 eV. Nilai efisiensi sel surya organik untuk konsentrasi 2, 4, 6 dan 8 mg/mL dari struktur sel surya organik ITO/rGO/P3HT:PCBM/Al, masing-masing diperoleh $0,4 \times 10^{-4}\%$, $1,1 \times 10^{-4}\%$, $4,6 \times 10^{-4}\%$ dan $6 \times 10^{-4}\%$. Semakin tinggi konsentrasi pada larutan aktif rGO/P3HT:PCBM, maka nilai efisiensi sel surya organik yang dihasilkan semakin tinggi pula. Selain itu, peningkatan kinerja ini disebabkan oleh perluasan area disosiasi eksiton dan transfer elektron yang lebih cepat melalui rGO.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPDP RI, yang telah memberikan dana penelitian, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Terima kasih juga diucapkan kepada Laboratorium Fismatel UGM, Laboratorium FMIPA UNUD yang telah berkenan menyediakan fasilitas untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahtiar, A., Fitrillawati, A. (2011). Sel surya Polimer: state of Art dan Progres Penelitiannya di Universitas Pajajaran. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 01(01), 7 - 14.
- Bhatt R., Bhaumik I., Ganesamoorthy S., Karnal A.K., Swami M.K., Patel H.S., Gupta P.K. (2012). *Physics Status Solid A*, 176-180.
- Chang, W. (2014). Effect of the Oxygen Pressure on The Microstructure and Optical Properties Of ZnO Films Prepared by Laser Molecular Beam Epitaxy. *Elsevier Physica B*, 404, 4075 - 4082.
- Ibrahim, A.M. & Ambacher O. (2005). Effects of solvent and annealing on the improved performance of solar cells based on poly.3-hexylthiophene: Fullerene. *Applied Physics Letter*, 86, 201120.
- Li D., Muller M.B., Gilje S., Kaner R.B. & Wallace G.G. 2008. *Nat. Nanotechnol*, 3, 101-105.
- Novoselov, K.S. Geim, A.K. Morozov, S.V. Jiang, D. Katsnelson, M.I.V. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 306.
- Park H., Sehoon C., Matthew S., Silvija G. & Jing K. (2012). *Interface engineering of graphene for universal applications as both anode and cathode in organic photovoltaics*. DOI: 10.1038/srep01581.

- Septina, W. (2007). *Pembuatan Solar Cell Murah dengan Bahan-Bahan Organik-Inorganik*. Laporan Penelitian Bidang Energi. Bandung : ITB.
- Suhendar, H. (2016). *Sintesis Reduced Graphene Oxide dan Aplikasinya Pada Kinerja Superkapasitor*. Skripsi. Yogyakarta: UGM.
- Supriyanto, A. Kusminarto, K., Triyana, Roto, M.M., Salleh & Umar A.A. (2010). Photosensitizing Effect of Porphyrin Films as Organic Photodetector. *Journal of Materials Science and Engineering*, 4(8)(33), 40-44. ISSN 1934-8959.
- Tiwari, G.N., Dubey, S. (2010). *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications*. Center of Energy Studies. Indian Institute of Technology (IIT) Delhi India.
- Triyana K, Sholihun, Chotimah & Renita A. (2009, Mei). Karakteristik Sel Surya Organik Berbasis Polimer P3HT:PCBM. *Dalam Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY*. ISSN 0853-0823.
- Yu W., Xiaohong C., Yulin Z., Furong Z., & Kian P. L. (2009). *Large area, continuous, few-layered graphene as anodes in organic photovoltaic devices*. Wiley Online Library.
- Zheng F., Xu W.L., Jin H.D., Hao X.T., Ghiggino K.P. (2015). *Charge transfer from poly(3-hexylthiophene) to graphene oxide and reduced graphene oxide*. RSC Adv. dari <https://doi.org/10.1039/C5RA18540H>.