

Sifat Optik Campuran Pasta TiO₂ Partikel Nano dan Pasta TiO₂ Reflektor pada Foto Elektroda *Dye Solar Cell*

Optical Properties of Blending Paste of TiO₂ Nanoparticles and TiO₂ Reflector for Dye Solar Cell's Photoelectrode

Lilis Retnaningsih*, Lia Muliani, dan Goib Wiranto

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI Gedung 20 Lantai 4, Jl Sangkuriang, Bandung 40135, Indonesia

Abstrak

Dalam penelitian ini, kami mengamati pengaruh dari campuran pasta TiO₂ partikel nano dan pasta TiO₂ reflektor yang dapat meningkatkan kinerja *dye-sensitized solar cell* (DSSC). Senyawa TiO₂ reflektor ini berfungsi sebagai lapisan penghambur, yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja DSSC. Dalam penelitian ini, foto elektroda DSSC dibuat dengan mencampurkan bahan pasta TiO₂ partikel nano dan bahan pasta TiO₂ reflektor dengan rasio dari dua bahan tersebut yang telah ditentukan. Pasta pertama adalah campuran dari bahan utama dan bahan pencampur dengan perbandingan antara pasta TiO₂ partikel nano dan pasta TiO₂ reflektor sebesar 95% : 5%, pasta kedua adalah campuran dengan perbandingan 90% : 10%, dan pasta ketiga dengan perbandingan 85% : 15%. Pasta hasil campuran kemudian dilapiskan pada permukaan kaca konduktif yang memiliki dimensi konduktif sebesar 1 cm x 1 cm. Sel surya DSSC hasil proses pabrikasi kemudian diukur menggunakan *I-V measurement system* dan *Sun simulator* untuk mengetahui arus, tegangan, dan efisiensi yang dihasilkan. Lapisan foto elektroda DSSC diukur dengan menggunakan *UV - Visible absorbance* untuk menentukan karakteristik daya serapnya terhadap cahaya yang datang pada permukaan TiO₂ hasil pencampuran. Kami juga telah melakukan pengukuran menggunakan alat SEM (*scanning electron microscope*) untuk mengetahui karakteristik permukaan hasil pencampuran kedua jenis pasta yang telah digunakan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa DSSC hasil pencampuran pasta dengan perbandingan 85% pasta TiO₂ partikel nano terhadap 15% pasta TiO₂ reflektor memiliki ukuran partikel yang paling besar dan menghasilkan efisiensi yang paling besar pula.

Kata kunci: *dye-sensitized solar cell*, pasta TiO₂ reflektor, lapisan penghambur, pasta TiO₂ partikel nano.

Abstract

In this research, we investigate the effect of the blends of TiO₂ nanoparticle paste and TiO₂ reflector paste which can improve the performance of dye-sensitized solar cell (DSSC). Reflector TiO₂ compound serves as a scattering layer which is expected to be able to improve the performance of DSSC. In this research, the dye solar cell's photoelectrode was fabricated by mixing TiO₂ reflector paste into TiO₂ nanoparticles paste with a ratio of these two ingredients which have been determined. The first blending paste ingredients with a comparison between TiO₂ nanoparticles paste and TiO₂ reflector of 95% : 5%, the second blending paste with a ratio of 90% : 10%, and the third with a ratio of 85% : 15%. Each Paste blend then coated on conductive glass surface in dimensions of 1 cm x 1 cm. The dye solar cells which were resulted from the fabrication process then measured using I-V measurement system and a Sun Simulator to determine the current, voltage and resulted efficiency. Photoelectrode layers were then also measured by the UV - Visible absorbance to determine the characteristics of the light absorbance. We have also made measurements using SEM (scanning electron microscope) tools to investigate the surface characteristics of blending pastes of both paste types that have been used.

The measurement results show that the DSSC resulted from blending paste with a ratio of 85% TiO₂ nanoparticle paste to 15% TiO₂ reflector paste has the greatest TiO₂ particle size and produces the greatest efficiency.

Keywords: *dye sensitized solar cell, TiO₂ reflector paste, scattering layer, TiO₂ nanoparticles paste.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan adanya energi baru sebagai alternatif sangat dibutuhkan, terutama sebagai energi pengganti yang terbarukan.

Pada penelitian *dye-sensitized solar cell* (DSSC) telah banyak dipelajari dan dihasilkan beberapa teknik dan paduan bahan baik bahan dari alam maupun dari hasil rekayasa ilmiah. Dari beberapa pabrikasi yang

telah dilakukan didapatkan hasil yang bervariasi bergantung pada bahan dan analisa yang digunakan [1].

Bahan utama pembuatan DSSC adalah material semikonduktor TiO₂, karena material ini yang dapat menghasilkan efisiensi paling tinggi. Penggunaan partikel TiO₂ yang lebih besar sebagai pusat hamburan dicampur dalam matriks TiO₂ yang mengandung 20-50 nm partikel menyebabkan meningkatnya hamburan cahaya dalam lapisan TiO₂ dan secara keseluruhan meningkatkan efisiensi DSSC [2]. Dalam penelitian ini, kami akan meneliti pengaruh penggunaan pasta TiO₂ yang partikelnya lebih besar sebagai pusat hamburan dalam lapisan pasta TiO₂ yang dicampurkan dengan pasta TiO₂ partikel nano.

* Corresponding Author.

Email: lilisretna@gmail.com

Received: July 17, 2014; Revised: August 26, 2014

Accepted: August 26, 2014

Published: December 30, 2014

© 2014 PPET - LIPI

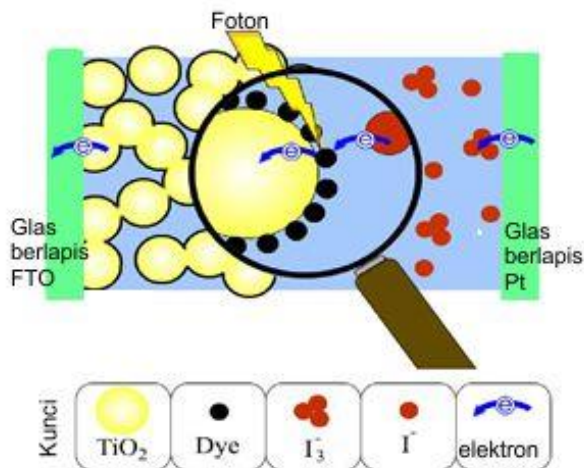
doi : 10.14203/jet.v14.36-39

Sel surya kristal nano TiO₂ tersensitisasi *dye* adalah sel foto elektrokimia yang memanfaatkan fenomena fotosintesis yaitu dengan adanya *dye* yang merupakan penyerap cahaya sehingga menghasilkan aliran elektron. Zat pewarna (*dye*) adalah material yang memberikan pengaruh sensitasi semikonduktor terhadap cahaya. *Dye* berperan sebagai pompa foto elektrokimia serta lapisan penyerap foton yang kemudian tereksitasi menjadi eksiton (*photosensitizer*) [3].

Pada sel surya tersensitisasi *dye*, cahaya foton diserap oleh *dye* yang melekat (*attached*) pada permukaan partikel TiO₂ (lapisan TiO₂ bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer dari *dye* yang teroksidasi). Foton yang diserap mengakibatkan elektron tereksitasi dari level HOMO (*highest occupied molecular orbital*) ke LUMO (*lowest unoccupied molecular orbital*) pada molekul *dye*. *Dye* tereksitasi (D*) menginjeksi sebuah elektron ke dalam pita konduksi (CB) semikonduktor (TiO₂) yang berada sedikit lebih tinggi dari pada level konduksi TiO₂ [4].

Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya foto elektrokimia dan menggunakan elektrolit sebagai medium transportasi muatan. Selain elektrolit, DSSC terdiri dari beberapa bagian seperti TiO₂ partikel nano, molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan TiO₂, dan katalis, yang semuanya dideposisi di antara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada Gambar 1, mengenai struktur DSSC [5].

Pada DSSC, semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah TiO₂ yang memiliki ukuran dalam skala nanometer (10⁻⁹ meter) dan bersifat mesopori (memiliki pori berdiameter antara ukuran mikro dan nanometer).



Gambar 1. Struktur *Dye-sensitized Solar Cell* (DSSC) [5].

Dalam penelitian ini kami telah melakukan pencampuran antara pasta TiO₂ partikel nano dan pasta TiO₂ reflektor, di mana pasta TiO₂ reflektor memiliki dimensi yang lebih besar sekitar 200 nm. Pencampuran kedua jenis pasta ini berfungsi untuk meningkatkan kinerja DSSC yang dibuat.

II. PERCOBAAN

Komponen yang digunakan untuk membangun sebuah DSSC secara garis besar dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu substrat, semikonduktor titanium dioksida (TiO₂), *dye*, dan elektrolit.

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yaitu: proses pelapisan, *assembling*, dan pengukuran, seperti berikut ini:

A. Pasta TiO₂ dan Proses Pelapisan

Proses yang pertama dilakukan dalam pembuatan DSSC adalah pemilihan bahan substrat. Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah substrat kaca transparan konduktif dengan lapisan konduktif FTO (*fluorine-doped tin oxide*) dan memiliki resistivitas sheet sebesar 15 Ω/sq.

Proses selanjutnya adalah pencampuran bahan pasta antara pasta TiO₂ partikel nano dan pasta TiO₂ reflektor dengan perbandingan 95% : 5%, 90% : 10%, dan 85% : 15%, dilakukan dengan cara pengadukan hingga rata. Hasil campuran pasta dari masing-masing persentase kemudian dilapiskan di atas kaca transparan konduktif yang berdimensi 1 cm × 1 cm, dengan teknik *screen printing*. Proses *screen printing* dilakukan satu persatu sesuai dengan campuran pasta yang digunakan. Hasil pelapisan kemudian dikeringkan pada suhu 140 °C lalu dibakar dalam *furnace* pada suhu 500 °C selama 10 menit [6].

Hasil proses pelapisan kemudian direndam di dalam larutan pewarna yang terbuat dari bubuk ruthenium jenis B2 (N719) dari Dysol, yaitu dengan konsentrasi 20 mg dimasukkan ke dalam 100 ml pelarut etanol dan direndam selama 24 jam di dalam ruang kedap cahaya.

B. Counter Electrode dan Perakitan

Bagian permukaan pada sisi lain dari DSSC yang dibuat adalah lapisan *counter electrode*. Bahan yang dilapiskan pada lapisan ini adalah bahan Pt (Platina), pelapisannya dilakukan dengan teknik *sputtering* di atas permukaan kaca.

Dari hasil pembuatan lapisan TiO₂ yang telah direndam zat pewarna dan lapisan *counter electrode* hasil *sputtering*, keduanya ditempelkan dengan permukaan yang saling berhadapan dengan menggunakan perekat *thermoplastic sealant Surlyn* pada bagian pinggirnya. Setelah saling menempel lalu dipanaskan pada suhu 100 °C selama 5 menit. Di antara kedua lapisan kemudian dimasukkan larutan elektrolit yaitu jenis EL-141.

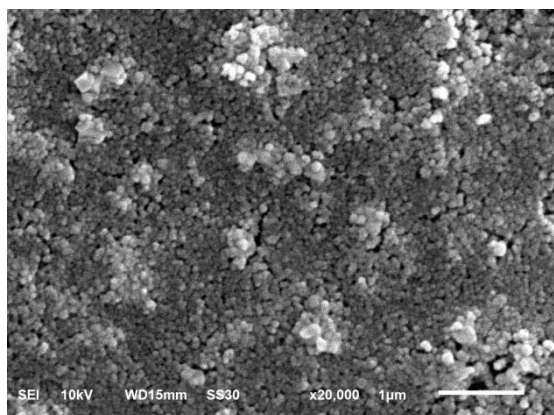
C. Pengukuran dan Karakterisasi

Setelah dilakukan perakitan (*assembling*) DSSC, kemudian dilakukan pengukuran karakteristik permukaan lapisan pasta dengan menggunakan SEM yang bertujuan untuk mengetahui ukuran dan kerataan lapisan. Pengukuran I-V dilakukan dengan menggunakan *I-V measurement system* dari National Instrument dan *Sun Simulator Oriel* dengan filter AM 1,5 dan intensitas cahaya 50 mW/cm² untuk mengetahui arus dan tegangan yang dihasilkan. Pengukuran selanjutnya adalah dengan menggunakan *UV-Visible absorbance* untuk mengetahui karakteristik serapan DSSC terhadap cahaya yang datang [7].

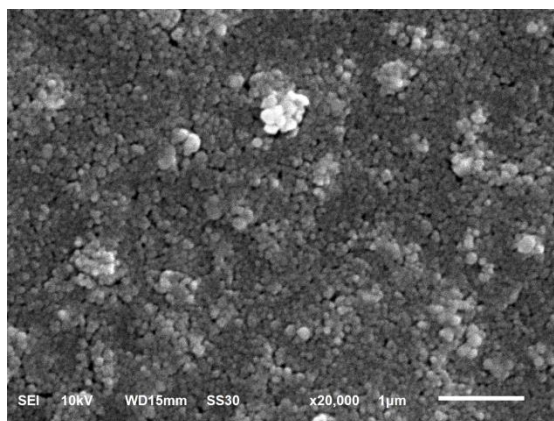
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan hasil foto SEM morfologi permukaan pasta hasil pencampuran dari 2 jenis pasta

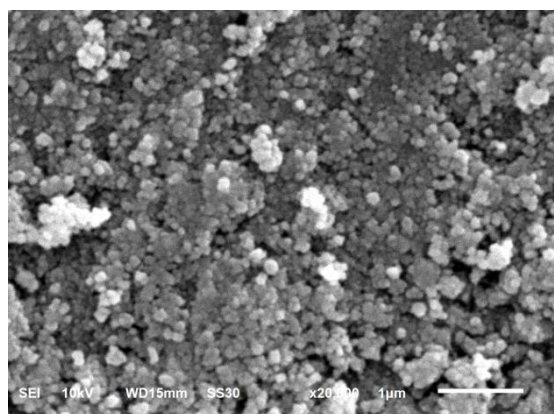
dengan perbandingan berat yang berbeda. Gambar 2 (a) adalah pasta campuran dengan perbandingan 95% TiO₂ partikel nano terhadap 5% TiO₂ reflektor, Gambar 2 (b) adalah 90% TiO₂ partikel nano terhadap 10% TiO₂ reflektor dan 2 (c) adalah 85% TiO₂ partikel nano terhadap 15% TiO₂ reflektor. Seperti terlihat pada Gambar 2 (a) dan 2 (b) hasil yang diperoleh menunjukkan morfologi permukaan yang lebih halus dan rata, sedangkan pada Gambar 2 (c) hasil butiran pada permukaan terlihat lebih besar. Hal ini terjadi karena hasil SEM pada Gambar 2 (a) dan (b) adalah untuk campuran pasta mengandung pasta TiO₂ partikel nano lebih banyak, sedangkan pada Gambar 2 (c) mengandung pasta TiO₂ reflektor 15%.



(a)



(b)

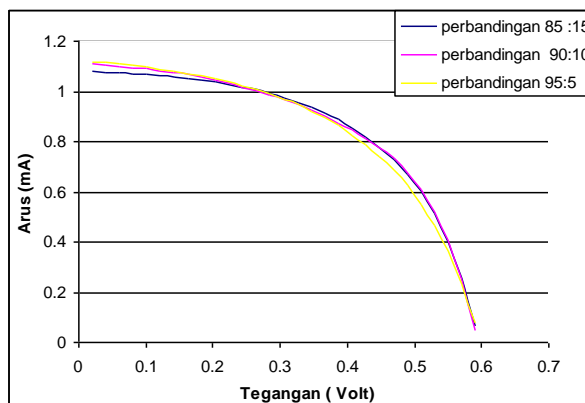


(c)

Gambar 2. Hasil Foto SEM untuk Morfologi Permukaan Pasta Campuran, (a) 95% Pasta TiO₂ Partikel Nano : 5% Pasta TiO₂ Reflektor, (b) 90% Pasta TiO₂ Partikel Nano : 10% Pasta TiO₂ Reflektor, dan (c) 85% Pasta TiO₂ Partikel Nano : 15% Pasta TiO₂ Reflektor.

Dari Gambar 2 hasil SEM yang diperoleh terlihat bahwa campuran antara TiO₂ partikel nano dan TiO₂ reflektor pengadukannya belum merata, sehingga mempengaruhi hasil karakteristiknya [8].

Gambar 3 adalah grafik karakteristik listrik sel surya DSSC, sedangkan parameter karakteristik listriknya disajikan pada Tabel 1. Pengukuran karakteristik listrik sel dilakukan dengan menggunakan *I-V measurement system* dari National Instrument dan *Sun-Simulator Oriel* dengan filter AM 1,5 dan intensitas cahaya 50 mW/cm² untuk campuran antara pasta TiO₂ partikel nano dan pasta TiO₂ reflektor dengan perbandingan 95% : 5%, 90% : 10%, dan 85% : 15%.



Gambar 3. Grafik Karakteristik Listrik Sel Surya DSSC untuk Ketiga Pasta Campuran Antara Pasta TiO₂ Partikel Nano Dengan Pasta TiO₂ Reflektor.

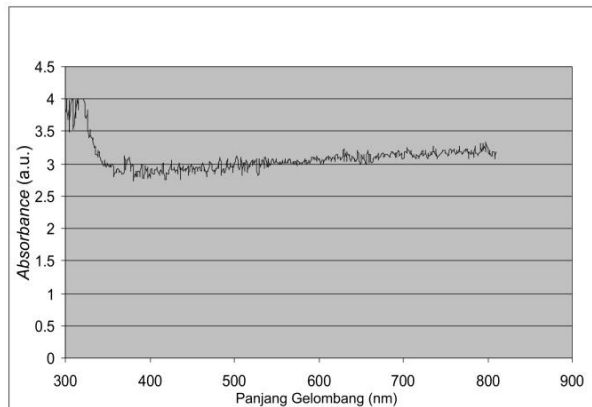
TABEL 1
PARAMETER KARAKTERISTIK LISTRIK SEL SURYA DSSC UNTUK
KETIGA JENIS CAMPURAN PASTA

Parameter Listrik	Persentase Pasta TiO ₂ Reflektor		
	5%	10%	15%
P _{MAX} (mW)	0,33	0,34	0,35
I _{SC} (mA)	1,11	1,11	1,08
V _{OC} (V)	0,59	0,59	0,59
FF	0,51	0,50	0,55
η (%)	0,67	0,69	0,71

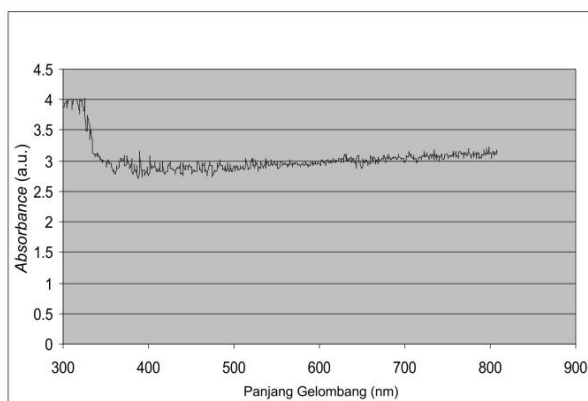
Dari hasil pengukuran, grafik dan data nilai parameter karakteristik listrik yang dihasilkan untuk ketiga jenis campuran terlihat hampir berdekatan. Hal ini disebabkan karena rasio (perbandingan) pasta yang digunakan terlalu kecil, sehingga pengaruhnya sangat kecil pula.

Hasil pengukuran *UV-Vis absorbance* pada Gambar 4 (a) dan 4 (b) untuk 95% pasta TiO₂ partikel nano + 5% pasta TiO₂ reflektor dan 90% pasta TiO₂ partikel nano + 10% pasta TiO₂ reflektor menunjukkan bahwa grafik yang dihasilkan pada daerah dengan panjang gelombang antara 400-600 µm memiliki nilai *absorbance* sebesar 3-3,5 a.u. (*absorbance unit*). Sedangkan pada hasil pengukuran *UV-Vis absorbance* pada Gambar 4 (c) untuk 85% pasta TiO₂ partikel nano + 15% pasta TiO₂ reflektor pada rentang panjang gelombang yang sama memiliki nilai *absorbance* sebesar 2,5-3 a.u. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil penyerapan yang baik terjadi pada pasta campuran untuk perbandingan

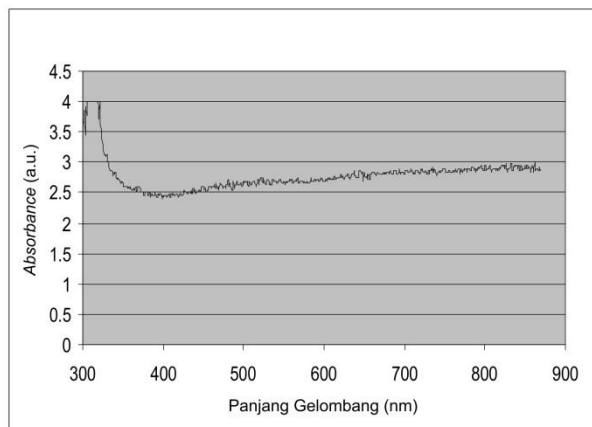
90% pasta TiO₂ partikel nano + 10% pasta TiO₂ reflektor, hasil ini terlihat pada Gambar 4 (b).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Hasil Pengukuran *UV-Vis Absorbance*, (a) 95% Pasta TiO₂ Partikel Nano + 5% Pasta TiO₂ Reflektor, (b) 90% Pasta TiO₂ Partikel Nano + 10% Pasta TiO₂ Reflektor, dan (c) 85% Pasta TiO₂ Partikel Nano + 15% Pasta TiO₂ Reflektor.

KESIMPULAN

Hasil pabrikasi sel surya DSSC dan pengukuran yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil foto

SEM untuk campuran pasta TiO₂ partikel nano dan pasta TiO₂ reflektor dengan rasio 85 : 15 (% berat) memberikan gambar dengan ukuran partikel yang lebih besar, hasil ini sesuai dengan jumlah partikel yang dicampur. Dari data parameter karakteristik listrik diperoleh efisiensi tertinggi yakni sebesar 0,71% juga untuk campuran dengan rasio 85 : 15 (% berat). Sementara dari grafik *UV-Vis absorbance* diperoleh bahwa campuran dengan rasio 90 : 10 (% berat) menghasilkan *absorbance* tertinggi, yaitu sebesar 3-3,5 a.u. pada daerah panjang gelombang 400-600 nm.

Dari hasil data yang diperoleh, maka campuran antara pasta dengan perbedaan ukuran dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi DSSC, namun harus lebih memahami karakter dan sifat bahan yang digunakan, sehingga dapat diperoleh perbandingan yang tepat dan menghasilkan nilai efisiensi yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada PPET-LIPI yang telah memfasilitasi sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR REFERENSI

- [1] A. Sedghi and H. M. Miankushki, "Influence of TiO₂ electrode properties on performance of dye sensitized solar cells", *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 7, pp 12078 - 12089, 2012.
- [2] M. Hamadianian, H. Sayahi, and A. R. Zolfagharichi, "Effect of large TiO₂ nanoparticles as light scatter in matrix of small nanoparticles to improve the efficiency in dye sensitized solar cell", *Journal of Nanostructures*, vol. 1, issue 2, pp 139-143, 2012.
- [3] J. Wienke, J. M. Kroon, P. M. Sommeling, R. Kinderman, M. Späth, J. A. M. van Roosmalen, W. C. Sinke, and S. Baumgartner. (1997). Effect of TiO₂ - electrode properties on the efficiency of nanocrystalline dye-sensitized solar cell. [Online]. Available: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/1997/rx97033.pdf>
- [4] D. H. Kim, J. H. Heo, D. J. Kwak, and Y. M. Suy, "Synthesis of TCO-free dye-sensitized solar cell with new porous Ti electrodes using rf magnetron sputtering technology" *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 146-150, 2010.
- [5] R. Sastrawan, Photovoltaic modules of dye solar cells, Dissertation Doktor, Fakultas Matematik and Physik, Universitas Freiburg im Breisgau, Jerman, Juni 2006.
- [6] K. M. Lee, V. Suryanarayanan, and K. C. Ho, "Influences of different TiO₂ morphologies and solvents on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells", *Journal of Power Sources*, vol. 188, issue 2, pp. 635-641, 2009.
- [7] K. Hara, T. Horiguchi, Kinoshita, Tohru, K. Sayama, H Sugihara, and H. Arakawa, "Highly efficient photon-to-electron conversion with mercurochrome-sensitized nanoporous oxide semiconductor solar cells" *Solar Energy Material and Solar Cell*, vol. 64, pp. 115-134, 2000.
- [8] O. K. Varghese, and C. A. Grimes, "Appropriate strategies for determining the photoconversion efficiency of water photoelectrolysis cells: A review with examples using titania nanotube array photoanodes", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 92, issue 4, pp. 374-384, 2008.