

## PENINGKATAN EFISIENSI SEL SURYA BERBASIS TITANIA MELALUI PENYISIPAN LOGAM BESI PADA LAPISAN AKTIF TITANIA

*(Efficiency Improvement in Solar Cells Based in Titania with Insertion of Iron)*

Rita Prasetyowati

Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta,  
Email : Rita\_P@uny.ac.id

---

### Abstract

Solar cells based on titania was developed continually to reach better performance. To improve the efficiency, titania layer was inserted by Fe metal. Insertion of Fe metal on  $TiO_2$  layer has been done by electroplating method with various electroplating voltage and electroplating time duration. Absorption capabilities of  $TiO_2$  was identified by using UV-Vis spectrometer. Morphological structure and composition of materials on  $TiO_2$  layer before and after electroplating was identified by SEM (Scanning Electron Microscopy). Structure of solar cells that have been made were characterized by using the I-V meter to determine the performance of solar cells. Solar cell with  $TiO_2$  active layer without insertion of Fe only has a solar to electric energy conversion efficiency 0.001%. While solar cells with  $TiO_2$  active layer which was inserted Fe have a solar to electric energy conversion efficiency 0.2%. Insertion of Fe on the  $TiO_2$  layer formed metal contact layer as a path for electrons to transfer more quickly to the electrode (ITO).

Keywords :  $TiO_2$ , electroplating, Fe metal, metal contacts layer, efficiency

---

### PENDAHULUAN

Titania merupakan salah satu oksida semikonduktor yang memiliki potensial tinggi sebagai foto oksidasi dan telah banyak digunakan sebagai fotokatalis. Titania memiliki sifat optik yang baik, stabilitas kimia yang tinggi, non toksik, dan murah [1]. Titania juga mulai dikembangkan sebagai divais fotovoltaic sejak Professor Micahel Gratzel di Switzerland menemukan bahwa titania mampu mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung menggunakan doping dye [2]. Logam-logam transisi seperti Fe, V, Cr dan

Cu, digunakan sebagai doping pada fotokatalis  $TiO_2$ , untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis  $TiO_2$  [1,3]. Pemberian doping logam-logam transisi tersebut pada  $TiO_2$  dapat memperluas spektrum absorpsi pada daerah cahaya tampak [1].

Sel surya dengan  $TiO_2$  tanpa penambahan unsur apapun sebagai lapisan aktif masih memberikan efisiensi yang rendah [4]. Pada paper ini dijelaskan pengaruh penyisipan logam pada sifat-sifat lapisan titanium dioksida sebagai lapisan aktif. Penyisipan logam diharapkan mampu meningkatkan performansi sel surya, yang

ditunjukkan dengan peningkatan efisiensinya.

## METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ , deposisi pasta  $\text{TiO}_2$  pada substrat ITO (Indium Tin Oxide), karakterisasi SEM&EDX, elektroplating logam Fe, pembuatan lapisan elektrolit, pengukuran konduktivitas lapisan elektrolit, penyiapan elektroda aluminium, dan karakterisasi I-V meter.

Pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan melarutkan 0,1 gram PVA (Polivinil Alkohol) ke dalam 10 ml aquades sambil diaduk dan dipanaskan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Larutan tersebut berfungsi sebagai *binder*. Setelah itu, 1 gram  $\text{TiO}_2$  dimasukkan ke dalam larutan tersebut sambil terus diaduk dan dipanaskan sampai terbentuk pasta yang baik. Waktu yang diperlukan dari pemasukan  $\text{TiO}_2$  ke dalam larutan *binder* sampai terbentuk pasta yang baik adalah sekitar 2 jam.

Pasta yang telah terbentuk kemudian dideposisikan pada ITO yang telah dicuci. ITO yang telah dipotong berukuran 1 cm x 1,25 cm dicuci dengan menggunakan aquades selama 15 menit dan alkohol 70% selama 30 menit, dengan menggunakan *ultrasonic bath*, dan selanjutnya ITO dikeringkan. Pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  pada

ITO dilakukan dengan teknik printing sederhana, yaitu dengan mencelupkan stempel kecil pada pasta  $\text{TiO}_2$  lalu mencetakkannya pada ITO. Selanjutnya ITO yang telah dilapisi pasta  $\text{TiO}_2$  dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 30 menit untuk menguapkan aquades, dan dilanjutkan dengan dibakar di *furnace* pada suhu  $450^\circ\text{C}$  selama 30 menit untuk membentuk kontak listrik antara partikel-partikel  $\text{TiO}_2$ . Setelah itu dilakukan karakterisasi SEM dan EDX dengan menggunakan alat SEM JEOL JSM-6360LA untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan  $\text{TiO}_2$  dan komposisi bahan pada lapisan  $\text{TiO}_2$ .

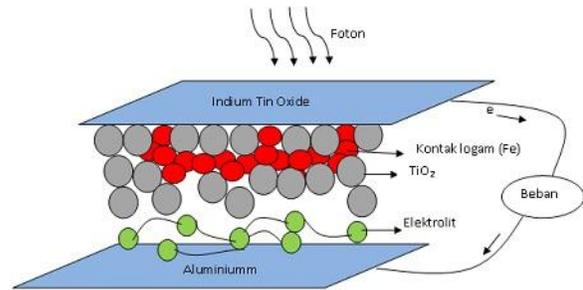
Selanjutnya dilakukan elektroplating logam Fe pada lapisan  $\text{TiO}_2$ . Larutan elektrolit yang digunakan adalah 0,1 gram  $\text{FeCl}_2$  yang dilarutkan pada 10 ml aquades (konsentrasi larutan 0,073M). Sebagai elektroda positif (anoda) adalah batang besi dan sebagai elektroda negatif (katoda) adalah lapisan  $\text{TiO}_2$  pada ITO. Elektroplating dilakukan dengan berbagai variasi tegangan dan waktu. Setelah selesai elektroplating, sampel dikeringkan di atas *hot plate* pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 10 menit untuk menguapkan aquades. Selanjutnya dilakukan karakterisasi SEM dan EDX dengan menggunakan alat SEM JEOL JSM-6360LA untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi bahan pada lapisan  $\text{TiO}_2$  yang telah dielektroplating Fe.

Langkah berikutnya adalah pemberian lapisan elektrolit pada sampel. Elektrolit dibuat dengan melarutkan 0,5 gram NaF pada 10 ml aquades sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai NaF larut seluruhnya. Kemudian dimasukkan 0,8 gram PEG sedikit demi sedikit sambil terus diaduk dan dipanaskan pada suhu 110°C sampai pelarut aquades menguap atau terbentuk gel. Gel elektrolit dilapiskan secara manual pada lapisan pasta TiO<sub>2</sub> yang telah dielektroplating dengan Fe dan telah kering. Sebagai sampel kontrol adalah lapisan TiO<sub>2</sub> tanpa elektroplating dengan logam Fe. Konduktivitas elektrolit diukur dengan menggunakan alat Ph/Conductivity Meter Oysk 3415A Extech Instrumen.

Selanjutnya sampel ditumpuk dengan elektroda aluminium (Al) dan dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 80°C selama 10 menit agar gel elektrolit menjadi padatan. Sebelumnya elektroda Al yang telah dipotong berukuran 1 cm x 1,25 cm dicuci dengan menggunakan aquades selama 15 menit dan alkohol 70% selama 30 menit, dengan menggunakan *ultrasonic bath*, dan selanjutnya Al dikeringkan.

Langkah terakhir adalah melakukan karakterisasi I-V dengan menggunakan Keithley 617. Cahaya yang digunakan adalah dari lampu halogen dengan intensitas 25600 lux. Elektroda-elektroda pada lapisan sampel dihubungkan dengan I-V meter. Jika diberikan tegangan, sampel yang telah

dibuat akan memberikan respon arus. Hasil dari pengukuran ini adalah kurva arus terhadap tegangan.

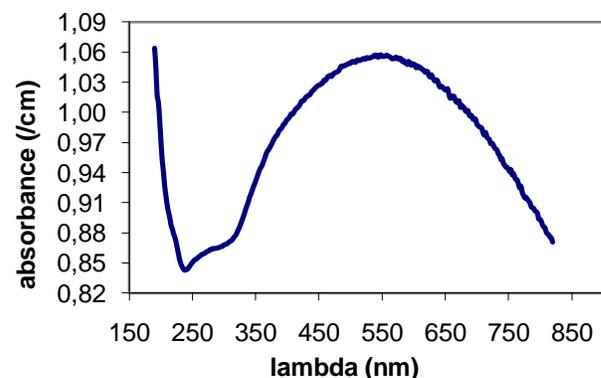


**Gambar 1.** Struktur sel surya berbasis TiO<sub>2</sub> dan logam Fe

## HASIL DAN DISKUSI

### Absorbansi TiO<sub>2</sub>

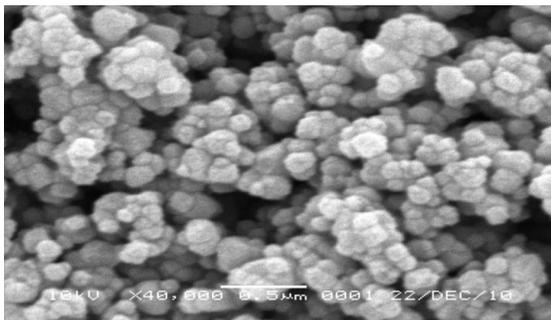
Hasil karakterisasi UV-Vis memberikan hasil spektrum absorbansi TiO<sub>2</sub> seperti pada gambar 2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa rentang absorpsi TiO<sub>2</sub> berada pada rentang panjang gelombang 190–820 nm. Pada rentang panjang gelombang tersebut TiO<sub>2</sub> mampu menyerap energi foton yang diberikan dari daerah ultraviolet sampai cahaya tampak.



**Gambar 2.** Spektrum Absorbansi TiO<sub>2</sub> (Hasil karakterisasi UV-Vis)

### Struktur Morfologi dan Komposisi Bahan

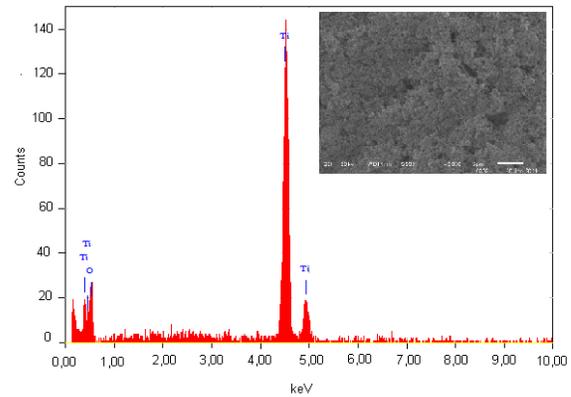
Karakterisasi SEM dan EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi dan komposisi bahan pada lapisan. Gambar 3 memperlihatkan morfologi permukaan lapisan pasta  $\text{TiO}_2$  yang dideposisikan pada ITO. Dari gambar tersebut juga diperoleh bahwa ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  sekitar 180 nm. Berdasarkan Ryan O'Hyre, dkk [5], ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  sebesar 50-200 nm mendukung performansi sel surya menjadi lebih baik. Sedangkan gambar 4 menunjukkan hasil EDX lapisan  $\text{TiO}_2$ . Dari hasil EDX diperoleh komposisi bahan yang terkandung dalam lapisan  $\text{TiO}_2$  adalah unsur O sebanyak 45,75% dan unsur Ti 54,25%.



**Gambar 3.** Foto SEM pasta  $\text{TiO}_2$  yang dideposisikan pada ITO dengan teknik printing

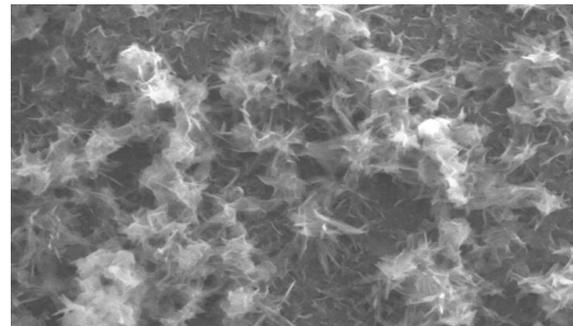
**Tabel 1.** Unsur yang terkandung dalam lapisan Fe hasil EDX

Elemen	% Massa
O	47,42
Na	6,59
Mg	2,02
Si	28,71
Cl	2,59
Ca	4,36
Fe	8,31



**Gambar 4.** Hasil EDX lapisan  $\text{TiO}_2$

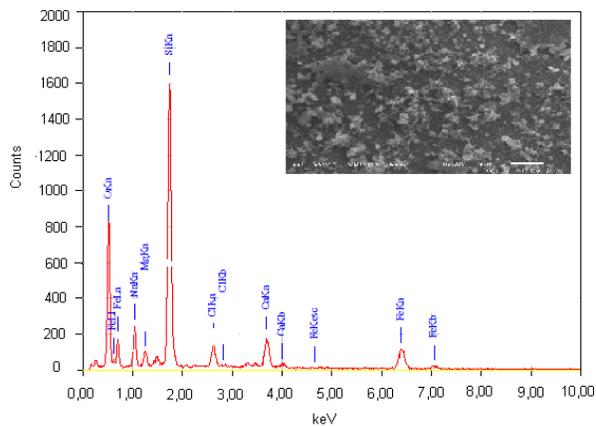
Gambar 5 memperlihatkan morfologi permukaan lapisan Fe yang dielektroplating pada ITO. Partikel Fe berbentuk seperti serabut-serabut kecil yang tidak beraturan dan agak panjang. Dari hasil EDX (gambar 6) diketahui bahwa ada unsur-unsur lain, selain unsur Fe, yang terdposisi pada ITO (tabel 1). Hal ini disebabkan oleh  $\text{FeCl}_2$  yang digunakan bukan  $\text{FeCl}_2$  murni.



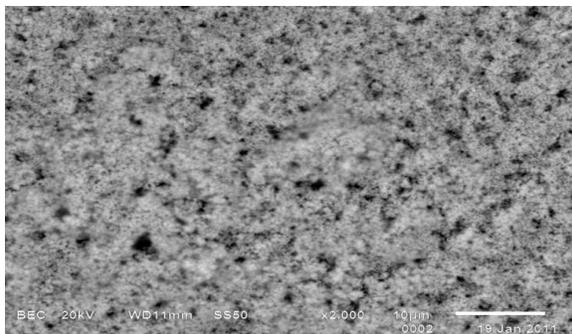
**Gambar 5.** Foto SEM logam Fe yang terdposisi pada ITO dengan metode elektroplating

Gambar 7 memperlihatkan morfologi permukaan lapisan  $\text{TiO}_2$  yang telah dielektroplating dengan Fe pada tegangan 12 Volt selama 15 detik. Sedangkan Gambar 8 memperlihatkan morfologi permukaan

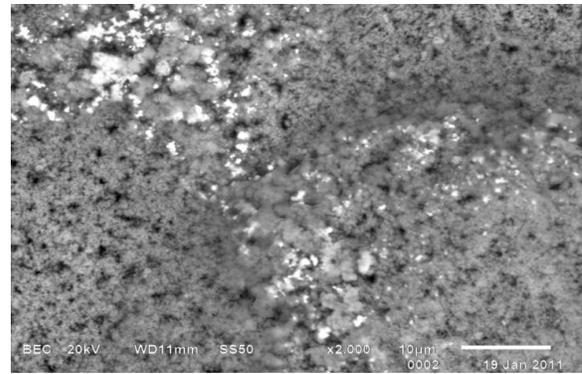
lapisan  $\text{TiO}_2$  yang telah dielektroplating dengan Fe pada tegangan 12 Volt selama 20 menit. Morfologi permukaan keduanya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, tetapi jika melihat hasil EDX akan tampak bahwa terdapat perbedaan jumlah Fe yang terkandung dalam keduanya. Lapisan  $\text{TiO}_2$  yang dielektroplating selama 15 detik memiliki kandungan Fe yang lebih sedikit daripada lapisan  $\text{TiO}_2$  yang dielektroplating selama 20 detik (seperti pada tabel 3). Hal itu dapat ditentukan dari hasil EDX pada Gambar 9 dan 10.



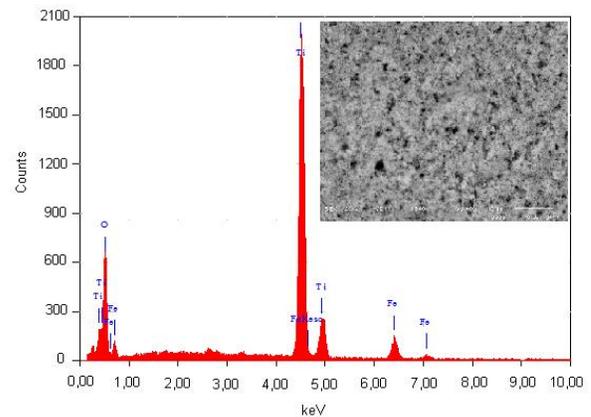
**Gambar 6.** Hasil EDX lapisan Fe



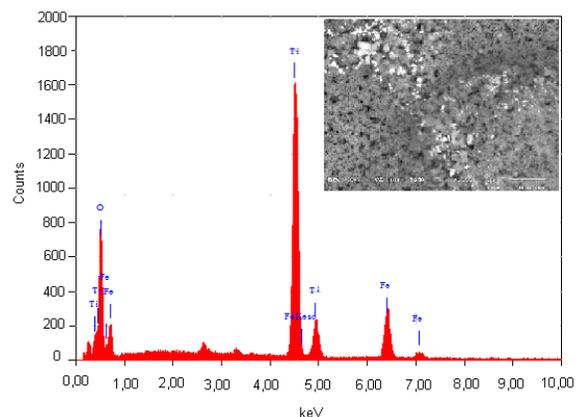
**Gambar 7.** Foto SEM lapisan  $\text{TiO}_2$  yang dielektroplating Fe dengan tegangan 12 V selama 15 detik



**Gambar 8.** Foto SEM lapisan  $\text{TiO}_2$  yang dielektroplating Fe dengan tegangan 12 V selama 20 detik



**Gambar 9.** Hasil EDX lapisan  $\text{TiO}_2$  yang dielektroplating Fe dengan tegangan 12 V selama 15 detik.



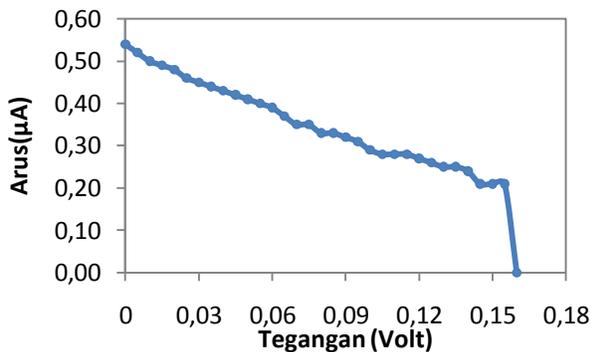
**Gambar 10.** Hasil EDX lapisan  $\text{TiO}_2$  yang dielektroplating Fe dengan tegangan 12 V selama 20 detik.

**Tabel 2.** Unsur yang terkandung dalam lapisan TiO<sub>2</sub> yang dielektroplating Fe (hasil EDX)

Elemen	% Massa	
	Sampel of 15 detik	Sampel 20 detik
O	51,56	51,56
Ti	42,93	36,16
Fe	5,51	12,28

**Performansi Sel Surya Berbasis TiO<sub>2</sub> dengan Penyisipan Logam Fe**

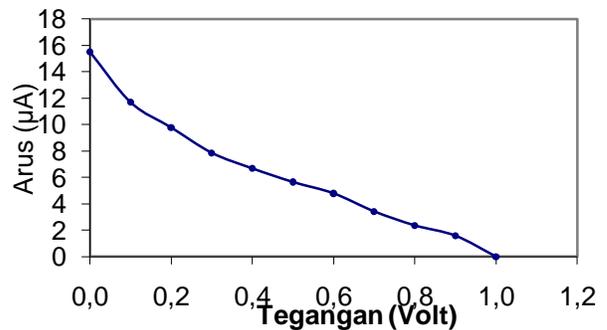
Melalui karakterisasi I-V dapat ditentukan performansi sel surya yang telah dibuat. Sebagai sampel kontrol adalah sel surya dengan lapisan TiO<sub>2</sub> tanpa elektroplating Fe. Gambar 11 memperlihatkan karakteristik I-V sel surya kontrol pada penyinaran dengan intensitas 25.600 lux. Dari kurva karakteristik tersebut diperoleh nilai I<sub>sc</sub> 0,54μA, V<sub>oc</sub> 0,16Volt, FF 0,3906 dan efisiensi 0,001%.



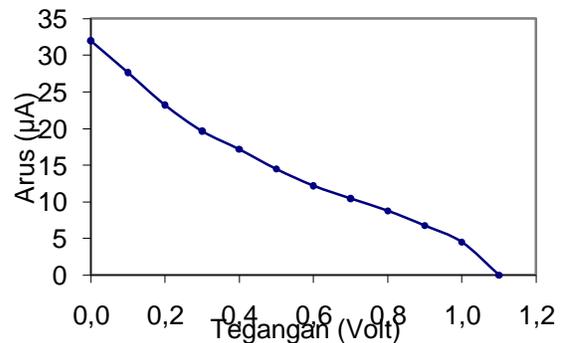
**Gambar 11.** Karakteristik I-V sel surya kontrol

Gambar 12, 13 dan 14 memperlihatkan karakteristik I-V sel surya dengan lapisan TiO<sub>2</sub> yang dielektroplating Fe dengan tegangan 12 Volt, selama 5, 10, dan 20 detik. Dari kurva karakteristik I-V tersebut

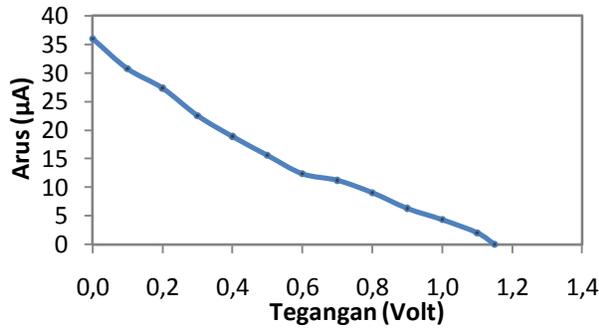
diperoleh nilai I<sub>sc</sub>, V<sub>oc</sub>, FF, dan efisiensi untuk masing-masing sel surya, seperti pada tabel 3. Dari tabel tersebut terlihat bahwa semakin lama waktu elektroplating, semakin meningkat efisiensinya. Sehingga disimpulkan bahwa untuk tegangan elektroplating dan konsentrasi larutan elektrolit (FeCl<sub>2</sub>) yang sama, efisiensi akan meningkat jika waktu elektroplating semakin lama. Hal ini sesuai dengan hasil EDX (tabel 2) bahwa semakin lama waktu elektroplating maka semakin banyak Fe yang terkandung pada lapisan TiO<sub>2</sub>.



**Gambar 12.** Karakteristik I-V sel surya dengan lapisan TiO<sub>2</sub> yang dielektroplating Fe dengan tegangan 12 V selama 5 detik.



**Gambar 13.** Karakteristik I-V sel surya dengan lapisan TiO<sub>2</sub> yang dielektroplating dengan tegangan 12 V selama 10 detik.



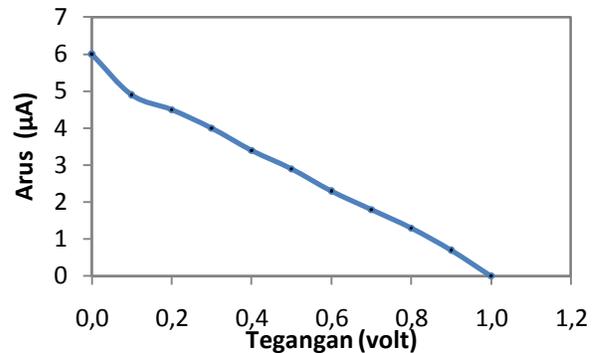
**Gambar 14.** Karakteristik I-V sel surya dengan lapisan  $TiO_2$  yang dielektroplating dengan tegangan 12 V selama 20 detik.

**Tabel 3.** Performansi sel surya dengan lapisan  $TiO_2$  yang dielektroplating dengan tegangan 12 V

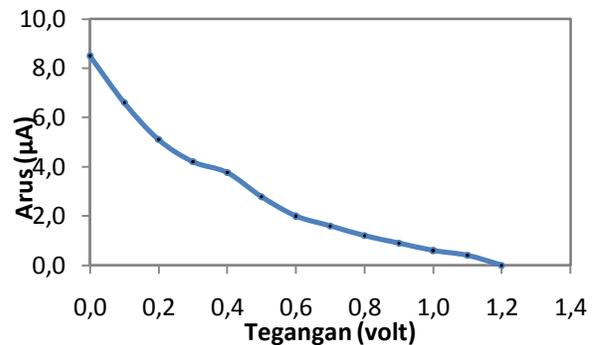
Waktu Elektroplating (detik)	Short Circuit Current $I_{sc}$ ( $\mu A$ )	Open Circuit Voltage $V_{oc}$ (Volt)	Fill Factor (FF)	Efisiensi $\eta$ (%)
5	15,5	1	0,185	0,077
10	32	1,1	0,208	0,195
20	36	1,15	0,189	0,209

Gambar 15, 16 dan 17 memperlihatkan karakteristik I-V sel surya dengan lapisan  $TiO_2$  yang dielektroplating Fe selama 15 detik dengan tegangan 6, 9 dan 12 Volt. Dari kurva I-V tersebut diperoleh nilai  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , FF, dan efisiensi untuk masing-masing sel surya, seperti pada table 4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa semakin tinggi tegangan elektroplating, semakin meningkat efisiensinya. Sehingga disimpulkan bahwa untuk waktu elektroplating dan konsentrasi larutan elektrolit ( $FeCl_2$ ) yang sama, efisiensi akan meningkat jika tegangan elektroplating semakin tinggi. Hal ini disebabkan semakin tinggi tegangan elektroplating, semakin

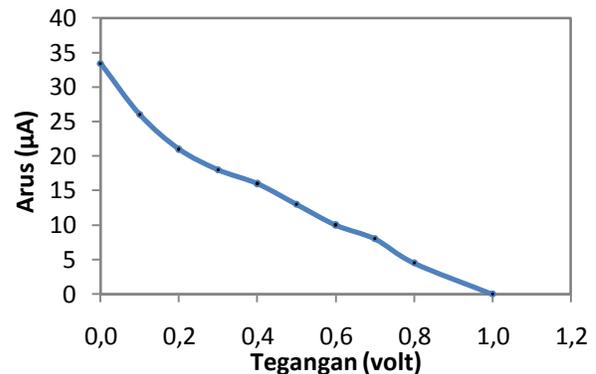
mudah terjadi ionisasi pada larutan elektrolit ( $FeCl_2$ ), sehingga semakin banyak logam Fe yang menyisip pada lapisan  $TiO_2$ .



**Gambar 15.** Karakteristik I-V sel surya dengan lapisan  $TiO_2$  yang dielektroplating selama 15 detik dengan tegangan 6 Volt



**Gambar 16.** Karakteristik I-V sel surya dengan lapisan  $TiO_2$  yang dielektroplating selama 15 detik dengan tegangan 9 Volt



**Gambar 17.** Karakteristik I-V sel surya dengan lapisan  $TiO_2$  yang dielektroplating selama 15 detik dengan tegangan 12 Volt

**Tabel 6.** Performansi sel surya dengan lapisan TiO<sub>2</sub> yang dielektroplating Fe selama 15 detik

Tegangan elektroplating (Volt)	Short Circuit Current I <sub>sc</sub> (μA)	Open Circuit Voltage V <sub>oc</sub> (Volt)	Fill Factor (FF)	Efisiensi η (%)
6	6	1	0,242	0,039
9	8,5	1,2	0,147	0,040
12	33,41	1	0,194	0,173

Efisiensi sel surya meningkat ketika lapisan TiO<sub>2</sub> dielektroplating dengan Fe, yang berarti ada atom-atom Fe yang menyisip diantara partikel-partikel TiO<sub>2</sub>. Hal ini bisa dijelaskan seperti gambar 1, ketika sel surya diradiasi dengan cahaya maka akan terjadi generasi (timbulnya pasangan elektron-hole). Foton yang diserap oleh elektron pada TiO<sub>2</sub> menyebabkan elektron tereksitasi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi dan selanjutnya elektron mengalir menuju ITO melalui lapisan kontak logam (Fe). Selanjutnya elektron mengalir melalui beban luar menuju *counter* elektroda dan akan diterima oleh elektrolit. Sedangkan hole yang terbentuk akan berdifusi menuju elektrolit. Hal ini berarti elektron yang diterima elektrolit akan berekombinasi dengan hole membentuk pembawa muatan negatif [6].

Lapisan TiO<sub>2</sub> yang dielektroplating dengan tegangan yang lebih besar (konsentrasi larutan elektrolit dan waktu elektroplating sama) atau waktu elektroplating yang lebih lama (konsentrasi larutan elektrolit dan tegangan elektroplating

sama) akan mengandung unsur Fe yang lebih banyak. Sehingga memiliki lapisan kontak logam yang lebih banyak juga. Lapisan kontak logam ini menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju ITO [7].

## SIMPULAN

Peningkatan efisiensi sel surya berbasis TiO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan menyisipkan logam Fe pada lapisan TiO<sub>2</sub>. Penyisipan logam Fe dapat dilakukan dengan metode elektroplating. Fe yang menyisip pada lapisan TiO<sub>2</sub> membentuk lapisan kontak logam yang menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju ITO.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh *Asahi Glass Foundation 2010* dan *Hibah Strategis Nasional DIPA-ITB (Bandung Institute of Technology) 2010*.

## PUSTAKA

1. Anh Tuan Vu, Quoc Tuan Nguyen, Thi Hai Linh Bui, Manh Cuong Tran, Tuyet Phuong Dang and Thi Kim Hoa Tran, *Adv. Nat.:Nanosci. Nanotechnol.* 1 (2010) 015009(4pp).

2. G. Phani, G. Tulloch, D. Vittorio, dan I. Skyrabin, *Renewable Energy* 22 (2001) 303-309.
3. Cam Loc Luu, Quoc Tuan Nguyen and Si Thoang Ho, *Adv. Nat.:Nanosci. Nanotechnol.* 1 (2010) 015008 (5pp).
4. M. Abdullah, I. Nurmawarti, H. Subianto, Khairurrijal and H. Mahfudz, *J. Nano Saintek.* 3 (2010).
5. B.R. O'Hayre, M. Nanu, J. Schoonman, A. Goossens, Q. Wang and M. Grätzel, *Adv. Funct. Mater.* 16 (2006) 1566-1576.
6. F. Belhocine-Nemmar, MS. Belkaid D. Hatem and O Boughias, *World Academy of Science, Engineering and Technology.* 64 (2010) 132-134.
7. L. Antonio and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic and Engineering*, Inggris: Wiley, 2003.