

Deposisi Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) di atas Gelas Transparan Konduktif dan Aplikasinya sebagai Elektroda Kerja pada Sel Surya Berbasis Dye (DSSC)

¹Bayu Wahyudi, ²Hendri Widiyandari

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains Dan Matematika, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto Semarang, Jawa Tengah, Indonesia Telp. (024) 70790933

²Corresponding Author's Email : h.widiyandari@undip.ac.id

ABSTRAK

Untuk mengantisipasi krisis energi beberapa dekade ke depan ini, sel surya tersensitasi zat pewarna (*dye*) telah dipertimbangkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial. Dalam penelitian ini, telah berhasil dibuat elektroda aktif dari nanopartikel TiO_2 yang dideposisikan diatas gelas transparan konduktif TCO dengan metode *Doctor blade*. Nanopartikel TiO_2 yang telah dideposisikan kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) untuk mengetahui struktur morfologi permukaan. Performa fotovoltaiik dari sel surya DSSC telah diukur berdasarkan nilai voltase sirkuit terbuka (V_{oc}) dan dikorelasikan terhadap rapat arus sirkuit pendek (J_{sc}). Dari hasil pengujian terhadap performa DSSC diperoleh efisiensi maksimum dengan $V_{oc} = 0.68$ V dan $J_{sc} = 4.34$ mA/cm².

Kata kunci: DSSC, nanopartikel TiO_2 , metode Doctor blade, fotovoltaiik, efisiensi konversi

ABSTRACT

To anticipate the energy crisis coming decades, dye sensitized solar cells dye has been considered as a source of renewable energy potentially. In this study, the active electrode was successfully fabricated from the TiO_2 nanoparticles at TCO transparent conductive glass with Doctor Blade method. TiO_2 nanoparticles layer then characterized using SEM (*scanning electron microscopy*) to determine the surface morphology structures. Photovoltaic performance of DSSC solar cells has been measured by the value of the open circuit voltage (V_{oc}) and correlated to the short-circuit current density (J_{sc}). From the test results on the performance of DSSC obtained maximum efficiency with $V_{oc} = 0.68$ and $J_{sc} = 4.34$.

Key-words : DSSC, TiO_2 nanoparticles, Doctor blade method, photovoltaic, power convention efficiency

PENDAHULUAN

Sel surya adalah suatu devais yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya sekarang didominasi oleh bahan silikon, namun mahalnya biaya produksi pembuatannya membuat biaya konsumsinya lebih mahal dari pada sumber energi fosil. Sehingga perlu mencari alternatif bahan lain dalam pembuatan sel surya [1].

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia [2]. DSSC tersusun atas sepasang elektroda dan *counter* elektroda. Elektroda terbuat dari substrat kaca, yang telah dilapisi

material konduktif dan transparan (TCO), umumnya digunakan *indium tin oxide* (ITO) dan *fluorine tin oxide* (FTO) [3]. Pada elektroda dilapisi oleh layer nanopartikel semikonduktor yang dilapisi oleh molekul zat pewarna (*dye*) sensitasi. Molekul *dye* berfungsi sebagai penangkap foton cahaya, sedangkan nanopartikel semikonduktor berfungsi menyerap dan meneruskan foton menjadi elektron. Pada *counter* elektroda diberi katalis platinum (pt), berfungsi untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Selain itu DSSC juga menggunakan media elektrolit sebagai medium transport muatan [4]. Elektrolit yang umum digunakan pada DSSC terdiri dari iodine (I) dan triiodide (I^3) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. DSSC merupakan salah satu jenis

dari *exitonic solar cell*, dimana ketika layer oksida menangkap energi foton cahaya maka akan menghasilkan *exciton* yang merupakan ikatan kuat dari pasangan *elektron-hole* [5].

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi. Selain itu lebar pita energinya yang besar ($> 3\text{eV}$), dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari [6]. Contoh semikonduktor yang digunakan sebagai elektroda kerja yaitu ZnO, CdSe, CdS, WO_3 , Fe_2O_3 , SnO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 dan TiO_2 [7]. Penggunaan semikonduktor TiO_2 memiliki tingkat efisiensi yang paling tinggi dari yang lain. Hal itu dikarenakan TiO_2 memiliki fase kristal yang reaktif terhadap cahaya, eksitasi elektron ke pita konduksi dapat dengan mudah terjadi apabila kristal ini dikenai cahaya dengan energi yang lebih besar daripada celah energinya [8]. Dari segi struktur materialnya TiO_2 memiliki struktur antarlain : nanokristalin, nanoporos, dan nanopartikel [9]. Pada penelitian ini akan dikaji penggunaan nanopartikel TiO_2 sebagai material dari elektroda aktif dan pengaruh suhu annealing lapisan TiO_2 terhadap sifat fotovoltaiik sel surya yang dihasilkan. Temperatur annealing memegang peranan penting dalam pembentukan fase TiO_2 yang akan ditumbuhkan diatas FTO. Fase yang terbentuk mempengaruhi pembentukan morfologi permukaan sehingga mempengaruhi jika luas permukaan tinggi maka tingkat absorpsi terhadap dye juga tinggi.

EKSPERIMEN

Preparasi nanopartikel TiO_2 untuk Pembuatan Elektroda Kerja

Elektroda kerja dibuat dengan cara menumbuhkan TiO_2 pasta (DSL 18NR-T, Dye Sol Industries Pty, Australia) diatas gelas transparan konduktif FTO dengan resistivitas $30\ \Omega$ (Dye Sol Industries Pty, Australia) dan berdimensi $5 \times 2.5\ \text{cm}$ dengan menggunakan metode Doktor Blade. Kemudian di-*annealing* ke dalam *furnace* dengan suhu pemanasan dari $450^\circ\text{C} - 650^\circ\text{C}$ dengan kenaikan suhu 50°C selama 1 jam. Elektroda kerja yang terbentuk kemudian dikarakterisasi agar diketahui struktur kristal yaitu dengan karakterisasi morfologi permukaan dari lapisan TiO_2 tersebut dengan karakterisasi SEM. Proses *finishing* pembuatan

elektroda kerja adalah absorpsi zat warna ruthenium complex (N719, Dyesol Australia) selama 24 jam pada elektroda kerja tersebut.

Pembuatan Sel Surya DSSC

Sebelum melakukan pembuatan sel surya DSSC, pembuatan *Counter electrode* dibuat dengan cara menumbuhkan lapisan platinum (PT-1, Dye Sol Industries Pty, Australia) diatas gelas transparan konduktif FTO menggunakan metode *Doctor blade*. Kemudian lapisan Pt di-*annealing* pada suhu 500°C selama 2 jam.

Asembly sel surya DSSC dilakukan dengan cara menggabungkan elektroda kerja dengan *counter elektroda* dan mengisi elektrolit (iodide/triiodide) ke dalam rongga yang dibuat kedua elektroda tersebut melalui lubang yang telah dibuat pada *counter electrode* dengan bantuan *vacuum pump* untuk menyedot elektrolit masuk ke sela-sela rongga diantara kedua elektroda.

Pengujian kinerja sel surya DSSC

Pengujian kinerja sel surya DSSC dilakukan dengan menggunakan source meter Keithley 2400 saat sel surya disinari dengan menggunakan *solar simulator* dari sumber lampu Xenon AM 1,5 dengan intensitas $100\text{mW}/\text{cm}^2$ (*Peccell Technology, Japan*) untuk pengujian unjuk kerja sel surya yang dihasilkan. Dari pengujian unjuk kerja akan diketahui parameter fotovoltaiik sel surya meliputi efisiensi, *fill factor*, serta karakteristik rapat arus vs tegangan (I-V).

HASIL DAN PEMBAHASAN

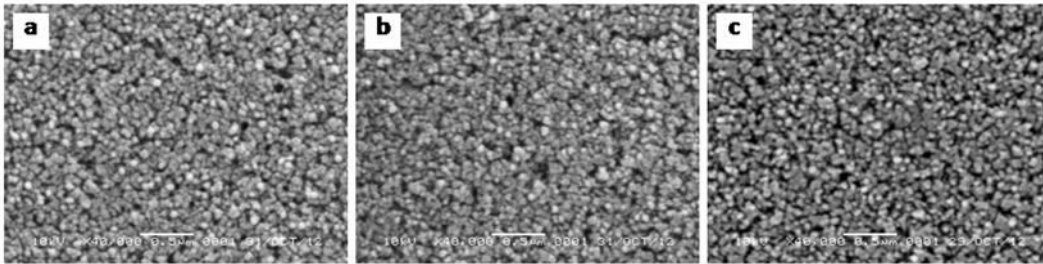
Lapisan tipis TiO_2 telah dideposisikan di atas gelas konduktif FTO (*Flourine Tin Oxide*) dengan menggunakan metode *Doctor blade*. Proses deposisi TiO_2 untuk membuat elektroda kerja dilakukan dengan variasi suhu annealing yaitu pada suhu 450°C , 500°C , dan 600°C . Setelah lapisan tipis TiO_2 terbentuk, lapisan dikarakterisasi menggunakan uji SEM (*scanning electron microscopy*) untuk mengetahui struktur morfologi permukaan lapisan TiO_2 [6]. Lapisan nanopartikel TiO_2 kemudian digunakan sebagai elektroda kerja pada sel surya DSSC.

Hasil citra SEM permukaan lapisan TiO_2 ditunjukkan pada gambar 4.1. Pada gambar ini menunjukkan mikrosuktur masing-masing lapisan yang di annealing dengan temperatur yang berbeda. Secara keseluruhan permukaan

TiO₂ terdiri dari partikel-partikel yang seragam/*uniform*. Dari hasil pengamatan, secara keseluruhan nanopartikel TiO₂ terdepositasi dengan sempurna ditunjukkan dengan tidak munculnya *crek* pada permukaan lapisan serta morfologi permukaan partikelnya sangat kasar. Penggunaan material berstruktur nano menghasilkan luas permukaan (*surface area*) yang tinggi. *Surface area* yang tinggi dan tingkat kekasaran permukaan yang besar akan mempengaruhi tingkat adsorpsi zat warna (*dye*). Diameter rata-rata partikel yang ditunjukkan pada citra SEM mendekati 25 nm. Penyebaran partikel yang merata dapat meningkatkan efisiensi penyebaran cahaya.

Menurut fasenya TiO₂ dibagi menjadi fase rutile dan fase anatase. Fase anatase memiliki struktur

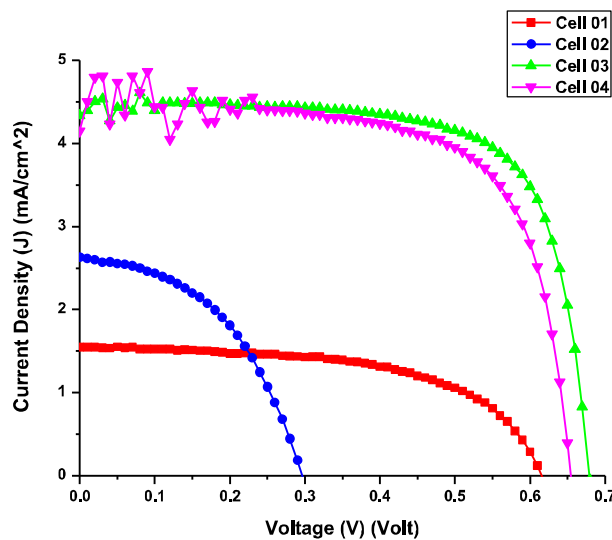
yang lebih terbuka dari pada fase rutile. Jika fase TiO₂ mendekati fase anatase murni maka luas permukaan semakin besar hal itu diperlukan untuk mendapatkan *photocurrent* yang lebih besar [10]. Pada penelitian ini variasi suhu yang dilakukan dimaksudkan untuk membuat TiO₂ mendekati fase anatase murni. Jika TiO₂ mendekati fase murni maka efisiensi fotovoltainya semakin besar [11]. Dari pengamatan permukaan lapisan TiO₂ tersusun atas bulir-bulir yang homogen. Hal ini menunjukkan bahwa pelapisan TiO₂ menggunakan metode Doctor blade membuat partikel-partikel dari lapisan tersusun rapi dan homogen.



Gambar 1. Citra SEM lapisan nanopartikel TiO₂ pada variasi temperatur annealing, (a) 450°C, (b) 500°C, dan (c) 600°C

Kemudian dengan pengujian sel surya masing-masing sampel dengan suhu annealing yang

berbeda diperoleh grafik hubungan rapat arus versus tegangan (Gambar 2).



Gambar 2. Grafik photocurrent density-voltage (J-V) DSSC pada variasi temperatur annealing elektroda aktif TiO₂..

Tabel 1. Hasil pengukuran parameter fotovoltaiik dari sel surya DSSC

No	Sampel	Suhu (°C)	V _{oc} (Volt)	I _{sc} (mA)	J _{sc} (mA/cm ²)	I _{max} (mA)	V _{max} (V)	P _{max} (mW)	Efisiensi (%)	Fill Factor
1	Cell 01	450	0.617	0.436	1.54	0.35	0.44	0.154	0.545	0.573
2	Cell 02	500	0.297	0.744	2.63	0.538	0.19	0.102	0.362	0.463
3	Cell 03	550	0.68	1.23	4.34	4.34	1.1	0.615	2.17	0.737
4	Cell 04	600	0.654	1.17	4.15	4.15	1.07	0.566	2	0.737

Dari data Tabel 3.1 dan Grafik 3.2 didapatkan bahwa sel surya Cell 03 (sel surya dengan suhu annealing 550°C) memiliki tingkat efisiensi yang paling tinggi. Sel surya ini (cell 03) memiliki *short-circuit current* (I_{sc}) mencapai lebih dari 1.23 mA/cm², *open-circuit voltage* V_{oc} 0.68 V, dan *fill factor* dengan rumus [12]

$$FF = \frac{(I \times V)_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

Maka didapatkan nilai fill factor 73.7%. dan efisiensi dengan rumus

$$\eta = \frac{(I \times V)_{max}}{P_{Light}} = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{P_{Light}}$$

Dan hasil efisiensi konversi energi surya $\eta = 2.17\%$. Untuk tiap kenaikan suhu annealing dari 450-550°C, nilai I_{sc} dan V_{oc} meningkat kemudian mulai turun pada suhu 600°C. Hal ini dimungkinkan pada suhu diatas 550°C lapisan TiO₂ berfase anatase kemudian mulai berubah fase sehingga nilai I_{sc} dan V_{oc}-nya mulai menurun. Secara konvensional, proses annealing pada fotoanoda dari bahan pasta TiO₂ ini dilakukan untuk menghilangkan sisa organik berasal dari para pasta prekursor TiO₂ dan menguatkan ikatan lapisan aktif dengan substratnya sehingga diharapkan molekul dye bisa lebih terserap ke nanopartikel TiO₂. Semakin banyak dye yang terserap artinya akan meningkatkan transfer elektron dari dye ke nanopartikel TiO₂.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa morfologi dari lapisan nanopartikel TiO₂ sangat penting pada kinerja sel fotovoltaiik. Kondisi *annealing* memiliki pengaruh signifikan terhadap morfologi film. Efek annealing lapisan TiO₂ terhadap PCE (*power conversion efficiency*) menunjukkan bahwa DSSC yang diassembli menggunakan elektroda aktif TiO₂ yang

diannealing pada suhu 550°C memberikan hasil unjuk kerja yang paling baik ditunjukkan dengan nilai efisiensi (PCE) yang paling besar 2,17%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial dari Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia, melalui hibah penelitian intensif riset dengan nomor kontrak 38.3/UN7.5/PG/2012 tahun anggaran 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soga, T. 2006. *Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion*. Department of Environmental Technology and Urban Planning Nagoya Institute of Technology Nagoya: Japan
- [2] Balraju, P., Suresh,P., Manish K., Roy, M.S., Sharma, G.D. 2009. *Effect of Counter Electrode, Thickness and Sintering Temperature of TiO₂ Electrode and TBP Addition in Electrolyte on Photovoltaic Performance of Dye Sensitized Solar Cell Using Pyronine G (PYR) Dye*. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 206 .53–63.
- [3] Purwanto, A., Widyandari, H., Jumari, A.2011. *Fabrication of High Performance Fluorine Doped Tin Oxidefilm Using Flame-Assisted Spray Deposition*. Thin Solid Films 520 (2012) 2092–2095
- [4] Callister, William D.2007. *Materials Science and Engineering : An Introduction 7th Edition*, John Wiley & Sons, Inc: New York.
- [5] Oelhafen, P., Schu"ler, A. 2005. *Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion*. Solar Energy 79. 110–121

- [6] Sastrawan, R.2006. *Photovoltaic modules of Dye Solar Cells*. Disertasi University of Freiburg: Freiburg.
- [7] Oku, T., Kakuta, N., Kobayashi, K., Suzuki, A., Kikuchi, K. 2011. *Fabrication and Characterization of TiO₂ Based Dye Sensitized Solar Cells*. Progress in Natural Science: Materials International 21. 122–126.
- [8] Halme, J.2002. *Dye Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : Technical Review and Preliminary Test*. Master Thesis of Helsinki: University of Technology.
- [9] Shah, A.1999. *Photovoltaic Technology : The Case for Thin film-Solar Cells*. John Wiley & Sons, Inc.: New York.
- [10] Amrina, Q.2008. *Sintesa Hidroksiapatit dengan Memanfaatkan Limbah Cangkang Telur: Karakterisasi Difraksi sinar-X dan Scanning Elektron Microscopy (SEM)*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.