

PENGARUH PENYISIPAN LOGAM BESIPADA LAPISAN AKTIF TITANIA TERHADAP STRUKTUR MORFOLOGI DAN RESISTANSI LAPISAN AKTIF TiO_2 SERTA PERFORMANSI SEL SURYA YANG DIHASILKAN

THE EFFECT OF INSERTION OF IRON METALSON TITANIA ACTIVE LAYER TO THE MORPHOLOGICAL STURCTURE AND RESISTANCE OF TiO_2 ACTIVE LAYER AND ALSO THE RESULTING SOLAR CELL PERFORMANCE

Oleh : Winda Setya Ningtias¹ dan Rita Prasetyowati²

¹Mahasiswa Program Studi Fisika UNY

²Dosen Program Studi Fisika UNY

Email : wningtias@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyisipan logam besi pada lapisan aktif titania terhadap struktur morfologi permukaan dan komposisi kimia lapisan titania, spektrum absorbansi lapisan aktif titania, nilai resistansi lapisan titania, serta tegangan sel surya yang dihasilkan. Pembuatan lapisan aktif titania dilakukan dengan menggunakan teknik *sol gel* dan *doctor blade coating*. Sampel disusun dalam bentuk *sandwich* yang terdiri dari empat bagian yaitu kaca ITO (*Indium Tin Oxide*), lapisan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$, lapisan elektrolit dan lempeng aluminium. Lapisan elektrolit berasal dari campuran PVA (*Poly Vinyl Alcohol*) dan NaF (*Natrium Floride*). Sampel dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX, spektroskopi UV-Vis, jembatan *wheatstone* dan multimeter. Hasil SEM (*Scanning Electron Microscopy*) menunjukkan lapisan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ yang terbentuk memiliki struktur morfologi yang homogen dengan ukuran diameter rata-rata partikel yaitu 145 nm. Dari hasil EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) pada lapisan titania-besi mengandung Ti sebesar 59,82%, O sebesar 40,03% dan Fe sebesar 0,15%. Hasil UV-Vis menunjukkan lapisan TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang 200–390 nm dan 650–800 nm. Nilai resistansi untuk lapisan TiO_2 yaitu 3190 Ω . Nilai resistansi lapisan titania dengan penambahan logam besi sebanyak 0,05 g; 0,075 g; 0,1 g; 0,125 g dan 0,15 g secara berturut-turut adalah 3188,49 Ω ; 3188,40 Ω ; 3188,39 Ω ; 3187,98 Ω dan 3184,87 Ω . Performansi sel surya yang didapat yaitu nilai tegangan, dimana tegangan pada saat massa logam besi yang dicampurkan sebesar 0,05 g; 0,075 g; 0,1 g; 0,125 g; dan 0,15 g secara berturut-turut adalah 0,370 volt; 0,398 volt; 0,334 volt; 0,488 volt dan 0,545 volt.

Kata kunci : titania, sel surya fotoelektrokimia, $\text{TiO}_2\text{-Fe}$, fotovoltaiik

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the effect of insertion of iron metals on titania active layer to surface morphological structure and chemical composition of titania layer, absorbance spectrum of titania active layer, resistance value of titania layer, and also the resulting solar cell voltage. The manufacture of the active layer of titania was done by using sol gel and doctor blade coating techniques. Sample are arranged in sandwich form that consist of four parts, there are ITO (Indium Tin Oxide) glass, $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ layer, electrolyte layer and aluminium plate. Electrolyte layer used was a mixture of PVA (Poly Vinyl Alcohol) and NaF (Natrium Floride). Sample was characterized by using SEM-EDX, UV-Vis spectroscopy, wheatstone bridge and multimeter. The SEM (Scanning Electron Microscopy) result indicate that the formed $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ layers have quite evenly structure with average of particles diameter values of 145 nm. The EDX (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) result on iron-titania layer show that it contains 59,82% Ti, 40,03% O, and 0,15% Fe. UV-Vis result show that TiO_2 and $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ layer were able to absorb light at wavelengths of 200-390 nm dan 650-800 nm. Resistane value of TiO_2 layer is 3190 Ω . The resistance values of titania layer with the additon of iron metal as much as 0,05 g; 0,075 g; 0,1 g; 0,125 g and 0,15 g in a row are 3188,49 Ω ; 3188,40 Ω ; 3188,39 Ω ; 3187,98 Ω ; 3184,87 Ω . The result obtained from solar cell performance are voltage values, which the voltage values when the mass of iron metal mixed as much as 0,05 g; 0,075 g; 0,1 g; 0,125 g; and 0,15 g in a row are 0,370 volt; 0,398 volt; 0,334 volt; 0,488 volt and 0,545 volt.

Keyword: titania, photoelectrochemical solar cell, $\text{TiO}_2\text{-Fe}$, photovoltaic

Pendahuluan

Seiring dengan menyusutnya sumber energi dalam beberapa tahun belakangan ini, pencarian energi alternatif yang dapat diperbaharui sangat dibutuhkan. Keadaan tersebut memicu manusia untuk membuat dan mengembangkan sumber energi alternatif yang dapat digunakan secara masal, dengan harga yang murah serta dapat diperbaharui. Sinar matahari merupakan sumber energi utama yang tidak akan habis jika digunakan secara berkala. Sebagai negara tropis yang terletak di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki potensi tenaga surya yang sangat besar. Maka dari itu, salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan adalah sel surya, dimanasel surya ini mampu mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa menghasilkan emisi atau gas buangan apapun (Rera, 2015).

Sel surya atau *solar cell* merupakan sebuah *device* semikonduktor yang mampumengubah sinar matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip fotovoltaik. Sampai saat ini sel surya terus berkembang pesat mulai dari sel surya generasi pertama sampai generasi ketiga, baik dengan bahan organik maupun non organik (Rera, 2015).

Salah satu sel surya yang terus dikembangkan hingga saat ini adalah sel surya berbasis titania (Sahrul dkk, 2011). Selain karena harganya murah dan mudah didapatkan, titania dipilih karena mempunyai transmisi optik yang baik. Titania berperan sebagai lapisan aktif yang menyerap energi cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik (Sahrul dkk, 2011).

Pada pembuatan sel surya berbasis titania dibutuhkan doping atau penambahan logam-logam

transisi pada TiO_2 . Hal ini disebabkan karena sel surya berbasis titania tanpa penambahan unsur apapun sebagai lapisan aktif masih memberikan efisiensi yang rendah. Logam-logam transisi yang biasa digunakan diantaranya Fe, V, Cr dan Cu (Rita, 2012).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Desember 2015 sampai dengan bulan April 2016 di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, di LPPT (Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu) Universitas Gadjah Mada dan di Laboratorium Fisika Material Universitas Gadjah Mada, serta di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada.

Prosedur Penelitian

1. Tahap Preparasi

Tahap pertama preparasi yaitu pembuatan nanokomposit. Pembuatan nanokomposit ini dilakukan dengan cara mencampurkan 0,1 gram PVA ke dalam 10 ml aquades pada sebuah gelas kimia dan ditutup dengan menggunakan gelas arloji. Kemudian gelas kimia yang berisi aquades dan PVA dipanaskan serta diaduk menggunakan *hot plate stirrer* pada suhu 80°C selama 2 jam. Setelah kurang lebih dua jam, kemudian mencampurkan 1 gram titania (TiO_2) dan serbuk besi (Fe) ke dalam gelas kimia tersebut.

Tahap kedua preparasi yaitu pendeposisian nanokomposit di atas substrat yang terbuat dari kaca ITO dengan ukuran $2 \times 2,5$ cm dan juga kaca preparat. Substrat ini kemudian dicuci dalam *ultrasonic bath* selama 15 menit dengan menggunakan aquades dan selama 30 menit

dalam cairan alkohol 70%. Nanokomposit yang telah dibuat kemudian dideposisi atau dilapiskan di atas substrat yang sudah bersih dengan teknik *doctor blade coating*. Nanokomposit yang sudah menempel dengan rata di atas substrat kemudian dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 100°C selama kurang lebih 30 menit. Substrat yang telah dilapisi dengan nanokomposit dipanaskan lagi dengan menggunakan *furnace* pada suhu 450°C selama 30 menit.

2. Tahap Karakterisasi SEM-EDX

Nanokomposit yang telah di preparasi dan dideposisi di atas kaca preparat di karakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX.

3. Tahap Karakterisasi Spektroskopi UV-Vis

Nanokomposit yang telah di preparasi dan dideposisi di atas kaca ITO di karakterisasi dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis.

4. Tahap Karakterisasi dengan Jembatan Wheatstone

Nanokomposit yang telah di preparasi dan dideposisi di atas kaca ITO di karakterisasi dengan menggunakan jembatan *wheatstone*.

5. Tahap Karakterisasi Sampel Sel Surya

Untuk karakterisasi sampel sel surya dilakukan dengan menggunakan multimeter. Pada tahap ini diperlukan pembuatan elektrolit polimer. Elektrolit polimer ini dibuat dengan cara memanaskan aquades sebanyak 10 ml sampai suhu 110°C. Pada saat suhu aquades sudah mencapai 110°C, lalu 0,5 gram NaF dimasukkan ke dalamnya dan diaduk sampai larut selama kurang lebih 30 menit. Setelah larut, PVA sebanyak 0,8 gram ditambahkan

kedalamnya, kemudian ditunggu sampai berbentuk gel. Lapisan TiO₂-Fe yang sebelumnya sudah dideposisikan pada substrat, dilapisi dengan elektrolit polimer, kemudian ditutupi dengan menggunakan lempengan aluminium sebagai elektroda, sehingga menyerupai bentuk *sandwich*. Lapisan sel surya yang telah menyerupai *sandwich* ini dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 80°C selama kurang lebih 10 menit, kemudian diukur tegangan sampelnya dengan menggunakan multimeter.

Tahap Pengambilan Data

Lapisan titania-besi di karakterisasi dengan SEM-EDX, spektroskopi UV-Vis dan jembatan *wheatstone*. Untuk sampel sel surya di ukur tegangannya dengan menggunakan multimeter.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan untuk menghitung diameter rata-rata partikel dari hasil uji SEM-EDX dan menghitung nilai resistansi dari analisis jembatan *wheatstone*.

1. Menentukan diameter rata-rata partikel

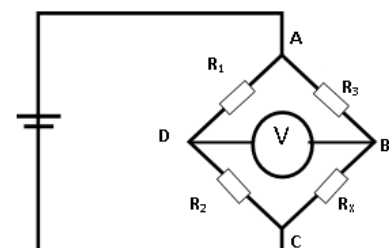
$$\bar{D} = D_p \exp \left\{ \frac{\sigma^2}{2} \right\}$$

\bar{D} = Diameter rata-rata partikel

$D_p = x_c$ = Lokasi puncak fungsi distribusi

$\sigma = w$ = Simpangan deviasi geometri

2. Menentukan nilai resistansi



Gambar 1. Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

$$R_4 = \frac{R_1 \left(\frac{V_{ab}}{V_i} + \frac{1}{2} \right)}{\left(\frac{1}{2} - \frac{V_{ab}}{V_i} \right)}$$

R_1 = Potensiometer sebesar 3 k Ω

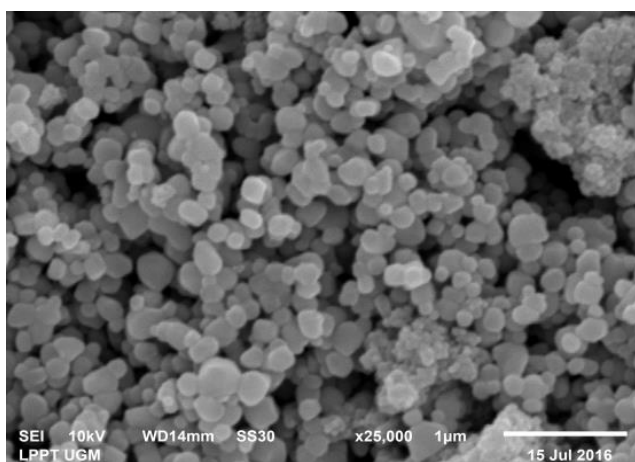
$R_2 = R_3$ = Resistor sebesar 18 Ω

V_{ab} = Tegangan yang dicari

R_4 = Resistor yang belum diketahui nilainya

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

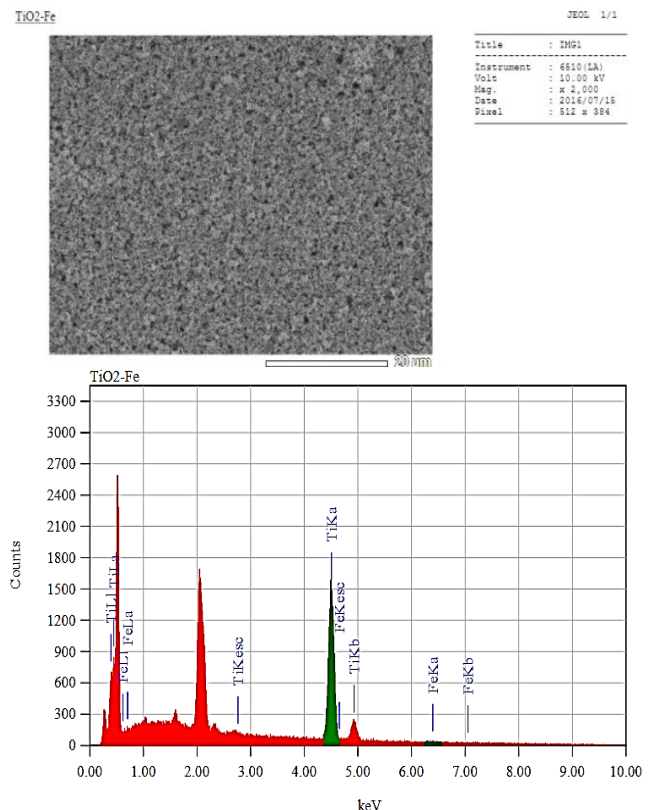
1. Karakterisasi SEM-EDX



Gambar 2. Foto SEM Lapisan TiO₂-Fe dengan Perbesaran 25.000 kali

Dari Gambar 2 terlihat bahwa struktur morfologi permukaan lapisan titania-besi terlihat homogen. Tampak pula bahwa ukuran partikel bervariasi dari yang sangat kecil hingga cukup besar. Hampir tidak mungkin membuat partikel dengan ukuran yang seragam (monodispersi) (Abdullah dan Khairurrijal, 2010). Secara umum, ukuran partikel yang telah dibuat hampir dipastikan polidispersi. Oleh karena itu, untuk mengetahui diameter rata-rata partikel, perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hasil uji SEM. Berdasarkan analisis data dapat diketahui diameter rata-rata partikel pada sampel titania-besi yaitu 0,145 μm atau setara dengan 145 nm. Diameter partikel yang ideal untuk sel surya yaitu antara 50–200 nm (Ryan, 2006). Oleh

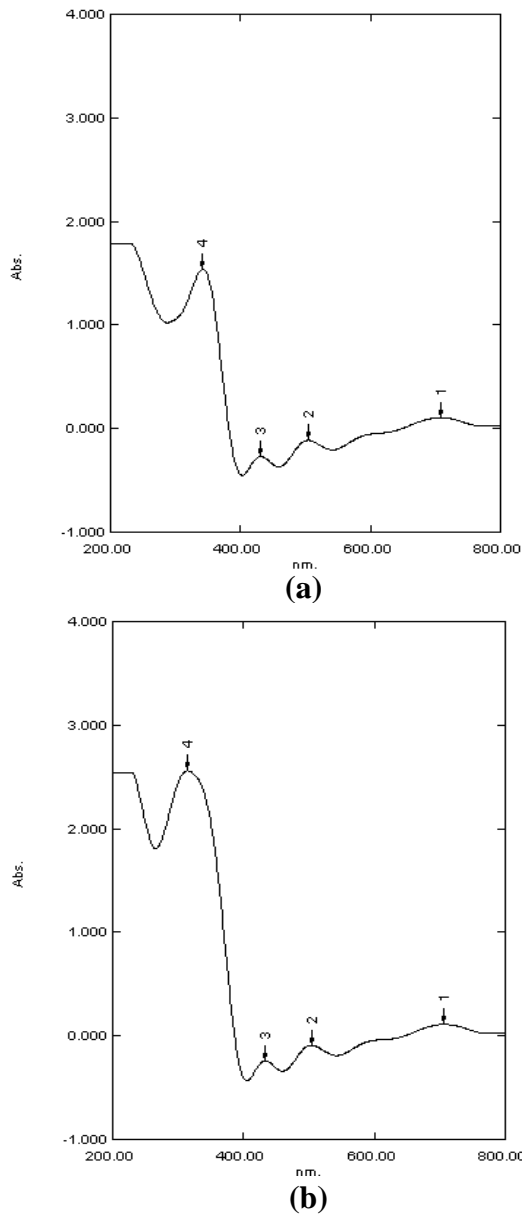
karena itu, dapat dikatakan bahwa ukuran partikel yang ada dalam penelitian ini sudah sesuai untuk dijadikan material sel surya.



Gambar 3. Hasil Uji EDX Lapisan Titania-Besi

Dari hasil uji EDX pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa terdapat tiga macam unsur yang terkandung yaitu O, Ti dan Fe. Diantara ketiga unsur kimia tersebut, Fe memiliki presentase yang cukup besar yaitu 0,15%, sedangkan presentase TiO₂ sebesar 99,85%. Hasil tersebut membuktikan bahwa partikel besi berhasil disisipkan ke dalam material titania. Semakin banyak partikel besi yang menyisip maka kemungkinan untuk memperoleh performansi sel surya yang baik akan semakin besar.

2. Karakterisasi Spektroskopi UV-Vis



Gambar 4. (a)Spektrum Absorbansi Lapisan Titania(b)Spektrum Absorbansi Lapisan Titania-Besi

Dari Gambar 4 (a) dan (b)dapat diketahui bahwa lapisan titania dan lapisan titania-besi dapat menyerap cahaya dengan baik pada panjang gelombang 200–390 nm dan antara 650–800 nm. Hal tersebut terbukti dengan spektrum absorbansi yang berada di atas nol. Lapisan titania dan titania-besi memiliki luas daerah serapan yang sama. Hal ini membuktikan bahwa penyisipan logam besi pada lapisan titania tidak mengubah sifat dan fungsi material titania sebagai bahan lapisan aktif untuk sel surya.

3. Karakterisasi Menggunakan Jembatan Wheatstone

Nilai resistansi ketika logam besi (Fe) disisipkan pada titania (TiO_2) dapat diketahui dari hasil karakterisasi dengan menggunakan jembatan *wheatstone*(Gambar 1). Untuk mengetahui nilai R_4 perlu dilakukan analisis nilai V_{ab} dari rangkaian jembatan *wheatstone*.

Berdasarkan analisis rangkaian jembatan *wheatstone* nilai resistansi lapisan TiO_2 tanpa penambahan logam besi yaitu sebesar 3190 Ω . Sedangkan untuk lapisan $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ memiliki nilai resistansi yang berbeda-beda sesuai dengan banyaknya doping atau logam besi yang disisipkan. Nilai resistansi untuk lapisan titania dengan penambahan besi dapat dilihat dalam tabel di bawah ini :

Tabel 1. Nilai Resistansi yang Dihasilkan

Massa Besi (gram)	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
Nilai Resistansi (Ω)	3188,49	3188,40	3188,39	3187,98	3184,87

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa terjadi perubahan nilai resistansi ketika logam besi dengan berbagai variasi massa disisipkan pada titania. Jika dibandingkan dengan nilai resistansi lapisan TiO_2 , nilai resistansi titania yang telah disisipi partikel besi memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai resistansi lapisan titania. Selain itu untuk terdapat penurunan nilai resistansi saat massa besi yang disisipkan sebesar 0,15 gram. Penurunan nilai resistansi ini terlihat ketika massa besi yang disisipkan semakin banyaak. Semakin kecil nilai resistansi yang dihasilkan maka akan semakin besar nilai konduktivitas

bahan, sehingga dapat mempercepat laju elektron menuju kaca ITO.

4. Tegangan Sampel Sel Surya

Sampel sel surya yang telah berbentuk *sandwich* dikarakterisasi untuk mengetahui performansinya. Performansi yang dihasilkan disini hanya nilai tegangan sajanan diukur dengan menggunakan multimeter. Pengukuran tegangan ini dilakukan pada setiap sampel dengan variasi massa besi yang berbeda-beda seperti pada tabel berikut :

Tabel 2. Nilai Tegangan Sampel Sel Surya dengan Variasi Massa Besi yang Berbeda

No	Besi (Fe)	
	Variasi Massa (gram)	Tegangan (Volt)
1	0,05	0,370
2	0,075	0,398
3	0,1	0,334
4	0,125	0,488
5	0,15	0,545

Walaupun dalam penelitian ini belum bisa menemukan kurva I-V, setidaknya sel surya yang dibuat dalam bentuk *prototype* ini sudah bisa menunjukkan adanya gejala fotovoltaiik, karena sudah ada tegangan yang dihasilkan. Ada beberapa kemungkinan penyebab terjadinya masalah tersebut, di antaranya :

- Sumber cahaya yang diberikan terlalu kecil, sehingga memungkinkan jumlah cahaya yang terserap semakin kecil. Idealnya sumber cahaya yang digunakan besarnya harus puluhan ribu Lux.
- Luas permukaan material sel surya yang masih kecil. Ukuran sel surya yang kecil ini disebabkan oleh keterbatasan substrat atau ITO yang jumlahnya sedikit.

- Elektrolit yang menggumpal dan sulit untuk berubah dalam bentuk gel. Permukaan elektrolit yang kurang rata atau menggumpal, dapat menghambat transport muatan pada sel surya.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil SEM (*Scanning Electron Miscroscopy*) struktur morfologi permukaan lapisan titania-besi terlihat homogen dengan ukuran diameter rata-rata partikel sebesar 145 nm. Sedangkan hasil karakterisasi komposisi kimia pada lapisan titania-besi dengan menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) menunjukkan bahwa pada lapisan titania-besi mengandung sejumlah partikel Fe dengan presentase Ti sebesar 59,82% , O sebesar 40,03% dan Fe sebesar 0,15%. Hal ini menunjukkan ada sejumlah partikel Fe yang menyisip diantara partikel TiO₂.
- Penyisipan logam besi pada lapisan titania tidak mengubah sifat dan fungsi material titania sebagai bahan lapisan aktif untuk sel surya, karena lapisan titania dan titania-besi memiliki luas daerah penyerapan yang sama yaitu antara panjang gelombang 200–390 nm dan 650-800 nm.
- Penyisipan logam besi dengan berbagai variasi pada lapisan titania memberikan perubahan nilai resistansi yang dihasilkan. Nilai resistansi untuk lapisan TiO₂ yaitu 3190 Ω. Sedangkan nilai resistansi untuk lapisan titania dengan penambahan logam besi sebanyak 0,5 gram; 0,75

gram; 0,1 gram; 0,125 gram dan 0,15 gram secara berturut-turut adalah 3188,49 Ω ; 3188,40 Ω ; 3188,39 Ω ; 3187,98 Ω dan 3184,87 Ω .

4. Performansi sel surya yang didapat yaitu nilai tegangan. Besarnya tegangan pada saat massa logam besi yang disisipkan sebesar 0,05 gram; 0,075 gram; 0,1 gram; 0,125 gram; dan 0,150 gram secara berturut-turut adalah 0,370 volt, 0,398 volt, 0,334 volt, 0,488 volt dan 0,545 volt.

Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan penulis adalah :

1. Kaca ITO yang digunakan perlu diperbesar untuk meningkatkan performansi sel surya.
2. Pembuatan elektrolit polimer dengan bahan dan teknik yang tepat agar tidak menggumpal dan tidak mudah menguap sehingga dapat meningkatkan performansi sel surya.
3. Sumber cahaya yang digunakan dalam proses penyinaran lebih diperbesar dayanya agar dapat memancarkan foton yang lebih banyak lagi.

DAFTAR PUSTAKA

A. Daniel. (2009). Studi Tentang Sel Surya Berbasis Titania Melalui Penyisipan Logam Besi Pada Lapisan Aktif Titania. *Skripsi*, tidak dipublikasikan. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.

Abdullah, M. & Khairurrijal. (2010). *Karakteristik Nanomaterial Teori, Penerapan dan Pengolahan Data*. Bandung : Rezeki Putera.

Alonso, Marcelo & Edward, J. Fin. (1994). *Dasar-Dasar Fisika Universitas Edisi ke-2*. (Terjemahan : Lea Prasetya dan Kusnul Hadi). Jakarta : Penerbit Erlangga.

Halliday, David & Robert Resnick. (1986). *Fisika Modern Edisi ke-3*. (Terjemahan : Pantur Silaban, Ph.D). Jakarta : Penerbit Erlangga.

M. Gratzel. (2003). Review Dye-sensitized Solar Cells. *Jurnal of Photochemistry and Photobiology C : Photochemistry Review*. 4 : 145-153

O'hayre, Ryan, et al. (2006). *The Influence of TiO₂ Particle Size in TiO₂/CuInS₂ Nanocomposite Solar Cells*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.

Prabowo, Arif. (2015). Analisis Pengaruh Penambahan Lapisan Fosfor N+ pada Wafer Silikon Monokristal terhadap Kinerja Sel Surya. *Skripsi*, tidak dipublikasikan. Yogyakarta : Teknik Fisika. Universitas Gadjah Mada.

Prasetyowati, Rita. (2012). *Peningkatan Efisiensi Sel Surya Berbasis Titania Melalui Penyisipan Logam Besi pada Lapisan Aktif Titania*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.

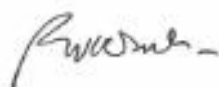
Rega, Rera. (2015). Pengaruh Modifikasi Sel Fotovoltaik Terhadap Kinerjanya dalam Menghasilkan Arus dan Tegangan dengan Sistem Larutan Elektrolit Ki/Ki₃. *Tesis*, tidak dipublikasikan. Padang : Program Pascasarjana Kimia. Universitas Andalas.

Rio, Reka & Lida Masamori. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Sahrul, Saehanad. et al. (2011). *Performance Improvement of TiO₂ Based Solar Cells by Coating Cu Nanoparticles into the Space Between TiO₂*. Bandung : Institut Teknologi Bandung

Yogyakarta, 27 September 2016

Reviewer,
Penguji Utama



Bambang Ruwanto, M.Si
NIP.19651225 199101 1 001

Menyetujui
Pembimbing



Rita Prasetyowati, M.Si
NIP. 19800728 200604 2 001