

Pengaruh Ketebalan Lapisan TiO_2 terhadap Performasi *Dye-Sensitized Solar Cells*

Nurrisma Puspitasari,* Nurul Amalia Silviyanti, Gatut Yudoyono, Gontjang Prajitno, Agus Rubiyanto, dan Endarko
Departemen Fisika-FIA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Intisari

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan generasi ketiga dari sel surya. Sel surya jenis ini tersensitisasi zat pewarna. DSSC dibentuk dengan struktur sandwich dimana terdapat lima bagian antara lain : kaca ITO (Indium Tin Oxide) sebagai substrat; TiO_2 sebagai bahan semikonduktor; dye (kunyit-manggis-daun alfalfa) sebagai donor elektron; elektrolit gel sebagai transfer elektron dan active carbon sebagai katalis pada elektroda pembanding. Serbuk TiO_2 berukuran nanometer didapatkan melalui sintesis dengan metode kopresipitasi. Dari penelitian yang telah dilakukan, efisiensi DSSC dengan ketebalan lapisan TiO_2 berukuran $10 \mu\text{m}$ lebih besar jika dibandingkan dengan ketebalan lapisan $20 \mu\text{m}$ dan $30 \mu\text{m}$. Hasil efisiensi DSSC tersebut yaitu 0.25% untuk ketebalan lapisan TiO_2 berukuran $10 \mu\text{m}$, 0.143% ketebalan lapisan TiO_2 berukuran $20 \mu\text{m}$, dan 0.195% untuk ketebalan lapisan TiO_2 berukuran $30 \mu\text{m}$.

ABSTRACT

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is the third generation of solar cells. DSSC is formed by sandwich structure, there are five parts: ITO glass (Indium Tin Oxide) as substrate; TiO_2 as semiconductor material; dye (chlorophyll-turmeric-mangosteen) as an electron donor; gel electrolyte as electron transfer and active carbon as a catalyst in the counter electrode. The synthesis of nanometer-sized TiO_2 powder is obtained by coprecipitation method. From the research that has been done, the efficiency of DSSC with $10 \mu\text{m}$ TiO_2 layer thickness bigger than $20 \mu\text{m}$ and $30 \mu\text{m}$ layer thickness. The DSSC efficiency result is 0.25% for $10 \mu\text{m}$ TiO_2 layer thickness, 0.143% for $20 \mu\text{m}$ TiO_2 layer thickness, and 0.195% for $30 \mu\text{m}$ TiO_2 layer thickness.

KATA KUNCI: Dye Sensitized Solar Cell, dye, thickness
<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v14i1.3553>

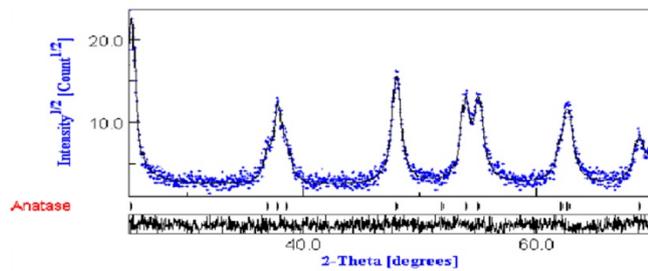
I. PENDAHULUAN

Sel surya merupakan sebuah alat semikonduktor *p-n junction*, yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Pengubahan ini disebut efek photovoltaik yang merupakan dasar dari proses konversi cahaya matahari (berupa foton) menjadi listrik [1]. Saat ini jenis sel surya mengalami perkembangan dari sel surya konvensional yang membutuhkan material silikon sebagai bahan utamanya sampai dengan sel surya yang tersensitisasi zat pewarna. Sel surya yang tersensitisasi zat pewarna dikembangkan oleh Grätzel yang disebut dengan sel Grätzel atau *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC) atau sel surya berbasis pewarna tersensitisasi (SSPT) [2]. Proses produksi yang sederhana dan biaya produksi yang murah merupakan salah satu daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC.

DSSC terdiri dari lima bagian penting antara lain: kaca konduktif transparan, bahan semikonduktor yang dilapiskan pada kaca konduktif transparan, dye (zat pewarna) yang terbuat dari bahan sintetis maupun bahan alam, dan elektrolit. Sel ini terdiri dari lapisan semikonduktor yang direndam dalam sebuah fotosensitizer (dye atau zat pewarna). Dye

digunakan untuk menggantikan material inorganik semikonduktor pada sel surya. Proses fotosintesis yang mengubah energi cahaya menjadi energi kimia merupakan dasar pendekatan kimiawi untuk proses perubahan energi cahaya menjadi energi listrik pada DSSC. Dye pada DSSC berperan sebagai penangkap foton yang kemudian terjadi proses eksitasi elektron pada molekul dye sehingga menghasilkan energi listrik. Kemampuan dye menyerap foton merupakan sesuatu yang sangat penting, begitu juga dengan lapisan semikonduktor yang berfungsi sebagai tempat terserapnya dye. Lapisan semikonduktor dengan bahan dasar TiO_2 secara umum performanya masih belum tergantikan [3]. Dari penelitian yang dilakukan Nurul dan Nurrisma [4], lapisan semikonduktor dari bahan ZnO dan MgO menghasilkan efisiensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan TiO_2 sebagai semikonduktornya. Menurut teori, apabila semakin banyak dye yang terserap pada lapisan semikonduktor, maka semakin banyak pula elektron yang diproduksi untuk menghasilkan arus. Maka, timbul pertanyaan apakah lapisan semikonduktor yang lebih tebal dapat menghasilkan efisiensi DSSC yang lebih tinggi. Sehingga perlu diketahui mengenai berapakah ketebalan lapisan semikonduktor yang baik agar dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Sejauh ini fotoanoda yang digunakan adalah lapisan semikonduktor nanopartikel TiO_2 berfase anatase dengan ketebalan $10 \mu\text{m}$. Selanjutnya akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh ketebalan lapisan semikonduktor dari bahan TiO_2 seba-

*E-MAIL: nurrisma@physics.its.ac.id



Gambar 1: Hasil pola difraksi sinar x pada serbuk TiO₂.

gai fotoelektroda terhadap hasil efisiensi DSSC.

II. METODOLOGI

Sintesis nanopartikel dan pasta TiO₂

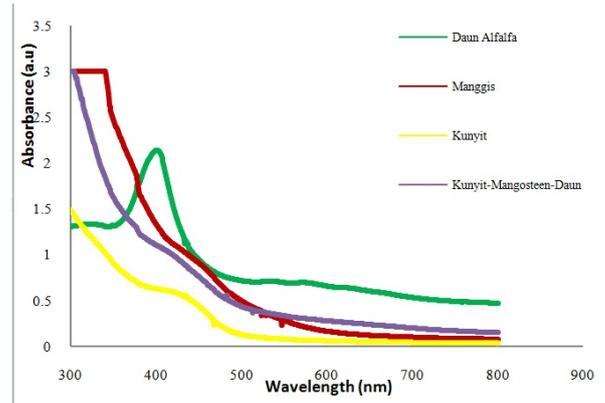
Sintesis nanopartikel TiO₂ dilakukan dengan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi dilakukan dengan mencampurkan asam dan basa sehingga memperoleh endapan bahan yang diinginkan. Sintesis serbuk nanopartikel TiO₂ [5] dengan proses: 20 mL TiCl₃ dicampurkan dengan 100 ml aquades dan diaduk selama 1 jam. Tetap dalam keadaan diaduk, larutan tersebut kemudian ditetesi NH₄OH hingga larutan mencapai pH 9. Setelah mencapai pH 9 hentikan penetesan NH₄OH dan biarkan terus diaduk hingga larutan menjadi warna putih pekat. Selanjutnya larutan tersebut diendapkan pada temperatur kamar dan tertutup rapat selama 24 jam. Selanjutnya apabila larutan sudah mengendap, maka dilakukan pencucian larutan dengan menambahkan 200 ml aquades. Pencucian diulang kembali sampai didapatkan larutan dengan pH 7. Setelah diperoleh endapan dengan pH 7, dilakukan kalsinasi dengan temperatur 400°C dengan waktu tahan 3 jam hingga terbentuk TiO₂ dengan fase anatase [5].

Pasta TiO₂ dibuat dari serbuk nanopartikel TiO₂ yang telah digerus dengan mortar dengan menambahkan 1,4 ml aquades kedalamnya. Kemudian ditambahkan 0,3 gram PEG 1000, 0,7 ml asamasetat, 1 ml acetylacetone dan 0,7 ml triton X-100 (Merck) [6].

Pembuatan komponen dan Elektroda pada DSSC

Pada sisi kaca ITO berukuran 2 cm × 2 cm dibentuk area pembatas menggunakan plastik wrap untuk pendepositan TiO₂ di atas permukaan kaca konduktif yang sebelumnya telah diukur resistansinya. Pasta TiO₂ dideposisikan di atas area yang sudah dibentuk dengan metode *Doctor-Blade*. Setelah itu dilakukan pemanasan di atas hot plate dengan temperatur 450°C selama 15 menit. Ketebalan lapisan TiO₂ dikontrol dengan menggunakan plastik yang memiliki ketebalan 10 μm. Selanjutnya variasi ketebalan lapisan TiO₂ dapat dibentuk melalui plastik tersebut.

Dye yang digunakan pada penelitian ini adalah dye kurkumin dari ekstrak kunyit, dye klorofil dari daun alfalfa (*Medicago Sativa*) dan dye antosianin dari ekstrak manggis. Larutan dye dibuat dengan menambahkan 100 ml ethanol dan



Gambar 2: Spektrum absorpsi dyes.

HCl 1% pada 10 gr ekstrak. Adsorpsi dye dalam lapisan TiO₂ dilakukan dengan merendam lapisan tersebut kedalam larutan dye dengan waktu perendaman selama 24 jam.

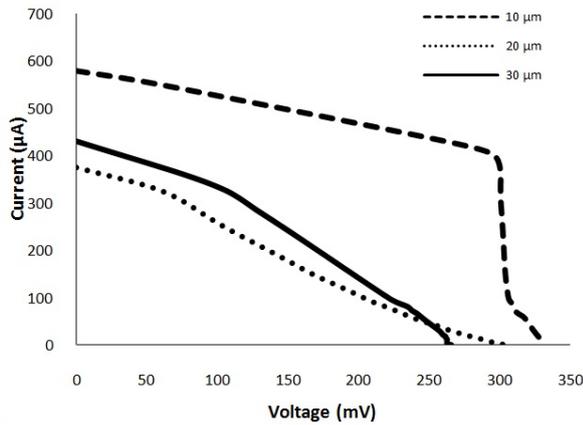
Pada penelitian ini digunakan elektrolit dalam bentuk gel karena elektrolit dengan fase gel lebih stabil dibanding fase cair [7, 8]. Elektrolit gel yang digunakan dibuat dari 7 gram PEG 1000, 25 mL kloroform dan elektrolit cair yang diaduk secara homogen dengan magnetic stirrer dengan temperatur 80o hingga diperoleh elektrolit bersifat gel. Elektrolit cair dibuat dari 3 gram KI yang dilarutkan dalam 10 mL acetonitrile dan 3 mL iodine [8, 9]. Selanjutnya, dilakukan pembuatan elektroda pembanding yang dibuat dari material karbon yang dilapiskan pada kaca konduktif ITO, dan hal tersebut juga dilakukan sebelumnya [10]. Pada penelitian tersebut digunakan material grafit, *black carbon* dan *active carbon* yang dilapiskan pada kaca konduktif dan diperoleh bahwa ketiga material terbukti efektif dapat digunakan sebagai elektroda pembanding.

Pembuatan Sandwich DSSC

Lapisan DSSC merupakan susunan dari elektroda kerja dan elektroda pembanding yang disusun flip over menyerupai susunan sandwich yang dimana terdapat elektrolit diantara kedua elektroda. Elektroda kerja merupakan elektroda yang terdiri dari kaca ITO yang dilapisi TiO₂ kemudian direndam pada larutan dye. Elektroda pembanding merupakan elektroda yang dilapisi oleh material karbon sebagai katalis.

Karakterisasi

Hasil sintesis struktur nanokristal TiO₂ dikarakterisasi dengan X-Ray diffraction (XRD). Spektrum absorpsi larutan dye klorofil diukur menggunakan UV-Vis Spectrophotometer. Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) menggunakan I-V meter. Data keluaran dan alat I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Dari grafik hubungan tersebut dapat diketahui karakteristik sel DSSC yang dibuat dengan menganalisa parameter sel-selnya seperti; tegangan *open-circuit* (V_{oc}), arus *short circuit* (I_{sc}), *maximum power point* (MPP), tegangan dan arus pada MPP (VMPP dan IMPP), *fill factor* (FF) dan efisiensi.



Gambar 3: Hasil karakterisasi I-V DSSC variasi ketebalan lapisan TiO₂.

TABEL I: Hasil karakterisasi DSSC dengan variasi ketebalan lapisan TiO₂.

Nama Sel	Ketebalan lapisan (µm)	V _{oc} (mV)	I _{sc} (A)	FF (%)	η (%)
A	10	330	580	24,5	0,25
B	20	305	375	23,5	0,14
C	30	293	430	29,0	0,19

III. HASIL DAN DISKUSI

Karakterisasi awal yang dilakukan adalah menentukan fase serbuk TiO₂ yang terbentuk dengan alat XRD (X-Ray Diffraction). Dari hasil XRD pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa puncak difraksi yang dihasilkan terlihat pada sudut 25° dan 48°. Sehingga jika disesuaikan dengan database software Match diketahui bahwa TiO₂ yang terbentuk berfase anatase. Dan dengan pengolahan data XRD pada software Maud diketahui bahwa TiO₂ yang terbentuk berukuran 14 nm.

Hasil pengujian absorbansi dye klorofil dari cahaya dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil grafik absorbansi pada Gambar 2, diketahui bahwa pada semua jenis dye yang digunakan pada penelitian ini memiliki spektrum absorbansi cukup lebar yang

berkisar antara 300-700 nm dan jangkauannya lebih lebar untuk wilayah panjang gelombang ultraviolet dibandingkan untuk panjang gelombang cahaya tampak. Dari data yang terbacapadaspektrofotometer UV-Vis, puncak absorbansi untuk dye klorofil terletak pada 328 dan 400 nm; puncak absorbansi dye kunyit terletak pada 300 dan 435 nm; puncak absorbansi dye manggis terletak pada 333 dan 429 nm; dan puncak absorbansi campuran 3 dye (klorofil-kunyit-manggis) terletak pada 300 dan 432 nm.

Pada hasil karakterisasi I-V untuk variasi ketebalan lapisan TiO₂, hasil efisiensi DSSC dengan ketebalan lapisan TiO₂ berukuran 10 µm lebih besar jika dibandingkan dengan ketebalan lapisan 20 µm dan 30 µm sebagai katalisnya. Data hasil karakterisasi dapat dilihat pada Tabel I.

Pada DSSC ini dihasilkan nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}) sebesar 293-330 mV. Nilai arus *short circuit* yang dihasilkan pada DSSC jenis pertama ini adalah 375-580 µA. Karakterisasi tegangan dan arus pada DSSC jenis ketiga dengan variasi ketebalan lapisan TiO₂ ditunjukkan pada Gambar 3. Pada DSSC dengan variasi ketebalan lapisan TiO₂ untuk semua jenis DSSC didapatkan hasil arus yang lebih baik pada saat DSSC memiliki ketebalan lapisan TiO₂ 10 µm. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kalyanasundaram dan Grätzel pada tahun 1998 [11] bahwa efisiensi DSSC akan menunjukkan hasil yang baik jika ketebalan lapisan TiO₂ berkisar 10 µm. Ketebalan lapisan TiO₂ yang digunakan pada DSSC berpengaruh terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan. Ketebalan lapisan TiO₂ berpengaruh terhadap foton yang dapat diserap oleh dye dan banyaknya dye yang dapat teradsorpsi. Grafik hasil karakterisasi I-V untuk variasi katalis dapat dilihat pada Gambar 3.

IV. SIMPULAN

Prototype DSSC telah berhasil dibuat dan dapat mengkonversi energi cahaya menjadi listrik. Hasil efisiensi DSSC dengan ketebalan lapisan TiO₂ 10 µm nilainya lebih besar jika dibandingkan dengan yang memiliki ketebalan 20 µm dan 30 µm. Hasil Efisiensi DSSC tersebut yaitu 0,25% untuk ketebalan lapisan TiO₂ 10 µm, 0,143% ketebalan lapisan TiO₂ 20 µm, dan 0,195% untuk ketebalan lapisan TiO₂ 30 µm.

- [1] G. Konstantatos, S.A. McDonald, S. Zhang, P.W. Cyr, E.J. Klem, L. Levina, E.H. Sargent, "Solution-processed PbS quantum dot infrared photodetectors and photovoltaics", *Nature Materials*, vol. 4, no. 2, pp. 138-142, 2005.
- [2] Oregon dan M. Grätzel, "Low-Cost, High Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films", *Nature*, vol. 353, issue 6346, pp. 737-740, 1991.
- [3] B.K. Lee, dan J.J. Kim, "Enhanced efficiency of dye-sensitized solar cells by UV-O₃ treatment of TiO₂ layer", Department of Material Science and Engineering, Seoul National University, 2008.
- [4] N.A. Silvianty, N. Puspitasari, dan Endarko, "Analisa Perbandingan Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan

Bahan Semikonduktor TiO₂, ZnO dan MgO Sebagai Photoelektroda", Seminar Fisika dan Aplikasinya 2013, ISSN 2086-0773 2 2 2013.

- [5] H.N. Widaryanti, "Pembentukan Nanopartikel TiO₂ Fasa Anatase dan Rutile dengan Metode Bervariasi", Tugas Akhir, Fisika-ITS, Surabaya, 2010.
- [6] L.J. Kook, B.-H. Jeong, S.-I. Jang, Y.-G. Kim, Y.-W. Jang, S.-B. Leen, M.-R. Kim, "Preparations of TiO₂ pastes and its application to light-scattering layer for dye-sensitized solar cells", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 15, pp. 724-729, 2009.
- [7] H. Hug, M. Bader, P. Mair, T. Glatzel, "Biophotovoltaics: natural pigments in dye-sensitized solar cells", *Appl. Energy*, vol. 115,

- pp. 216-255, 2014.
- [8] N. Puspitasari, N.A. Silviyanti, G. Yudoyono, Endarko, "Effect of Mixing Dyes and Solvent in Electrolyte Toward Characterization of Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes as The Sensitizer", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **214**, 012022, 2007.
- [9] A. Maddu, M. Zyhri, Irmasyah, "Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye", *Makara Teknologi*, vol. 11, no. 2, pp. 78-84, 2007
- [10] K. Kalyanasundaram, M. Grätzel, "Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices", *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 177, pp. 347-414, 1998.
- [11] N. Puspitasari, S.R. Adawiyah, M.N. Fajar, G. Yudoyono, A. Rubiyanto, Endarko, "Pengaruh Jenis Katalis Pada Elektroda Pembanding Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell Dengan Klorofil Sebagai Dye Sensitizer", *J. Fis dan Apl.*, vol. 13, no. 1, pp. 30-33, 2017.