



Pembuatan DSSC dengan fotoanoda dari TiO₂ dan β-karoten sebagai sensitizer dan Analisis kurva I-V

Received
23 Oktober 2017

Revised
30 Desember 2017

Accepted for Publication
30 Desember 2017

Published
10 Januari 2018

T Suprayogi, D Maftuha, M Diantoro

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, 65145, Indonesia

*E-mail: markus.diantoro.fmipa@um.ac.id, thathityogi@gmail.com



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Abstract

Solar cell based on DSSC has good opportunities to be developed because of simple fabrication method, low cost, and organic base. DSSC was fabricated by β-carotene from plant and TiO₂ as photoanode. DSSC was characterized by I-V measurement under 1000 W/m² illumination. Nonlinear fit using Shockley equation has been done to get all parameter of solar cell, *i.g n* of 3,00; R_s of 76,79 Ω cm⁻¹, R_{sh} of 7,15 kΩ cm², I_o of 0,57 μA, I_{sc} of 0,13 mA and V_{oc} of 0,41 V. Energy conversion efficient of DSSC of 0,091%.

Keyword: DSSC, photoanode, TiO₂, β-carotene.

Abstrak

Sel surya berbasis DSSC memiliki peluang untuk dikembangkan karena proses fabrikasinya yang sederhana, biaya murah, serta berbahan dasar organik. Pembuatan DSSC dengan memanfaatkan pigmen tumbuhan murni seperti β-karoten dan menggunakan TiO₂ sebagai fotoanoda. Karakterisasi DSSC dilakukan melalui pengukuran I-V dibawah pencahayaan 1000 W/m², dengan analisis dilakukan melalui *fitting nonlinier* pada persamaan Shockley untuk mendapatkan seluruh parameter sel surya seperti *n* sebesar 3,00; R_s sebesar 76,79 Ω cm⁻¹, R_{sh} sebesar 7,15 kΩ cm², I_o sebesar 0,57 μA, I_{sc} sebesar 0,13 mA dan V_{oc} sebesar 0,41 V. Nilai efisiensi konversi energi dari DSSC sebesar 0,091%.

Kata Kunci: DSSC, fotoanoda, TiO₂, β-karoten.

1. Pendahuluan

Pesatnya kemajuan teknologi, sains, dan industri, serta pertambahan jumlah penduduk membuat kebutuhan energi listrik terus meningkat. Sekitar 87% konsumsi energi dunia berasal dari fosil (minyak, gas alam, dan batu bara) yang merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan berdampak negatif terhadap lingkungan[1]. Oleh karena itu, pengembangan energi listrik dari sumber daya alam lain yang ramah lingkungan menjadi penting dilakukan, seperti pengembangan energi listrik dari matahari [2]. Secara teknis energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui mekanisme *photovoltaic*[3]. Salah satu pemanfaatan mekanisme *photovoltaic* adalah sel surya.

Dye sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang diusulkan pertama kali oleh Michael Gratzel dan O'regan pada tahun 1991 [4]. Pada umumnya DSSC terdiri dari fotoanoda, *dye* sebagai fotosensitizer, elektrolit redoks, dan elektroda lawan [5]. Perkembangan riset terbaru menunjukkan bahwa DSSC mampu memiliki efisiensi tertinggi sebesar $11,9 \pm 0,4$ % [3]. Sel surya berbasis DSSC memberi peluang baru untuk dikembangkan karena proses fabrikasinya yang sederhana, biaya murah, serta berbahan dasar organik [6], [7].

DSSC menggunakan oksida logam sebagai fotoanoda seperti ZnO [8], SnO₂ [9], dan TiO₂ [10]. Namun pada prakteknya, TiO₂ banyak digunakan sebagai fotoanoda karena memiliki rekombinasi interfasial elektron yang cepat dibandingkan dengan ZnO dan SnO₂ [11]. Sejauh ini, telah dilakukan pengembangan DSSC menggunakan *dye* dari ekstrak tumbuhan dengan fotoanoda menggunakan TiO₂ seperti *dye* dari ekstrak *Blue pea* dengan efisiensi sebesar 0,05%, buah naga dengan efisiensi sebesar 0,22%, *Lithospermum* dengan efisiensi sebesar 0,03%, dan wortel dengan efisiensi sebesar 0,00124% [12], [13]. Namun sayangnya, efisiensi yang dicapai masih relatif kecil. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan pigmen murni seperti beta karoten sebagai *dye* untuk DSSC.

Karakterisasi I-V dilakukan pada DSSC untuk menentukan besar efisiensi konversi energi yang dihasilkan. Selain itu, hasil karakterisasi I-V juga dapat menentukan parameter intrinsik dalam DSSC melalui pemodelan rangkaian setara dengan model diode tunggal [14]. Berdasarkan model diode tunggal untuk DSSC dilakukan *fitting nonlinier* menggunakan persamaan Shockley. Sehingga dapat diketahui parameter intrinsik sel surya seperti hambatan dalamnya. Oleh karena itu, analisis kurva I-V perlu dilakukan untuk mengetahui performa dari DSSC yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Metode pembuatan DSSC dimulai dengan membuat pasta TiO₂ (P25, Sigma Aldrich) yang dilarutkan dalam larutan (akuades, SDS, acetyl acetone, dan PEG 6000). Setelah itu pasta TiO₂ dilapiskan pada substrat ITO-Glass (1×1 cm²) dengan luas daerah aktif 0,5×0,5 cm² dengan metode *slip casting* sebagai lapisan fotoanoda. Lapisan TiO₂/ITO-Glass dipanaskan pada suhu 450 °C selama 30 menit. Lapisan TiO₂/ITO-Glass direndam dalam larutan *dye* yang mengandung β-karoten dan etanol selama 24 jam. Pembuatan elektroda lawan dengan karbon pada substrat ITO-glass dengan luas daerah aktif 0,5×0,5 cm². DSSC disusun membentuk *sandwich* dengan larutan elektrolit I/I₃.

Karakterisasi absorbansi dengan UV-Vis pada lapisan TiO₂/ITO-Glass. Karakterisasi I-V meter dengan kondisi gelap dan pencahayaan 1000 W/m² pada DSSC.

3. Hasil dan Pembahasan

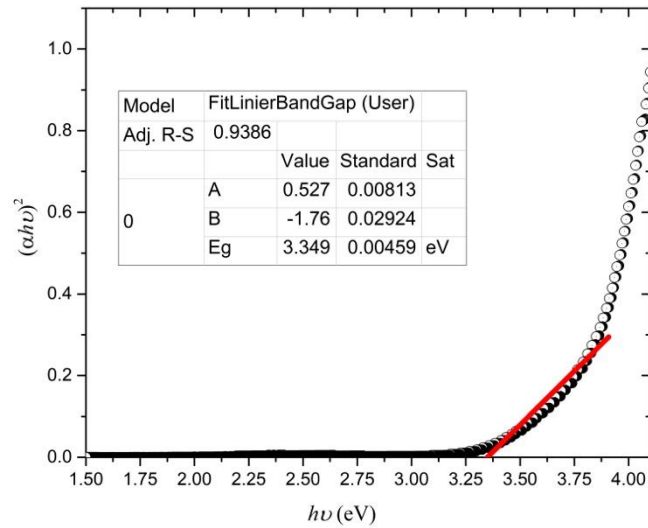
Absorpsi panjang gelombang cahaya pada *film* semikonduktor berhubungan dengan energi yang dibutuhkan elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi [15]. Transisi langsung pada elektron berpengaruh pada energi yang dibutuhkan sesuai dengan persamaan 1 [16].

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^{1/2}, \quad (1)$$

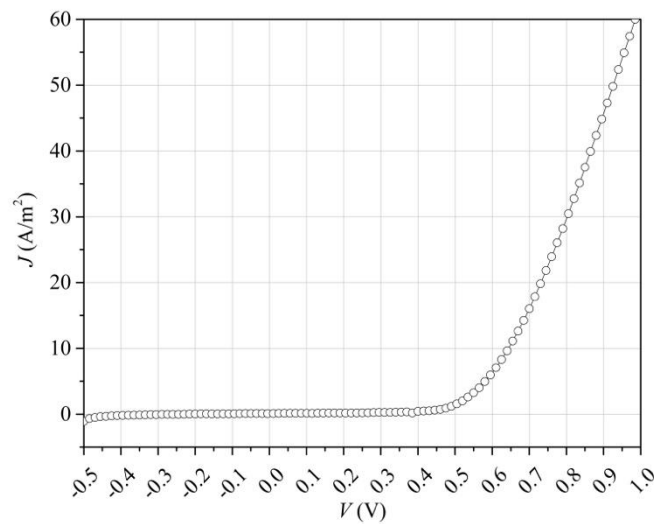
dimana α merupakan koefisien absorpsi, $h\nu$ merupakan energi foton, E_g merupakan *band gap* optik, dan A merupakan konstanta. Berdasarkan persamaan 1 dibuat grafik hubungan antara $h\nu$ terhadap $(\alpha h\nu)^2$ pada *film* TiO₂/ITO-Glass dengan nilai *band gap* berhubungan dengan garis perpotongan terhadap sumbu x [17]. *Band gap film* TiO₂/ITO-Glass didapatkan nilai sebesar 3,35 eV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

DSSC yang dibentuk struktur *sandwich* dengan fotoanoda komposit TiO₂-PANI/ITO-Glass, β-karoten sebagai *sensitizer*, larutan elektrolit, dan karbon/ITO-Glass sebagai elektroda lawan. Karakterisasi I-V dilakukan untuk mengetahui karakter DSSC sebagai sambungan p-n dan efisiensi yang dihasilkan. Gambar 2. menunjukkan grafik karakteristik I-V pada DSSC dalam kondisi gelap. Kurva I-V pada Gambar 2 menunjukkan kurva karakteristik catu maju pada sambungan p-n seperti pada dioda [18].

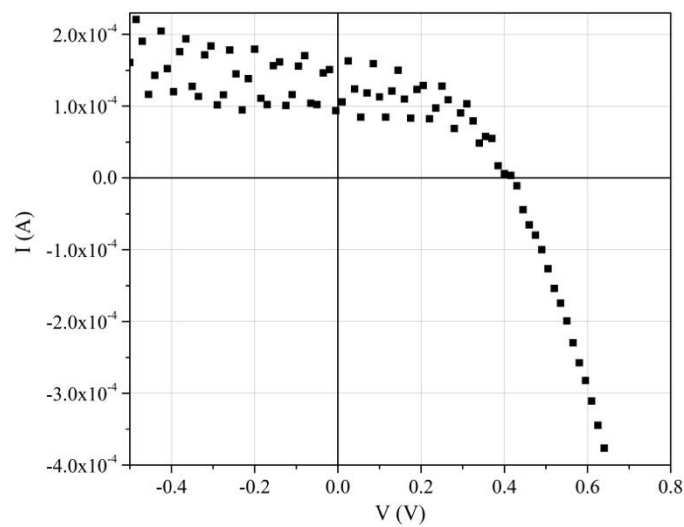
Grafik karakteristik I-V pada DSSC dengan pencahayaan 1000 W/m² ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem DSSC telah berhasil dibentuk ditandai dengan adanya kurva yang melewati kuadran I [19]. Hal ini menandakan adanya konversi energi foton menjadi listrik.



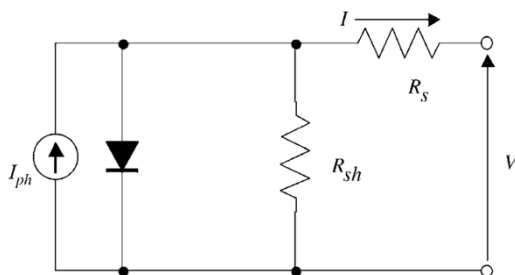
Gambar 1. Grafik fitting penentuan E_g film TiO_2/ITO -Glass



Gambar 2 Grafik I-V DSSC pada kondisi gelap



Gambar 3. Kurva I-V DSSC dibawah pencahayaan 1000 W/m^2



Gambar 4. Rangkaian setara sel surya dengan model diode tunggal

Analisis kurva I-V dilakukan melalui *fitting nonlinier* dengan bantuan originlab. Salah satu teori untuk menjelaskan karakteristik kurva I-V tunggal sel surya melalui pemodelan rangkaian setara pada model diode tunggal [14], [20], [21] seperti pada Gambar 4.

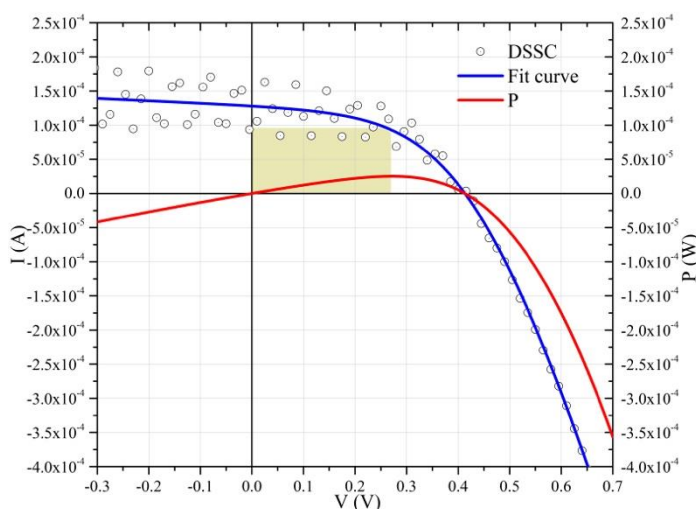
Untuk menentukan parameter-parameter yang berpengaruh dalam sel surya digunakan Persamaan Shockley untuk model dioda tunggal seperti pada Persamaan 2 [14].

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left\{ \frac{q(V + R_s I)}{nk_B T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \tag{2}$$

dimana I_{ph} merupakan arus akibat adanya foton, I_0 merupakan arus saturasi dioda, R_s merupakan hambatan seri, R_{sh} merupakan hambatan paralel, q merupakan muatan elektron, n merupakan faktor idealitas diode, k_B merupakan konstanta boltzman, dan T merupakan suhu.

Parameter-parameter pada Persamaan 2 berhubungan dengan karakteristik internal dalam struktur sel surya seperti R_s merepresentasikan hambatan dalam fotoanoda yang berkaitan dengan antarmuka terhadap substrat konduktif [22]. R_{sh} merepresentasikan hambatan dalam sambungan p-n sel surya [23]. Parameter R_s dan R_{sh} berhubungan dengan nilai I_{sc} dan V_{oc} yang dalam sel surya. Semakin rendah nilai R_s maka I_{sc} akan meningkat dan semakin besar R_{sh} maka V_{oc} akan akan menurun [23], [24]. Sehingga banyak dilakukan penelitian untuk mengoptimalkan kinerja sel surya untuk mendapatkan efisiensi yang besar dengan memvariasi nilai R_s [22] dan R_{sh} [25], [26].

Grafik karakteristik I-V pada DSSC dapat dimodelkan sebagai rangkaian setara pada model dioda tunggal seperti pada Gambar 4. Untuk menentukan parameter-parameter yang berpengaruh dalam sel surya digunakan persamaan Shockley untuk model dioda tunggal melalui persamaan 2 didapatkan hasil fitting seperti pada Tabel 1.



Gambar 4. Analisis kurva I-V DSSC dengan *fitting nonlinier* menggunakan persamaan Shockley untuk model diode tunggal

Tabel 1. Parameter hasil *fitting nonlinier* kurva I-V DSSC

Parameter	DSSC
$I_0(\mu A)$	0,57
N	3,00
$R_s(\Omega \text{ cm}^2)$	76,79
$R_{sh}(k\Omega \text{ cm}^2)$	7,15
$I_{ph}(mA)$	0,13
T (K)	300
$I_{sc}(mA)$	0,13
$V_{oc}(V)$	0,41
Pmax (W/m ²)	0,91
FF	0,4324
Effisiensi (%)	0,091

Berdasarkan hasil fitting yang dihasilkan didapatkan nilai hambatan seri yang cukup besar yang berpengaruh pada kecilnya nilai konversi energi yaitu 0,091%, namun nilai efisiensi lebih besar dibanding dengan DSSC menggunakan beta-karoten dari ekstrak tumbuhan sebesar 0,00124% [13].

4. Kesimpulan

Film TiO₂/ITO-Glass memiliki *band gap* yang lebar sebesar 3,35 eV. Sistem DSSC dengan menggunakan TiO₂ sebagai fotoanoda dan beta karoten sebagai sensitizer telah berjalan dengan hasil konversi energi sebesar 0,091%. Analisis kurva I-V DSSC menunjukkan adanya hambatan yang besar dalam sistem DSSC tersebut sebesar R_s 76,78 $\Omega \text{ m}^2$ dan R_{sh} 7,145 $k\Omega \text{ m}^2$.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan naskah artikel ini.

Daftar Rujukan

- [1] E. Gençer and R. Agrawal, "A commentary on the US policies for efficient large scale renewable energy storage systems: Focus on carbon storage cycles," *Energy Policy*, vol. 88, pp. 477–484, 2016.
- [2] M. Arshad and S. Ahmed, "Cogeneration through bagasse: A renewable strategy to meet the future energy needs," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 732–737, 2016.
- [3] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (version 46)," *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 23, no. 7, pp. 805–812, 2015.
- [4] B. O'regan and M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films," *Nature*, vol. 353, no. 6346, pp. 737–740, 1991.
- [5] M. Grätzel, "Dye-sensitized solar cells," *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.*, vol. 4, no. 2, pp. 145–153, 2003.
- [6] K.-H. Park, S. J. Kim, R. Gomes, and A. Bhaumik, "High performance dye-sensitized solar cell by using porous polyaniline nanotubes as counter electrode," *Chem. Eng. J.*, vol. 260, pp. 393–398, 2015.
- [7] H. M. Upadhyaya, S. Senthilarasu, M.-H. Hsu, and D. K. Kumar, "Recent progress and the status of dye-sensitized solar cell (DSSC) technology with state-of-the-art conversion efficiencies," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 119, pp. 291–295, 2013.
- [8] Y. Shi *et al.*, "Solid-State Synthesis of ZnO Nanostructures for Quasi-Solid Dye-Sensitized Solar Cells with High Efficiencies up to 6.46%," *Adv. Mater.*, vol. 25, no. 32, pp. 4413–4419, 2013.
- [9] H.-R. An, H. An, D.-H. Riu, and H.-J. Ahn, "Improved Photovoltaic Properties Of Dye-Sensitized Solar Cells Using Laser Patterned F-Doped SnO₂ Thin Films," *Arch. Metall. Mater.*, vol. 60, no. 2, pp. 1241–1245, 2015.

- [10] A. A. Khan, J. Islam, S. G. Ansari, H. Fouad, and Z. A. Ansari, "Effect of neodymium on the photoconversion efficiency of TiO₂ based dye sensitized solar cells," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 26, no. 3, pp. 1737–1742, 2015.
- [11] K.-N. Li, Y.-F. Wang, Y.-F. Xu, H.-Y. Chen, C.-Y. Su, and D.-B. Kuang, "Macroporous SnO₂ Synthesized via a Template-Assisted Reflux Process for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 5, no. 11, pp. 5105–5111, 2013.
- [12] M. R. Narayan, "Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 208–215, 2012.
- [13] R. Suryana, Khoiruddin, and A. Supriyanto, "Beta-carotene dye of daucus carota as sensitizer on dye-sensitized solar cell," *Mater. Sci. Forum*, vol. 737, pp. 15–19, 2013.
- [14] K. I. Ishibashi, Y. Kimura, and M. Niwano, "An extensively valid and stable method for derivation of all parameters of a solar cell from a single current-voltage characteristic," *J. Appl. Phys.*, vol. 103, no. 9, pp. 2–7, 2008.
- [15] M. Caglar, S. Ilican, and Y. Caglar, "Influence of dopant concentration on the optical properties of ZnO: In films by sol-gel method," *Thin Solid Films*, vol. 517, no. 17, pp. 5023–5028, Jul. 2009.
- [16] J. I. Pankove, *Optical processes in semiconductors*. Courier Corporation, 2012.
- [17] A. H. Kurda, Y. M. Hassan, and N. M. Ahmed, "Controlling Diameter, Length and Characterization of ZnO Nanorods by Simple Hydrothermal Method for Solar Cells," *World J. Nano Sci. Eng.*, vol. 5, no. 1, p. 34, Feb. 2015.
- [18] D. Sengupta, P. Das, B. Mondal, and K. Mukherjee, "Effects of doping, morphology and film-thickness of photo-anode materials for dye sensitized solar cell application – A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 356–376, Jul. 2016.
- [19] K. E. Jasim, "Solar Cells - New Approaches and Reviews," in *Dye sensitised solar cells—working principles, challenges and opportunities*, InTech.
- [20] A. Ortiz-Conde, F. J. García Sánchez, and J. Muci, "New method to extract the model parameters of solar cells from the explicit analytic solutions of their illuminated I-V characteristics," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 90, no. 3, pp. 352–361, 2006.
- [21] C. Zhang, J. Zhang, Y. Hao, Z. Lin, and C. Zhu, "A simple and efficient solar cell parameter extraction method from a single current-voltage curve," *J. Appl. Phys.*, vol. 110, no. 6, p. 64504, Sep. 2011.
- [22] J. D. Servaites, S. Yeganeh, T. J. Marks, and M. A. Ratner, "Efficiency Enhancement in Organic Photovoltaic Cells: Consequences of Optimizing Series Resistance," *Adv. Funct. Mater.*, vol. 20, no. 1, pp. 97–104, Jan. 2010.
- [23] N. Koide, A. Islam, Y. Chiba, and L. Han, "Improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells based on analysis of equivalent circuit," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 182, no. 3, pp. 296–305, Sep. 2006.
- [24] H. J. Snaith, L. Schmidt-Mende, M. Grätzel, and M. Chiesa, "Light intensity, temperature, and thickness dependence of the open-circuit voltage in solid-state dye-sensitized solar cells," *Phys. Rev. B*, vol. 74, no. 4, p. 45306, Jul. 2006.
- [25] J.-J. Huang, S.-P. Chiu, M.-J. Wu, and C.-F. Hsu, "Effect of titanium oxide compact layer in dye-sensitized solar cell prepared by liquid-phase deposition," *Appl. Phys. A*, vol. 122, no. 11, p. 971, Nov. 2016.
- [26] A. Scuto *et al.*, "Improvement of DSSC performance by voltage stress application," in *2016 IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS)*, 2016, p. PV-3-1-PV-3-6.