OPTIMALISASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) BERBAHAN TITANIUM DIOKSIDA DENGAN KONFIGURASI TIPE MONOLITIK

OPTIMIZATION DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) PROVIDED TITANIUM DIOXIDE WITH MONOLITHIC TYPE CONFIGURATION

Ade Istiqomah[1], Mamat Rokhmat[2], Natalita Maulani Nursam[3].

[1,2,3] Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

[1] adeistiqomah63@gmail.com,[2] mamatrokhmat76@gmail.com, [3] natalita.mn@gmail.com

Abstrak

Sel surya berbasis *dye sensitized* (DSSC) banyak dikembangkan dikarenakan berbahan murah dan proses fabrikasi yang sederhana. Beberapa persoalan yang menjadi tantangan dalam fabrikasi DSSC adalah effisiensi yang rendah. Pada penelitian ini dikembangkan DSSC menggunakan konfigurasi tipe monolitik. Metode yang digunakan yaitu metode *screen printing* dan parameter yang dipelajari meliputi pengaruh variasi ketebalan ZrO_2 yaitu 1x, 2x, 3x, dan 6x pelapisan dan pengaruh *counter electrode* karbon dan platina terhadap efisiensi sel surya. Hasil penelitian ini dikarakterisasi sifat-sifat morfologi permukaan dan nilai *sheet resistance* masing-masing menggunakan SEM, EDS, dan *four point probe.* Karakterisasi morfologi dilakukan dengan cara membandingkan morfologi *counter electrode* karbon dan platina yang menunjukan bahwa karbon memiliki struktur partikel lebih besar daripada platina serta melihat kandungan material ZrO_2 yang menunjukan bahwa tidak terdapat material lain selain Zr, O, dan Ti. Hasil karakterisasi *sheet resistance* menunjukan bahwa nilai rata-rata resistansi karbon sebesar 9,864 Ω/sq dan platina sebesar 10,954 Ω/sq sehingga nilai resistansi karbon lebih rendah daripada platina. Dengan resistansi yang semakin rendah maka performa sel surya semakin baik. Pada hasil karakterisasi I-V memberikan informasi bahwa ketebalan ZrO_2 dan jenis *counter electrode* memiliki pengaruh terhadap nilai efisiensi DSSC monolitik. Dengan menggunakan *counter electrode* karbon memiliki efisiensi tertinggi pada ketebalan ZrO_2 2x yaitu sebesar 0,039 %, sedangkan untuk yang menggunakan *counter electrode* platina memiliki efisiensi tertinggi pada ketebalan ZrO_2 1x yaitu sebesar 0,011 %.

Kata kunci : DSSC (*Dye Sensitized Solar* Cell), Zirconia, *counter electrode*.

Abstract

Dye-sensitized dye-based solar cells (DSSC) are widely developed due to their low-cost and simple fabrication processes. Some of the issues that challenge the DSSC fabrication are low efficiency. In this study developed DSSC using monolithic type configuration. The method used is screen printing method and the parameters studied include the effect of variation of ZrO2 thickness that is 1x, 2x, 3x, and 6x coating and influence of carbon and platinum counter electrode to the efficiency of solar cell. The results of this study were characterized by surface morphological properties and sheet resistance values using SEM, EDS and four point probe respectively. Morphological characterization is done by comparing the morphology of carbon and platinum counter electrodes which show that carbon has a larger particle structure than platinum and see the ZrO2 material content which shows that there is no material other than Zr, O, and Ti. The result of sheet resistance characterization shows that the average value of carbon resistance is 9,864 Ω / sq and platinum is 10,954 Ω / sq so that the carbon resistance value is lower than platinum. With the lower resistance the better solar cell performance.

The result of I-V characterization gives information that ZrO2 thickness and counter electrode type have an effect on monolithic DSSC efficiency. By using carbon counter electrode has the highest efficiency at 2x ZrO2 thickness of 0.039%, while for using platinum electrode counter has the highest efficiency at ZrO2 1x thickness of 0.011%.

Keywords: DSSC (Dye Sensitized Solar Cell), Zirconia, counter electrode

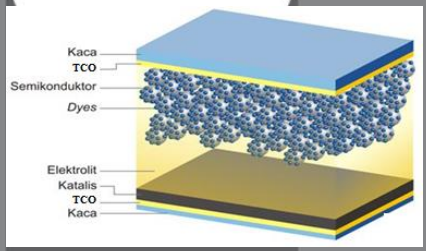
1. Pendahuluan

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan sel surya yang terbuat dari semikonduktor yang dilapisi oleh zat warna untuk meningkatkan efisiensi. DSSC tersusun atas sepasang elektroda, yakni elektroda kerja dan elektroda lawan (*counter electrode*). Kedua elektroda tersebut terbuat dari substrat kaca konduktif, yang telah dilapisi *Transparent Conductive Oxide* (TCO). Elektroda kerja tersusun atas lapisan oksida partikel nano yang dilapisi oleh molekul zat pewarna (*dye*) sensitasi. Molekul *dye* berfungsi sebagai penangkap foton cahaya dan semikonduktor yang umumnya berstruktur nano berfungsi meneruskan foton menjadi electron [1]. Selain sel surya DSSC konvensional yang memiliki dua jenis elektroda (atau disebut juga dengan struktur *sandwich*), sel surya DSSC juga dapat dibuat pada satu substrat elektroda yang disebut dengan konfigurasi tipe monolitik. Pada tipe monolitik ini hanya menggunakan satu pelapisan substrat *glass* yang terlapisi TCO. Hal ini sangat menguntungkan secara ekonomis karena harga TCO *glass* yang relatif mahal, sehingga tipe monolitik ini lebih hemat dalam penggunaannya. Pada penelitian ini, dikembangkan sel surya DSSC menggunakan konfigurasi tipe monolitik. Metode yang digunakan yaitu metode *screen printing* serta melihat pengaruh lapisan ZrO_2 dan *counter electrode* karbon dan platina terhadap efisiensi sel surya.

2. Dasar Teori dan Metodologi Eksperimen

2.1 Sel Surya Berbasis Dye Sensitized (DSSC)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan sel surya generasi ketiga setelah sel surya berbasis silikon dan sel surya berbasis *thin film* sebagai pendahulunya. Pada sel surya konvensional, foton atau sinar matahari berinteraksi dengan semikonduktor yang kemudian menghasilkan listrik. Sedangkan pada DSSC, sel surya bekerja berdasarkan sistem fotolektrokimia, dimana absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul pewarna dan proses separasi muatan oleh bahan semikonduktor. Sel ini dibentuk dari dua buah substrat berupa *transparent-conducting-oxide* (TCO-*glass*) yang disusun secara *sandwich*. Bagian atas berupa molekul-molekul pewarna yang terikat di permukaan lapisan semikonduktor TiO_2 dan bagian alas dilapisi platina atau karbon sebagai *counter electrode* serta larutan elektrolit sebagai penghantar muatan. Pada sel surya DSSC menghasilkan efisiensi lebih baik karena zat warna bekerja pada daerah sinar tampak hingga inframerah pada rentang panjang gelombang yang lebih lebar, sedangkan TiO_2 sebagai semikonduktor hanya dapat berinteraksi dengan ultra violet (UV) yang faktanya sebagian besar sinar UV tidak sampai pada permukaan bumi karena terhalang oleh lapisan ozon [2]. Proses penyerapan cahaya matahari oleh sel surya TiO_2 partikel nano tersentisasi dye menyerupai mekanisme fotosintesis pada daun tumbuhan dengan klorofil sebagai *dye*-nya [3]. Struktur DSCC ini ditunjukan oleh Gambar 1.

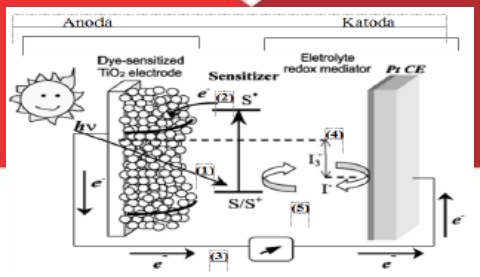


Gambar 1. Struktur DSSC

2.2. Prinsip Kerja Sel Surya Berbasis Dye Sensitied

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel seperti ditunjukan oleh Gambar 2 sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan photon. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang λ dan frekuensi photon V. Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel surya, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel surya. Foton yang terserap oleh sel surya inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik.

Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Konduktifitas elektron atau kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material. Sel surya pada umunya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas. Material semikonduktor adalah suatu padatan (solid) dan seperti logam, konduktifitas elektriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. [4].

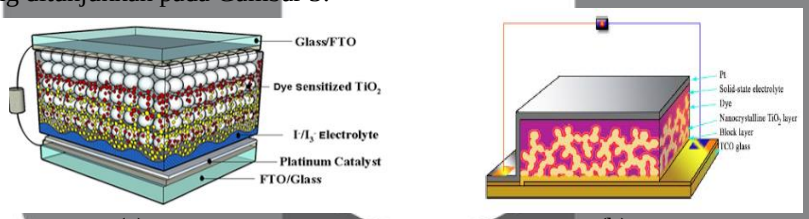


Gambar 2. Skema Kerja dari DSSC [5].

2.3 Perbedaan Sel Surya DSSC Berstruktur *Sandwich* dan Monolitik

Perbedaan yang mendasar pada sel surya DSSC struktur *sandwich* dan monolitik antara lain :

1. Pada struktur *sandwich* terdapat dua kaca FTO, sedangkan pada struktur monolitik hanya terdapat satu kaca FTO. Pada struktur monolitik tentu saja lebih sedikit biaya pembuatannya dibanding dengan struktur *sandwich* karena kaca FTO harganya relatif mahal. Perbedaan ini dapat dilihat dari struktur dasar kedua jenis sel surya DSSC tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 3.



(a) (b)

Gambar 3. (a) Struktur sandwich, (b) Struktur monolitik [6].

2. Dilihat dari muatannya, pada struktur *sandwich* muatan positif dan muatan negatif terpisah atau terletak pada dua sisi substrat yang berbeda sedangkan pada struktur monolitik muatan positif dan muatan negatif terletak pada satu sisi substrat.
3. Pada struktur *sandwich* kedua lapisannya dilapisi oleh material seperti karbon/platina dan TiO_2 sedangkan pada struktur monolitik hanya satu subtrat yang dilapisi.
4. Pada struktur *sandwich* dalam proses fabrikasinya lebih susah dibandingkan dengan tipe monolitik karena antarakedua lapisan substrat harus tepat satu sama lain saat digabungkan.

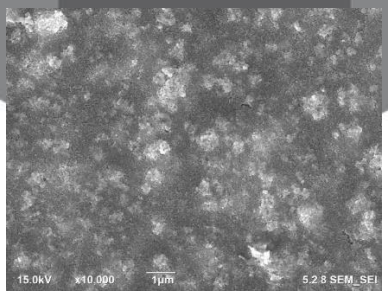
2.4 Fabrikasi DSSC

Pertama, dilakukan pembuatan pola DSSC monolitik yang akan difabrikasi kemudian dilakukan pembuatan pola pada *screen* untuk mencetak pola TiO_2, ZrO_2, dan *counter electrode*. Selanjutnya dilakukan preparasi substrat FTO menggunakan DI water yang dicampur sabun menggunakan alat *ultrasonic cleaner* selama 10 menit dan dibilas dengan menggunakan etanol. Setelah itu yaitu proses deposisi lapisan TiO_2 dan ZrO_2 menggunakan alat *screen printer* produksi de Haart tipe SP SA 40. Pertama lapisan yang dideposisi yaitu TiO2 sebanyak 2x selanjutnya dilakukan perendaman menggunakan TiCl4 (40 mM) dalam suhu 70º selama 30 menit kemudian dilakukan proses deposisi ZrO_2 dengan variasi masing-masing lapisan yaitu 1x, 2x, 3x, 6x. Untuk ketebalan lapisan ZrO_2 akan divariasikan sampai mencapai ukuran 15 µm dan 30 µm. Ukuran tersebut diambil berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan ukuran lapisan ZrO_2 sebesar 15 µm untuk DSSC tipe monolitik sedangkan untuk ukuran 30 µm berdasarkan ukuran standar DSSC tipe *sandwich* [7]. Setelah proses *screen printing*, substrat yang telah terdeposisi dikeringkan dengan cara dipanaskan dengan oven pada temperatur 125º C selama 10 menit. Substrat yang telah terdeposisi lapisan TiO_2 dan substrat terdeposisi lapisan ZrO_2 di sintering dengan menggunakan *Furnace* merk RTC (*Radiant Technology Coorporation*) pada suhu 400º C. Proses sintering ini berlangsung kira-kira 60 menit dengan pengoperasian computer. Kemudian dilakukan proses deposisi pada lapisan *counter electrode* karbon dan platina. Untuk pasta karbon dibuat dari campuran grafit (210 mg) + karbon (150 mg) + TiO_2 P 25 (310 mg) + asam asetat (0,15 ml) + DI water (2ml) [7]. Sedangkan untuk pasta platina tidak dibuat sendiri melainkan menggunakan pasta dari Dyesol. Pada karbon dan platina dilakukan deposisi sebanyak 5x menggunakan *screen printing*. Untuk pengeringan karbon dioven pada suhu 150º C selama 40 menit sedangkan pada platina dioven pada suhu 100º C selama 5 menit. Setelah proses pengeringan selanjutnya dilakukan *sintering* pada suhu 450º C selama 30 menit. Substrat dengan lapisan TiO_2, lapisan ZrO_2, dan lapisan *counter electrode* yang sudah di sintering kemudian direndam dalam larutan *dye* Z907 (Dyesol). Peredaman tersebut dilakukan selama 24 jam. Selanjutnya substrat dibilas dengan menggunakan etanol dan dikeringkan menggunakan *hair dryer*. Selanjutnya dilakukan proses *assembly* yaitu proses perakitan dengan menutup lapisan atas dengan kaca non konduktif untuk mendapatkan DSSC yang stabil dalam jangka panjang. Proses selanjutnya yaitu pengisan elektrolit dengan cara menyuntikkan elektrolit berbasis I^-/I_3^- (HSE, Dyesol) pada celah diantara kedua kaca. Proses terakhir yaitu karakterisasi DSSC yang meliputi karakterisasi I-V, karakterisasi SEM & EDS, pengukuran *Four point probe*, dan karakterisasi XRD.

3. Pembahasan

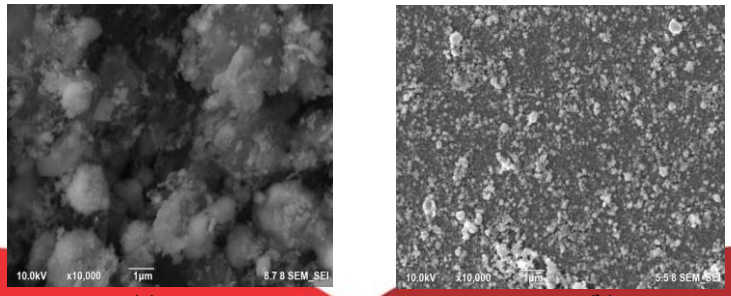
3.1 Karakterisasi SEM & EDS

Gambar 4 dibawah ini menunjukan hasil karakterisasi SEM pada sampel TiO_2 dengan perbesaran 10.000x.. Struktur pori dari TiO_2 merupakan karaktersitik penting untuk aplikasinya dalam DSSC, karena posisi dye akan berada pada pori-pori tersebut. Dengan jumlah pori yang banyak maka akan memperbanyak jumlah dye yang teradsorp [8].



Gambar 4. Hasil Uji TiO_2

Sedangkan pada Gambar 5 dibawah ini terlihat jelas perbedaan gambar morfologi antara sampel yang menggunakan karbon dan platina sebagai *counter electrode*. Pada Gambar 5 (a) hasil uji SEM pada karbon terlihat ada partikel-partikel besar diatas substrat FTO dan cenderung tidak homogen penyebarannya. Sedangkan pada Gambar 5 (b) hasil uji SEM pada platina terlihat berbentuk partikel-partikel yang kecil dan penyebarannya homogen.



(a) (b)

Gambar 5. (a) Hasil Uji SEM Karbon, (b) Hasil Uji SEM Platina.

Selanjutnya yaitu karakterisasi EDS pada TiO_2 + ZrO_2 yang bertujuan untuk melihat morfologi dan komposisi unsur yang ada pada TiO_2 dan ZrO_2. Hasil uji EDS TiO_2 + ZrO_2 ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini.

Gambar 6. Grafik Hasil Uji EDS Sampel TiO_2 + ZrO_2.

Pada Gambar 6 diatas dapat terlihat perbedaan kandungan unsur kimia antara Ti, O, dan Zr yaitu masing-masing memiliki persentase 29,1; 31,3; dan 39,4. Dapat dilihat bahwa pada lapisan TiO_2 dan ZrO_2 mengandung unsur murni tanpa adanya unsur lain yang mungkin dapat terkontaminasi. Sehingga dengan adanya kandungan unsur yang murni seperti data yang telah dihasilkan maka performa sel surya akan baik.

3.2 Pengukuran *Sheet Resistance*

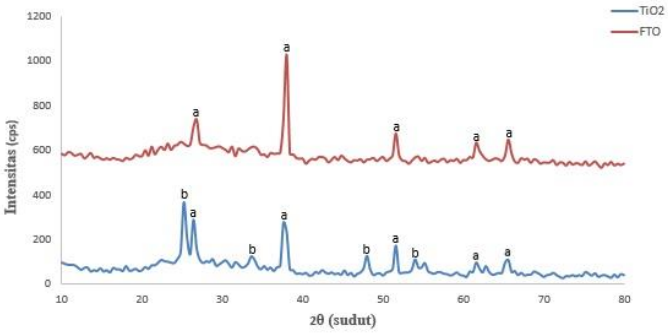
Pada Tabel 1 dibawah ini menunjukan bahwa nilai resistansi karbon lebih kecil daripada nilai resistansi yang dihasilkan pada platina. Nilai resistansi pada karbon dan platina masing-masing sebesar 9,864 Ω/sq dan 10,954 Ω/sq. Semakin kecil nilai resistansi *counter electrode* maka semakin baik sifat konduktifitas karakterisasi I-V dan efisiensi sel surya. Data ini mengindikasikan bahwa material karbon dapat berfungsi sebagai *counter electrode* yang lebih baik dibandingkan platina.

Tabel 1. Hasil pengukuran *sheet resistance*.

Pengukuran	FTO R_{sheet} (Ω/sq)	Karbon R_{sheet} (Ω/sq)	Platina R_{sheet} (Ω/sq)
1	13,5	9,3	11,5
2	13,7	10,02	11,17
3	13,3	10,3	10,8
4	13,6	10,8	10,9
5	13,7	8,9	10,4
Rata-rata R_{sheet} (Ω/sq)	13,56	9,864	10,954

3.3 Karakterisasi XRD

Pola difraksi sinar-X pada sampel TiO_2 dan FTO ditunjukan pada Gambar 7 dibawah ini yang menunjukan bahwa TiO_2 mempunyai fasa kristal anatase sesuai dengan JCPDS no. 21-1272, sebagaimana ditunjukkan oleh puncak difraksi yang terletak pada sudut 2θ~25°, 32°, 47°, dan 54°.



Gambar 7. Pola XRD Sampel TiO_2 dan FTO.

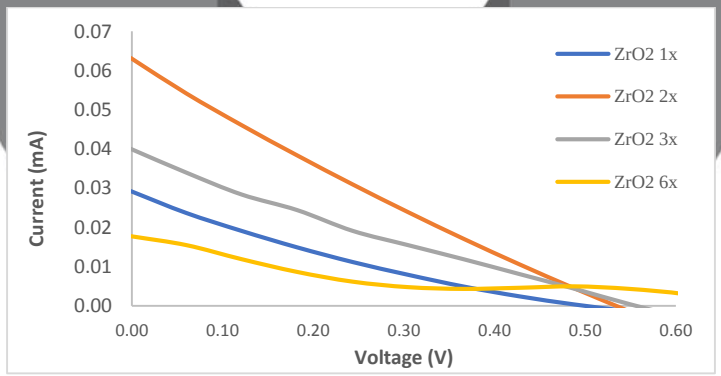
Selanjutnya yaitu melihat perbandingan antara pola difraksi kristal TiO_2 dengan pola difraksi kristal pada variasi ketebalan ZrO_2 yang ditunjukan pada Gambar 8 dibawah ini.

Gambar 8. Pola XRD TiO_2 dan ZrO_2.

Dari Gambar 8 diatas dapat diamati dengan membandingkan paper di literatur bahwa pada pola difraksi ZrO_2 memiliki puncak tertinggi dengan rentang sudut 2θ yaitu 28 °, 30 °, 31° dan 33°. Dengan puncak tersebut maka pola difraksi yang terbentuk pada ZrO2 sesuai dengan JCPDS nomor 72-1669 adalah struktur kristal monoklinik [9].

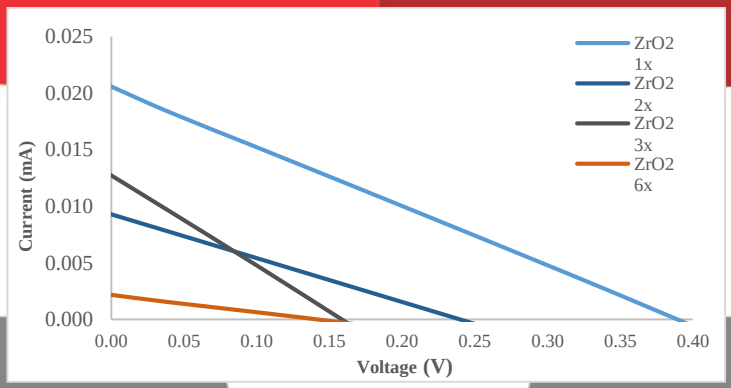
4.3 Karakterisasi Sifat Listrik Sel Surya DSSC Monolitik

Pada Gambar 9 menunjukan hasil kurva I-V yang diperoleh pada intensitas 500 W/m^2 dengan luas area aktif 2,5 m^2 . Dari karakteristik I-V diperoleh efisiensi DSSC monolitik menggunakan *counter electrode* karbon dengan variasi ketebatalan ZrO_2 masing-masing 1x, 2x, 3x, dan 6x yaitu 0,019 %, 0,039 %, 0,032 %, dan 0,017 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi tertinggi yaitu pada ketebalan ZrO_2 2x sebesar 0,039 %. Hal ini berati nilai efisiensi optimum menggunakan *counter electrode* karbon pada ketebalan ZrO_2 2x sebesar 4 µm.



Gambar 9. Kurva I-V sel surya menggunakan *counter electrode* karbon dengan variasi ketebalan ZrO_2.

Sedangkan pada hasil karakterisasi I-V yang ditunjukan pada Gambar 10 diperoleh efisiensi DSSC monolitik menggunakan *counter electrode* platina dengan variasi ketebatalan ZrO_2 masing-masing 1x, 2x, 3x, dan 6x yaitu 0,011 %, 0,005 %, 0,004 %, dan 0,004 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi tertinggi yaitu pada ketebalan ZrO_2 1x sebesar 0,011 %. Hal ini berati nilai efisiensi optimum menggunakan *counter electrode* platina pada ketebalan ZrO_2 1x sebesar 2 µm.



Gambar 10. Kurva I-V sel surya menggunakan *counter electrode* karbon dengan variasi ketebalan ZrO_2.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi morfologi SEM & EDS, pengukuran *sheet resistance*, karakterisasi XRD maka variasi ketebalan ZrO_2 terhadap masing-masing *counter electrode* mempengaruhi efisiensi sel surya. Pada karbon efisiensi tertinggi diperoleh dengan ketebalan ZrO2 sebesar 2x, sedangkan pada platina efisiensi tertinggi diperoleh dengan ketebalan 1x. Selain itu DSSC monolitik menggunakan karbon sebagai *counter electrode* lebih bagus daripada menggunakan platina. Nilai efisiensi tertinggi pada karbon yaitu 0.039 % (ZrO_2 2x) sedangkan nilai efisiensi tertinggi pada platina yaitu 0.011 % (ZrO_2 1x).

Daftar Pustaka :

[1] Lilis Retnaningsih, Lia Muliani, dan Putri Nur Anggraini. (2015). *Analisis Hasil Sintesis Serbuk TiO_2/ZnO Sebagai Lapisan Elektroda untuk Aplikasi Dye-sensitized Solar Cell Analysis of Synthesis Results of TiO2/ZnO Powder as Electrode Layer for Dye-sensitized Solar Cell Application. Jurnal Elektronika dan Komunikasi, Vo. 15, No. 2.*

[2] Gratzel, M. (2003). *Dye-Sensitized Solar Cell, Journal of Photochemistry and Photobiology,* Vol 4, 145-153.

[3] Rahmawati, Ayu Siti. (2011). *Pembuatan dan Karakterisasi Sel Surya Titanium Dioksida Sensitisasi Dye Antosianin dari Ekstrak Buah Strawberry.*

[4] Shah, A., dkk. (1999). *Photovoltaic Technology The Case for Thin Film Solar Cells*.

[5] Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando T, Maulidis, Silvia Ridwan. (2013). *Dye Sensitized Solar Cells* (*DSSC*) *Berbasis Nanopori TiO2 Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami*. Journal.

[6] Hongwei Han, Udo Bach, Yi-Bing Cheng, and Rachel A. Caruso. 2007. *Increased nanopore filling: Effect on monolithic all-solid-state dye-sensitized solar cells.*

[7] Vesce, Luigi, Thomas M. Brown, Riccardo Riccitelli, Aldo Di Carlo. (2013). *Fabrication of Spacer and Catalytic Layers in Monolithic Dye-Sensitized Solar Cells*. *IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 3, No. 3.*

[8] Wilman, S. (2007). *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-Sensitized Solar Cell).* Laporan Penelitian. Bandung. Institut Teknologi Bandung (ITB).

[9] Galih Putra D.M, Dian Fitriyani, Abu Khalid Rivai. (2014) . *Sintesis Bahan YSZ (Yitria Stabilized Zirconia, Y_2O_3-ZrO_2 dengan metode reaksi padatan dan karakterisasinya*. Jurnal Fisika Unand Vol. 3, No. 2.