

Pelapisan TiO₂ di atas FTO dengan Teknik *Slip Casting* dan *Spin Coating* untuk Aplikasi DSSC

Deni Yulika, Kusumandari, Risa Suryana

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jalan Ir. Sutami No. 36A Kentingan Surakarta
deniyulika016@gmail.com

Abstrak – Pelapisan TiO₂ di atas substrat FTO telah dibuat dengan teknik *slip casting* dan *spin coating* untuk aplikasi pada sel surya struktur DSSC. *Dye* antosianin sebagai fotosensitizer, TiO₂ fase *anatase* sebagai elektroda kerja, lapisan karbon sebagai elektroda lawan, dan elektrolit I⁻/I₃⁻ digunakan sebagai bahan penyusun DSSC. Analisa kurva karakteristik I-V menghasilkan efisiensi sebesar $0,9 \times 10^{-2} \%$ dengan teknik *slip casting* dan $1,8 \times 10^{-2} \%$ dengan teknik *spin coating*. Pelapisan TiO₂ teknik *spin coating* dapat meningkatkan kinerja DSSC dua kali lebih besar daripada teknik *slip casting*. Hal ini disebabkan teknik *spin coating* memiliki homogenitas lapisan TiO₂ yang terkalsinasi dengan baik pada substrat sehingga mampu menyerap *dye* dengan optimal.

Kata kunci: Antosianin, DSSC, *slip casting*, *spin coating*.

Abstract – Deposition of TiO₂ on FTO substrates have been performed using *slip casting* and *spin coating* methods for DSSC application. Anthocyanin dye as photosensitizer, TiO₂ anatase phase as working electrode, a carbon layer as counter electrode, and I⁻/I₃⁻ electrolyte are used as component materials of DSSC. I-V characteristic curves analysis resulted efficiency of $0,9 \times 10^{-2} \%$ by *slip casting* method and $1,8 \times 10^{-2} \%$ by *spin coating* method. Deposition of TiO₂ using *spin coating* method can improve the performance of DSSC two times greater than the *slip casting* method. It is considered that *spin coating* method has the calcined-TiO₂ layers more homogeneous than *slip casting* method. Therefore, the calcined-TiO₂ layers produced by *spin coating* method can absorb dyes optimally.

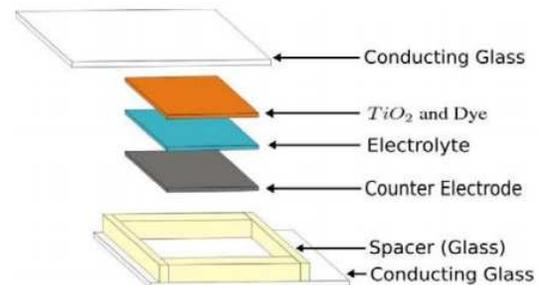
Key words: Anthocyanin, DSSC, *slip casting*, *spin coating*.

I. PENDAHULUAN

Posisi Indonesia terletak di garis khatulistiwa dan memiliki iklim tropis sehingga menyebabkan pancaran sinar matahari yang diterima sangatlah besar. Sinar matahari merupakan sumber energi utama yang tidak akan habis jika dipakai manusia dalam pemenuhan kebutuhannya. Sesuai dengan prinsip kerja sel surya yaitu dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik, maka Indonesia memiliki potensi sumber tenaga surya yang sangat besar sebagai sumber energi alternatif.

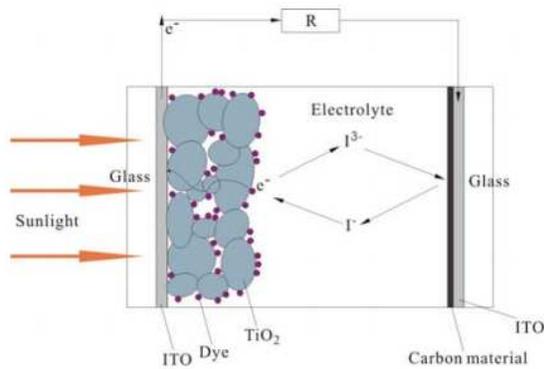
Generasi sel surya ada tiga diantaranya sel surya berbahan silikon, sel surya lapisan tipis (*thin film*), dan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) [1]. Proses pembuatan sel surya berbahan silikon dan sel surya lapisan tipis memerlukan biaya yang sangat mahal sehingga muncul sel surya organik yaitu DSSC yang mempunyai kelebihan seperti harganya murah, proses pembuatan mudah, dan ramah lingkungan.

DSSC memiliki tiga komponen utama yaitu elektroda kerja, elektroda lawan, dan larutan elektrolit. Elektroda lawan dan elektroda kerja disusun dalam bentuk *sandwich* dengan elektrolit redoks sebagai pemisah diantara keduanya. Elektroda kerja dilapisi oleh lapisan TiO₂. Elektroda lawan dilapisi oleh karbon. Keduanya terbuat dari substrat kaca transparan yang konduktif, salah satunya adalah FTO. Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks I⁻/I₃⁻. Susunan DSSC dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Struktur DSSC [2]

Prinsip kerja DSSC dijelaskan pada **Gambar 2**. DSSC mampu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Energi dari foton mengenai *dye* yang melekat pada permukaan TiO₂ menyebabkan elektron tereksitasi. Eksitasi ini terjadi dari pita valensi yaitu HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) ke pita konduksi yaitu LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*). Elektron dari pita LUMO berpindah ke pita konduksi TiO₂. Hal ini terjadi karena energi pita konduksi TiO₂ lebih rendah daripada energi pita LUMO [3].



Gambar 2. Prinsip kerja DSSC [2]

Parameter yang menentukan baik atau tidaknya suatu TiO₂ digunakan sebagai lapisan semikonduktor pada DSSC selain pada ukuran partikelnya yang kecil, juga dari ketebalan lapisan TiO₂ yang meliputi struktur permukaan dan diameter pori antar partikel TiO₂ sebagai difusor *dye*. Oleh karena itu, penelitian ini fokus kepada fabrikasi lapisan TiO₂ yang optimal untuk aplikasi DSSC.

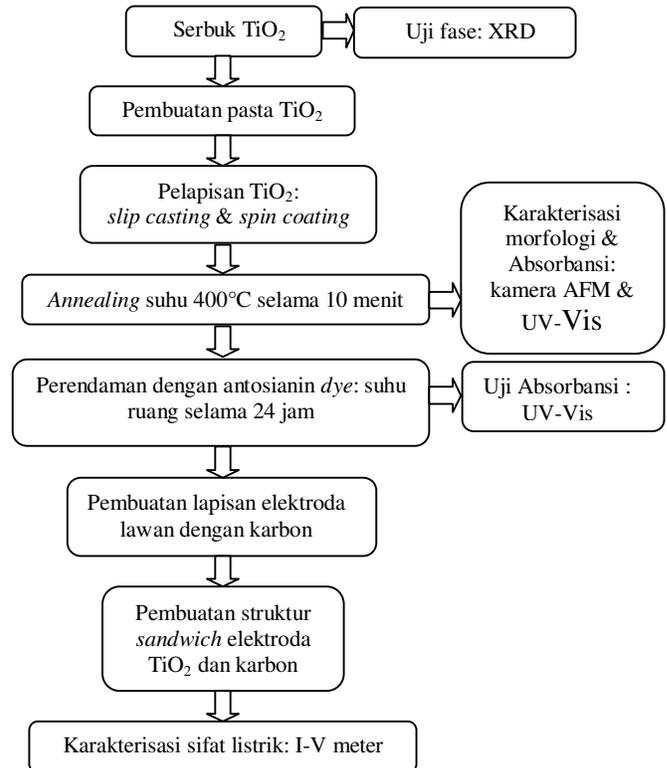
Beberapa metode deposisi TiO₂ di atas TCO diantaranya yaitu *doctor blade*, *spray*, *slip casting*, dan *spin coating*. Metode *doctor blade* mampu membuat lapisan tipis sekitar 15 μm tetapi alat ini masih jarang ditemui dan harganya mahal [4]. Metode *spray* menggunakan alat *airbrush* yang tersusun dari jarum, pipa kecil, dan pompa udara. Mekanisme kerjanya diawali dengan proses pembuatan larutan TiO₂. Larutan TiO₂ (0,25 M) dimasukkan dalam tabung *airbrush*, kemudian disemprotkan (*spray*) ke atas substrat TCO dengan tekanan yang cukup tinggi berasal dari kompresor [5]. Metode *slip casting* merupakan metode paling murah jika dibandingkan dengan metode yang lainnya. Alat yang digunakan juga mudah ditemukan. Untuk meratakan TiO₂ yang sudah dideposisikan di atas TCO, hanya dibutuhkan *spatula*. Metode ini memiliki ketebalan bergantung pada selotip yang diberikan [6]. Metode *spin coating* merupakan metode yang digunakan untuk meratakan lapisan di atas suatu substrat dengan memanfaatkan gaya semu sentrifugal dengan menggunakan laju putar spin tertentu. Larutan yang digunakan harus homogen [7].

Penelitian ini difokuskan pada metode *slip casting* dan *spin coating* dengan ketebalan sama yaitu menggunakan selotip yang sama. Selanjutnya lapisan-lapisan TiO₂ ini digunakan dalam pembuatan struktur DSSC. Sifat listrik DSSC tersebut diukur dengan menggunakan *Keithley I-V* meter. Sedangkan morfologi lapisan TiO₂ dilihat menggunakan *High-Resolution Charge-Coupled Device* (CCD) kamera digital dari *Atomic Force Microscopy* (AFM). Fase TiO₂ ditentukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Absorbansi lapisan TiO₂ diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

II. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian terdiri dari pembuatan lapisan TiO₂ di atas *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) dengan teknik *slip*

casting dan *spin coating*, pembuatan komponen-komponen struktur DSSC yang meliputi *dye* antosianin, elektrolit, dan elektroda lawan, serta karakterisasi yang meliputi CCD kamera digital dari AFM *Park System XE-70* (*high resolution*= 1 μm), XRD *D8 Advance*, spektrofotometer UV-Vis *Lambda 25* dan *Keithley I-V* meter tipe 2602A *system source*. Prosedur penelitian secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan prosedur penelitian

Pasta TiO₂ dibuat dengan melarutkan 0,5 gr serbuk TiO₂ dalam 2 mL etanol untuk teknik *slip casting* dan melarutkan 0,5 gr serbuk TiO₂ dalam 4 mL etanol untuk teknik *spin coating*. Pasta tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan putar 300 rpm, agar larutan homogen. Selanjutnya pasta TiO₂ yang telah siap dilapiskan di atas permukaan FTO dengan teknik *slip casting* yaitu dengan cara meratakan pasta TiO₂ di atas permukaan FTO dengan *spatula*. Sedangkan teknik *spin coating* dilakukan dengan cara meneteskan pasta TiO₂ sampai permukaan FTO tertutup pasta TiO₂ dan diputar dengan kecepatan 1000 rpm selama 60 detik sampai 3 kali pelapisan.

Sesudah proses pelapisan, FTO yang telah terlapisi TiO₂ dibiarkan mengering di udara terbuka. Kemudian elektroda yang telah dibuat tersebut siap untuk dehidrolisis pada suhu 400°C selama 10 menit agar material organiknya menguap. FTO yang terlapisi TiO₂ digunakan sebagai elektroda kerja dalam struktur *sandwich* DSSC. Elektroda lawan dibuat dengan memberi lapisan karbon dari jelaga lilin ke atas

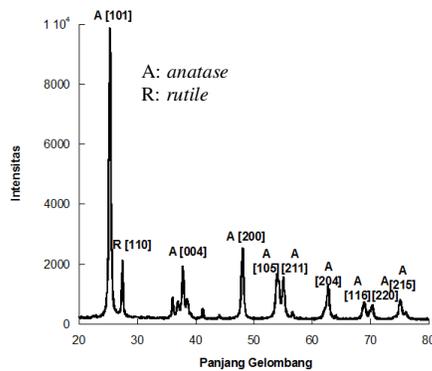
permukaan FTO, sedangkan elektrolit terbuat dari *polyethylenglicol* (PEG), *potassium iodide* (KI), dan *iodine* (I₂). *Dye* antosianin terbuat dari ekstraksi bunga mawar yang dilarutkan dalam metanol.

Pengujian tegangan dan arus yang dihasilkan DSSC dilakukan dengan menghubungkan *probe* positif pada substrat yang terlapis karbon dan *probe* negatif pada substrat yang terlapis TiO₂. Data yang diperoleh dari pengujian ini berupa grafik karakteristik I-V. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi gelap dan terang. Analisa grafik I-V akan diperoleh nilai efisiensi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Fase TiO₂

Serbuk TiO₂ dikarakterisasi menggunakan *XRD* dari sudut 20°-80°. Sinar-X yang digunakan berasal dari Cu dengan panjang gelombang 0,15406 nm. Dari hasil karakterisasi ini dapat dilihat fase kristalnya. Penentuan fase yang terjadi pada serbuk TiO₂ tersebut dilakukan dengan membandingkan puncak-puncak pada hasil karakterisasi dengan *JCPDS database anatase* dan *rutile*. Dari pola difraksi pada **Gambar 4** dapat diketahui bahwa serbuk dominan mengandung fase *anatase*. Fase *anatase* memiliki aktivitas fotokatalitik yang baik.



Gambar 4. Pola difraksi hasil karakterisasi XRD serbuk TiO₂

B. Analisa Morfologi Lapisan TiO₂

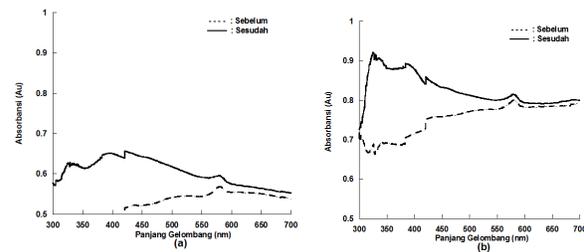
Gambar 5 menunjukkan foto morfologi permukaan lapisan TiO₂ yang dideposisi di atas FTO yang diambil oleh kamera AFM. Berdasarkan foto AFM morfologi lapisan TiO₂ yang dideposisi dengan teknik *slip casting* (**Gambar 5.a**) dan *spin coating* (**Gambar 5.b**) tampak berbeda. Dimana morfologi lapisan TiO₂ dengan teknik *spin coating* terlihat lebih rata dan homogen dibandingkan dengan morfologi lapisan TiO₂ hasil *slip casting*.



Gambar 5. Foto kamera AFM morfologi lapisan TiO₂ di atas FTO dengan (a) teknik *slip casting* dan (b) teknik *spin coating*

Pada **Gambar 5.a** memperlihatkan morfologi lapisan TiO₂ untuk teknik *slip casting* mengalami cacat/retak. Hal ini berarti pada lapisan TiO₂ terdapat *grain boundary* (batas butir). *Grain boundary* berpengaruh pada proses difusi elektron yang menuju elektroda tidak optimal [8]. Sehingga diperkirakan bahwa jumlah elektron yang berhasil mencapai elektroda lebih sedikit jika dibandingkan dengan teknik *spin coating* (**Gambar 5.b**).

Sifat optik (absorpsi) lapisan TiO₂ sebelum dan sesudah direndam *dye* ditunjukkan pada **Gambar 6**. Spektrum absorpsi diukur pada panjang gelombang 300-700 nm. **Gambar 6** memperlihatkan plot grafik absorpsi terhadap panjang gelombang dari lapisan TiO₂ yang belum diberi *dye* dan yang sudah diberi *dye* untuk teknik *slip casting* (**Gambar 6.a**) dan teknik *spin coating* (**Gambar 6.b**). Dari grafik tersebut terlihat bahwa penambahan *dye* akan meningkatkan kemampuan lapisan TiO₂ untuk menyerap cahaya yang datang.

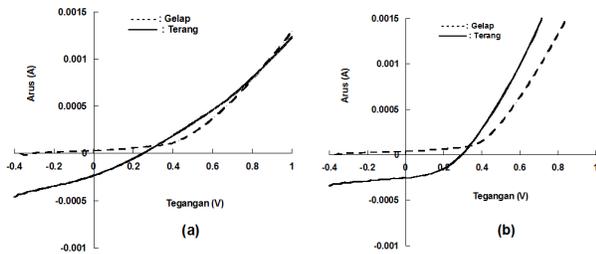


Gambar 6. Grafik sifat optik (absorpsi) lapisan TiO₂ sebelum dan sesudah direndam *dye* untuk teknik *slip casting* (a) dan teknik *spin coating* (b)

C. Analisa Karakteristik I-V

Performa dari sel surya berbasis *dye-sensitized* diketahui dengan pengukuran karakteristik kurva I-V. Pengukuran dapat dilakukan melalui pergeseran kurva I-V saat keadaan gelap dan terang. Kurva I-V saat keadaan terang harus berada di bawah kurva I-V saat keadaan gelap dan terletak pada kuadran IV, sehingga efisiensi dari DSSC dapat dihitung menggunakan nilai dari *Im*, *Vm*, *Ics*, dan *Voc*. *Im* dan *Voc* merupakan nilai tegangan dan arus yang menghasilkan daya maksimum. *Ics* adalah nilai arus ketika tegangan bernilai nol, sedangkan *Voc* adalah nilai tegangan ketika arus bernilai nol.

Karakteristik kurva I-V dapat dilihat pada **Gambar 7**. Dari nilai-nilai tersebut didapat efisiensi sebesar $0,9 \times 10^{-2}$ % dengan teknik *slip casting* dan $1,8 \times 10^{-2}$ % dengan teknik *spin coating*. Efisiensi yang dihasilkan dari teknik *spin coating* lebih besar dibandingkan dengan teknik *slip casting* dimungkinkan karena teknik *spin coating* memiliki homogenitas lapisan TiO₂ yang terkalsinasi dengan baik pada substrat yang menyebabkan partikel-partikel *dye* menempel sempurna pada permukaan TiO₂ sehingga meningkatkan penyerapan foton. Selain itu difusi elektron menuju elektroda tidak terhambat oleh batas area (retak) seperti diperlihatkan pada **Gambar 5**.



Gambar 7. Kurva karakteristik I-V teknik *slip casting* (a) dan *spin coating* (b)

IV. KESIMPULAN

Pelapisan TiO₂ di atas FTO telah berhasil dibuat dengan teknik *slip casting* dan *spin coating*. Efisiensi yang dihasilkan dari teknik *spin coating* lebih besar dibandingkan dengan teknik *slip casting*. Hal ini disebabkan karena teknik *spin coating* memiliki lapisan TiO₂ yang homogen dibandingkan lapisan TiO₂ teknik *slip casting*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa tahun 2013. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Material dan Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret atas dukungan alat eksperimen dan karakterisasi.

PUSTAKA

- [1] M. Grätzel, Dye-Sensitized Solar Cell. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Review*, vol. 4, 2003, pp. 145-153.
- [2] Y.S. Chen, J.N. Lee, S.Y. Tsai, and C.C. Ting, Manufacture of Dye-Sensitized Nano Solar Cells and their I-V Curve Measurements. *Proceedings of ICAM*, vol. 08, 2007, pp. 26-28.
- [3] J. Halme, Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests, M.Sc. *Thesis*, Helsinki University of Technology, Espoo, 2002.
- [4] Y. Liu, Y. Lu, Y. Zeng, C. Liao, J. Chung, and T. Wei, Nanostructured Mesoporous Titanium Dioxide Thin Film Prepared by Sol-Gel Method for Dye-Sensitized Solar Cell. *International Journal of Photoenergy*, 2011, pp. 1-9.
- [5] D. Mustikasari, A. Supriyanto, and R. Suryana, Karakteristik Lapisan TiO₂ Metode *Spray* dalam Dye-Sensitized Solar Cell, *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 01, no. 02, 2013, pp. 105-111.
- [6] R. Nuryadi, Efek Adsorpsi Dye ke dalam Lapisan TiO₂ dengan Metode Elektroforesis: DSSC Berbasis Lapisan TiO₂ Terbuat dengan Metode Slip Casting dan Metode Elektroforesis. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, vol.8, no.1, 2011, pp. 35-40.
- [7] H. Cui, H-S. Shen, Y-M. Gao, K. Dwight, and A. Wold, Photocatalytic Properties of Titanium (IV) Oxide Thin Films Prepared by Spin Coating and Spray Pyrolysis. *Materials Research Bulletin*, vol. 28, 1993, 195-201.
- [8] Y. Pang and P. Wynblatt, Effects of Nb-doping and Segregation on the Grain Boundary Plane Distribution in TiO₂, *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 89, 2006, pp. 666-671.