



Pengaruh Suhu Annealing Elektroda Kerja dan Scattering Layer terhadap Efisiensi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

Mar'Atun Shofwati, Fahru Nurosyid^{*)}, Yofentina Iriani

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret

Email korespodensi : nurosyid@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v16i2.4914>

Submitted: 09 Mei 2018; Accepted: 01 Mei 2019

ABSTRACT–DSSC was kind of solar cell based on dye as sensitizer or photon absorber. Scattering layer method used to optimize photon scattered process on working electrode. In this research, temperature variation annealing of scattering layer done to find the effect toward DSSC's efficiency. TiO₂ nanopowder and TiO₂ transparent are used as semiconductor layer and scattering layer, respectively which deposited with spin coating method. Platinum was deposited on counter electrode with brush painting method. TiO₂ nanopowder was annealed at 400 °C, while scattering layer were annealed at variation temperature i.e. 400 °C, 450 °C, 500 °C, and 550 °C. *Dye Ruthenium Complex N719* was used as sensitizer on DSSC's structure. Result of XRD characterization on working electrode show that highest crystallite size is 18.92 nm with annealing process of scattering layer at 450 °C and decreased when the temperature is over 400 °C. The annealing process of scattering layer at temperature 450 °C has good photovoltaic parameter. This cell have short circuit current (I_{sc}) is 5.37×10^{-4} A, open circuit voltage (V_{oc}) is 0.39 V, and fill factor is 0.51. The value of V_{oc} was influenced by the absorption of dye in TiO₂ layer. Annealing scattering layer at 450 °C produce crystallite structure with higher TiO₂ surface area, it can optimize photon absorption of dye more than the annealing process over 450 °C. Scattering layer which annealing at 450 °C can increase efficiency of DSSC cells from 0.94×10^{-2} % to 10.68×10^{-2} % compared with the other of temperature variation annealing.

KEYWORDS : TiO₂, scattering layer, annealing temperature, DSSC

PENDAHULUAN

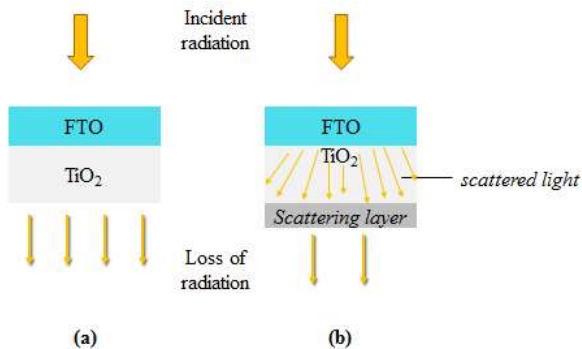
Sel surya merupakan salah satu energi alternatif yang terus dikembangkan. (Alwani et al., 2016). DSSC merupakan sel surya generasi ketiga yang berbasis dye sensitized dimana *dye* sebagai sensitizer berfungsi menyerap energi matahari dan mengalirkan elektron ke lapisan semikonduktor (Ayalew & Ayele, 2016).

Kajian peningkatan performance DSSC salah satunya dilakukan pada elektroda kerja (TiO₂). Penelitian TiO₂ yang telah dilakukan diantaranya variasi ketebalan lapisan, metode deposisi lapisan, dan variasi suhu *annealing* (Sedghi & Miankushki, 2015). Deposisi TiO₂ transparan menggunakan metode *screen printing*. Hasil uji ketebalan yang diperoleh menggunakan SEM yaitu $(1,5 \pm 0,2)$ μm ,

$(2,9 \pm 0,5)$ μm , $(3,6 \pm 0,6)$ μm , dan ketebalan optimum yaitu $(4,5 \pm 0,8)$ μm . Proses *annealing* TiO₂ transparan dilakukan pada suhu 500 °C selama 10 menit (Dewi et al., 2016). Proses *annealing* dari TiO₂ selama 1 jam pada suhu 450 °C menghasilkan efisiensi 0,11%. Faktor suhu mampu meningkatkan performance DSSC karena dapat memengaruhi kristalinitas, ukuran butir, dan transparansi (Ruhane et al., 2017).

Scattering layer merupakan salah satu teknik yang efektif untuk meningkatkan kemampuan penyerapan cahaya. Konsep *scattering layer* disajikan pada Gambar 1. Metode ini dilakukan untuk mengoptimalkan hamburan foton sehingga molekul *dye* pada permukaan *scattering layer* mampu menyerap lebih banyak foton. *Scattering layer*

menggunakan TiO₂-WER dan di-annealing pada suhu 120 °C selama 4 jam menghasilkan efisiensi sebesar 0,167% (Qibtiya et al., 2013). Bahan-bahan semikonduktor dengan indeks bias tinggi seperti ZrO₂ dan SrTiO₂ telah digunakan sebagai *scattering layer* pada DSSC (Jun et al., 2015). Pada penelitian ini dilakukan variasi suhu *annealing scattering layer* untuk memperoleh suhu optimum dalam rangka meningkatkan *performance* DSSC.



Gambar 1 Konsep *scattering layer* (Hore et al., 2006)

METODE PENELITIAN

Elektroda kerja terdiri atas lapisan semikonduktor dan *scattering layer*. TiO₂ nanopowder digunakan sebagai lapisan semikonduktor. TiO₂ nanopowder dilarutkan dalam etanol dengan perbandingan 1:8 kemudian diposisikan dalam substrat FTO dengan luasan aktif 1x1 cm menggunakan *spin coater*. Lapisan yang telah terdeposisi pada substrat di-annealing pada suhu 400°C (Pratiwi et al., 2016). *Scattering layer* menggunakan TiO₂ transparan 18NRT. Pasta TiO₂ transparan dilarutkan dalam etanol dengan perbandingan 1:1 kemudian dideposisikan di atas lapisan semikonduktor menggunakan *spin coater* (Dewi et al., 2016). *Scattering layer* di-annealing dengan variasi suhu 400 °C, 450 °C, 500 °C, dan 550 °C. Elektroda kerja dikarakterisasi XRD untuk mengetahui fase dan memperkirakan ukuran kristal. Pada elektroda lawan dideposisikan platina menggunakan metode *brush painting*. Sel DSSC disusun dengan struktur sandwich kemudian diberi larutan elektrolit pada ruang antar elektroda. Karakterisasi menggunakan *Keithley I-V meter* 2602A dilakukan untuk mengetahui parameter

photovoltaic dari sel DSSC. Intensitas sumber yang digunakan yaitu 1000 W/m².

HASIL DAN PEMBAHASAN

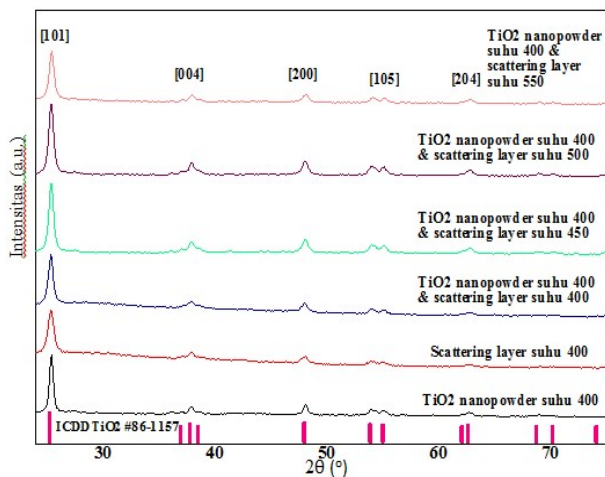
Kurva hasil karakterisasi XRD pada variasi suhu *annealing* dari *scattering layer* ditampilkan pada Gambar 2. Besarnya intensitas terhadap 2θ menunjukkan banyaknya orientasi bidang kristal yang terbentuk pada sudut tertentu. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraksi yang sesuai dengan data ICDD TiO₂ #86-1157. Hal ini ditandai dengan munculnya puncak-puncak pada 2θ = 25,33°; 37,86°; 48,07°; 53,97°; dan 62,75°. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD diperoleh puncak dengan intensitas tertinggi pada 2θ = 25,33° yang menunjukkan orientasi bidang kristal paling banyak terbentuk yaitu pada bidang [101]. Hasil karakterisasi XRD pada Gambar 2 menunjukkan hanya intensitas dari masing-masing puncak yang berubah secara signifikan tetapi fase kekrystalan dari TiO₂ tidak dipengaruhi oleh suhu *annealing* pada rentang 400 °C hingga 550 °C seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Lekphet et al., (2017). Besarnya intensitas sebanding dengan jumlah foton dari sinar-X dengan energi tertentu yang telah dihitung oleh *detector* untuk masing-masing sudut difraksi. Intensitas dapat dipengaruhi oleh *structure factor*, *multiplicity*, *slit width*, serta besar arus dan tegangan yang digunakan pada sumber sinar-X. Posisi masing-masing puncak bergantung pada struktur kristal dari material yang dikarakterisasi dan juga berdasarkan panjang gelombang sinar-X yang digunakan (Suryanarayana & Norton, 1998).

Ukuran kristal TiO₂ dapat dihitung menggunakan persamaan Scherrer:

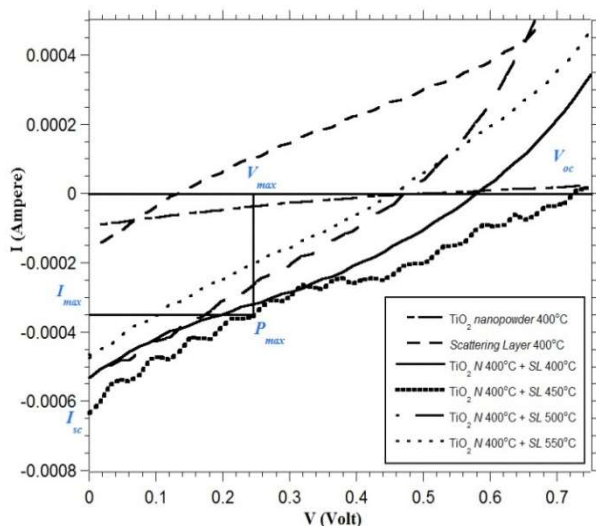
$$D = \frac{0,94\lambda}{B \cos\theta} \quad (1)$$

dimana *B* adalah *Full Width at Half Maximum* (FWHM) yang dicari menggunakan software OriginPro 9.0 32 Bit, λ adalah panjang gelombang sinar-X ($\text{Cu} = 1,54056 \text{ \AA}$), θ sudut difraksi, *D* adalah ukuran kristal dalam nanometer (Suryanarayana & Norton, 1998). Hasil perhitungan ukuran kristal TiO₂ dengan

variasi suhu *annealing scattering layer* disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2 Kurva hasil karakterisasi XRD pada variasi suhu *annealing* dari *scattering layer* elektroda kerja



Gambar 3 Kurva karakterisasi I-V pada variasi suhu *annealing scattering layer* elektroda kerja

Ukuran kristal berbanding terbalik dengan nilai FWHM, dimana semakin kecil nilai FWHM maka ukuran kristal semakin besar. Nilai FWHM bergantung pada lebar masing-masing puncak. Puncak yang lebar akan menghasilkan nilai FWHM yang besar, sehingga semakin lebar puncak maka ukuran kristal semakin kecil (Cullity, 1956). Suhu *annealing scattering layer* hingga 450 °C menghasilkan ukuran kristal yang semakin besar dan menurun pada suhu *annealing scattering layer* di atas 450 °C. Faktor suhu pada proses *annealing* menyebabkan adanya vibrasi termal, dimana atom-atom mengalami vibrasi

di sekitar posisi keseimbangan. Besarnya vibrasi termal pada atom sebanding dengan kenaikan suhu (Suryanarayana & Norton, 1998). Vibrasi atom dapat menyebabkan adanya pergeseran atom dari posisi keseimbangan yang dapat merubah bidang orientasi kristal. Perubahan bidang orientasi kristal dapat menyebabkan jarak antar bidang melebar yang akan berakibat pada pelebaran puncak. Akibatnya ukuran kristal yang dihasilkan kecil seiring dengan adanya pelebaran puncak (Callister, 2007).

Hasil karakterisasi I-V pada Gambar 3 menunjukkan *performance* dari DSSC yang telah difabrikasi. Banyaknya molekul *dye* yang diabsorpsi pada elektroda kerja dapat mengoptimalkan penyerapan foton dan difusi elektron menuju elektroda lawan sehingga meningkatkan nilai I_{sc} dan menghasilkan konversi efisiensi yang tinggi (Liao et al., 2012).

Efisiensi sel DSSC dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Halme, 2002):

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Hasil perhitungan nilai efisiensi dan data kinerja sel DSSC dengan variasi *annealing scattering layer* disajikan pada Tabel 2. Elektroda kerja dengan proses *annealing scattering layer* pada suhu 450 °C memiliki efisiensi tertinggi yaitu $10,68 \times 10^{-2} \%$ dengan nilai arus sirkuit singkat (I_{sc}) yaitu $5,37 \times 10^{-4}$ A, tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}) 0,39V, dan nilai *fill factor* 0,51.

Efisiensi yang diperoleh mengalami peningkatan ketika *scattering layer* di-*annealing* hingga suhu 450 °C dan mengalami penurunan pada *annealing scattering layer* suhu 500 °C dan 550 °C. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan ukuran kristal berdasarkan karakterisasi XRD. Ukuran Kristal yang besar mampu meningkatkan konduktivitas bahan karena susunan atom-atom menjadi lebih teratur. Konduktivitas bahan berperan dalam proses transpot elektron dimana konduktivitas yang tinggi akan mempercepat laju transpot elektron sehingga mampu menghasilkan konversi arus yang tinggi. Elektroda kerja

Tabel 1 Data perhitungan ukuran kristal variasi suhu annealing scattering layer.

Sampel	FWHM (rad)	D (nm)
TiO ₂ nanopowder 400 °C & scattering layer 400 °C	0,009245	15,77
TiO ₂ nanopowder 400 °C & scattering layer 450 °C	0,007687	18,92
TiO ₂ nanopowder 400 °C & scattering layer 500 °C	0,009982	14,57
TiO ₂ nanopowder 400 °C & scattering layer 550 °C	0,011318	12,94

Tabel 2 Data kinerja DSSC berdasarkan hasil karakterisasi I-V.

Sampel	I _{sc} (10 ⁻⁴ A)	V _{oc} (V)	I _{max} (10 ⁻⁴ A)	V _{max} (V)	FF	η (10 ⁻² %)
TiO ₂ nanopowder 400 °C	0,876	0,490	0,428	0,220	0,219	0,944
scattering layer 400 °C	1,878	0,106	1,488	0,076	0,572	1,105
TiO ₂ N 400 °C & SL 400 °C	4,789	0,565	2,558	0,370	0,349	9,470
TiO ₂ N 400 °C & SL 450 °C	5,379	0,388	3,715	0,287	0,511	10,685
TiO ₂ N 400 °C & SL 500 °C	3,715	0,460	3,336	0,235	0,458	7,840
TiO ₂ N 400 °C & SL 550 °C	3,971	0,430	2,273	0,250	0,332	5,686

dengan *scattering layer* memiliki pengaruh dalam penyerapan hamburan foton yang lebih baik karena absorpsi dye yang semakin tinggi pada elektroda kerja (Marimuthu & Anandhan, 2017). Efisiensi akan meningkat seiring dengan penyerapan foton yang optimal oleh *dye* (Amrullah, Darwis, & Iqbal, 2017).

KESIMPULAN

Proses *annealing* TiO₂ nanopowder pada suhu 400 °C dan *scattering layer* pada suhu 450 °C merupakan suhu *annealing* optimum. Berdasarkan hasil karakterisasi I-V, sel DSSC tersebut memiliki efisiensi tertinggi yaitu 10,68×10⁻² %, dibandingkan pada sel dengan variasi suhu *annealing scattering layer* diatas 450 °C yang mengalami penurunan efisiensi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Sebelas Maret oleh Program Hibah PU UNS (Kontrak Nomor: 543/ UN27.21 /PP/2018).

DAFTAR PUSTAKA

Alwani, M. A. A., Mohamad, A. A. B., Ludin, N. A., Khadum, A. A. H., & Sopian, K. (2016). Dye-sensitized solar cells: development, structure, operation principles, electron kinetics, characterization, synthesis materials and

natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 183-213.

Amrullah, S., Darwis, D., & Iqbal. (2017). Dye Sensitized Solar Cell Nanocrystal TiO₂ using pigment Antosianin from *Melastoma malabathricum* L. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6, 321-331.

Ayalew, W. A., & Ayele, D. W. (2016). Dye-sensitized solar cells using natural dye as light-harvesting materials extracted from *Acanthus sennii* chiovenda flower and *Euphorbia continifolia* leaf. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 1, 488-494.

Callister, W. D. (2007). *Material Science and Engineering An Introduction 7th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Cullity, B. D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Dewi, N. A., Nurosyid, F., Supriyanto, A., & Suryana, R. (2016). Pengaruh ketebalan elektroda kerja TiO₂ transparan terhadap kinerja dye sensitized solar cell (DSSC) sebagai aplikasi solar window. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6(2), 73-78.

Halme, J. (2002). Dye sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: Technical review and preliminary test. *Thesis*. Helsinki University of Technology.

- Hore, S., Vetter, C., Kern, R., Smit, H., & Hinsch, A. (2006). Influence of scattering layers on efficiency of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, *90*, 1176-1188
- Jun, H. K., Won, P. D., Jin, S., Ook, K. S., & Won, C. D. (2015). Influence of dye-concentration on the light-scattering effect in dye-sensitized solar cell. *Materials Chemistry and Physics*, *149-150*, 594-600.
- Lekphet, W., Ke, T. C., Su, C., Sireesha, P., Kathirvel, S., Lin, Y. F., Chen, B. R., & Li, W. R. (2017). Effect of surfactants on the morphologies of TiO₂ particles with high-performance scattering layer in dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, *142*, 1-12.
- Liao, Y., Que, W., Jia, Q., He, Y., Zhang, J., & Zhong, P. (2012). Controllable synthesis of brookite/anatase/rutile TiO₂ nanocomposites and single-crystalline rutile nanorods array. *Journal of Material Chemistry*, *22*, 7927-7944.
- Marimuthu, T., & Anandhan, N. (2017). Growth and characterization of ZnO nanostructure on TiO₂-ZnO films as a light scattering layer for dye sensitized solar cells. *Materials Research Bulletin*, *9*, 1-9.
- Pratiwi, D., Nurosyid, F., Supriyanto, A., & Suryana, R. (2016). Optical properties of natural dyes on the dye-sensitized solar cells (DSSC) performance. *Journal of Physics: Conference Series*, *776*.
- Qibtiya, M. A., Muliani, L., Suhandi, A., & Hidayat, J. (2013). Karakteristik pasta TiO₂ suhu rendah dan aplikasi light scattering layer pada dye sensitized solar cell (DSSC). *Journal of Fibusi*, *1*(3), 1-7
- Ruhane, T. A., Islam, M. T., Rahaman, M. S., Bhuiyan, M. M. H., Islam, J. M. M., Bhuiyan, T. I., & Khan, M. A. (2017). Impact of photo electrode thickness and annealing temperature on natural dye sensitized solar cell. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *20*, 72-77.
- Sedghi, A., & Miankushki, H. N. (2015). The effect of drying and thickness of TiO₂ electrodes on the photovoltaic performance of dye sensitized solar cells. *International Journal Electrochemical Science*, *10*(33), 54-62
- Suryanarayana, C., & Norton, M. G. (1998). *X-Ray Diffraction: A Practical Approach*. New York: Springer Science+Business Media.