

OPTIMALISASI EFISIENSI DYE SENSITIZED SOLAR CELLS DENGAN PENAMBAHAN DOPING LOGAM ALUMINIUM PADA MATERIAL AKTIF NANOROD ZNO MENGGUNAKAN METODE HIDROTHERMAL

I. IWANTONO^{1,‡}, F. ANGGELINA¹, P. NURRAHMAWATI¹, F. Y. NAUMAR², A. A. UMAR²

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Riau

Jl. H. R. Soebrantas KM 12,5 Simpang Panam 28293, Pekanbaru, Riau

²Institute of Microengineering and Nanoelectronics (IMEN, UKM Malaysia)
Bangi 43600, Selangor, Malaysia

Abstrak. *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) memiliki struktur seperti *sandwich* yang terdiri dari elektroda kerja (FTO yang ditumbuhi nanorod ZnO), *dye* N719, elektrolit dan elektroda lawan (FTO yang dilapisi katalis platisol). Penumbuhan nanorod ZnO ini menggunakan metode hidrotermal dan dilakukan pada suhu 90° C selama 6 jam dengan menambahkan *doping* aluminium 2%. Pada penelitian ini dikaji pengaruh *doping*-an pada penumbuhan nanorod ZnO dan efisiensi DSSC dibandingkan dengan tanpa *doping*. Karakterisasi sampel dilakukan dengan metode FESEM, XRD, Spektroskopi UV-Vis, sedangkan efisiensi DSSC diukur dengan menganalisa karakteristik I-V. Gambar FESEM memperlihatkan bentuk struktur dari sampel ZnO adalah nanorod heksagonal dengan diameter sekitar 63-200 nm. Pola difraksi XRD memperlihatkan puncak difraksi pada sudut 2 θ : 34,48°, 36,28° dan 47,6° untuk sampel ZnO tanpa *doping* dan ketika nanorod ZnO di-*doping* aluminium 2%, puncak difraksi bergeser 0,04° ke kanan, yaitu pada sudut 2 θ : 34,52°, 36,32° dan 47,64° dengan orientasi bidang kristal (002), (101) dan (102). Spektrum reflektansi memperlihatkan reflektansi terjadi pada panjang gelombang 300-360 nm terjadi pemantulan yang kecil. Efisiensi DSSC berbasis nanorod ZnO diuji menggunakan Gamry EPHE 200 dengan menggunakan sumber cahaya lampu halogen yang dilengkapi filter AM 1,5G yang menghasilkan intensitas yang stabil sebesar 100 mW/cm². DSSC berbasis nanorod ZnO tanpa *doping* menghasilkan efisiensi sebesar 0,150%, sedangkan DSSC berbasis nanorod ZnO yang di-*doping* aluminium 2% menghasilkan efisiensi sebesar 0,479%, sehingga pemberian *doping* pada nanorod ZnO dapat meningkatkan efisiensi DSSC sebesar 319% dari efisiensi semula.

Kata kunci : *doping* Al, nanorod ZnO, hidrotermal, *dye sensitized solar cells*

Abstract. The sandwich structures of dye sensitized solar cells (DSSCs) have been fabricated, containing working electrode of ZnO nanorods grown on of flourine tin oxide (FTO), dye solution of N719, electrolyte and counter electrode of platinum coated FTO. The growth of ZnO nanorods on FTO was carried out by using seed-mediated hydrothermal method at 90°C for 6 hours, and 2% of alluminium was doped to the growth solution. In this study, the effect of alluminium doping to the growth of ZnO nanorods and the efficiency of Al-doped ZnO nanorods based DSSCs was analyzed. Characterizations of the samples were performed by using FESEM, X-Ray Diffraction and UV-Vis spectroscopy. FESEM images of the samples showed the hexagonal face-shape of ZnO nanorods grown on the FTO with their diameter in the range of 63-200 nm. The XRD pattern of the pure ZnO nanorods (without Al-doping) illustrated the XRD peaks at 2 θ : 34.48°, 36.28° and 47.60° and the peaks shifted to 2 θ : 34.52°, 36.32° and 47.64° when Al atoms were doped to growth solution of the samples. The EVA diffract plus analyzing confirmed the XRD peaks were represented to the crystal orientation of (002), (101) and (102), respectively. The UV-Vis reflectance showed low reflectance was occurred at the wavelength of 300-360 nm. The performance of DSSCs was measured by analyzing the I-V characteristics of the cells, performed by using a Gamry EPHE 200 with halogen lamp light of 100 mW/cm². The Al-doped ZnO nanorods based DSSc resulted the efficiency as high as 0.479%, which more than 3 times (319%) higher than that of pure-ZnO nanorods based DSSCs of 0.150%.

Keywords : Al doping, ZnO nanorods, hydrothermal, *dye sensitized solar cells*

[‡] email : iwan_tono@yahoo.co.uk

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi masyarakat dan seiring perkembangan jumlah penduduk dan ekonomi mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi listrik. Sumber energi listrik utama yang biasa digunakan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), namun sebenarnya masih banyak yang dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik, seperti matahari, uap, angin dan biomassa. Dari beberapa sumber energi listrik tersebut, matahari merupakan kandidat yang sangat menjanjikan sebagai energi alternatif, terutama di Indonesia yang berada di khatulistiwa yang mendapatkan penyinaran cukup tinggi.

Sel surya memiliki prinsip kerja seperti photovoltaik yang dapat mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya yang saat ini sedang dikembangkan oleh peneliti adalah sel surya generasi ketiga, yaitu *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) yang dikembangkan pertama kali oleh Gratzel. Efisiensi maksimum DSSC saat ini sebesar 11% dengan material aktif elektroda kerja yang digunakan adalah TiO_2 [1]. Harga TiO_2 cukup mahal dibandingkan ZnO , sehingga penggunaan ZnO saat ini sedang dikembangkan. Pemilihan ZnO sebagai material aktif bukannya tidak beralasan, ZnO merupakan unsur yang melimpah di alam dengan memiliki energi gap 3,37 eV yang hampir sama dengan TiO_2 yaitu 3,2 eV, sehingga mampu menggantikan TiO_2 sebagai material aktif [2]. Nanomaterial ZnO sebagai material aktif DSSC memiliki efisiensi 0,27% yang dilakukan oleh Iwantono [3] masih rendah dibandingkan Gratzel, sehingga masih dikembangkan dengan melakukan penambahan atom *doping* pada material aktif. Pemberian *doping* dilakukan untuk meningkatkan sifat fisik, optik dan elektrik dari ZnO , dengan menggunakan berbagai jenis bahan logam pen-*doping* seperti Ga, In, Sn, Mg, Al dan B sebagai benda asing yang disubstitusikan ke dalam struktur ZnO [4]. Logam aluminium digunakan sebagai atom *doping* dengan tujuan mampu meningkatkan konduktivitas elektrik dari ZnO , karena aluminium memiliki jari-jari ion yang lebih kecil daripada ZnO dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan material lain [5].

2. Eksperimen

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Sabun Decon90, Zinc Nitrate Hexahydrate, Zinc Acetate Dihydrate, Ethanol, Acetone, Ascorbid Acid, Potassium Tetrachloro Palatinede (II), PVP (Polyvinylpyrrolidone), NaOH, Dye, HMT (Hexamethylenetetramine), Air Suling, Iodine/Triiodida, DI Water, HCL (Asam Klorida), Ethanol Absolute, Isopropanol.

Penumbuhan nanorod ZnO dilakukan melalui dua proses, yaitu melalui proses pembenihan dan penumbuhan. Proses pembenihan dimulai dengan membuat larutan pembenih 0,01 M *zinc acetate dihydrate*, larutan tersebut selanjutnya diteteskan di atas substrat yang ditempatkan di dalam *spin coater*, kemudian dilanjutkan dengan proses *spin coating* selama 30 detik dengan kecepatan 3000 rpm. Tahap selanjutnya sampel dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 100 °C selama 15 menit proses pembenihan ini diulang sebanyak tiga kali agar mendapatkan sebaran benih ZnO yang merata di atas substrat. Tahap terakhir sampel kemudian di-*annealing* pada suhu 350 °C selama 1 jam. Setelah proses pembenihan selesai, sampel ditumbuhkan melalui proses penumbuhan. Proses ini diawali dengan membuat larutan penumbuh yang terdiri dari 0,05 M *Zinc Nitrate Hexahydrate* (ZNH), larutan 0,05 M *Hexamethylenetetramine* (HMT) dan larutan 0,05 M *Aluminium Nitrate Nanohydrate*. Larutan penumbuh 0,05 M dibuat dengan mencampurkan larutan ZNH dan HMT dihomogenkan dan ditambah larutan *doping* 2% dari konsentrasi larutan penumbuh. Selanjutnya sampel yang akan ditumbuhkan dimasukkan ke dalam botol sintesis dengan posisi miring 45° terhadap dinding botol dan tahap terakhir sampel dipanaskan ke dalam oven dengan suhu 90°C selama 6 jam.

Karakterisasi nanorod ZnO dilakukan menggunakan FESEM, XRD, dan Spektroskopi UV-Vis. FESEM digunakan untuk melihat morfologi sampel berupa bentuk, ukuran, keseragaman, sebaran atau densitas, serta komposisi yang terkandung pada sampel nanorod ZnO yang dapat diperoleh melalui uji EDX. Difraksi Sinar-X (XRD) digunakan untuk menentukan parameter kisi, struktur kristal, orientasi sampel, dan ukuran partikel. Pada penelitian ini sudut 2θ yang digunakan dalam karakterisasi sampel adalah $20^\circ - 60^\circ$. Sedangkan spektroskopi UV-Vis digunakan untuk menentukan tingkat serapan dari sampel. Panjang gelombang yang digunakan saat uji spektroskopi UV-Vis adalah 300-800 nm.

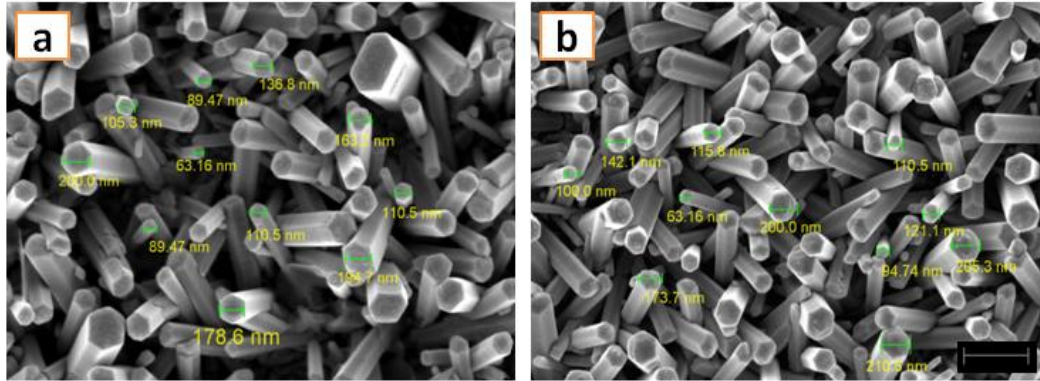
Fabrikasi DSSC dilakukan dengan membuat batas daerah yang akan diuji menggunakan parafilm dengan ukuran luas 0.23 cm^2 . Selanjutnya menyusun sel membentuk struktur *sandwich* yang terdiri dari elektroda kerja (FTO yang ditumbuhi nanorod ZnO dan di-*doping* aluminium dan direndam dengan larutan *dye* N719), elektrolit yang digunakan adalah *Iodolyte* AN-50, dan elektroda lawan (FTO yang dilapisi oleh film tipis platinum). Pengujian DSSC dilakukan menggunakan Gamry EPHE 200. Sel disinari menggunakan lampu halogen dengan intensitas sebesar 100 mW/cm^2 menggunakan filter AM 1.5 G. Selama pengukuran sel diberi tegangan sebesar 0 Volt sampai dengan 1 Volt.

3. Hasil dan Pembahasan

Sel surya adalah suatu alat yang mampu mengkonversi energi foton menjadi sumber listrik atau disebut dengan photovoltaik. Cara kerja sel surya identik dengan piranti semikonduktor diode, dimana foton yang diradiasikan dari sinar matahari diserap dan kemudian dikonversikan menjadi energi listrik [6]. Dalam perkembangannya, sel surya dibagi atas tiga generasi, yaitu generasi pertama adalah sel surya silikon kristal tunggal (monokristal) yang mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi, dapat mencapai nilai efisiensi kisaran $25.0 \pm 0.5\%$ dan sel surya silikon kristal banyak (polikristal) yang memiliki efisiensi sebesar $20.4 \pm 0.5\%$. Generasi kedua adalah sel surya tipe lapisan tipis (thin film) yang mampu menghasilkan efisiensi sebesar $20.1 \pm 0.4\%$ dengan menggunakan bahan *copper indium diselenide* (CuInSe₂/CIS) [7]. Generasi ketiga adalah sel surya fotoelektrokimia yang mampu menghasilkan efisiensi 11% [1]. Efisiensi sel surya fotoelektrokimia ini masih lebih rendah dibandingkan dengan sel surya jenis sel surya sebelumnya, tetapi para peneliti masih terus melakukan kajian guna meningkatkan efisiensi sel surya berbasis *dye* tersebut, karena beberapa keunggulan.

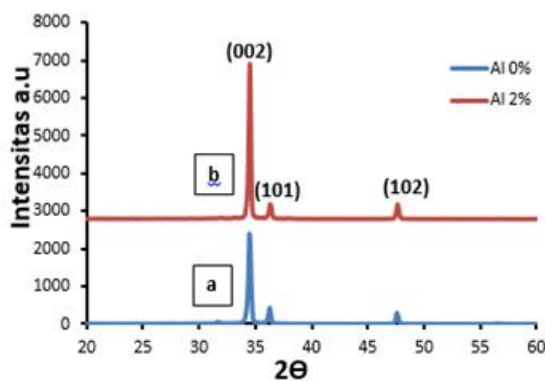
Pada awal tahun 1990-an, Michael Grätzel dan Brian O'Regan memperkenalkan sebuah konsep baru yang berbeda dengan konsep sel surya silikon yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang menggunakan prinsip fotosintesis pada tumbuhan hijau. DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan [8]. Struktur dasar dari DSSC Gratzel [1] terdiri dari elektroda positif yang dihubungkan ke logam oksida ZnO dengan luas permukaan besar, sehingga penyerapan energinya lebih efektif. Bagian lain dari struktur dasar DSSC ini adalah elektrolit cair sebagai penghasil reaksi redoks dan elektroda lawan yang biasanya menggunakan nanoplat perak sebagai katalis untuk mempercepat reaksi redoks [9]. *Doping* adalah penambahan atom asing atau kotoran dengan sengaja. Teknologi semikonduktor ini merupakan penggabungan *doping* atau cacat ke dalam kisi semikonduktor adalah sarana utama untuk mengendalikan konduktivitas listrik, optik, luminescence, magnet, dan sifat fisik lainnya [10]. Penambahan bahan *doping* logam ke dalam larutan pertumbuhan ZnO akan mengawal reaksi ketika proses penumbuhan secara sistematis [11]. Untuk meningkatkan sifat fisik ZnO, optik dan elektrik dengan pen-*doping* berbagai jenis bahan logam seperti Ga, In, Sn, Mg, Al dan B sebagai

benda asing yang dimasukkan ke dalam struktur ZnO [4]. Logam aluminium digunakan sebagai doping dengan tujuan meningkatkan konduktivitas elektrik dari ZnO [5].



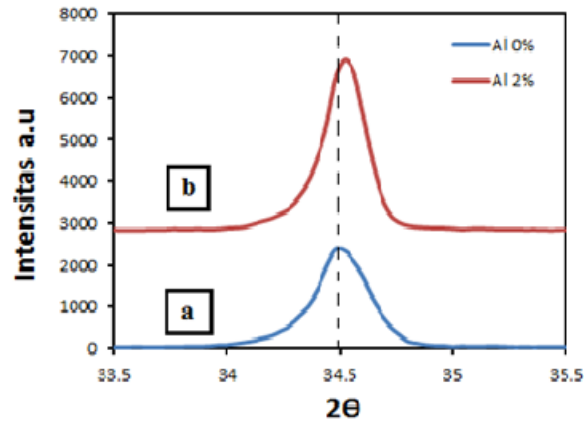
Gambar 1. Hasil pemindaian FESEM (a) nanorod ZnO murni (b) Nanorod ZnO *doping* Al 2% dengan perbesaran 30.000 X

Hasil dari pemindaian sampel oleh FESEM memberikan informasi terkait morfologi, termasuk bentuk, ukuran, dan distribusi sampel. Foto FESEM nanorod ZnO yang di-*doping* aluminium 2% pada suhu 90°C selama 6 jam ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa nanomaterial ZnO tumbuh berbentuk nanorod dengan bentuk penampang heksagonal. Gambar tersebut juga memperlihatkan ukuran diameter dari nanorod ZnO hampir sama untuk kedua sampel, yaitu berkisar antara 63,16–210,50 nm. Namun, pada sampel dengan persentase konsentrasi Al 2% nanorod ZnO yang dihasilkan lebih homogen dengan densitas yang tinggi. Densitas yang tinggi pada sampel akan mengakibatkan banyaknya cahaya yang diserap, sehingga tingkat serapan sampel meningkat.



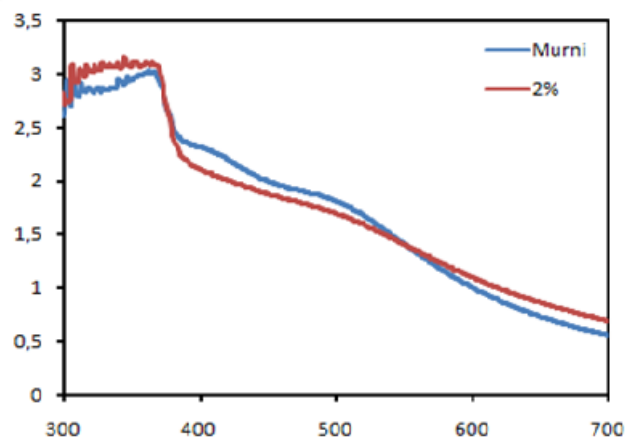
Gambar 2. Pola XRD (a) nanorod ZnO murni (b) Nanorod ZnO *doping* Al 2%

Pola XRD dari nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2% ditampilkan pada Gambar 2. Sedangkan Gambar 3 memperlihatkan tampilan pergeseran sudut dari pola XRD nanorod ZnO pada orientasi bidang (002). Dari Gambar 2 terlihat terjadi pergeseran sudut sebesar 0,04° ke kanan terhadap nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2% dibandingkan dengan nanorod ZnO murni. Ini mengindikasikan *doping* aluminium berhasil disubstitusikan ke dalam kisi nanorod ZnO tanpa merubah struktur kristalnya [12].



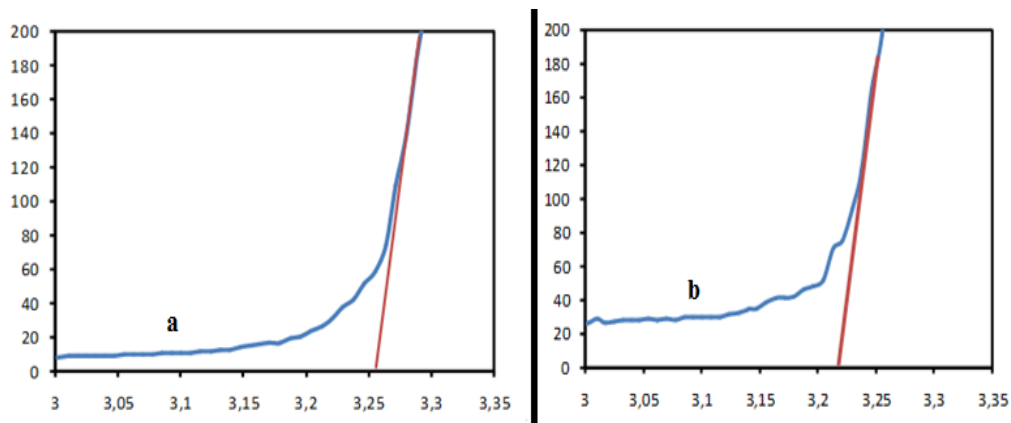
Gambar 3. Pola XRD (a) nanorod ZnO murni (b) Nanorod ZnO *doping* Al 2% pada Orientasi Bidang (002)

Puncak-puncak difraksi muncul pada sudut 2θ : $34,48^\circ$; $36,28^\circ$; dan $47,6^\circ$ sedangkan nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2% muncul pada puncak difraksi $34,52^\circ$; $35,32^\circ$ dan $47,6^\circ$ dengan orientasi bidang (002), (101), dan (102) secara berturut-turut. Hasil analisa puncak-puncak tumbuhnya nanostruktur ZnO ini sesuai dengan data JCPDS dengan No. 01-075-1533. Puncak tertinggi sampel terjadi pada nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2%.



Gambar 4. Kurva absorpsi UV-Vis (a) Nanorod ZnO murni (b) Nanorod ZnO *doping* Al 2%

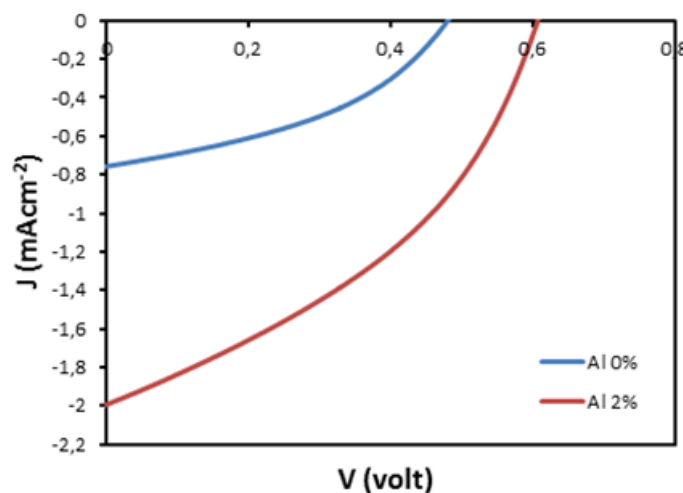
Gambar 4 memperlihatkan tingkat serapan dari nanorod ZnO murni dan nanorod ZnO yang di-*doping* aluminium 2%. Dari Gambar 4 memberikan informasi bahwa serapan sampel kuat terjadi pada rentang panjang gelombang 300-380 nm. Hasil ini sesuai dengan karakteristik spektrum absorpsi UV-Vis untuk nanorod ZnO dengan struktur heksagonal berada pada rentang panjang gelombang 200 - 400 nm [13]. Puncak absorpsi tertinggi sampel terjadi pada nanorod ZnO yang di-*doping* aluminium 2%, yaitu sebesar 3,2 a.u, sedangkan pada nanorod ZnO murni tingkat serapannya sebesar 3,0 a.u. Tingginya tingkat serapan sampel pada nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2% dikarenakan densitas nanorod yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan nanorod ZnO murni.



Gambar 5. Kurva Energi Gap (a) Nanorod ZnO murni (b) Nanorod ZnO *doping* Al 2%

Gambar 5. merupakan kurva hasil transformasi linear dari $(ahv)^2$ vs (hv) dari nanorod ZnO yang di-*doping* aluminium. Kurva tersebut memperlihatkan nilai energi gap yang digambarkan oleh garis linier yang memotong sumbu x.

Gambar 5 memperlihatkan bahwa dengan dilakukan penambahan pen-*doping*-an aluminium pada nanorod ZnO sebesar 2%, energi gap yang dihasilkan semakin kecil. Hasil ini sesuai dengan Soeram et al [14] yang menyatakan bahwa pemberian doping mengakibatkan menurunnya energi gap dari sampel. Nanorod ZnO murni pada penelitian ini menghasilkan energi gap sebesar 3,25 eV sedangkan nanorod ZnO yang di-*doping* aluminium menghasilkan energi gap sebesar 3,22 eV. Semakin kecil energi gap suatu material, maka penyerapan sampel terhadap cahaya yang datang akan semakin tinggi. Tingginya tingkat serapan sampel berdampak terhadap tingkat mobilitas elektron, sehingga efisiensi DSSC yang dihasilkan meningkat.



Gambar 6. Kurva J-V dalam keadaan disinari cahaya lampu halogen dengan intensitas 100 mW/cm^2 dari DSSC nanorod ZnO murni dan ZnO yang di-*doping* aluminium 2%

Pengujian sel dilakukan dengan menghubungkan sel dengan seperangkat alat I-V. Gambar 6 memperlihatkan kurva J-V DSSC dari sel nanorod ZnO murni sebagai elektroda kerja dan nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2%.

Sel surya yang menggunakan elektroda kerja nanorod ZnO tanpa *doping* menghasilkan efisiensi 0,150%, sedangkan pada sel dengan nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2% memperoleh efisiensi sebesar 0,479%. Jadi dapat disimpulkan bahwa efisiensi sel meningkat tiga kali lebih besar dari efisiensi semula, yaitu sebesar 319% dengan diberi perlakuan *doping* Al sebesar 2%. Tabel 1 Memaparkan data pengukuran dan perhitungan parameter fisis dari DSSC berbasis nanorod ZnO murni dan nanorod ZnO di-*doping* aluminium 2%.

Tabel 1. Data pengukuran dan perhitungan DSSC berbasis nanorod ZnO murni dan di-doping aluminium 2%

DSSC berbasis	$V_{oc}(V)$	$J_{sc}(mAcm^{-2})$	FF(%)	η (%)
ZnO Murni	0,48	0,75	10,70	0,15
ZnO doping Al 2%	0,61	1,99	16,70	0,479

4. Kesimpulan

Nanorod ZnO telah berhasil ditumbuhkan di atas FTO sebagai material aktif DSSC menggunakan metode *seed mediated hydrothermal*. Nanorod ZnO dibuat dalam dua keadaan berbeda, yaitu tanpa *doping* yang diberi *doping* Al 2% dengan waktu penumbuhan 6 jam pada suhu 90 °C. Foto FESEM dari dua sampel berbeda memperlihatkan bahwa diameter nanorod ZnO yang dihasilkan hampir sama, yaitu berkisar pada rentang 63,16–210,50 nm. Namun nanorod ZnO dengan pemberian *doping* Al 2% lebih homogen dengan densitas yang tinggi. Sehingga mampu menyerap *dye* lebih banyak dibandingkan ZnO tanpa *doping*. Pola XRD memperlihatkan terjadinya pergeseran puncak XRD pada sudut 2 θ sebesar 0,04° ke kanan pada nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2% dibandingkan dengan nanorod ZnO murni. Puncak-puncak difraksi muncul pada sudut 2 θ : 34,48°; 36,28°; dan 47,6° sedangkan nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2% puncak XRDnya muncul pada 2 θ : 34,52°; 35,32° dan 47,6° dengan orientasi bidang (002), (101), dan (102) secara berturut-turut. Puncak XRD tertinggi sampel terjadi pada nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2%. Spektrum absorpsi UV-Vis memperlihatkan bahwa sampel yang dihasilkan berbentuk nanorod dengan puncak absorpsi kuat terjadi pada rentang panjang gelombang 300 - 380 nm untuk semua sampel. Puncak absorpsi tertinggi terjadi pada nanorod ZnO yang di-*doping* aluminium 2%, yaitu sebesar 3,2 a.u. Uji I-V menghasilkan efisiensi tertinggi dihasilkan oleh sel dengan elektroda kerja nanorod ZnO yang di-*doping* Al 2%, yaitu sebesar 0,479%. Hasil uji I-V DSSC memperlihatkan terjadi peningkatan efisiensi sebesar 319% dibandingkan DSSC yang menggunakan nanorod ZnO murni.

Ucapan terima kasih

Terima kasih atas dukungan dana dari Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui Hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri (KLN) atas nama Dr. Iwantono Tahun 2015, dengan nomor kontrak: 550/UN.19.1/LPPM/2015.

Daftar Pustaka

1. Gratzel, M. 2004. Conversion of Sunlight to Electric Power by Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 164: 3-1.
2. Arief, M. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dengan Metode Proses Pengendapan Kimia Basah dan Hidrotermal untuk Aplikasi Fotokatalis. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3. Iwantono, I., Nurwidya, W., Lestari, L. R., Naumar, F. Y., Nafisah, S., Umar, A. A., Rahman, M. Y. A., and Salleh, M. M. 2015. Effect of Growth Temperature and Time on the ZnO film Properties and the Performance of the Dye Sensitized Solar Cells. *Solid State Electrochem.*
4. Yun, S., Lee, J., Yang, J. & Lim, S. 2010. Hydrothermal synthesis of Al-doped ZnO nanorod arrays on Si substrate. *Physica B: Condensed Matter* 405(1): 413-419.
5. Nunes, P., Fortunato, E., Tonello, P., Fernandes, F. B., Vilarinho and Martins, R. 2002. Effect of Different Dopant Elements on the Properties of ZnO Thin Films. *Vacuum* (64): 281-285.
6. Dewi, A. Y. dan Antonov. 2013. Pemanfaatan Energi Surya sebagai Suplai Cadangan pada Laboratorium Elektro Di Institut Teknologi Padang. *Jurnal Teknik Elektro*. 2 : 3.
7. Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W. 2011. Solar Cell Efficiency Tables (version 37). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. Vol. 19: 84-92.
8. Smestad, G. P., Grätzel, M. 1998. Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter. *J. Chem. Educ.* 75: 725-756.
9. Murakami, T. N., Grätzel, M. 2008. Counter Electrodes for DSC: Application of Functional Materials as Catalysts. *Inorganica Chimica Acta*. 361: 572-580.
10. Bryan, D. J. & Gamelin, D. R. 2005. Doped Semiconductor Nanocrystals: Synthesis, Characterization, Physical Properties, and Applications. *Progress Inorganic Chemistry*., 54, 47-126.
11. Joo, J., Chow, B. Y., Prakash, M., Boyden, E. S., & Jacobson, J. M. 2011. Face-selective electrostatic control of hydrothermal zinc oxide nanowire synthesis. *Nature Material* 10(8):596-601.
12. Alkahlout, A., Al Dahoudi, N., Grobelsek, I., Jilavi, M., and de Oliveira, P. W. 2014. Synthesis and Characterization of Aluminium Doped Zinc Oxide Nanostructures via Hydrothermal Route. *Journal of Material*. 8.
13. Irannejad, A., Janghorban, K., Tan, O. K., Huang, H., Lim, C. K., Tan, P. Y., Fang, X., Chua, C. S., Maleksaeedi, S., Hejazi, S. M. H., Shahjamali, M. M., Ghaffari, M. 2011. Effect of The TiO₂ Shell Thickness on The Dye Sensitized Solar Cells with ZnO-TiO₂ Core – Shell Nanorod Electrodes. *International Journal of Electrochemical Science*. 10:1-6.
14. Soeram, K., Park, H., Nam, G., Yoon, H., Kim, B., Ji, I., Kim, Y., Kim, I., Park, Y., Kang, D., and Leem, J. Y. 2014. Hydrothermally Grown Boron-Doped ZnO Nanorods for Various Applications, Structural, Optical, and Electrical Properties. *Electron. Mater. Lett.* 10: 81-87.