

Sintesis Lapisan *Titanium Dioxide* dengan *Doping* Ganda *Copper-Silver* untuk Aplikasi Fotoanoda *Dye Sensitized Solar Cell*

Jijim Fadilla Warman*, Dahyunir Dahlan

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 2 Juli 2020
Direvisi: 27 Juli 2020
Diterima: 30 Juli 2020

Kata kunci:

lapisan tipis
TiO₂
doping Cu-Ag
sandwich
efisiensi

Keywords:

thin film
TiO₂
Cu-Ag *doping*
sandwich
efficiency

Penulis Korespondensi:

Jijim Fadilla Warman
Email: warmanjijim@gmail.com

ABSTRAK

Lapisan tipis TiO₂ dengan *doping* ganda Cu-Ag untuk aplikasi fotoanoda *Dye Sensitized Solar Cell* telah disintesis. Lapisan disintesis dengan metode *Doctor Blade* dengan variasi konsentrasi *doping* Cu-Ag sebesar 0 mol%, 1 mol%, 2 mol%, 3 mol%, dan 4 mol%. Lapisan dikarakterisasi dengan X-ray Diffraction untuk mengetahui struktur, fasa, dan ukuran kristalnya. Karakterisasi X-ray diffraction dilakukan pada lapisan tanpa *doping* dan lapisan dengan *doping* 1%. Struktur yang dihasilkan adalah tetragonal dan fasa anatase. Ukuran kristal yang didapatkan dari pengolahan data X-ray diffraction dengan Metode Scherer adalah 58,74 nm untuk lapisan tanpa *doping* dan 57,54 nm untuk lapisan *doping* 1%. Nilai celah pita energi yang diperoleh dari karakterisasi *UV-Vis Spectrometry* lapisan memiliki celah pita energi dengan rentang 3,1 - 3,2 eV. Berdasarkan hasil penelitian, nilai celah pita energi semakin kecil dengan penambahan *doping* ganda Cu-Ag. Lapisan yang telah disusun menjadi DSSC tipe *sandwich* kemudian dikarakterisasi menggunakan perangkat I-V Test untuk mengetahui efisiensinya. Efisiensi maksimum yang dicapai adalah 2,46%

Cu-Ag co-doped TiO₂ thin film for photoanode of Dye-Sensitized Solar Cell application have been synthesized. The film was synthesized using the Doctor Blade method with different concentrations of Cu-Ag (0, 1, 2, 3, 4) mol %. The films were characterized by X-Ray Diffraction for their structural, phase, and crystallite size. X-ray diffraction did at undoped and 1% co-doped concentration. X-ray diffraction data revealed the formation of the tetragonal and anatase phase for both undoped and co-doped films. The crystallite size determined using the Scherer method is 58,74 nm for undoped films and 57,54 nm for 1% co-doped concentration films. UV-Vis spectrometry was used for the characterization of the optical properties of films. Films were having an average total band gap of 3,1 - 3,2 eV. From the investigation, the value of optical bandgap decreased by the increase of Cu-Ag concentration. The films that arranged to be sandwich-type then characterized by using the I-V test device. The maximum efficiency is 2.46% at 1% dopant addition.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan populasi yang pesat menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat. Namun, Menurut Kementerian ESDM RI (2016) Cadangan sumber energi fosil di seluruh dunia sejak tahun 2016 yaitu 18 tahun untuk minyak bumi, 61 tahun untuk gas alam dan 147 tahun untuk batu bara. Energi matahari atau energi surya adalah salah satu solusi masalah krisis energi karena jumlahnya sangat melimpah dan berkelanjutan. Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi mencapai 3×10^{24} joule/tahun (Li dkk., 2006) Teknologi mutakhir telah mampu mengubah 10-20 % pancaran sinar matahari menjadi tenaga surya.

Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan piranti sel surya. Sel surya bekerja berdasarkan prinsip efek fotolistrik. Ketika sel surya disinari dengan cahaya matahari maka foton yang terdapat pada cahaya matahari akan menumbuk elektron dan menyebabkan terbentuknya pasangan *electron-hole* yang akan menimbulkan arus listrik. Besar kecilnya arus yang dihasilkan bergantung pada efisiensi piranti sel surya tersebut

Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) adalah jenis sel surya yang menjadi fokus banyak peneliti karena ramah lingkungan dan biaya produksi yang murah. Saat ini efisiensi dari sel surya DSSC yang sudah ada yaitu 8,12%, 9,90%, 10,10%, dan 10,40% berdasarkan data yang telah diumumkan pada *Energy Research Centre of The Netherlands, Sharp Corporation* dan *Arakawa Group* dengan masing-masing luas permukaannya 1-5 cm² (Kong dkk., 2007).

Beberapa cara yang dapat dilakukan. Pertama sel surya dibuat dari silikon kristal tunggal, tetapi biaya pembuatannya memerlukan peralatan yang canggih, proses yang rumit, dan biaya dikeluarkan sangat mahal sehingga tidak mungkin untuk memasarkan secara massal. Kedua dengan mengubah struktur lapisan, salah satunya mengubahnya menjadi struktur berongga. Struktur berongga dapat memberikan keuntungan pada efek hamburan cahaya. Namun, pembuatan struktur berongga juga membutuhkan peralatan canggih, proses yang rumit, dan biaya yang sangat mahal. Ketiga dengan meningkatkan performa fotoanoda. Hal ini disebabkan efisiensi DSSC sangat ditentukan oleh proses fotokimia yang berlangsung pada permukaan fotoanoda (Pan dkk., 2013).

Performa fotoanoda dapat ditingkatkan dengan melakukan penambahan *doping*. *Doping* merupakan metode yang efektif untuk mengubah sifat fisis (misalnya sifat optik, magnet dan listrik) dari TiO₂ dan akan memperluas penerapannya dari material tersebut. Li dkk. (2011) melakukan penelitian berupa penambahan *doping* Ag (*Silver*) pada lapisan TiO₂ sebagai fotoanoda menggunakan metode *electrospinning*, dan mendapatkan efisiensi sebesar 9.25 %. Zhou dkk. (2016) Melakukan penambahan *doping* Cu (*Copper*) terhadap lapisan TiO₂ sebagai fotoanoda dengan metode hidrotermal, dan mendapatkan efisiensi sebesar 5,26 %. Wang (2017) melakukan penambahan *doping* ganda Er-Yb dengan metode hidrotermal dan efisiensi yang berhasil dicapai adalah sebesar 13.45 %. Penelitian-penelitian yang dijabarkan diatas menggunakan metode yang memerlukan peralatan canggih dan biaya yang mahal serta menggunakan *dye* buatan yang tidak ramah lingkungan. Selain itu unsur Er-Yb adalah unsur tanah jarang, sehingga sulit untuk memproduksi DSSC dengan *doping* unsur ini secara masal.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan pada penelitian ini akan dilakukan sintesis lapisan TiO₂ sebagai fotoanoda dengan penambahan *doping* ganda Cu-Ag yang akan diaplikasikan pada *Dye Sensitized Solar Cells*. Karena unsur Cu dan Ag mudah untuk didapatkan, selain itu Cu dan Ag memiliki sifat listrik yang baik, meningkatkan aktivitas fotovoltaiik dan dapat menjaga fasa TiO₂ tetap stabil (Behnajady dkk., 2013). Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *Doctor Blade* karena menggunakan metode yang sederhana praktis, dan ekonomis

II. METODE

2.1 Persiapan Substrat

Persiapan substrat dimulai dengan memotong substrat berupa kaca ITO dengan ukuran 1 cm x 1,5 cm. Setelah itu substrat dimasukkan kedalam gelas kimia yang berisi aquades, lalu dilakukan *ultrasonic cleaner* selama 15 menit. Setelah itu aquades dibuang dan diganti dengan ethanol, lalu dilakukan *ultrasonic cleaner* selama 15 menit. Terakhir substrat dikeringkan menggunakan *oven*.

2.2 Pembuatan Larutan *Doping*

Doping Cu dibuat dengan mencampurkan larutan CuCl_2 0.1 M dan *ethanol*. Perbandingan volume kedua larutan adalah 10:1, setelah itu larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit. *Doping* Ag dibuat dengan mencampurkan larutan AgNO_3 , *ethanol* dan NH_3 . perbandingan volume larutan adalah 14:1:1, setelah itu larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit.

2.3 Pembuatan Pasta $\text{TiO}_2/\text{Cu-Ag}$

Sebanyak 0,7 g serbuk TiO_2 P25 *Degussa* dimasukkan kedalam lumpang. Setelah itu ditambahkan asam nitrat dan *ethanol* dengan perbandingan volume 1:3. Kemudian serbuk yang sudah ditambahkan zat pelarut digerus menggunakan mortar selama 5 menit. Serbuk yang sudah diaduk merata kemudian ditambahkan larutan *doping* Cu dan Ag, dan ditambahkan dengan masing masing variasi 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% berdasarkan rasio molar $\text{TiO}_2/\text{Cu-Ag}$.

2.4 Sintesis Lapisan $\text{TiO}_2/\text{Cu-Ag}$

Pasta dideposisikan pada substrat dengan metode *doctor blade*. Substrat yang sudah dibersihkan ditentukan sisi konduktifnya dengan menggunakan multimeter digital. Setelah itu substrat ditempelkan pada meja dengan *scotch tape* pada sisi kiri dan kanan substrat seluas masing-masing 0,25 cm. Setelah itu pasta $\text{TiO}_2/\text{Cu-Ag}$ diteteskan pada permukaan konduktif substrat kemudian diratakan menggunakan *rod glass* dan didiamkan selama 5 menit. Setelah itu lapisan yang sudah terdeposisi di-*furnace* pada suhu 450°C selama 1 jam.

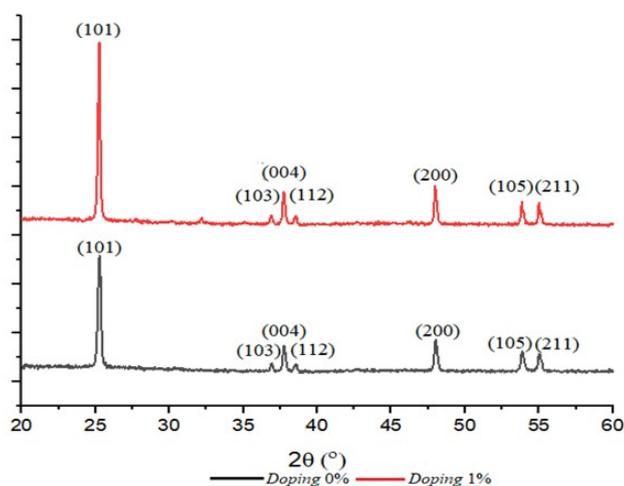
2.5 Pembuatan Devais Sel Surya Tipe *Sandwich*

Devais terdiri dari lapisan TiO_2 yang sudah disintesis, elektroda pembanding berupa kaca ITO yang dilapisi karbon, *dye* alami ekstrak kulit manggis, dan elektrolit I_2 . Langkah pertama TiO_2 direndam dalam *dye* selama 15 jam. Setelah lapisan TiO_2 kering, lapisan TiO_2 ditetesi dengan elektrolit I_2 . Terakhir lapisan TiO_2 ditutup dengan elektroda pembanding.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Ukuran Kristal dan Struktur Kristal

Berdasarkan informasi dari grafik hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* pada gambar 3.1 dapat dilihat bahwa pada kedua sampel memiliki 7 puncak hkl (101), (103), (004), (112), (200), (105),(211). Pola hasil XRD Pada gambar 1 setelah dicocokkan dengan data ICDD dengan kode referensi 01-072-7058 menunjukkan bahwa sampel memiliki struktur kristal *tetragonal* dan fasa anatase.



Gambar 1 Hasil uji XRD pada sampel tanpa *doping* dan *doping* 1%

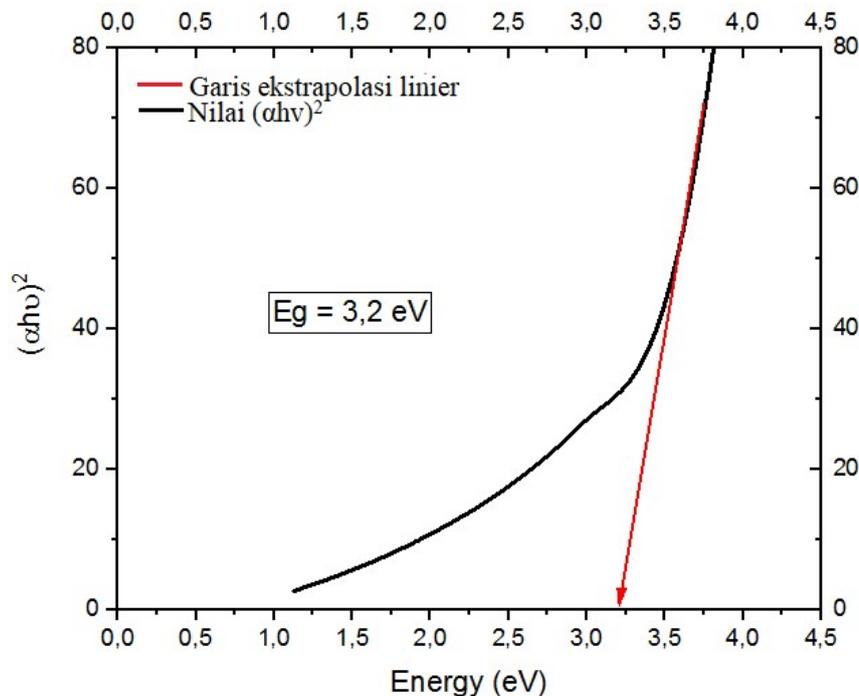
Tabel 1 Ukuran kristal TiO_2 tanpa *doping* dan *doping* 1%

Variasi <i>doping</i> (%)	Unsur	K	λ (nm)	D rata-rata (nm)
0	TiO_2	0,9	0,154	58,74
1	TiO_2	0,9	0,154	57,54

Pada Tabel 1 ditunjukkan ukuran ukuran kristal rata-rata pada *doping* 0% adalah 58,74 nm, sedangkan ukuran diameter kristal rata-rata pada *doping* 1% adalah 57,54. Ukuran diameter kristal menurun ketika ditambahkan *doping* Cu-Ag. Hal ini terjadi karena unsur logam *doping* yang berupa logam menarik atom atom lain lapisan TiO_2 sehingga mengakibatkan volume senyawa menjadi lebih kecil.

3.2 Analisis Celah Pita Energi

Data yang diperoleh dari Spektrometer UV-Vis diolah dengan menggunakan metode *touc plot*. Nilai celah pita energi ditentukan berdasarkan garis yang bersinggungan antara titik belok pada kurva dengan nilai $h\nu$ dari sumbu horizontal. Nilai celah pita energi TiO_2 tanpa *doping* yang dapat dilihat pada Gambar 2 adalah 3,2 eV, nilai ini sesuai dengan literatur.



Gambar 2 Nilai celah pita energi TiO_2 tanpa *doping*

Tabel 2 Nilai celah pita energi terhadap *doping*

<i>Doping</i> ganda Cu-Ag(%)	Nilai celah pita energi(eV)
0	3,2
1	3,17
2	3,15
3	3,13
4	3,1

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat diamati penambahan *doping* ganda Cu-Ag pada lapisan TiO_2 mengakibatkan nilai celah pita energinya semakin menurun. Hal ini terjadi karena lapisan TiO_2 di-*doping* dengan unsur yang memiliki kelebihan elektron maka akan muncul energi donor, sehingga energi yang dibutuhkan elektron untuk pindah dari pita valensi menuju pita konduksi (*band gap*) menurun.

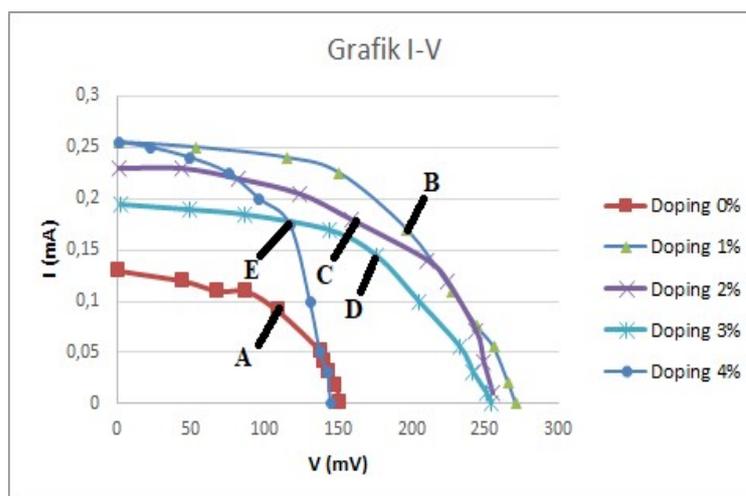
3.3 Karakterisasi Arus dan Tegangan

Dari karakterisasi I-V didapatkan nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}), arus *short circuit* (I_{sc}), *fill factor* (FF), dan nilai efisiensi DSSC (η). Penambahan *doping* ganda Cu-Ag dapat meningkatkan efisiensi DSSC. Efisiensi sel surya meningkat pada penambahan *doping* ganda Cu-Ag 1% namun kembali turun pada persentasi 2-4%. Nilai efisiensi tertinggi yang berhasil dicapai adalah 2,46% pada persentasi *doping* Cu-Ag 1%. Hal ini terjadi karena pada variasi ini nilai celah pita energi menurun, dan jumlah logam *doping* tidak terlalu banyak. Sehingga banyak elektron yang dapat mengalir pada rangkaian. Data karakterisasi I-V dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Karakterisasi I-V

Persentase <i>doping</i> (%)	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	FF	Efisiensi (%)
0	0,271	0,225	0,5	0,73
1	0,318	0,32	0,48	2,46
2	0,255	0,23	0,49	2,1
3	0,254	0,2	0,52	1,87
4	0,145	0,255	0,56	1,5

Hubungan antara rapat arus *short circuit* dan tegangan *open circuit* dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai I_{sc} tertinggi adalah 0,23 mA pada *doping* 2% dan nilai V_{oc} tertinggi adalah 0,271 V pada *doping* 1%. Kurva B yaitu *doping* 1% memiliki luas yang paling besar yang menunjukkan efisiensi tertinggi yaitu 2,46%.



Gambar 3 Grafik gabungan I-V (A) *Doping* ganda 0% (B) *doping* ganda 2% (C) *doping* ganda 3% (D) *doping* ganda 3% (E) *doping* ganda 4%

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan penambahan *doping* ganda Cu-Ag pada lapisan TiO_2 sebagai fotoanoda dapat meningkatkan efisiensi DSSC. Efisiensi DSSC meningkat pada persentasi *doping* ganda Cu-Ag 1%, namun menurun pada persentasi 2-4%. Efisiensi tertinggi yang berhasil dicapai adalah 2,46% pada persentasi *doping* ganda Cu-Ag 1%. Nilai celah pita energi yang didapatkan adalah 3,2 - 3,17 eV yang sesuai dengan nilai celah pita energi TiO_2 pada fasa anatase

DAFTAR PUSTAKA

Behnajady, Muhammad, A., Hamed, Characterization and Photocatalytic of Ag-Cu/ TiO_2 Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Method, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13(1), hal. 548-553 (2013).

- Dahlan, D., Fahyuan, H.D., Pengaruh beberapa Jenis Dye Organik Terhadap Efisiensi Sel Surya Dye Sensitized Solar Cell, *Indonesian Journal of Materials Science*, 15 (2), hal 74-79 (2018).
- Fatimah, I., Wijaya, K., Narsito, N., Wang, S., Preparation of TiO₂/Alumunium Pillared Montmorillonite and its Application for methylene Blue Photodegradation under UV Illumination, *World journal of Chemistry*, 4, hal 21-26 (2009).
- Kementrian ESDM, 2016, Cadangan Minyak Tak Lagi Melimpah, viewed 16 March 2019, <http://www.esdm.go.id>
- Kong, F., Dai, S., Wang, K., Review Article : Review of recent progress in dye sensitized solar cells, *Advance in Optoelectronics*, 2007(2), hal. 1-13 (2007).
- Li, J., Chen, X., Ai, N., Hao, J., Chen, Q., Strauf, S., Shi, Y., Silver Nanoparticle Doped TiO₂ Nanofiber Dye Sensitized Solar Cells, *Chemical Physics Letters*, 514(1-3), hal 141-145 (2011).
- Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., Qiu, Y., Review of Recent Progress in Solid State Dye-Sensitized Solar Cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(5), hal. 549-573 (2006).
- Pan, M., Huang, N., Zhao, X., Fu, J., Zhong, X., Enhanced Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cell by High Surface Area Anatase TiO₂ Modified P25 Paste, *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2013(3), hal. 760-685 (2013).
- Wang, X., Zhang, Z., Qin, J., Shi, W., Liu, Y., Gao, H., Mao, Y., 2017, Enhanced Photovoltaic Performance of Perovskite Solar Cell Based on Er-Yb Co-doped TiO₂ Nanorod Arrays, *Electrochimia Acta*, 245, hal 839-845 (2017).
- Zhou L., Wei, L., Yang, Y., Xia, X., Wang, P., Yu, J., Luan, T., Improved Performance Of Dye Sensitized Solar Cells Using Cu-Doped TiO₂ as Photoanode Materials: Band Edge Movement Study by Spectroelectrochemistry, *Chemical Physics*, 475 , hal 1-8.(2016).