

## KAJIAN PENGARUH VARIASI JUMLAH LAPISAN TRANSPARAN TiO<sub>2</sub> TERHADAP PERFORMA KERJA SEL SURYA YANG DISENSITISASI DENGAN DYE (DSSC)

Ida Usman<sup>1</sup>, Purwo Adi Setyo<sup>1</sup>, Wa Ode Sukmawati Arsyad<sup>1</sup>

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Haluoleo, Kampus Bumi Tridharma Anduonohu,

Kendari, Sulawesi Tenggara

Email : usman@gmail.com

*A study of the effect of variations on the number of transparent TiO<sub>2</sub> layers on dye-sensitized dye (DSSC) solar cell performance has been conducted. This study aims to make DSSC solar cell with transparent amount of transparent TiO<sub>2</sub> transparent layer and characterize its working function by measuring the photovoltaic characteristics. From the results of the research, the Jsc value obtained increases with the increase in the number of layers for the case of cells A and B cells, this is probably related to the increasing number of dye that binds to TiO<sub>2</sub> with increasing cell thickness, thus increasing the amount of light absorbed by dye. However, when the thickness of the TiO<sub>2</sub> layer is added (cells C and D) the Jsc value actually decreases. A DSSC A cell with a layer of transparent TiO<sub>2</sub> layer of 1 layer shows the largest open circuit voltage value of 0.7V, while DSSC B cells show the highest current density value of 2.07mA / cm<sup>2</sup>, and the highest fill factor (FF) is indicated by Sample D. The results of this study there are many factors that limit the efficiency DSSC solar cells*

**Keywords:** DSSC, TiO<sub>2</sub> Transparent, Number of Layers, Performance

### 1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir penelitian dan teknologi sel surya telah berkembang dengan sangat cepat. Sel surya dapat dibagi dalam dua kelas besar yaitu sel surya kristal silikon dan sel surya lapisan tipis. Sel surya silikon lebih lanjut dapat dibedakan menjadi silikon kristal tunggal yang saat ini telah mencapai efisiensi sebesar 25,6% pada sel dengan luas area aktif 143 cm<sup>2</sup> maupun silikon polikristal yang telah mencapai efisiensi sebesar 44,4% [1]. Sel surya lapisan tipis dapat dibagi menjadi 3 kelompok yaitu sel surya silikon amorf, sel surya CdTe/CIGS dan sel surya organik. Sel surya CIGS telah mencapai efisiensi sebesar 21,7% [2]. Sel surya organik dapat dibedakan lebih lanjut menjadi sel surya polimer, sel surya yang disensitasi Dye (*Dye Sensitized Solar Cell*) dan sel surya perovskite.

Bersamaan dengan dikembangkannya sel surya polimer, juga telah ditemukan sel surya generasi ketiga yang bekerja

berdasarkan prinsip foto-elektrokimia. Sel surya ini pertama kali dipublikasikan oleh Michael Gratzel dan Brian O. Regan pada tahun 1991, yang kemudian dikenal sebagai sel surya yang disensitisasi dengan dye (DSSC). DSSC yang difabrikasi oleh Gratzel menggunakan semikonduktor metal oksida TiO<sub>2</sub> sebagai lapisan aktifnya dengan ketebalan 10µm dan menghasilkan efisiensi sebesar 7,1%. Sejak saat itu, telah banyak peneliti yang ikut mengembangkan sel surya tipe ini dengan berbagai modifikasi pada komponen-komponen penyusunnya.

DSSC menawarkan berbagai keunggulan dan rentang yang luas untuk melakukan optimasi performanya. Salah satunya dapat dilakukan dengan memodifikasi struktur dye yang digunakan ataupun mengkombinasikan beberapa dye untuk menghasilkan daerah penyerapan yang lebih lebar hingga mendekati daerah dekat inframerah (*Near Infrared*),

NIR. Selain itu, DSSC tidak memerlukan persyaratan ketebalan yang sangat ketat misalnya dalam orde ratusan nanometer, seperti dalam fabrikasi sel surya polimer. Dengan demikian elektrolit dan elektrodanya dapat dibuat dengan teknik *screen-printing* atau *roll-printing*.

Ketebalan dan struktur semikonduktor TiO<sub>2</sub> yang digunakan pada DSSC memiliki peran penting terhadap efisiensi yang dihasilkan. TiO<sub>2</sub> yang memiliki struktur partikel nano akan lebih dapat menyerap *dye* secara kemisorpsi dengan konsentrasi yang lebih besar daripada semikonduktor TiO<sub>2</sub> yang memiliki ukuran partikel yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan TiO<sub>2</sub> dengan partikel nano memiliki permukaan yang lebih luas, yang berdampak makin banyaknya *dye* yang tertanam dalam lapisan TiO<sub>2</sub>. Umumnya, penyerapan *dye* dilakukan dengan melakukan perendaman terhadap lapisan tipis TiO<sub>2</sub> selama beberapa waktu tertentu [3]. Ketebalan lapisan TiO<sub>2</sub> juga berpengaruh terhadap banyaknya *dye* yang dapat teradsorpsi. Semakin tebal lapisan TiO<sub>2</sub> maka akan semakin banyak zat warna yang teradsorpsi. Dengan seiring bertambahnya partikel TiO<sub>2</sub> maka semakin banyak *dye* yang terikat pada partikel TiO<sub>2</sub>, sehingga hal ini akan mempengaruhi kinerja dari DSSC yang dibuat.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh variasi jumlah lapisan transparan (TiO<sub>2</sub> transparan) terhadap performa DSSC, dimana lapisan TiO<sub>2</sub> transparan akan dibuat dengan metode *screen printing*.

Lapisan transparan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan dikarakterisasi arus-tegangan (I-V) menggunakan perangkat solar simulator Oriel Newport AM 15 (100 mW/cm<sup>2</sup>) yang diintegrasikan dengan peralatan Keithley dan perangkat LabVie.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Pembuatan foto-elektroda aktif TiO<sub>2</sub>

Subtrat konduktif berukuran 7,5 x 7,5 cm dicuci dengan air dan sabun khusus, yang digunakan yaitu sabun teepol lalu kemudian dibilas dengan aquades dan ethanol teknis. Subtrat konduktif FTO yang telah dibilas kemudian dikeringkan dengan pistol udara. Subtrat FTO kemudian ditempatkan ke dalam wadah yang berisi iso-propanol dan acetone dengan perbandingan volum 1:1, untuk kemudian wadah berisi substrat FTO tersebut ditempatkan ke dalam *ultrasonic bath* selama 15 menit. Setelah itu substrat FTO dibersihkan kembali dengan aquades dan ethanol teknis dan dikeringkan kembali. Proses ini bertujuan untuk membersihkan sisa kotoran pada substrat FTO.

### 2.2. Perlakuan awal (*pre-treatment*) dengan Ti (IV) *iso-propoxide*

Proses perlakuan awal dengan Ti (IV) *iso-propoxide* bertujuan untuk meningkatkan performa sel dengan mengurangi laju rekombinasi dan meningkatkan efisiensi injeksi muatan dari molekul *dye* tereksitasi menuju pita konduksi TiO<sub>2</sub>. Mekanisme perlakuan awal dengan Ti (IV) *iso-propoxide* melibatkan reaksi *chemical bath* yang membentuk sebuah lapisan TiO<sub>2</sub> (anatase) di atas permukaan film tipis mesopori TiO<sub>2</sub> melalui penumbuhan epitaksial.

### 2.3. Deposisi Pasta TiO<sub>2</sub>

Deposisi pasta TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan teknik *screen printing*. Pasta TiO<sub>2</sub> yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu untuk lapisan TiO<sub>2</sub> transparan menggunakan Ti-Nanooxide T/SP dan untuk lapisan TiO<sub>2</sub> buram (sebagai lapisan *scattering*) digunakan TiO<sub>2</sub> reflektor keduanya merupakan produk dari Solaronix.

#### 2.4. Preparasi larutan dye dan perendaman elektroda TiO<sub>2</sub>

Jenis dye yang digunakan dalam penelitian ini adalah dye N719 produk dari Solaronix. Adapun proses preparasi larutan dye adalah sebagai berikut :

- 1) Mencampur 4ml ethanol dengan 3,3mg dye N719.
- 2) Meletakkan elektroda TiO<sub>2</sub> dalam posisi vertikal ke dalam wadah yang telah berisi larutan dye, kemudian tutup wadah tersebut dan disimpan ditempat yang terlindung dari sinar matahari selama ± 24 jam.
- 3) Setelah elektroda TiO<sub>2</sub> dikeluarkan dari larutan dye, kemudian dibilas dengan etanol dikeringkan dengan pistol udara dan siap untuk disatukan dengan elektroda pengumpul.

#### 2.5. Penyatuan Sel

Kedua buah substrat FTO, satu yang mempunyai lapisan TiO<sub>2</sub> di atasnya, dan yang satunya lagi yang telah dilapisi dengan platina kemudian disatukan menggunakan film suryIn (Meltonix 1170-25) diletakkan di atas sisi dari substrat FTO yang telah dilapisi lapisan TiO<sub>2</sub> dengan ketebalan SuryIn 25µm sambil ditekan menggunakan hot-press dengan suhu ±110 °C.

#### 2.6. Pengisian elektrolit dengan metode vakum

Elektrolit diinjeksikan ke dalam ruang diantara kedua substrat FTO melalui lubang kecil pada bagian atas elektroda pengumpul dengan menggunakan teknik vakum, untuk ini dipastikan pengisian elektrolit yang baik kedalam rongga antara sel.

#### 2.7. Teknik Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan meliputi karakterisasi divais secara keseluruhan melalui pengukuran karakteristik arus dan tegangan yang melalui sel tersebut, dan karakterisasi spektrum absorbansinya.

#### 2.8. Karakterisasi Spektrum Absorbansi

Spektrum absorbansi diukur menggunakan spektrometer UV-Vis pada larutan dye N719 dalam ethanol, TiO<sub>2</sub> kosong, dan TiO<sub>2</sub> yang telah direndam dengan dye.

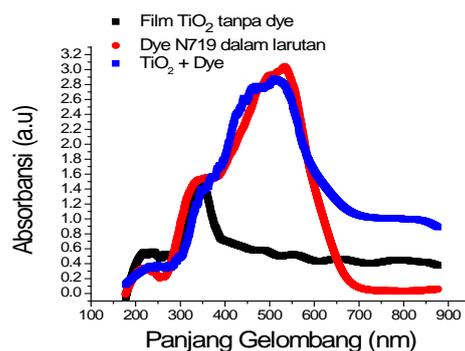
#### 2.9. Karakterisasi Fotovoltaik

Karakterisasi fotovoltaik berupa pengukuran karakterisasi arus tegangan (I-V) menggunakan perangkat solar simulator dengan daya input (30 mW/cm<sup>2</sup>) yang terintegrasi dengan peralatan Keithley dan perangkat lunak LabView.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Spektrum Absorbansi TiO<sub>2</sub>, Dye dalam Bentuk Larutan dan TiO<sub>2</sub> yang Telah Direndam dengan Dye.

Setelah proses foto-eksitasi, molekul-molekul dye di dalam lapisan elektro dan nano-pori TiO<sub>2</sub> akan mentransferkan elektron yang tereksitasinya dari pita konduksi kemolekul TiO<sub>2</sub>. Oleh karena itu, kinerja sel DSSC akan bergantung dengan bagaimana dye tersebut dapat terserap atau mengalami adsorpsi dengan baik di dalam lapisan nano-pori TiO<sub>2</sub>-nya, yang biasanya dilakukan dengan perendaman seperti diuraikan dalam Bab III.



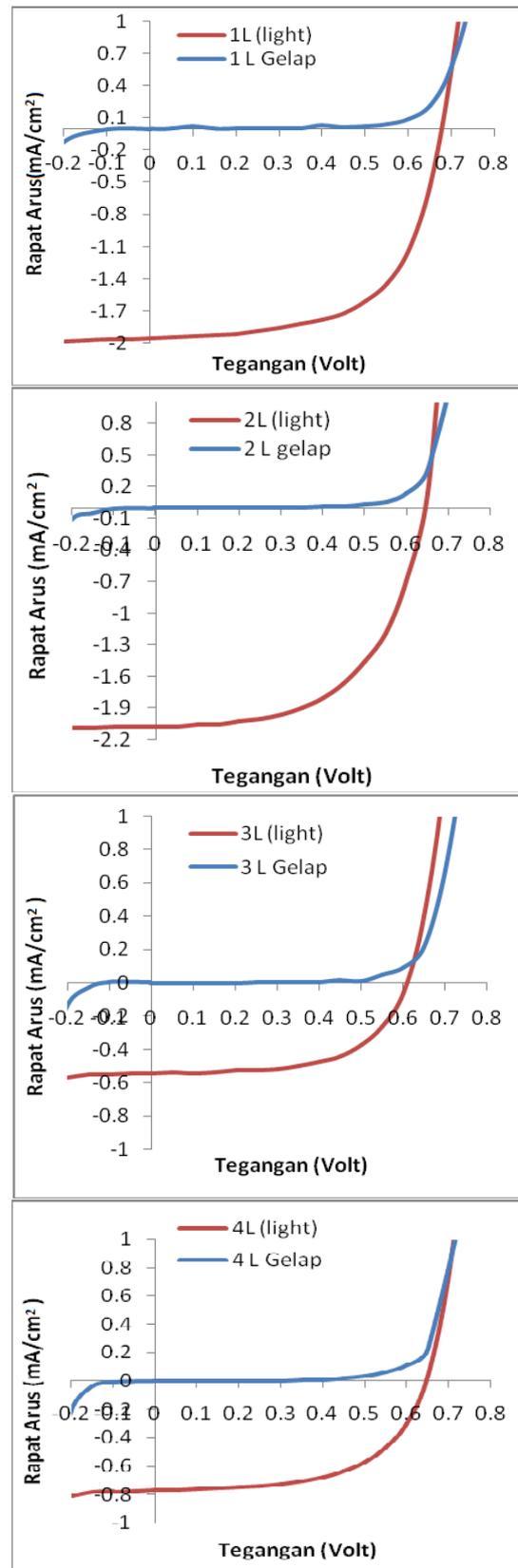
**Gambar 1.** Spektrum absorbansi dari komponen-komponen individual pada DSSC

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 di atas, sebuah pola penyerapan baru muncul pada elektroda yang telah disensitisasi dengan *dye* jika dibandingkan dengan spektrum absorpsi yang berasal dari elektroda TiO<sub>2</sub> sebelum disensitisasi dengan *dye*. Munculnya pola penyerapan yang berbeda ini sebagai akibat adanya proses adsorpsi molekul-molekul *dye* di dalam lapisan nano-pori TiO<sub>2</sub>. Perbedaan *baseline* antara ketiga spektrum absorpsi ini terjadi akibat adanya proses hamburan cahaya pada film TiO<sub>2</sub>. Spektrum absorpsi pada daerah cahaya tampak dalam *dye* N719 berhubungan dengan proses transfer muatan dari logam ke *ligand* (*metal ligand charge transfer/MLCT*).

### 3.2. Karakteristik Fotovoltaik DSSC

Untuk mempelajari pengaruh variasi jumlah lapisan TiO<sub>2</sub> transparan terhadap performa kerja sel surya DSSC, dilakukan investigasi terhadap empat sel yang berbeda dengan jumlah lapisan TiO<sub>2</sub> transparan yang berbeda pula. Parameter-parameter yang mempengaruhi performa kerja DSSC diperoleh melalui pengukuran arus dan tegangan.

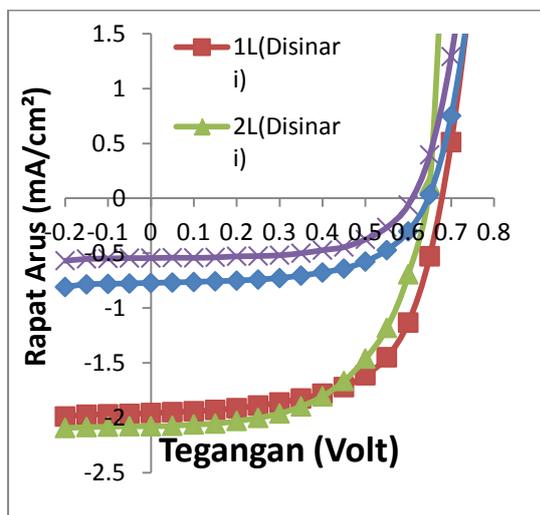
Berikut ini ditampilkan kurva hubungan arus-tegangan sel surya DSSC dengan variasi jumlah lapisan transparan TiO<sub>2</sub>. Dalam kurva tersebut ditampilkan pula hasil pengukuran arus-tegangan dalam kondisi gelap atau kondisi tidak disinari. Seperti yang terlihat pada Gambar 2, untuk kurva J-V pada keadaan gelap untuk semua variasi ketebalan telah menunjukkan karakteristik dioda yang baik sehingga dapat dikatakan tidak terjadi hubung singkat di dalam sel surya yang dibuat. Ketika sel surya tersebut disinari dapat dilihat kemunculan karakteristik fotovoltaiiknya yang ditandai dengan dapat diukurnya rapat arus pada kondisi hubung singkat ( $J_{sc}$ ) dan tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada saat tegangan sumber ( $V_s=0$ ).



**Gambar 2.** Kurva J-V sel surya DSSC yang diukur pada kondisi gelap dan disinari dengan intensitas cahaya 30mw/cm<sup>2</sup> dengan variasi ketebalan lapisan TiO<sub>2</sub> transparan.

Prinsip kerja DSSC menyandarkan pada proses transfer elektron antar-muka dan sebuah gaya pendorong energi kinetik diperlukan agar supaya terjadi proses transfer elektron. Gaya pendorong untuk aliran muatan di dalam divais semikonduktor-elektrolit adalah perbedaan pada tingkat quasi-fermi dari TiO<sub>2</sub> dan potensial redoks dari mediator redoks. Dalam keadaan gelap tingkat quasi-Fermi dari TiO<sub>2</sub> sama dengan tingkat potensial redoks dari pasangan redoks dan tidak ada arus net yang mengalir, seperti yang terlihat pada Gambar 12 di atas. Pada kondisi disinari, tingkat quasi-fermi dari TiO<sub>2</sub> bergeser ketika konsentrasi elektron di dalam TiO<sub>2</sub> meningkat dan sebuah gaya pendorong (*driving force*) untuk elektron-elektron untuk melakukan kerja listrik diperoleh.

Pada Gambar 3 ditampilkan kurva J-V untuk semua variasi jumlah lapisan TiO<sub>2</sub> yang diukur dalam keadaan disinari untuk dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang perbedaan performa kerja dari masing-masing sel DSSC dan tabulasi parameter-parameter fotovoltaiknya ditampilkan pada Tabel 1.



**Gambar 3.** Kurva J-V DSSC yang diukur pada kondisi disinari dengan intensitas cahaya 30mW /cm<sup>2</sup> dengan variasi ketebalan lapisan TiO<sub>2</sub> transparan.

**Tabel 1.** Parameter fotovoltaik DSSC dengan variasi jumlah lapisan TiO<sub>2</sub>

yang diukur menggunakan solar simulator dengan intensitas cahaya 30mW /cm<sup>2</sup>

Sel DSSC	Jumlah Lapisan TiO <sub>2</sub>	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (volt)	FF (%)	η (%)
A	1	2,00	0,70	58,86	2,68
B	2	2,07	0,65	55,49	2,49
C	3	0,54	0,60	61,21	0,66
D	4	0,71	0,60	62,24	0,96

Dapat dilihat dari Gambar 13 dan Tabel 3 bahwa tidak ada suatu pola tertentu yang konstan yang dapat dilihat, baik dari nilai rapat arus, tegangan rangkaian terbuka ataupun faktor pengisiannya. DSSC-A dengan jumlah lapisan TiO<sub>2</sub> transparan sebanyak 1 lapis menunjukkan nilai tegangan rangkaian terbuka yang paling besar yaitu 0,7V, sedangkan DSSC-B menunjukkan nilai rapat arus paling tinggi yaitu 2,07mA/cm<sup>2</sup>, dan faktor pengisian (FF) tertinggi ditunjukkan oleh sampel D. Walaupun secara umum nilai rapat arus yang dihasilkan oleh sel surya DSSC yang dibuat dalam penelitian ini masih sangat rendah, dan belum ideal namun untuk nilai tegangan rangkaian terbukanya sudah berada pada nilai yang dapat diterima yaitu dalam rentang 0,6–0,8Volt untuk DSSC.

### Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

DSSC-A dengan jumlah lapisan TiO<sub>2</sub> transparan sebanyak 1 lapis menunjukkan nilai tegangan rangkaian terbuka yang paling besar yaitu 0,7V, sedangkan DSSC-B menunjukkan nilai rapat arus paling tinggi yaitu 2,07mA/cm<sup>2</sup>, dan faktor pengisian (FF) tertinggi ditunjukkan oleh sampel D. Ada banyak faktor yang membatasi efisiensi sel surya DSSC diantaranya adalah proses rekombinasi di dalam sel, kemampuan difusi elektron di dalam lapisan TiO<sub>2</sub> dan keadaan perangkap elektron (*electron trap states*) pada permukaan TiO<sub>2</sub>, pengumpulan cahaya, dan agregasi *dye*. Semua faktor ini saling berkaitan satu dengan yang lainnya.

### Daftar Pustaka

- [1]. Quick, D., (2014): Panasonic's Hit Solar Cell Hits Record 25.6 Percent Conversion Efficiency, [www.gizmag.com/Panasonic-hit-solar-cell-256-efficiency/31573/](http://www.gizmag.com/Panasonic-hit-solar-cell-256-efficiency/31573/)
- [2]. Willis, B., (2014): ZSW Sets 21.7% CIGS Cell Record, <http://www.pv-tech.org/news/zsw-sets-21.7-cigs-cell-record>.
- [3]. Meen, T.H., Water, W., Chen, W.R., Chao, S.M., Ji, L.W., Huang, C.J. (2009), Applications of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the electrode of dye-sensitized solar cells, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 70, 472–476.