

Pengaruh lama Waktu *Annealing* Lapisan Tipis ZnO Terhadap Efisiensi Sel Surya *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)

Genta El Haqqi Yozu^{*}, Dahyunir Dahlan

¹Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 21 Januari 2021
Direvisi: 03 Februari 2021
Diterima: 10 Februari 2021

Kata kunci:

Efisiensi
Lapisan ZnO
Waktu *annealing*

Keywords:

Efficiency
ZnO film
Annealing time

Penulis Korespondensi:

Genta El Haqqi Yozu
Email:
gentaelhaqqiyozu17@gmail.com

ABSTRAK

Telah diteliti pengaruh lama *annealing* lapisan tipis ZnO terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cells*. Lapisan ZnO yang ditumbuhkan kemudian di-*annealing* menggunakan *furnace*. *Annealing* dilakukan pada temperatur 450° C dengan durasi 1 - 5 jam. Lapisan ZnO yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan I-V Test, UV-VIS, dan XRD. Karakterisasi I-V menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi 1,98% didapatkan pada sampel yang di-*annealing* selama 5 jam yang menghasilkan V_{oc} 263 mV, I_{sc} 0,274 mA, P_{max} 27,05 μ W, dan *Fill Factor* (FF) 0,37 ketika diiluminasi dengan intensitas cahaya 300 lux. Energi gap yang didapatkan dari karakterisasi UV-VIS sebesar 3,37 – 3,49 eV, sesuai dengan energi gap lapisan ZnO. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa struktur yang dihasilkan pada waktu *annealing* 2 jam adalah *cubic* dan pada waktu *annealing* 5 jam adalah *hexagonal*. Efisiensi tertinggi dihasilkan pada elektroda kerja lapisan ZnO yaitu sebesar 1,98% pada *annealing* 5 jam sedangkan efisien terendah 0,69% yaitu pada *annealing* 1 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa lama waktu *annealing* mempengaruhi efisiensi DSSC.

The effect of annealing time on ZnO thin film of the Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cell has been investigated. The grown ZnO films were annealed in a furnace for 1 - 5 hours at a temperature of 450o C. The deposited ZnO films were characterized using the I-V test, UV-VIS, and XRD. The I-V test shows that the highest efficiency value of 1.98% was obtained for the sample annealed 5 hours with Voc 263 mV, Isc 0,274 mA, Pmax 27,05 μ W, and Fill Factor (FF) was 0,37 when illuminated with 300 lux light intensity. The bandgap width obtained from UV-Vis spectra is 3,37 – 3.49 eV, which agrees with the energy gap of ZnO film. The XRD characterization indicated that the ZnO annealed for 2 hours has a cubic structure, while that was annealed for 5 hours is hexagonal. The highest efficiency of DSSC with ZnO electrode layer was 1.98% obtained for the sample annealed for five hours, whereas the lowest efficiency of 0.69% was obtained for the sample annealed for 1 hour. This result indicates that a longer annealing time increases the efficiency of DSSC.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sel surya adalah alat yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Perkembangan sel surya terbagi dalam tiga generasi. Pada generasi pertama, sel surya terbuat dari silikon kristalin baik monokristalin maupun polikristalin. Keunggulan sel surya generasi pertama ini adalah efisiensi yang cukup tinggi, sedangkan kelemahannya terletak pada biaya produksi yang mahal. Sel surya generasi kedua merupakan modifikasi dari sel surya generasi pertama yang disebut sel surya lapisan tipis (*thin film solar cell*). Biaya produksi yang diperlukan pada generasi kedua ini lebih murah dibandingkan generasi pertama tetapi efisiensinya lebih rendah. Generasi ketiga dikembangkan untuk menghasilkan sel surya dengan efisiensi tinggi dan biaya produksi murah menggunakan material polimer atau organik (Ludin dkk., 2014). Salah satu sel surya dari generasi ketiga ini dikenal dengan istilah *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

DSSC merupakan sel surya yang diperkenalkan oleh Grätzel pada tahun 1991. DSSC dikembangkan sebagai piranti konversi energi dengan memanfaatkan reaksi fotoelektrokimia (O' Regan and Grätzel, 1991). Meskipun efisiensi DSSC lebih rendah dibandingkan dengan sel surya silikon, penelitian mengenai DSSC masih menjanjikan karena fabrikasinya lebih mudah dan murah serta efisiensinya masih bisa ditingkatkan. DSSC berbeda dengan sel surya berbasis silikon, dimana absorpsi cahaya pada DSSC proses terjadi pada molekul zat warna, molekul zat warna yang menyerap cahaya matahari tersebut akan mengalami eksitasi elektron. Elektron yang tereksitasi langsung terinjeksi menuju semikonduktor nanokristal anorganik yang mempunyai energi gap yang lebar. Semikonduktor nanokristal anorganik yang paling sering digunakan adalah logam oksida (keramik) seperti TiO_2 , SnO_2 , dan ZnO .

Struktur DSSC terdiri dari beberapa komponen diantaranya lapisan semikonduktor, elektroda pembanding, *dye* dan elektrolit. Salah satu bagian yang terpenting dari suatu struktur DSSC yaitu lapisan semikonduktor. Material semikonduktor yang sering digunakan pada DSSC yaitu *Titanium Dioksida* (TiO_2) karena murah, banyak tersedia dan tidak beracun (Grätzel, 2003). Selain itu, TiO_2 memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan bahan lainnya seperti *Tin Dioxide* (SnO_2) (Khatijah dkk., 2014). TiO_2 sering digunakan pada aplikasi DSSC karena memiliki *band gap* cukup tinggi sebesar (3,2-3,8) eV sifat optik yang baik, *inert*, dan tidak berbahaya. Selain TiO_2 , salah satu oksida logam yang diteliti dan diaplikasikan adalah ZnO . Dalam beberapa tahun terakhir ini penelitian ZnO sering menjadi perhatian dalam bidang elektronik dan optik. ZnO adalah semikonduktor yang memiliki energi gap 3,37 eV pada temperatur kamar, sehingga berpotensi dalam berbagai aplikasi, seperti DSSC dan sensor (Haliq dan Susanti, 2014).

Fiqrian (2018) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh waktu *annealing* fotoanoda TiO_2 terhadap efisiensi DSSC. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu efisiensi DSSC tertinggi diperoleh pada sampel yang di-*anneal* 7 jam sebesar 3,48%. Fiqrian (2018) juga menyatakan bahwa TiO_2 dapat diganti dengan bahan lain seperti ZnO . Hanya saja penelitian ini tidak dilakukan pada bahan ZnO . Begitupun yang dilakukan oleh Bajili dkk. (2016) dengan melakukan doping *ruthenium* terhadap elektroda kerja TiO_2 menggunakan metode LPD (*Liquid Phase Deposition*) didapatkan efisiensi sebesar 0,53% pada konsentrasi doping *ruthenium* 0,3125.

Pada tulisan ini akan dilaporkan sintesis lapisan ZnO sebagai fotoanoda DSSC yang disintesis dengan variasi lama *annealing*. Metode yang digunakan yaitu *liquid phase deposition* (LPD). Metode ini sangat mudah, tidak menggunakan peralatan yang canggih serta dapat dipantau dan dikontrol selama proses penumbuhan lapisan.

II. METODE

2.1 Persiapan Substrat

Langkah pertama yang dilakukan adalah memotong substrat kaca dengan ukuran 2,5 cm x 1 cm menggunakan *glass cutter*. Substrat dibersihkan dengan cara memasukkannya secara vertikal ke dalam gelas kimia yang telah berisi air deionisasi. Setelah itu dilakukan *ultrasonic cleaning*, pencucian dengan air deionisasi, pembersihan dengan *ethanol*, pembersihan dengan *acetone* masing-masing selama 15 menit. Terakhir substrat yang akan dipakai dipindahkan kedalam *petri dish* kaca untuk dikeringkan selama 10 menit menggunakan oven pada suhu 100° C.

2.2 Sintesis Lapisan ZnO

Lapisan tipis ZnO dibuat dengan mencampurkan larutan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan *Borid Acid*. Massa zat $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ditimbang sebanyak 4,3898 g, *Borid Acid* sebanyak 0,6183 g dan PEG 6000 sebanyak 1,36 g menggunakan neraca digital. Persamaan yang digunakan untuk menentukan massa adalah :

$$m = \frac{M \cdot M_r \cdot V}{1000} \quad (1)$$

$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan menambahkan air deionisasi sebanyak 20 mL dan untuk zat *Borid Acid* dan zat PEG 6000 sebanyak 10 mL ke dalam botol. Zat yang sudah menjadi larutan kemudian dicampurkan pada botol kimia yang telah terdapat substrat ITO didalamnya. Substrat ITO diletakan secara horizontal dengan permukaan kaca yang konduktif menghadap ke atas supaya larutan yang dimasukkan ke dalam botol dapat tumbuh di atas permukaan substrat ITO. Supaya larutan menyatu botol dimasukkan kembali ke dalam *ultrasonic cleaner* selama 5 menit. Setelah 5 menit semua botol sampel dimasukkan ke dalam *water bath* untuk proses penumbuhan lapisan tipis dengan temperatur 90°C selama 10 jam. Pencelupan dilakukan sekedarnya agar semua larutan yang telah mengendap tidak terlepas dari permukaan kaca ITO. Sampel yang telah dicelupkan ke dalam air deionisasi selanjutnya diletakkan dalam *petri dish* kaca untuk dikeringkan di dalam oven dengan suhu 100°C selama 10 menit. Sampel yang sudah kering, selanjutnya diletakkan pada keramik yang telah dibersihkan dengan alkohol untuk di-*furnace*. Pemanasan pada *furnace* dilakukan pada temperatur *annealing* 450°C . Pada penelitian ini *annealing* dilakukan selama 1, 2, 3, 4 dan 5 jam.

2.3 Pembuatan Larutan Dye

Dye Antosianin diekstrak dari 20 g kulit manggis yang dipotong kecil-kecil, digerus dengan sebuah mortar hingga halus, selanjutnya direndam di dalam pelarut yang terdiri atas 25 ml *methanol*, 4 ml asam asetat dan 20 ml *aquades* selama 24 jam. Selama perendaman larutan ekstrak *antosianin* harus disimpan di tempat gelap. Setelah 24 jam, selanjutnya ekstrak *dye antosianin* disaring menggunakan kertas saring.

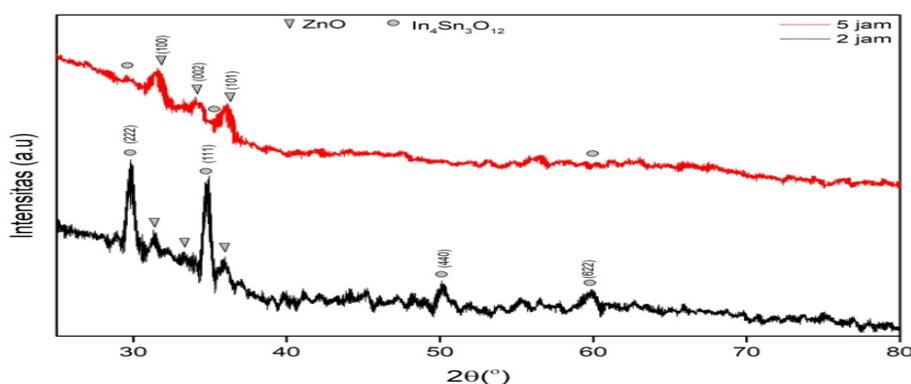
2.4 Pembuatan Struktur Device DSSC

Pembentukan struktur DSSC pada penelitian ini menggunakan struktur berlapis *sandwich* yaitu dengan cara menggabungkan elektroda kerja (ZnO) dan elektroda pembanding dengan penjepit agar menempel lebih rapat dan tidak bergeser. Diantara elektroda tersebut diletakkan bahan isolasi. Bahan dilubangi dengan bulatan yang luas $0,23\text{ cm}^2$ sebagai bagian aktif devais DSSC. Selanjutnya elektrolit disuntikkan dibagian aktif area tersebut fungsinya sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Ukuran Kristal dan Struktur Kristal

Uji XRD dilakukan pada sampel ZnO yaitu pada variasi waktu *annealing* 2 jam dan waktu *annealing* 5 jam dengan efisiensi terbesar yaitu pada waktu *annealing* 5 jam. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hasil uji XRD pada sampel ZnO dengan *annealing* 2 jam dan 5 jam

Berdasarkan informasi dari grafik hasil karakterisasi XRD pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada kedua sampel memiliki struktur dan pola kristal yang berbeda. Pola pada grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan puncak ZnO dan penurunan puncak $\text{In}_4\text{Sn}_3\text{O}_{12}$ akibat penambahan waktu *annealing*, ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu *annealing* pada sampel maka semakin rata dan semakin banyak partikel ZnO yang terlapisi pada substrat ITO.

Tabel 1 Ukuran kristal waktu *annealing* 2 jam dan *annealing* 5 jam.

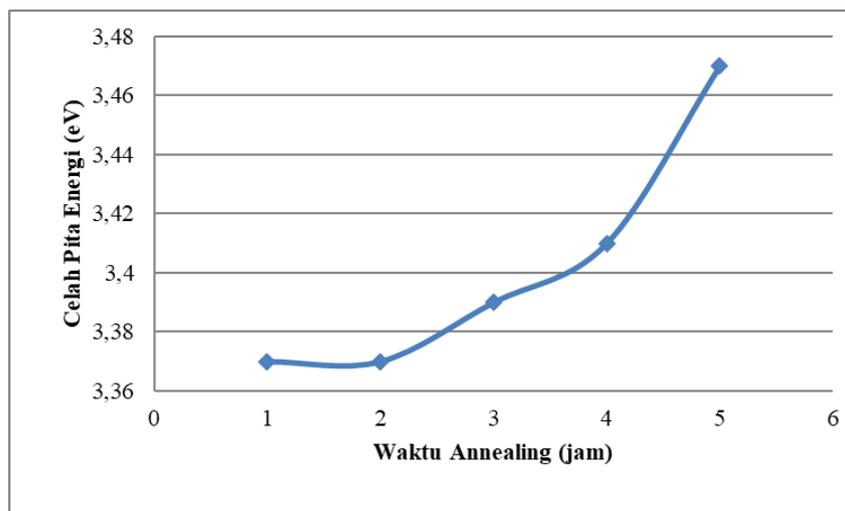
Variasi waktu <i>annealing</i>	Unsur	K	λ (nm)	D rata-rata (nm)
2 jam	ZnO	0,9	0,154	31
5 jam	ZnO	0,9	0,154	25

Diameter kristal ZnO dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari hasil uji XRD. ukuran kristal variasi waktu *annealing* 2 jam dan waktu *annealing* 5 jam dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 ditunjukkan ukuran kristal rata-rata pada waktu *annealing* 2 jam adalah 31 nm, sedangkan ukuran diameter kristal rata-rata pada *annealing* 5 jam adalah 25 nm. Penurunan ukuran kristal diakibatkan karena proses *annealing* yang membuat partikel ZnO melebur dan mengakibatkan ukuran partikel ZnO makin kecil. Penurunan tersebut mengakibatkan naiknya celah pita energi.

3.2 Analisis Nilai Absorbansi dan Celah Pita Energi

Karakterisasi selanjutnya menggunakan *UV-Vis Spectrometry* untuk menentukan celah pita energi untuk semua variasi waktu *annealing*. Data yang diperoleh adalah panjang gelombang (nm) terhadap nilai absorbansi. Data kemudian diolah menggunakan metode *Tauc Plot* untuk memperoleh nilai celah pita energi semua sampel. Hubungan waktu *annealing* dengan celah pita energi ZnO dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan pengaruh waktu *annealing* terhadap celah pita energi ZnO. elah pita energi semakin naik seiring lamanya waktu *annealing*. Besarnya celah pita energi dapat diperoleh dari besarnya ukuran partikel dimana semakin kecil ukuran partikel maka semakin tinggi celah pita energi yang mengakibatkan tarikan antara elektron dan hole selalu ada yang berimbang pada pengurangan energi yang dimiliki elektron setelah mengalami eksitasi, jika ukuran partikel besar maka elektron dan hole dapat berpisah sangat jauh sehingga tarikan antara keduanya dianggap nol. Akibatnya tidak ada pengurangan energi yang dimiliki elektron setelah meloncat ke pita valensi. Hal ini sesuai dengan celah pita energi yang dimiliki oleh material ZnO yang berkisar antara 3,37 -3,50 eV.



Gambar 2 Hubungan variasi waktu *annealing* dengan celah pita energi ZnO

3.3 Analisis Nilai Efisiensi Sel Surya

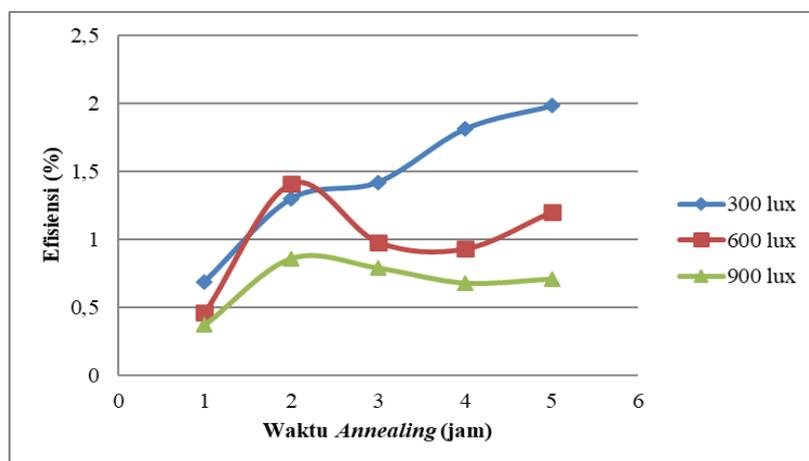
Efisiensi sel surya merupakan perbandingan daya yang dihasilkan sel surya dengan daya sumber cahaya yang mengenai sel surya tersebut. Efisiensi merupakan ukuran global dalam menentukan kualitas atau performa suatu sel surya. Jika parameter tersebut nilainya semakin besar maka menandakan performa sel surya semakin baik.

Tabel 2 Parameter performa sel surya DSSC

Waktu <i>annealing</i>	Intensitas (Lux)	I _{sc} (mA)	V _{oc} (mV)	P _{max} (μW)	Fill Factor	Efisiensi (%)
1 jam	300	0,15	157	9,50	0,4	0,69
	600	0,20	165	14,72	0,45	0,46
	900	0,34	176	15,39	0,23	0,37
2 jam	300	0,19	260	17,80	0,36	1,30
	600	0,24	303	38,36	0,52	1,41
	900	0,26	322	35,15	0,35	0,86
3 jam	300	0,24	171	45,38	1,10	1,42
	600	0,27	232	63,96	1,02	0,98
	900	0,28	298	89,35	1,07	0,79
4 jam	300	0,18	274	19,32	0,37	1,81
	600	0,19	318	26,88	0,43	0,93
	900	0,22	285	32,67	0,52	0,68
5 jam	300	0,27	263	27,05	0,37	1,98
	600	0,28	298	35,00	0,41	1,20
	900	0,30	289	29,40	0,33	0,71

Tabel 2 memperlihatkan parameter performa dari kelima sel surya DSSC yang sudah dibuat. Ditinjau dari nilai P_{max} yang didapatkan berkisar (9,5-89.35) μW, terlihat semakin besar intensitas penyinaran yang diberikan maka nilai P_{max} yang didapatkan juga semakin besar. Hal tersebut tentu karena arus dan tegangan yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh waktu *annealing* mempengaruhi nilai P_{max} yang didapatkan, dimana nilai P_{max} yang diperoleh dari waktu *annealing* 1 jam sampai dengan 3 jam yaitu semakin naik tapi pada saat *annealing* 4 jam dan 5 jam mulai menurun kembali.

Jika ditinjau dari pengaruh waktu *annealing* terhadap nilai efisiensi, waktu *annealing* sangat mempengaruhi performa DSSC. Dari Gambar 3 terlihat bahwa nilai efisiensi pada saat penyinaran 300 lux semakin meningkat ketika waktu *annealing* ditambah. Namun pada saat penyinaran 600 lux dan 900 lux hanya meningkat pada saat waktu *annealing* 2 jam dan menurun pada saat waktu *annealing* 3 jam dan kembali meningkat pada saat waktu *annealing* 5 jam. Hal ini membuktikan bahwa nilai efisiensi terbaik didapatkan pada waktu *annealing* 5 jam pada penyinaran 300 lux. Hal ini disebabkan karena intensitas cahaya sebesar 300 lux merupakan intensitas yang mampu diserap maksimal dari DSSC ZnO yang telah dikarakterisasi sehingga menghasilkan efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan intensitas cahaya 600 lux dan 900 lux.



Gambar 3 Grafik hubungan waktu *annealing* terhadap nilai efisiensi

Tabel 3 merupakan tabel efisiensi tertinggi dari kelima sel surya DSSC yang dihasilkan. Efisiensi terbaik yaitu pada waktu *annealing* 5 jam yaitu sebesar 1,98 %, sedangkan efisiensi terkecil yaitu pada sel surya DSSC pada waktu *annealing* 1 jam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu *annealing* yang diberikan maka semakin tinggi pula efisiensi yang dihasilkan.

Tabel 3 Efisiensi terbesar yang dihasilkan dari kelima sel surya DSSC

Sel surya DSSC	Efisiensi (%)
ZnO <i>annealing</i> 1 jam	0,69
ZnO <i>annealing</i> 2 jam	1,41
ZnO <i>annealing</i> 3 jam	1,42
ZnO <i>annealing</i> 4 jam	1,81
ZnO <i>annealing</i> 5 jam	1,98

Peningkatan efisiensi ini masih kurang baik dibandingkan dengan peningkatan efisiensi yang dilakukan oleh Fiqrian (2018) yang melakukan variasi waktu *annealing* 1,3,5,7, 9, dan 11 jam dan didapatkan efisiensi sebesar 3,48% pada saat waktu *annealing* 7 jam. Efisiensi yang didapatkan dari kelima devais sel surya DSSC ini masih sangat jauh dari penelitian Fiqrian (2018).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu *annealing* fotoanoda ZnO berpengaruh terhadap efisiensi DSSC. Semakin lama waktu *annealing* yang digunakan nilai efisiensi DSSC akan semakin besar. Waktu *annealing* fotoanoda ZnO pada waktu 5 jam memiliki nilai efisiensi 1,98% dengan energi gap yang dihasilkan 3,37 – 3,49 eV yang sesuai dengan energi gap lapisan ZnO.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajili, A., Dahlan, D., Umar, A.A. (2016). Sintesis Nanopartikel Titanium Dioksida Didoping Rhutenium. *Jurnal Fisika Indonesia (JFI)*. 8, 54-59
- Fiqrian, K., Dahlan, D. (2018), Pengaruh Waktu *Annealing* Fotoanoda TiO₂ Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). *Jurnal Fisika Unand*. 7, 2, 138-143
- Haliq, R., dan Susanti, D. (2014). Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap Sensitivitas Sensor Gas CO Dari Material Zink Oxide Hasil Proses Hidrotermal. *Jurnal Teknik Pomits*. 1, 1, 1-7
- Khatijah, S., Umar, A., Nafisah, S., Tan, S., Bolouch, A., Shalleh, M., Oyama, M. (2014). Poriferous Microtablet of Anatase TiO₂ Growth on an ITO Surface for High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 122, 174-182
- Ludin, N.A., Narosikin, A.A.M., Mahmoud, A.A., Muhammad, A.A., Kadhum, A.A.H., Sopian, K., Nor Karim, S.A. (2014). Review on The Development of Nature Dye Photosensitizer for Dye Sensitized Solar Cell. *Renewable and Sustainable Energy*. 386-396
- O'Regan, B., Gratzel, M. (1991). A low-cost, High Efficiency Solar Cells Based on Dye-Sensitized. *Nature*. 353, 737-740