

# Karakteristik Pasta TiO<sub>2</sub> Suhu Rendah untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

## *Characterization of Low Temperature TiO<sub>2</sub> Paste for Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Application*

Mariya Al Qibtiya<sup>a,\*</sup>, Lia Muliani<sup>b</sup>, dan Jojo Hidayat<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) Bandung, Indonesia

<sup>b</sup>Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.  
Komp LIPI Gd 20, Jl Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia

---

### Abstrak

Pada tulisan ini, diuraikan karakteristik pasta TiO<sub>2</sub> suhu rendah untuk aplikasi sel surya berbasis *dye-sensitized* yang dipreparasi dengan penambahan serbuk TiO<sub>2</sub> reflektor. Penambahan TiO<sub>2</sub> reflektor sebagai *light scattering layer* pada pasta dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap karakteristik listrik sel surya yang dihasilkan. Preparasi pasta dilakukan menggunakan bahan komersial yaitu pasta T-Nanooxide D-L (Solaronix) dan serbuk pasta WER2-O (Dyesiol) sebagai bahan reflektor. Bahan tersebut dianalisis struktur kristalnya. Hasil karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa bahan TiO<sub>2</sub> serbuk yang digunakan adalah kristal nanodengan struktur kristal anatase. Pasta ini dideposisi di atas permukaan plastik dan kaca konduktif (ITO-PET dan FTO) dengan metode *doctor blade printing*. Proses *sintering* lapisan TiO<sub>2</sub> dilakukan pada suhu rendah yaitu 120 °C selama 4 jam. Morfologi permukaan lapisan TiO<sub>2</sub> dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Lapisan TiO<sub>2</sub> yang terbentuk diaplikasikan pada DSSC sebagai fotoelektroda. Pewarnaan dengan larutan N-719 (Ruthenium Complex). Sel surya *dye-sensitized* dibentuk dengan menempelkan fotoelektroda dengan lapisan elektroda *counter* platina menggunakan lapisan termoplastik kemudian diisi dengan larutan elektrolit iodine. Karakteristik kurva I-V dengan ukuran sel daerah aktif 1 cm<sup>2</sup> diukur menggunakan *I-V measurement system* dan *Sun Simulator AM1,5* dengan sumber cahaya xenon dan intensitas 50 mW/cm<sup>2</sup>. Hasil pengukuran menunjukkan penambahan serbuk TiO<sub>2</sub> reflektor dapat meningkatkan unjuk kerja sel surya fleksibel yang dihasilkan. Efisiensi terbaik DSSC yang dihasilkan adalah 0,166% untuk substrat plastik dan 0,167% untuk substrat kaca.

**Kata kunci:** *dye sensitized solar cell*, pasta TiO<sub>2</sub> temperatur rendah, *light scattering layer*, karakteristik I-V.

---

### Abstract

*In this paper will be described characteristic of low temperature TiO<sub>2</sub> paste for dye-sensitized solar cell (DSSC) application. The paste was prepared using addition of TiO<sub>2</sub> reflector powder as light scattering layer. The influence on electrical characteristic of DSSC was investigated. The preparation was done using the commercial material T-Nanooxide DL (Solaronix) and WER2-O powders (Dyesol) as the reflector material. The crystal structure of the material was analyzed. The characterization of X - Ray Diffraction (XRD) showed that the material used is TiO<sub>2</sub> nanocrystal with anatase crystalline structure. The mix of TiO<sub>2</sub> paste was deposited on the surface of a conductive plastic and glass (ITO-PET and FTO) by doctor blade method. TiO<sub>2</sub> layer sintering process carried out at a low temperature of 120 °C for 4 h. Surface morphology of TiO<sub>2</sub> layer was analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM). TiO<sub>2</sub> layer formed was applied for photoelectrode. DSSC was made by staining with a solution of N-719 (Ruthenium Complex). DSSC formed by assembling of photoelectrode with platinum counter electrode layer through thermoplastic seal and filling tri-iodine electrolyte solution into the cell. I-V curve characteristic of the cells (active area of 1 cm<sup>2</sup>) was measured using an I-V measurement system and a sun simulator AM1.5 with a xenon light source and intensity of 50 mW/cm<sup>2</sup>. The measurement results show the addition of TiO<sub>2</sub> reflector powder can improve the performance of solar cells produced. The best efficiencies of DSSC produced are 0.166% and 0.167% for plastic and glass substrate respectively.*

**Keywords:** *dye-sensitized solar cell*, low temperature TiO<sub>2</sub> paste, *light scattering layer*, characteristic of I-V curve.

---

## I. PENDAHULUAN

*Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) bekerja berdasarkan *photo-electrochemical*, di mana proses absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan proses

pemisahan muatan oleh bahan inorganik semikonduktor yaitu TiO<sub>2</sub>. DSSC ini pertama kali diperkenalkan oleh Gratzel pada tahun 1991 yang menjadi alternatif menarik pada perkembangan fotovoltaik karena rendahnya harga produksi, berbagai macam substrat yang bisa digunakan, dan ramah lingkungan dalam pabrikasinya. Meskipun sel surya ini masih memiliki masalah besar dalam hal efisiensi dan usia aktif sel yang terlalu singkat, sel surya jenis ini akan memberi pengaruh besar dalam beberapa tahun ke depan mengingat harga dan proses pembuatannya yang sangat

---

\* Corresponding Author.

Email: mariya.al@student.upi.edu

Received: May 26, 2014; Revised: June 9, 2014

Accepted: June 23, 2014

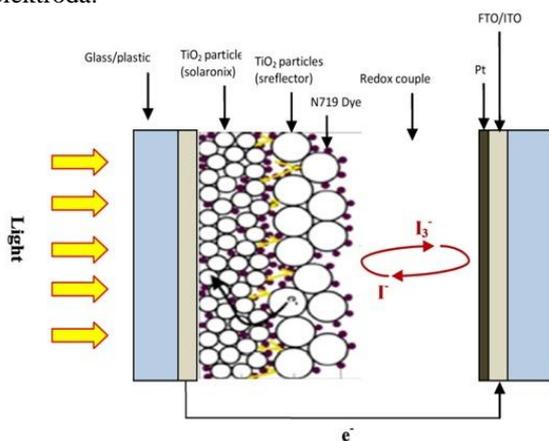
Published: June 30, 2013

© 2014 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v14.24-28

murah [1]. Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan semikonduktor yang memiliki *bandgap* lebar dan umumnya bersifat *inert, non toxic*, murah, dan memiliki karakteristik optik yang baik [2]. TiO<sub>2</sub> banyak dibuat dalam variasi bentuk seperti serbuk nano, koloid, lapisan tipis dan untuk aplikasi lingkungan dari mulai *deoderization* hingga purifikasi udara dan air. Selain itu TiO<sub>2</sub> juga dapat diaplikasikan sebagai fotokatalis dan fotovoltaiik seperti DSSC. Untuk aplikasi fotoelektroda pada DSSC, sifat film TiO<sub>2</sub> bergantung dari teknik preparasi pembuatan pasta karena pasta yang baik akan mempengaruhi unjuk kerja dari DSSC. Sebagai fotoelektroda TiO<sub>2</sub> harus memiliki sifat optik yang baik dan luas permukaan yang baik untuk penyerapan dye, tingkat energi material TiO<sub>2</sub> harus sesuai dengan dye yang tereksitasi, memiliki mobilitas pembawa muatan yang tinggi, harus mudah disintesis, stabil, murah, dan ramah lingkungan [3]. Karakteristik material TiO<sub>2</sub> seperti struktur, morfologi, serta sifat optik dan listrik sebagai material semikonduktor sangat mempengaruhi karakteristik DSSC.

Umumnya TiO<sub>2</sub> sebagai elektroda kerja pada DSSC memiliki morfologi partikel nano. Akan tetapi penggunaan TiO<sub>2</sub> partikel nano sebagai penghambur cahaya tampak yang sangat rendah, sehingga sebagian besar cahaya yang terkena DSSC bertransmisi melalui TiO<sub>2</sub> tanpa berinteraksi dengan *dye sensitizer*. Untuk meningkatkan *light harvesting* (mengumpulkan cahaya) maka diperlukan lapisan penghambur cahaya (*scattering layer*). Penggunaan TiO<sub>2</sub> yang memiliki ukuran partikel lebih besar diaplikasikan sebagai reflektor yang diharapkan dapat mengurangi transmisi cahaya sehingga cahaya yang terkumpul lebih banyak yang secara efektif dapat meningkatkan efisiensi sel surya [4]. Gambar 1 menunjukkan struktur DSSC dengan lapisan TiO<sub>2</sub> partikel nano dan TiO<sub>2</sub> reflektor sebagai lapisan fotoelektroda.



Gambar 1. Skema DSSC Dengan Lapisan Partikel TiO<sub>2</sub> dan Partikel Reflektor

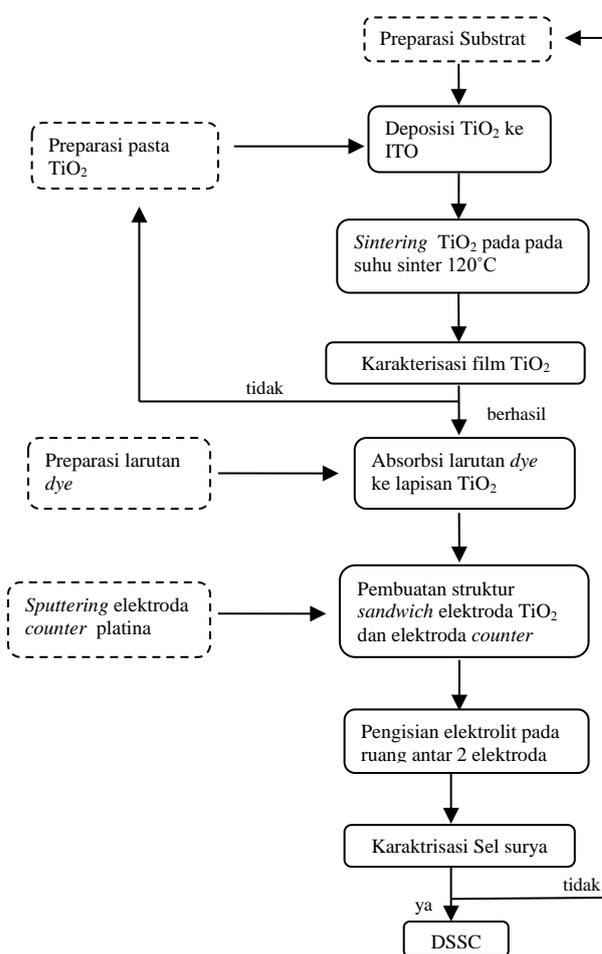
Pasta TiO<sub>2</sub> sudah banyak diproduksi oleh beberapa pusat penelitian seperti Solaronix dan Dyesol yang khusus meneliti sel surya. Pasta TiO<sub>2</sub> untuk proses pabrikan suhu rendah harus dikarakterisasi untuk menghindari retaknya film karena gumpalan partikel yang besar yang diakibatkan dari kehilangannya *binder* organik [5]. Pada tulisan ini akan diuraikan proses preparasi pasta TiO<sub>2</sub> untuk proses pabrikan DSSC suhu rendah, dengan mencampurkan pasta TiO<sub>2</sub> partikel nano

dan serbuk TiO<sub>2</sub> reflektor. Pasta TiO<sub>2</sub> yang digunakan adalah produk Dyesol dan Solaronix.

## II. METODOLOGI

Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah substrat plastik konduktif ITO-PET (*indium tin oxide coated poly[ethylene terephthalate]*) produk Aldrich dengan ketebalan 0,1 mm dan resistivitas bahan 60 ohm/sq dan kaca konduktif FTO dengan resistivitas bahan 15 ohm/sq.

Alur proses pembuatan DSSC ditunjukkan pada Gambar 2 dan penamaan sampel pasta TiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Tabel 1. Sampel A menggunakan pasta sudah tersedia (produk Solaronix), sedangkan sampel B dipreparasi melalui pencampuran serbuk pasta reflektor (produk Dyesol) ke dalam pasta solaronix menggunakan pelarut ethanol dan larutan HCl tanpa *binder*. Pencampuran TiO<sub>2</sub> solaronix dan TiO<sub>2</sub> reflektor dilakukan dengan perbandingan berat 10:1.



Gambar 2. Alur Tahap Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell*.

TABEL I  
PENAMAAN PASTA TiO<sub>2</sub>

| Sampel | Pasta                                  |
|--------|--|
| A      | TiO <sub>2</sub> Solaronix             |
| B      | TiO <sub>2</sub> Solaronix + reflektor |

### A. Larutan Dye

Jenis *dye* yang dipakai adalah jenis ruthenium complex Ruthenizer 535-bis TBA atau yang biasa dikenal N719 memiliki lebar *band-gap* semikonduktor oksida yang kepekaannya sangat efisien, seperti

titanium dioksida, sampai dengan panjang gelombang 750 nm.

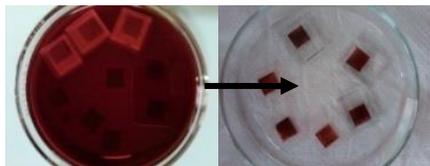
## B. Preparasi Elektroda Counter Platina

Platina yang digunakan sebagai target dimasukkan ke dalam *chamber sputtering*, setelah itu *chamber* divakum. Gas argon dialirkan *chamber* dan diberi tegangan tinggi sehingga terbentuk plasma. Ion argon dalam plasma menumbuk platina sehingga *target* mengeluarkan atom-atom platina yang akan menuju ke substrat ITO-PET konduktif. *Chamber sputtering* disiapkan dengan sistem *sputtering* tekanan dasar  $4,4 \times 10^{-3}$  torr dan tekanan gas argon  $4 \times 10^{-3}$  torr dengan daya 50 watt, waktu *sputtering* 20 menit [6].

## C. Proses Assembly DSSC

Substrat plastik ITO-PET dipotong dengan ukuran  $2 \times 2$  cm<sup>2</sup> dicuci menggunakan akuades dan isopropanol (IPA). Substrat kemudian dibentuk tempat untuk deposisi TiO<sub>2</sub> dengan bantuan *Scotch tape* pada bagian konduktifnya sehingga terbentuk area sebesar  $1 \times 1$  cm<sup>2</sup>. Pasta TiO<sub>2</sub> dideposisikan di atas daerah yang telah dipola pada plastik konduktif dengan metode *doctor blade* yang kemudian dipanaskan dengan suhu sinter 120°C selama 4 jam.

Pewarnaan dilakukan dengan cara perendaman lapisan TiO<sub>2</sub> dalam larutan *dye* selama 24 jam, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Pewarnaan Dengan Larutan Dye.

Perakitan DSSC dilakukan dengan menyatukan lapisan TiO<sub>2</sub> yang terwarnai *dye* dengan lapisan platina menggunakan lapisan termoplastik menjadi struktur *sandwich*. Larutan elektrolit kemudian diteteskan kira-kira sebanyak 2 tetes kepada ruang antara kedua elektroda dan sel surya siap untuk dikarakterisasi.

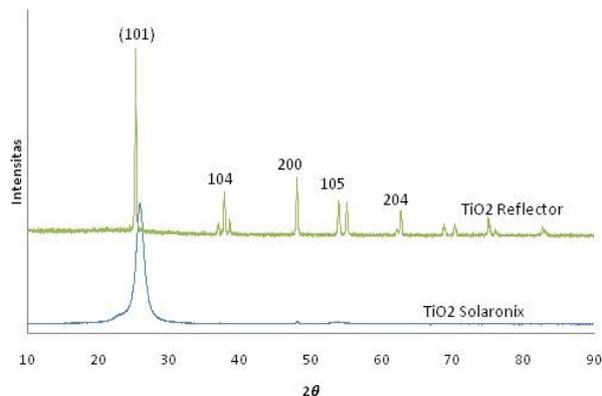
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisis Struktur Kristal TiO<sub>2</sub>

Kurva karakteristik XRD ditunjukkan pada Gambar 4, yang menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> memiliki fase kristal anatase sesuai dengan Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) no 21-1272. Dari Gambar 4 dapat diamati terdapatnya puncak-puncak yang bersesuaian untuk fase anatase pada ketiga sampel, yaitu pada sudut  $2\theta$  di sekitar 25°, 37°, 48°, 54°, 62°. Puncak-puncak tersebut bersesuaian dengan orientasi kristal pada (101), (104), (200), (105), (204). Puncak tertinggi dimiliki oleh bidang orientasi (101) yang akan diukur besar kristal dari hasil XRD masing-masing sampel. Ukuran kristal ( $D$ ) dapat dihitung secara kuantitatif menggunakan metode Scheerer melalui persamaan [7], [8].

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

dengan  $k$  adalah konstanta sebesar 0,89;  $\lambda$  adalah panjang gelombang sumber sinar-X; dan  $\beta$  adalah lebar penuh setengah tinggi maksimum puncak difraksi (dalam satuan radian). Nilai  $\beta$  yang digunakan adalah nilai puncak anatase pada orientasi bidang (101) dan didapatkan hasil ukuran kristal yang diperlihatkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Pola X-Ray Difraksi TiO<sub>2</sub> Solaronix dan TiO<sub>2</sub> Reflektor.

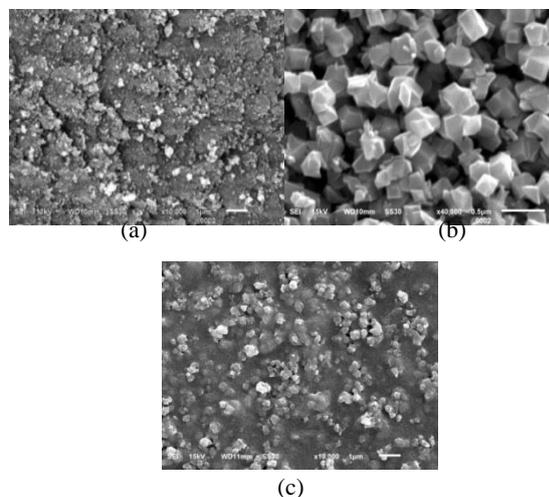
TABEL II  
DATA PERHITUNGAN UKURAN KRISTAL TiO<sub>2</sub>

| Sampel | $k$  | $\lambda$ (Å) | $\beta$ (rad) | $2\theta$ | $\cos \theta$ | $D$ (nm) |
|--------|------|---------------|---------------|-----------|---------------|----------|
| A      | 0,89 | 1,5406        | 0,0133        | 25,930    | 0,974         | 10,92    |
| B      | 0,89 | 1,5406        | 0,0028        | 25,295    | 0,976         | 53,14    |

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa TiO<sub>2</sub> yang digunakan adalah kristal nano. Dan bila diamati bahwa ukuran kristal Solaronix lebih kecil dibandingkan ukuran kristal TiO<sub>2</sub> reflektor. Hal ini merupakan hasil yang positif karena diharapkan dengan ukuran kristal yang semakin kecil menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil pula yang baik untuk diaplikasikan sebagai material DSSC [8]. TiO<sub>2</sub> yang digunakan cocok untuk diaplikasikan pada DSSC karena mempunyai fase kristal anatase yang mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi.

### B. Karakteristik Morfologi Lapisan TiO<sub>2</sub>

Hasil citra SEM dapat dilihat pada Gambar 5, yang merupakan gambar dari morfologi permukaan lapisan TiO<sub>2</sub>.

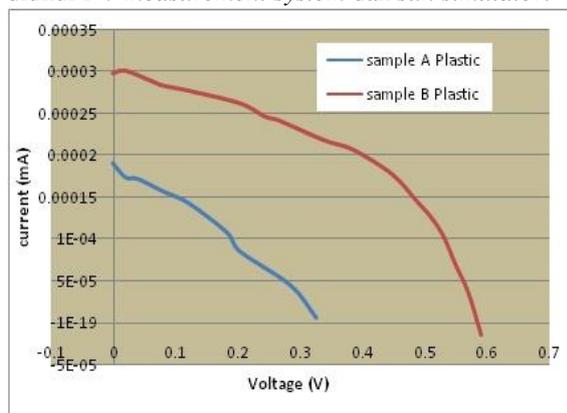


Gambar 5. Foto SEM Hasil Deposisi TiO<sub>2</sub>, (a) Sampel A (Pasta Solaronix), (b) Pasta reflektor [9], (c) Sampel B (Campuran pasta Solaronic + reflektor).

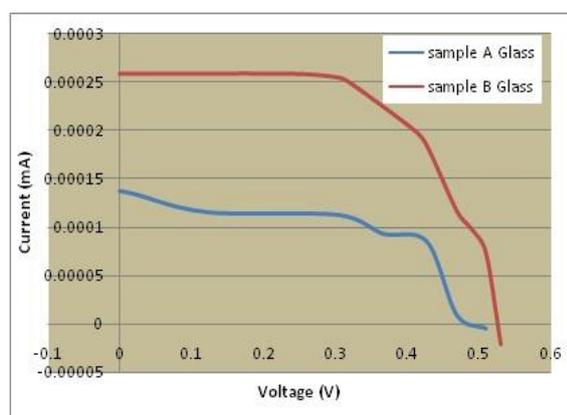
Gambar 5 (a) menunjukkan sampel A jenis Solaronix memiliki ukuran partikel sangat kecil mencapai <100 nm. Terlihat pada gambar bahwa distribusi ini mengakibatkan terjadinya aglomerasi (gumpalan) dan dapat teramati adanya bongkahan-bongkahan besar yang merupakan hasil penggumpalan. Ukuran partikel yang kecil umumnya lebih tidak stabil dibanding partikel yang lebih besar oleh karenanya kemungkinan terjadinya gumpalan satu sama lain juga tinggi sehingga menyebabkan distribusi ukuran partikel tampak tidak seragam. Gambar 5 (b) merupakan partikel TiO<sub>2</sub> reflektor yang memiliki ukuran partikel > 150 nm. Ukuran partikel yang lebih besar ini yang digunakan sebagai penghambur cahaya pada lapisan TiO<sub>2</sub>. Gambar 5 (c) menunjukkan lapisan TiO<sub>2</sub> hasil campuran pasta Solaronic + reflektor. Terlihat bahwa lapisan tidak rata dan TiO<sub>2</sub> reflektor yang memiliki ukuran partikel lebih besar (150-250 nm) terlihat. Dengan penambahan TiO<sub>2</sub> reflektor dapat mengakibatkan cahaya mengenai menjadi terhambur sehingga daya serap *dye* semakin besar.

### C. Karakterisasi I-V

Hasil karakterisasi I-V dilakukan untuk mengetahui sifat listrik dari DSSC yang dihasilkan. Saat cahaya yang membawa energi foton mengenai DSSC, akan ada elektron dari *dye* yang tereksitasi dari pita valensi (HOMO) ke pita konduksi (LUMO) mendesak elektron ke TiO<sub>2</sub> dan menuju elektroda kerja sehingga tercipta arus dalam DSSC. Arus dan tegangan yang dihasilkan diukur *I-V measurement system* dan *sun simulator*.



(a)



(b)

Gambar 6. Kurva I-V DSSC yang Dibuat, (a) Dengan Substrat Plastik, dan (b) Substrat Kaca.

Gambar 6 (a) menunjukkan kurva I-V DSSC menggunakan substrat plastik konduktif sedangkan Gambar 6 (b) menunjukkan kurva I-V DSSC menggunakan substrat kaca konduktif. Karakteristik listrik secara lengkap ditampilkan pada Tabel 3. Dari hasil pengukuran untuk substrat yang berbeda diketahui bahwa penambahan TiO<sub>2</sub> reflektor sebagai lapisan penghambur ternyata menaikkan arus dan tegangan yang lebih baik, dan otomatis menaikkan efisiensi. Dengan menggunakan pasta Solaronix (sampel A) didapatkan efisiensi sebesar 0,037% dan dengan penambahan TiO<sub>2</sub> reflektor (sampel B) efisiensi naik menjadi 0,166%. Kenaikan karakteristik juga terjadi pada DSSC yang menggunakan substrat kaca, efisiensi yang dihasilkan pasta A 0,074% dan setelah penambahan TiO<sub>2</sub> reflektor naik mencapai 0,167%. Dengan menggunakan TiO<sub>2</sub> Reflektor sebagai *scattering layer* yang menghamburkan cahaya yang datang ke permukaan *dye*, akan mempengaruhi daya serap dari *dye*. Foton yang terserap *dye* akan lebih banyak sehingga mengakibatkan elektron yang akan berdifusi pada TiO<sub>2</sub> menjadi lebih banyak. Hal ini akan meningkatkan karakteristik listrik DSSC.

TABEL III  
HASIL PENGUKURAN I-V

| Sampel    | Voc (V) | Isc (mA) | Pm (W)                | Fill Factor | Efisiensi (%) |
|-----------|---------|----------|-----------------------|-------------|---------------|
| Plastik A | 0,326   | 0,17     | $1,98 \times 10^{-5}$ | 0,349       | 0,037         |
|           | 0,570   | 0,3      | $8,18 \times 10^{-5}$ | 0,475       | 0,166         |
| Kaca A    | 0,489   | 0,13     | $3,64 \times 10^{-5}$ | 0,56        | 0,074         |
|           | 0,509   | 0,3      | $8,23 \times 10^{-5}$ | 0,564       | 0,167         |

### KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil karakterisasi XRD terhadap bahan TiO<sub>2</sub> membuktikan bahwa pasta yang digunakan mempunyai fase anatase nano kristal yang cocok untuk diaplikasikan pada DSSC. Karakterisasi morfologi SEM lapisan TiO<sub>2</sub> menunjukkan partikel TiO<sub>2</sub> Solaronix secara umum adalah mesoporos dan TiO<sub>2</sub> reflektor memiliki ukuran partikel yang besar (>150 nm) dan dapat digunakan sebagai lapisan penghambur cahaya. Hasil karakterisasi I-V menunjukkan bahwa penambahan TiO<sub>2</sub> reflektor dapat meningkatkan efisiensi sel DSSC. DSSC yang menggunakan sample Solaronix menghasilkan efisiensi 0,037% untuk substrat plastik dan 0,074% untuk substrat kaca. Sedangkan DSSC yang menggunakan sample Solaronix dan reflektor menghasilkan efisiensi 0,166% untuk substrat plastik dan 0,167% untuk substrat kaca.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) LIPI Bandung dan Institut Teknologi (ITB) Bandung.

### DAFTAR REFERENSI

- [1] B. Yulianto. (2014) Solar Cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan. [Online]. Available: <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/4034-solar-cell-sumber-energiterbarukan-masa-depan-.html>
- [2] M. Gratzel. "Dye-sensitized solar cell", *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, vol. 4, p. 145, 2003.

- [3] W. Zhang, "Fabrication of dye sensitized solar cells with enhanced energy conversion efficiency", Thesis of Master Science, National University of Singapore, 2011.
- [4] S. Hore, C. Vetter, R. Kern, H. Smit, A. Hinsch, "Influence of scattering layers on efficiency of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Material and Solar Cells*, vol. 90, pp. 1176-1188, 2006.
- [5] C. W. Hashita, F. Huang, Y. B. Cheng, "Fabrication of flexible dye sensitized solar cells on plastic substrates", *Journal Nano Energy*, vol 2, pp. 174-189, 2012.
- [6] L. Muliani, Y. Taryana, J. Hidayat, "Karakterisasi lapisan platina sputtering untuk aplikasi elektroda pembanding pada dye-sensitized solar cell", *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 10, hal. 126-130, 2010.
- [7] H. Han, L. Zan, J. Zhong, L. Zhang, X. Zhao, "The preparation of high-surface-area nanocrystalline TiO<sub>2</sub> films using easy-segregation particles in solution", *Material Science and Engineering B*, vol. 110, pp. 227-232, 2004.
- [8] M. Abdullah, *Pengantar Nanosains*, Bandung, Penerbit ITB, 2009.
- [9] L. Retnaningsih, L. Muliani, G. Wiranto, "Characterization of dye sensitized solar cell (DSSC) which used TiO<sub>2</sub> scattering layer", *Proceedings of The 7th National Radar Seminar and The 2nd International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET)*, 2013, pp. 80-83.