

Pengaruh Waktu *Annealing* Fotoanoda TiO₂ terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)

Khudbatul Fiqrian*, Dahyunir Dahlan

Jurusan Fisika. FMIPA. Universitas Andalas

*khudbatulfiqrian09@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh waktu *annealing* fotoanoda TiO₂ terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC). Fotoanoda DSSC dibuat dalam bentuk lapisan TiO₂. Pembuatan lapisan TiO₂ diawali dengan pencampuran bahan *borid acid* dan *amoniumhexafluorotitanate* yang kemudian ditumbuhkan menggunakan metode *Liquid Phase Deposition* (LPD) selama 15 jam di atas permukaan substrat kaca *Indium doped Tin Oxide* (ITO). Lapisan TiO₂ yang telah tumbuh kemudian di *annealing* menggunakan *furnace*. Waktu *annealing* divariasikan 1 jam, 3 jam, 5 jam, 7 jam, 9 jam dan 11 jam. Temperatur *annealing* yang digunakan sebesar 450 °C. Lapisan TiO₂ yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan I-V dan UV-VIS. Karakterisasi I-V menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi 3,48% pada V_{oc} 0,65 volt dan J_{sc} 17,62 mA/cm² dimiliki oleh sampel dengan waktu *annealing* 7 jam. *Life time* tertinggi sebesar 14,92 μs dimiliki oleh sampel dengan waktu *annealing* 5 jam. Celah pita energi yang didapatkan dari karakterisasi UV-VIS sebesar 3,20 eV – 3,23 eV, sesuai dengan celah pita energi lapisan TiO₂ pada fase anatase.

Kata kunci : DSSC, efisiensi, fotoanoda, lapisan TiO₂, waktu *annealing*

ABSTRACT

The effect of annealing time on TiO₂ photoanode to the efficiency of Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) has been studied. Photoanode was made in the form of TiO₂ layer. Preparation of TiO₂ layer with contaminant material of boridacid and amoniumhexafluorotitanate was grown using Liquid Phase Deposition (LPD) method for 15 hours on Indium doped Thin Oxide (ITO). Substrate TiO₂ layers grown were annealed using a furnace. Annealing time was varied 1 hour, 3 hours, 5 hours, 7 hours, 9 hours and 11 hours. The annealing temperature was 450 °C. The formed TiO₂ layers were characterized using I-V and UV-VIS. Characterizations showed that the highest efficiency of 3.48% was obtained for annealing time of 7 hours at V_{oc} 0,65 Volt and J_{sc} 17,62 mA / cm². The highest life time is obtained for annealing time of 5 hours of 14.92 μs with efficiency of 3.36% at V_{oc} 0.62 volt and J_{sc} 13.82 mA / cm². The energy gap obtained from UV-VIS characterization is 3.20 eV - 3.23 eV. The value correspond to the energy gap of TiO₂ layer in the anatase phase.

Key words : DSSC, efficiency, photoanode, TiO₂ layer, annealing time

I. PENDAHULUAN

Krisis energi merupakan masalah besar yang akan dihadapi oleh semua negara. Cadangan sumber energi fosil dunia sejak tahun 2016 adalah 18 tahun untuk minyak bumi, 61 tahun untuk gas alam dan 147 tahun untuk batu bara (Kementrian ESDM RI, 2016). Krisis energi ini dapat dicegah dengan pengembangan sumber energi alternatif. Sumber energi alternatif yang paling menjanjikan adalah matahari. Sumber energi matahari sangat melimpah di alam, tidak polutif (ramah lingkungan), dapat diperbarui, dan mudah didapat. Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi mencapai 3×10^{24} joule/tahun (Li dkk., 2006).

Energi matahari dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain seperti energi kimia, energi panas dan energi listrik. Salah satu devais yang dapat mengkonversi dan membentuk pasangan elektron-hole yang dapat menghasilkan arus listrik (O'Regan dan Grätzel energi matahari menjadi energi listrik adalah sel surya. Sel surya menyerap sinar matahari., 1991).

Berdasarkan perkembangan teknologi, sel surya dibedakan menjadi tiga generasi : sel surya dari generasi pertama adalah silikon tunggal dan multi silikon, sel surya generasi kedua dengan tipe lapisan tipis (*thin film solar cell*), dan sel surya generasi ketiga adalah sel surya tersensitisasi zat warna atau *Dye Synthesized Solar Cell* (DSSC). DSSC mendapat perhatian khusus karena berpotensi untuk digunakan secara luas karena biaya pembuatannya yang mudah dan murah (Nafisah dkk., 2015).

DSSC pertama kali diperkenalkan oleh Brian O'Regan dan Michael Grätzel pada tahun 1991. Piranti yang mereka perkenalkan menggunakan TiO₂ berpori yang ditumbuhkan di atas

substrat kaca *Fluorine doped Tin Oxide* (FTO) sebagai fotoanoda, *rutheium-polipiridin* sebagai pencelup, iodida sebagai elektrolit dan platinum sebagai elektroda lawan (O'regan dan Grätzel, 1991).

Fotoanoda sangat menentukan efisiensi DSSC karena proses fotokimia yang berlangsung pada permukaannya (Pan dkk, 2013). Penelitian mengenai fotoanoda dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah dengan memvariasikan fotoanoda dari TiO_2 ke bahan lain seperti ZnO (Jiang dkk., 2007) dan WO_3 (Zheng dkk., 2010). Meskipun penelitian mengganti TiO_2 dengan bahan lain terus dilakukan, TiO_2 sebagai fotoanoda masih sangat diminati karena sifatnya yang lebih stabil. Oleh karena itu dilakukan penelitian dengan cara yang kedua yaitu mengubah nanostruktur TiO_2 menjadi bentuk lain seperti *nanowire* (Bounsanti dkk., 2011), *nanorod* (Jeng dkk., 2013), *nanotube* (Yodyingyong dkk., 2010) dan nanopori (Crepaldi dkk., 2003).

Pada penelitian ini dikaji pengaruh waktu *annealing* fotoanoda TiO_2 terhadap efisiensi DSSC dengan tujuan meningkatkan efisiensi dari devais yang dihasilkan dan mengetahui durasi waktu optimal untuk *annealing* fotoanoda TiO_2 .

II. METODE

2.1 Persiapan Substrat

Langkah pertama yang dilakukan adalah memotong substrat dengan ukuran 2,5 cm x 1 cm menggunakan *glass cutter*. Substrat dibersihkan dengan cara memasukkannya ke dalam gelas kimia yang telah berisi air deionisasi dengan posisi berdiri. Setelah itu dilakukan *ultrasonic cleaner*, pencucian dengan air deionisasi, pembersihan dengan *ethanol*, pembersihan dengan *acetone* masing-masing selama 15 menit. Terakhir substrat yang akan dipakai dipindahkan ke dalam *petri dish* kaca untuk dikeringkan selama 10 menit menggunakan oven pada suhu 100 °C (Dahlan dkk., 2017).

2.2 Sintesis Lapisan TiO_2

Lapisan TiO_2 dibuat dengan mencampurkan larutan $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ dan *Borid Acid*. Massa zat dari $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ ditimbang sebanyak 1,9797 gram dan *Borid Acid* sebanyak 1,2366 gram menggunakan neraca digital. Persamaan yang digunakan untuk menentukan massa adalah :

$$m = \frac{M \cdot M_r \cdot V}{1000} \quad (1)$$

dimana m adalah massa, M adalah molaritas, M_r adalah massa molekul relatif dan V adalah volume. Untuk melarutkan zat $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ dan *borid acid* perlu ditambahkan air deionisasi sebanyak 20 ml ke dalam botol. Zat yang sudah menjadi larutan kemudian dicampurkan pada botol kimia yang telah terdapat substrat ITO di dalamnya. Substrat ITO diletakkan secara horizontal dengan permukaan kaca yang konduktif menghadap ke atas supaya larutan yang dimasukan ke dalam botol dapat tumbuh di atas permukaan substrat kaca ITO. 5 ml larutan $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ dan 5 ml larutan *borid acid* dimasukan ke setiap botol. Semua botol yang telah berisi substrat kaca ITO dan campuran dari larutan $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ dan *borid acid* kemudian dibiarkan di dalam *water bath* selama 15 jam pada suhu ruang agar larutan mengendap diatas permukaan substrat kaca ITO. Setelah 15 jam kemudian, sampel diangkat dan dicelupkan dalam air deionisasi. Tujuannya agar serbuk-serbuk yang terbentuk dari proses pengendapan tidak terdapat lagi pada sampel. Pencelupan dilakukan sekedarnya agar semua larutan yang telah mengendap tidak terlepas dari permukaan kaca ITO. Sampel yang telah dicelupkan ke dalam air deionisasi selanjutnya diletakkan dalam *petri dish* kaca untuk dikeringkan didalam oven dengan suhu 100 °C selama 10 menit. Sampel yang sudah kering, selanjutnya diletakkan pada keramik yang telah dibersihkan dengan alkohol untuk di-*furnace*. Pemanasan pada *furnace* dilakukan pada temperatur *annealing* 450 °C. Pada penelitian ini *annealing* dilakukan dengan variasi 1, 3, 5, 7, 9 dan 11 Jam.

2.3 Pembuatan Elektroda Kerja

Elektroda Kerjayang digunakan pada penelitian ini adalah platinum yang ditumbuhkan pada permukaan substrat kaca FTO. Pemotongan kaca FTO dilakukan dengan cara yang sama seperti dengan pemotongan kaca ITO. Substrat kaca FTO yang telah terpotong dan dicuci dengan bersih, disusun secara berhadapan di dalam botol kimia yang telah berisi 20 ml air deionisasi. Larutan kimia yang akan dimasukkan ke dalam botol ini terbuat dari 16,24 mg K_2PtCl_4 dan 69,6 mg *ascorbid acid* yang dilarutkan dalam 4 ml air deionisasi untuk 4 botol kimia. Setelah itu, 1ml campuran antara K_2PtCl_4 dan *ascorbid* dimasukkan kedalam masing-masing botol yang berisi substrat FTO dan 20 ml air deionisasi di dalamnya. Selanjutnya, botol tersebut dimasukkan ke dalam oven yang suhunya sudah diatur mencapai $50^{\circ}C$. Proses ini dilakukan selama 2 jam dan diulang sebanyak 3 kali.

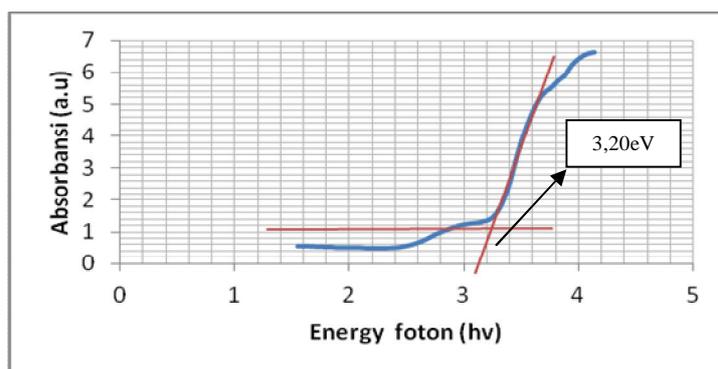
2.4 Pembuatan Devais Sel Surya Tipe Sandwich

Devais sel surya terdiri dari lapisan fotoanoda TiO_2 dan elektroda kerja platina. Lapisan fotoanoda TiO_2 yang telah terbentuk harus ditetesi oleh *dye Ruthenium N719* dengan konsentrasi 0.05 mM di dalam botol yang kedap cahaya selama 15 jam. Untuk melindungi dari cahaya, botol dilapisi dengan aluminium foil. Selanjutnya, sampel dikeluarkan dan diletakkan ke dalam *petri dish* yang sudah ditutupi dengan aluminium foilsampai sampel benar-benar kering. Lapisan Fotoanoda TiO_2 selanjutnya ditetesi dengan elektrolit dan kemudian menggabungkannya dengan elektroda kerja. Kedua komponen ditempelkan dengan selotip parafilm berbentuk persegi dan dibuat lingkaran ditengahnya, hal ini bertujuan untuk tempat lewatnya elektrolit. Setelah itu kedua elektroda dijepit dengan klip dan diberi pembeda agar dapat dibedakan antara elektroda pembanding dan elektroda kerja.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analsis Karakterisasi UV-VIS

Karakterisasi UV-VIS digunakan untuk menentukan energi gap dari lapisan TiO_2 yang terbentuk. Energi gap dari TiO_2 yang terbebetentuk dapat dinyatakan dengan hubungan antara absorbansi yang dihasilkan dengan energi foton yang digunakan. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hubungan antara absorbansi dengan energi foton

Berdasarkan hasil ekstrapolasi hubungan antara absorbansi dengan energi foton diperoleh energi gap sebesar 3,20 eV.

Tabel 1 Data energi gap terhadap waktu *annealing*

No	Waktu Annealing (Jam)	Energi Gap (eV)
1	1	3,20
2	3	3,20
3	5	3,20
4	7	3,20
5	9	3,22
6	11	3,23

Pada Tabel 1 terlihat bahwa energi gap yang didapatkan relatif stabil yaitu berkisar antara 3,20 eV – 3,23 eV. Hal ini sesuai dengan energi gap yang dimiliki oleh TiO₂ yang berfasa anatase.

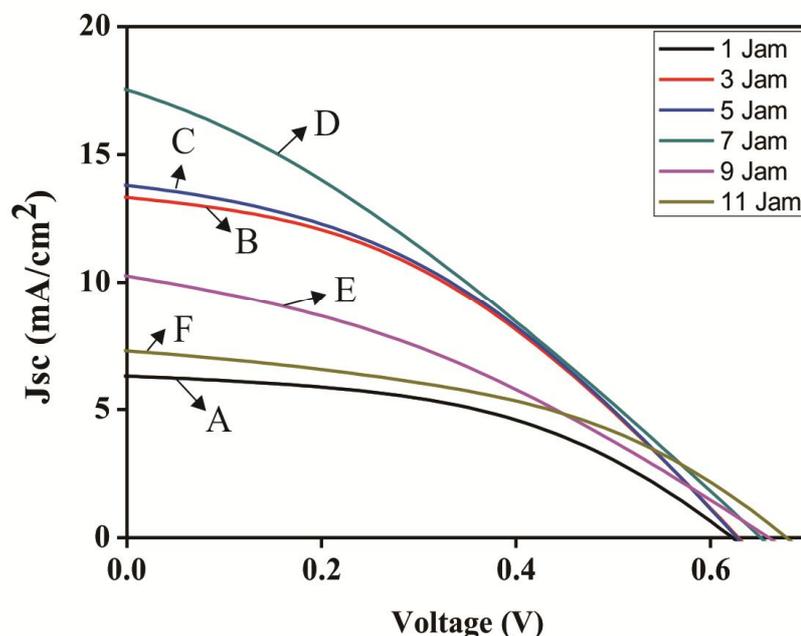
3.2 Karakterisasi Arus dan Tegangan

Dari hasil pengukuran karakterisasi I-V didapatkan nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}), rapat arus *short circuit* (J_{sc}), *Fill Factor* (FF), dan efisiensi dari DSSC. Nilai efisiensi tertinggi adalah 3,48% yang dimiliki oleh sampel dengan waktu *annealing* 7 jam. Pada Tabel 2 dapat diketahui nilai efisiensi dari semua sampel. Meningkatnya nilai efisiensi dari waktu *annealing* 1 jam ke 3 jam terjadi karena nilai rapat arus yang dihasilkan juga meningkat. Hal ini juga terjadi pada waktu *annealing* 5 jam dan 7 jam. Nilai efisiensi pada lama waktu *annealing* 9 jam dan 11 jam terlihat menurun karena pada waktu *annealing* tersebut nilai rapat arus yang didapatkan semakin mengecil.

Tabel 2 Hasil pengukuran I-V

Waktu Annealing (Jam)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Efisiensi (%)
1	0,62	6,32	0,46	1,83
3	0,62	13,36	0,40	3,31
5	0,62	13,82	0,39	3,36
7	0,65	17,62	0,30	3,48
9	0,65	10,29	0,34	2,33
11	0,67	7,31	0,44	2,17

Hubungan antara nilai rapat arus *short circuit* (J_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) dapat dilihat pada Gambar 2. Nilai rapat arus *short circuit* (J_{sc}) tertinggi adalah 17,62 mA/cm² yang dimiliki oleh sampel pada waktu *annealing* 7 jam dengan nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}) sebesar 0,65 volt.



Gambar 2 Grafik gabungan J-V (A) 1 Jam (B) 3 Jam (C) 5 Jam (D) 7 Jam (E) 9 Jam (F) 11 Jam

Meningkatnya nilai J_{sc} pada waktu *annealing* 7 jam disebabkan oleh nilai I_{sc} yang juga meningkat pada waktu tersebut. Nilai J_{sc} sangat bergantung terhadap nilai I_{sc} , semakin besar

nilai I_{sc} maka nilai J_{sc} juga akan semakin besar. Hasil pengukuran nilai I_{sc} terhadap waktu *annealing* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengukuran nilai I_{sc} terhadap waktu *annealing*

Waktu <i>Annealing</i> (Jam)	I_{sc} (mA)
1	0,0014
3	0,0030
5	0,0031
7	0,0040
9	0,0023
11	0,0016

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu *annealing* fotoanoda TiO₂ berpengaruh terhadap efisiensi DSSC. Semakin lama waktu *annealing* yang digunakan nilai efisiensi DSSC akan semakin besar dengan batas waktu *annealing* 7 jam. Waktu *annealing* fotoanoda TiO₂ pada waktu 7 jam memiliki nilai efisiensi 3,48% dengan energi gap yang dihasilkan 3,20 eV – 3,23 eV yang sesuai dengan energi gap pada fase anatase.

DAFTAR PUSTAKA

- Bousanti R, Carlino E, Giannini C, Altamura D., 2011, Hyperbanced Anatase TiO₂ Nanocrystals : Nano aqueous Synthesis, Growth Mechanism and Exploitation in Dye Sensitized Solar Cells, *Journal of the American Chemical Society*, Vol.133, hal : 1921619239.
- Chiba Y, Islam A, Watanabe Y, Komiya R, Koide N, Han L., 2006, Dye sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 45, hal. L638–40.
- Crepaldi E.L, Galo, J.A. A.S, Grosso D, Cagnol F, Ribot F, Sanchez C., 2003, Controlled Formation of Highly Organized Mesoporous Titania Thin Film : From Mesoporous Hybrids to Mesoporous Nanoanatase TiO₂, *Journal of the American Society*, Vol. 125, hal. 9770-9786
- Dahlan D, Khatijah S, Ade U.B, Bajli A, Umar A.A., 2017, Synthesis of two-dimensional nanowall of Cu-Doped TiO₂ and its application as photoanode in DSSCs, *Physica E*, Vol. 91, hal. 185-189.
- Grätzel, M., 2003, Dye-sensitized solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C, Photochemistry reviews* 4(2), hal.145-153.
- Grätzel, M., 2004, Conversion of Sunlight to Electric Power by Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology A, Chemistry*, Vol. 164, hal.3-1.
- Hardeli, Suwardani, Ricky, Fernando T, Maulidis, Sulvia. R., 2013, *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami*, Jurusan Kimia, FMIPA, UNP, Padang.
- Jane H., 2002, Dye Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells, technical review and preliminary tests, *Master Thesis of Helsinki University of Technology*.
- Jeng M.J, Wung Y.L, Chang L.B, Chow L., 2013, Dye-Sensitized Solar Cells with Anatase TiO₂ Nanorods Prepared by Hydrothermal Method, *International Journal of Photoenergy*, Vol.2013, hal. 280-253.
- Jiang C.Y, Sun X.W, Lo G.Q, Kwong D.L, Wang J.X., 2007, Improved Dye-Sensitized Solar Cells with a ZnO-Nanoflower Photoanode, *Applied Physics Letters*, Vol. 90, hal. 263 501.
- Khatijah S, Umar A, Nafisah S, Tan S, Balouch A, Shalleh M, Oyama M., 2014, Poriferous microtablet of anatase TiO₂ growth on an ITO surface for high-efficiency dye sensitized solar cells, *Solar energy materials and solar cells*, Elsevier, Vol. 122, hal.174-182.
- Li B, Wang L, Kang B, Wang P, Qiu Y., 2006, Review of Recent Progress in Solid State Dye Sensitized Solar Cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 90, hal. 549-573.

- Longo C, Marco A, Paoli D., 2003, Dye-Sensitized Solar Cells : A Successful Combination of Materials, Vol.14,No.6,hal. 889-901.
- O'Regan B, Gratzel M., 1991, A low-cost, High Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized, *Nature*, Vol. 353, hal. 737-740.
- Pan M, Huang N, Zhao X, Fu J, Zhong X., 2013, Enhanced Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cell by High Surface Area Anatase TiO₂ Modified P25 Paste, *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2013, hal. 760-685.
- Sahad M.R.N dan Susanti.D., 2012, Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Unjuk Kerja Semi Konduktor TiO₂ Sebagai *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Dengan Dye Dari Ekstrak Buah Naga Merah, *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1, ISSN. 2301-9271.
- Wang H, Xie C., 2003, Effect of annealing temperature on the microstructure and photocatalytic property of colloidal ZnO nanoparticles, Vol. 60, *Journal Physics and Chemistry of Solids*, hal. 2440-2444.
- Zheng H, Tachibana Y, Zadeh K., 2010, Dye-Sensitized Solar Cells Based on WO₃, *Langmuir*, Vol. 26, hal. 19148-19152.