

Pengaruh Doping Al Pada ZnO Menggunakan Metode LPD Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

Anla Fet Hardi*, Dahyunir Dahlan

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 09 Januari 2020
Direvisi: 15 Januari 2020
Diterima: 21 Januari 2020

Kata kunci:

ZnO
doping Al
LPD
DSSC

Keywords:

ZnO
Al doping
LPD
DSSC

Penulis Korespondensi:

Anla Fet Hardi
Email: anlahardi25@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pendopingan aluminium pada ZnO untuk meningkatkan efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). Sintesis lapisan ZnO dilakukan menggunakan metode *Liquid Phase Deposition* (LPD) pada suhu 80 °C selama 10 jam dengan variasi doping aluminium sebesar 0%; 1,0%; 1,5%; 2,0%; dan 2,5%. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan Spektroskopi UV-Vis sedangkan efisiensi DSSC diukur dengan menganalisis kurva I-V. Pola difraksi XRD lapisan ZnO tanpa dan dengan doping Al 1,5% memperlihatkan pola difraksi yang identik, yaitu terdapat puncak pada 2 θ : 34° dan 36° yang menunjukkan karakteristik difraksi ZnO. Spektrum UV-Vis memperlihatkan absorpsi kuat pada panjang gelombang 280-380 nm yang berkaitan dengan energi gap 3,51; 3,50; 3,3; 3,11 dan 3,06 eV untuk doping 0%; 1,0%; 1,5%; 2,0% dan 2,5%, berturut-turut. Efisiensi DSSC sampel diukur menggunakan multimeter digital dan perangkat tambahan dengan intensitas cahaya 500-1500 Lux. Efisiensi tertinggi dihasilkan fotoanoda lapisan ZnO yang didoping aluminium 1,5%, yaitu sebesar 1,51% sedangkan terendah yaitu fotoanoda tanpa doping yaitu 0,33%. Sehingga pemberian doping 1,5% mampu meningkatkan efisiensi sebesar 463% dibandingkan DSSC tanpa doping.

Doping of aluminium on ZnO has been done in order to increase the efficiency value of Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). Synthesis of the ZnO layer used the Liquid Phase Deposition (LPD) method at 80 °C for 10 hours with aluminum doping variation of 0%; 1.0%; 1.5%; 2.0%; and 2.5%. Sample characterization was performed by XRD and UV-Vis Spectroscopy, while DSSC efficiency was measured by analyzing I-V characteristics. The XRD diffraction patterns for undoped and 1.5% Al-doped samples display identical diffraction patterns, that there were peaks around 2 θ : 34 and 36, which showed the characteristics of ZnO diffraction. The UV-Vis spectrum shows that strong absorption occurs in the wavelength range of 280-380 nm and the gap energy obtained is 3.51; 3.50; 3,3; 3.11 and 3.06 eV for 0%; 1.0%; 1.5%; 2.0% and 2.5%, respectively. The efficiency of DSSC samples was measured using a digital multimeter along enhancements with a light intensity of 500-1500 Lux. The highest efficiency is produced by 1.5% Al-doped ZnO of 1.51% while the lowest is undoped sample of 0.33%. The 1.5% Al-doped ZnO can increase efficiency by 463% compared to undoped one.

Keywords:

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi utama yang digunakan hampir diseluruh sisi kehidupan manusia. Energi listrik dapat berasal dari fosil yang diolah menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM). Namun, jumlah fosil yang tersedia di alam sangat terbatas dan proses pengolahannya juga sangat lama. Karena terbatasnya ketersediaan, sekarang ini terjadi pergeseran sumber energi fosil ke sumber energi terbarukan seperti matahari. Energi matahari juga merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan alat yang dikenal dengan sel surya (Saad dkk., 2015). Sel surya yang saat ini sedang dikembangkan oleh peneliti adalah sel surya generasi ketiga yang dikenal dengan istilah *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC berbeda dengan sel surya berbasis silikon, dimana pada DSSC proses absorpsi cahaya terjadi pada molekul zat warna.

Selain TiO₂, salah satu oksida logam yang banyak diteliti dan diaplikasikan adalah ZnO. Dalam beberapa tahun terakhir ini penelitian ZnO sering menjadi perhatian karena potensi aplikasinya dalam bidang elektronik, optik, dan *photonic*. ZnO adalah semikonduktor yang memiliki Energi Gap 3,37 eV pada temperatur kamar, sehingga berpotensi dalam berbagai aplikasi, misalnya DSSC dan sensor (Haliq dan Susanti, 2014).

Penelitian tentang DSSC sangat berkembang terutama untuk meningkatkan efisiensi dari DSSC itu sendiri. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari DSSC adalah melakukan pendopongan. Tujuan dari pendopongan untuk meningkatkan konduktivitas dari bahan semikonduktor dan memperoleh material semikonduktor yang hanya memiliki satu muatan yaitu elektron atau *hole* saja (Roose dkk., 2015).

Pendopongan elektroda kerja telah dilakukan sebelumnya oleh Iwantono dkk. (2016) dengan mendoping logam Al sebesar 2% pada elektroda kerja ZnO menggunakan metode *Hydrothermal* didapatkan peningkatan efisiensi sampai 0,479%, efisiensi ini meningkat sebesar 319% dibandingkan DSSC yang menggunakan nanorod ZnO murni. Pada penelitian ini akan dilakukan pendopongan elektroda kerja ZnO oleh logam Al dengan memvariasikan konsentrasi Al. Penelitian ini dilakukan dengan metode LPD (Dahlan dkk., 2017).

II. METODE

2.1 Persiapan Pembuatan Lapisan ZnO

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kaca konduktif jenis ITO (*Indium Tin Oxide*), *zinc acetate dihydrate* (Zn(CH₃COO)₂·2H₂O), *aluminium nitrate nonahydrate* (Al(NO₃)₃·9H₂O), *Polietilene Glikol 6000* (PEG 6000), kulit manggis (*Garnia Mangostana*), *borid acid* (H₃BO₃), karbon pensil 7B produk *faber-castell*, *acetone* (C₃H₆O), *etanol* (C₂H₅OH), *aquabides*, elektrolit. Sintesis lapisan tipis dilakukan secara *bottom-up*. Langkah pertama dimulai dengan menimbang Zn(CH₃COO)₂·2H₂O sebanyak 2,155 g, Al(NO₃)₃·9H₂O sebanyak 0,075 g (untuk doping 2%) dan *borid acid* sebanyak 1,2366 g. Selanjutnya yaitu mencampurkan larutan Zn(CH₃COO)₂·2H₂O + Al(NO₃)₃·9H₂O sebanyak 5 ml, ditambahkan dengan larutan borid acid sebanyak 5 ml dan penambahan PEG 6000 sebanyak 2 g dengan menggunakan pipet mikro. Supaya semua larutan menyatu, botol dimasukkan kembali ke dalam *ultrasonic cleaner* selama 2 menit. Persamaan yang digunakan untuk menentukan massa dapat dilihat pada Persamaan (1)

$$g = \frac{MM_R V}{1000} \quad (1)$$

dengan g adalah massa; M adalah molaritas; M_R adalah massa molekul relatif; V adalah volume. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam *water bath* untuk proses penumbuhan dengan temperatur 80°C selama 10 jam. Kemudian sampel dikeringkan menggunakan *oven*. Selanjutnya dilakukan proses pemanasan sampel (*annealing*) pada temperatur 350 °C selama 1 jam.

2.2 Karakterisasi Lapisan ZnO

Karakterisasi Lapisan ZnO dilakukan menggunakan XRD dan UV-Vis . Difraksi Sinar-X (XRD) digunakan untuk melihat pola *difraksi* dan ukuran kristal ZnO. Data yang didapatkan diolah

untuk menentukan ukuran kristal. Hubungan antara ukuran kristal dengan lebar puncak difraksi sinar-X dapat diaproksimasi dengan persamaan Scherrer (2)

$$D = K \frac{\lambda}{B \cos \theta} \quad (2)$$

dimana D adalah ukuran (diameter) kristalin, λ adalah panjang gelombang sinar-X, θ adalah sudut Bragg, B adalah $FWHM$ satu puncak yang dipilih, dan K adalah konstanta material yang nilainya 0,9.

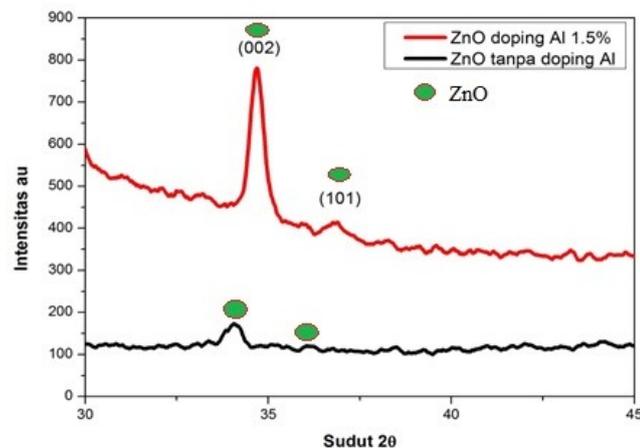
2.3 Fabrikasi DSSC Tipe Sandwich

Setelah substrat ITO terlapis ZnO, selanjutnya menyusun sel surya membentuk struktur sandwich yang terdiri dari elektroda kerja (ITO yang dilapisi ZnO dan didoping aluminium dan direndam dengan dye kulit manggis), elektrolit, dan elektroda lawan (ITO yang dilapisi oleh lapisan karbon). Pengujian DSSC dilakukan menggunakan multimeter digital dan perangkat tambahan dengan intensitas cahaya 500-1500 Lux.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Pola Difraksi Sinar-X

Pola difraksi ZnO tanpa doping dan dengan doping aluminium ditampilkan pada Gambar 1. Pola Difraksi yang didapatkan dibandingkan dengan data standar yang terdapat pada data *International Center for Diffraction database* (ICDD) dengan kode referensi 01-075-6445.



Gambar 1 Hasil Karakterisasi 1 XRD

Dari Gambar 1 terdeteksi puncak ZnO tertinggi berada pada sudut 2θ : $34,13^\circ$ dan $34,75^\circ$ dengan nilai hkl 002 nilai ini sesuai dengan data standar yaitu sebesar 34° . Puncak ZnO yang lain juga terdeteksi dengan nilai hkl 101 pada sudut 2θ : $36,19^\circ$ dan $36,81^\circ$. Pada Gambar 1 terlihat bahwa grafik memiliki pola yang sama artinya doping Al pada lapisan ZnO tidak merubah struktur dari ZnO. Dari Gambar 1 terlihat bahwa setelah dilakukan pendopingan terjadi pergeseran sudut sebesar $0,62^\circ$ ke kanan. Hal ini diasumsikan terjadi penurunan volume sel berdasarkan hukum Vegard. Selain itu pergeseran sudut ini mengindikasikan doping aluminium berhasil disubstitusikan kedalam lapisan ZnO tanpa merubah struktur kristalnya (Alkahlout dkk., 2014).

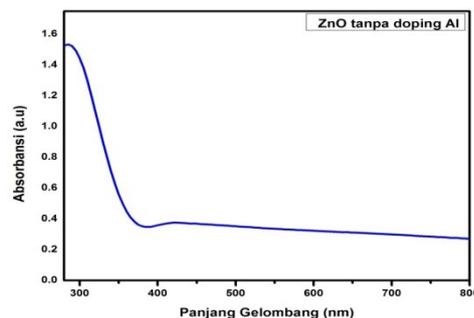
Tabel 1 Nilai posisi puncak 2θ XRD dan ukuran Kristal

Parameter	Posisi Puncak 2θ	Ukuran Kristal (nm)
Al 0%	$34,13^\circ$	125
Al 1,5%	$34,75^\circ$	45

Selain itu juga diketahui ukuran kristal dari masing – masing sampel yang dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan menggunakan persamaan *Screerer* (Persamaan 2) Ukuran Kristal yang didapatkan setelah dilakukan pendopingan menjadi lebih kecil. Ukuran Kristal yang awalnya berukuran 125 nm namun setelah dilakukan pendopingan ukuran kristal naik menjadi 45 nm. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari jari-jari ion penyusun kital tersebut. Hal ini diasumsikan oleh adanya *distorsi* (penyimpangan) regangan pada kisi.

3.2 Analisis Spektroskopi Uv-Vis

Berdasarkan data spektroskopi UV-Vis diperoleh nilai panjang gelombang (λ) terhadap absorbansi. Data Spektrum yang diperoleh diolah menggunakan metode *Tauch Plot* untuk mendapatkan nilai energi gap. Grafik untuk untuk absorbansi sampel tanpa dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan nilai absorbansi untuk sampel terdoping Al dapat dilihat pada Tabel 2.



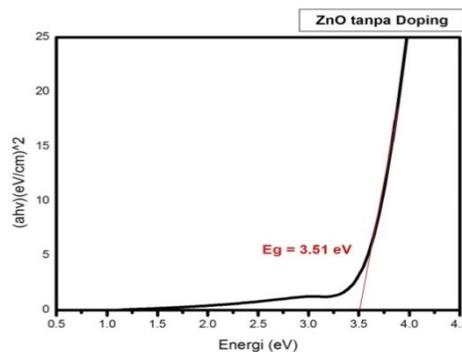
Gambar 2 Hasil karakterisasi UV-Vis untuk nilai absorbansi sampel tanpa doping Al

Dari Gambar 2 terlihat bahwa peningkatan absorpsi ZnO tanpa doping Al terbesar terjadi pada panjang gelombang 280-380 nm, yang merupakan daerah panjang gelombang ultra ungu. Nilai absorbansi tertinggi adalah 1,5346 pada panjang gelombang 285 nm. Setelah dilakukan proses doping terjadi perubahan pada nilai absorbansi yang didapatkan, dimana semakin besar doping yang diberikan maka nilai serapannya semakin besar begitupun dengan nilai panjang gelombangnya.

Tabel 2 Nilai absorbansi hasil karakterisasi UV-Vis

Konsentrasi Doping	Panjang Gelombang (nm)	Nilai Absorbansi (a.u.)
Al 0%	285	1,5346
Al 1 %	285	1,6042
Al 1,5%	285	2,102
Al 2,0%	295	2,481
Al 2,5%	295	2,5525

Hal ini mengindikasikan pemberian doping dapat mengakibatnya besarnya nilai serapan pada lapisan ZnO tersebut. Nilai panjang gelombang dan nilai absorbansi masing-masing variasi doping dapat dilihat pada Tabel 2. Energi gap dari ZnO tanpa doping aluminium dapat dilihat dengan dengan hubungan antara $h\nu$ terhadap $(ah\nu)^2$. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4 Hubungan antara $h\nu$ terhadap $(ah\nu)^2$ untuk celah pita energi ZnO tanpa doping

Dari Gambar 3 terlihat nilai dari band gap sampel ZnO tanpa doping Al yaitu sebesar 3,51 eV. Metode yang sama juga dilakukan untuk sampel ZnO terdoping aluminium 1,0% 1,5% 2,0% 2,5% dan diperoleh nilai energi gap yang berbeda dari ZnO tanpa doping.

Tabel 3 Nilai energi gap terhadap nilai variasi doping Al

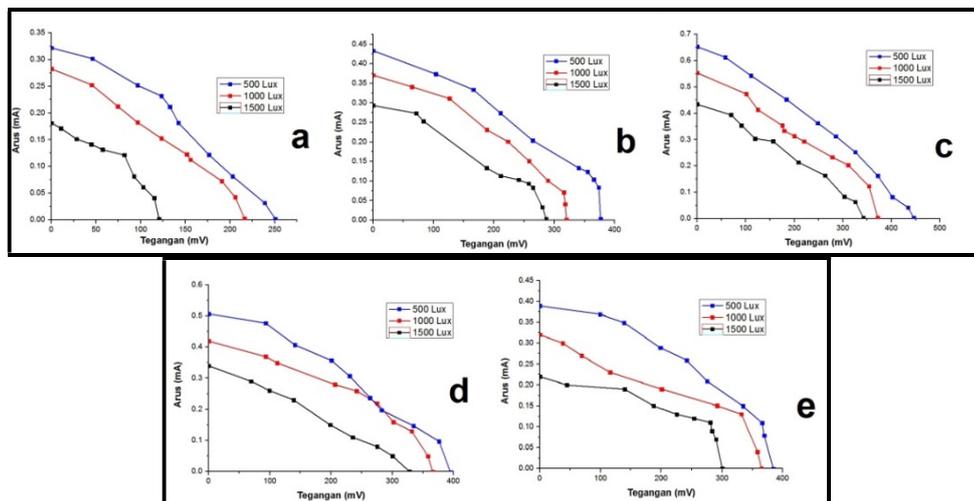
Parameter	Al 0%	Al 1%	Al 1,5%	Al 2,0%	Al 2,5%
Energi Gap (eV)	3,51	3,50	3,30	3,11	3,06

Dari Tabel 3 terlihat bahwa semakin besar persentase doping yang diberikan maka band gapnya semakin kecil hal ini menunjukkan bahwa penambahan doping dapat memperkecil *band gap* material semikonduktor. Dari data didapatkan rentang nilai energi gap yaitu (3,06-3,51).

3.3 Analisis Sel Surya DSSC

3.3.1 Karakteristik Arus-Tegangan (I-V) Sel Surya

Pengukuran arus dan tegangan (I-V) yang dilakukan dengan memvariasikan intensitas cahaya lampu sebesar 500, 1000 dan 1500 Lux. Hasil karakterisasi arus dan tegangan dari kelima sampel sel surya dapat dilihat pada Gambar 4. Grafik yang terbentuk sudah mendekati kurva I-V yang dibuat oleh Michael Grätzel. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel yang dibuat dengan bahan-bahan, metode, serta proses lainnya pada penelitian ini bisa digunakan pada aplikasi sel surya.



Gambar 4 Hasil karakterisasi I-V ZnO doping Al (a) doping Al 0% (b) doping Al 1,0% (c) doping Al 1,5% (d) doping Al 2,0% (e) doping Al 2,5%

Dari kurva terlihat bahwa sampel dengan doping 1,5% memiliki nilai arus serta tegangan yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan sel surya dengan ZnO doping Al 1,5% mampu mengakumulasi muatan lebih banyak daripada ZnO tanpa doping Al dan ZnO doping Al 1% ketika diluminasi cahaya. Hal yang sama juga ketika doping Al 2,0% dan Al 2,5%. Terlihat bahwa nilai arus dan tegangan yang didapatkan menurun dari nilai arus dan tegangan yang didapatkan saat didoping 1,5% aluminium.

Tabel 4 Nilai arus *short circuit* (I_{sc}) dan nilai tegangan *open-circuit* (V_{oc}) sel surya ZnO (0% - 1,5%) doping Al

Intensitas Penyinaran (Lux)	Al 0%		Al 1,0%		Al 1,5%	
	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)
500	0,18	120,6	0,29	286,4	0,43	342,5
1000	0,28	216,2	0,37	320,2	0,55	371,9
1500	0,32	250,7	0,43	376,5	0,65	446

Dari Tabel 4 terlihat bahwa nilai tegangan open sirkuit yang dihasilkan pada penelitian ini masih relatif kecil (120,6 - 446). Kemungkinan disebabkan jumlah molekul dye yang terserap relatif

masih sedikit. Selain itu juga terlihat bahwa pada doping Al 1,5% V_{oc} yang didapatkan lebih besar dari tanpa doping,

Tabel 5 Nilai arus *short circuit* (I_{sc}) dan nilai tegangan *open-circuit* (V_{oc}) sel surya ZnO (2,0% dan 2,5%) doping Al

Intensitas Penyinaran (Lux)	Al 2,0%		Al 2,5%	
	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)
500	0,34	328	0,22	300,1
1000	0,42	365,9	0,32	364,9
1500	0,51	395,2	0,39	384,4

Dari Tabel 5 juga terlihat bahwa semakin besar intensitas yang diberikan maka nilai arus dan tegangan yang dihasilkan juga semakin besar. Artinya peningkatan intensitas menyebabkan semakin cepat proses transport elektron.

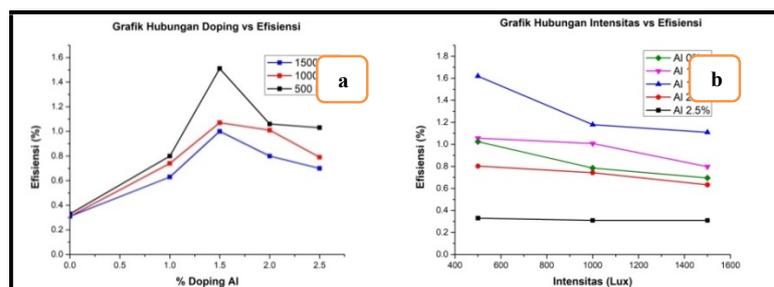
3.3.2 Parameter Performansi Sel Surya

Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat Performansi sel surya yaitu arus short-circuit (I_{sc}), tegangan *open-circuit* (V_{oc}), daya maksimum (P_{mak}), *Fill Factor* (FF) dan efisiensi (η).

Tabel 6 Parameter performansi sel surya ZnO tanpa doping dan doping aluminium (1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5%)

Doping Al	Intensitas (Lux)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	P_{mak} (μ W)	<i>Fill Factor</i>	Efisiensi (%)
Al 0%	500	0.18	120.6	9.79	0.45	0.33
	1000	0.28	216.2	18.48	0.3	0.31
	1500	0.32	250.7	28.34	0.35	0.31
Al 1.0%	500	0.29	286.4	24.09	0.29	0.80
	1000	0.37	320.2	44.64	0.38	0.74
	1500	0.43	376.5	56.94	0.35	0.63
Al 1.5%	500	0.43	342.5	45.38	0.31	1.51
	1000	0.55	371.9	63.96	0.31	1.07
	1500	0.65	446	89.35	0.31	1.00
Al 2.0%	500	0.34	328	31.95	0.29	1.06
	1000	0.42	365.9	60.59	0.39	1.01
	1500	0.51	395.2	72.22	0.36	0.8
Al 2.5%	500	0.22	300.1	30.88	0.47	1.03
	1000	0.32	364.9	47.57	0.41	0.79
	1500	0.39	384.4	62.79	0.42	0.7

Pada Tabel 6 terlihat P_{mak} yang didapatkan yaitu (9,79-89,35) μ W, terlihat semakin besar intensitas penyinaran yang diberikan nilai P_{mak} yang didapatkan juga semakin besar. Ditinjau dari *Fill Factor* terlihat nilai yang didapatkan berkisar antara 0,29-0,47. Hal ini menandakan grafik yang terbentuk sudah mendekati bentuk ideal grafik DSSC. Jika ditinjau dari efisiensi terlihat nilai yang didapatkan sudah cukup baik yaitu (0,31-1,51)%.



Gambar 6 Grafik hubungan (a) konsentrasi doping vs efisiensi (b) Intensitas vs efisiensi

Dari Gambar 6(a), terlihat bahwa efisiensi semakin meningkat ketika nilai doping ditingkatkan sampai pada konsentrasi 1,5%. Namun ketika nilai doping dinaikkan menjadi 2% dan 2,5%, ternyata nilai efisiensinya kembali turun. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi terbaik didapatkan pada doping Aluminium 1,5%. Dari gambar 6(b) terlihat pengaruh nilai intensitas cukup linier untuk kelima doping, dimana nilai efisiensi semakin turun seiring dengan peningkatan nilai intensitas. Dari kelima sampel disimpulkan bahwa efisiensi terbesar adalah sel surya ZnO doping aluminium 1,5% dengan intensitas penyinaran 500 Lux, yaitu 1,51%. Sedangkan efisiensi terendah didapatkan pada DSSC tanpa doping aluminium dengan intensitas penyinaran 1000 Lux yaitu 0,31%.

Efisiensi terbesar diperoleh dengan intensitas penyinaran yang lebih kecil yaitu 500 Lux. Padahal semakin besar intensitas yang diberikan menghasilkan nilai I_{sc} dan V_{oc} yang semakin besar. Tetapi besarnya kenaikan arus dan tegangan yang didapatkan tidak sebanding dengan kenaikan intensitas yang diberikan. Hal itu juga karena elektrolit yang digunakan merupakan elektrolit cair sehingga pada intensitas tinggi penguapan elektrolit terjadi lebih besar dari pada intensitas rendah (Dahlan dan Fahyuan, 2014).

Tabel 7 : Efisiensi terbesar yang dihasilkan dari kelima sel surya

Sel surya DSSC	Efisiensi (%)
ZnO tanpa Doping	0,33
ZnO doping 1,0% aluminium	0,80
ZnO doping 1,5% aluminium	1,51
ZnO doping 2,0% aluminium	1,06
ZnO doping 2,5% aluminium	1,03

Tabel 7 merupakan tabel efisiensi tertinggi dari kelima sel surya yang dihasilkan (intensitas 500 Lux). Efisiensi terbaik yaitu pada doping 1,5% aluminium dengan nilai efisiensi sebesar 1.51%. Sedangkan efisiensi terkecil yaitu sel surya tanpa doping aluminium sebesar 0,33%. Artinya dengan memberikan doping 1.5% aluminium, mampu meningkatkan efisiensi sebesar 463% dari sel surya tanpa doping.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian disimpulkan bahwa lapisan ZnO telah berhasil ditumbuhkan diatas kaca ITO sebagai fotoanoda DSSC menggunakan metode LPD. Pola XRD memperlihatkan terjadinya pergeseran puncak 2θ sebesar $0,62^\circ$ ke kanan. Dari spektrum UV-Vis energi gap yang didapatkan 3,51 - 3,06 eV. Uji I-V memperlihatkan efisiensi tertinggi dihasilkan oleh sel yang terdoping aluminium 1,5%, yaitu sebesar 1,51% sedangkan terendah yaitu elektroda kerja tanpa doping yaitu sebesar 0.33%, artinya terjadi peningkatan efisiensi sebesar 463% dibandingkan DSSC dengan elektroda kerja lapisan ZnO tanpa doping

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., *Pengantar Nanosains*, (ITB, Bandung, 2009).
- Dahlan, D., Md Saad, S.K., Berli, A.U., Bajili, A., Umar, A.A., Synthesis of two-dimensional nanowall of Cu-Doped TiO_2 and its application as photoanode in DSSCs. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, **91** (1), 185-18, (2017).
- Dahlan, D., dan Fahyuan, H.D., Pengaruh Beberapa Jenis *Dye* Organik Terhadap Efisiensi Sel Surya *Dye Sensitized Solar Cell*, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **15**(5), 74-79, (2014).
- Haliq, R. dan Susanti, D., Pengaruh variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap Sensitivitas Sensor Gas CO Dari Material Zink Oxide Hasil Proses Hidrotermal, *Jurnal Teknik Pomits*, **1**(1), 1-7, (2014).
- Iwantono, I. Anggelina, F. Nurrahmawati, P. Naumar, F.Y. Umar, A.A., Optimalisasi Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cells* Dengan Penambahan Doping Logam Aluminium Pada Material Aktif Nanorod ZnO Menggunakan Metode Hidrotermal, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, **6**(1), 36-43, (2016).

- Moezzi, A. McDonagh, A.M. Cortie, M.B., Zinc Oxide Particles: Synthesis, Properties and Application, *Chemical Engineering Journal*, **1(2)**, 85-186, (2012).
- Roose, B., Pathak, S., Steiner, U., Doping TiO₂ for Sensitized Solar Cell, *Review Article, Chem. Soc. Rev.*, 44, 8326, (2015).
- Saad, S.K.M., Umar, A.A, Nafisah, S., Salleh, M.M., dan Majlis, B.Y., Effect of TiO₂ Nanostructure's Shape on the DSSC Performance, *RSM2013 Proc. Langkawi, Malaysia*, 402-405, (2013).
- Smestad, dkk., Testing of Dye-Sensitized TiO₂ Solar Cell I: Experimental Photocurrent Output and Conversion Efficiencies, *Solar Energy Materials dan Solar Cells*, **32(3)**, 259-272. (2003).