

PEMBUATAN *COUNTER ELECTRODE* KARBON UNTUK APLIKASI ELEKTRODA *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)*

Siti Chadijah^{*)} Dahyunir Dahlan^{*)} Harmadi^{*)}

^{*)}Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas

Kampus LimauManis, Pauh, Padang 25163

e-mail: csiti1612@gmail.com, dahyunir@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan counter electrode karbon di atas substrat Indium Tin Oxide (ITO) untuk aplikasi DSSC. Counter electrode karbon dibuat dari; goresan pensil 7B, jelaga api lilin, serta kombinasi goresan pensil dengan jelaga api lilin. Komposisi bahan dasar terdiri dari serbuk karbon dari pensil, cetyl trymetil ammonium bromide (CTAB) dan TiO₂. Hasil karakterisasi mikroskop optik memperlihatkan sumber karbon yang berasal dari jelaga api lilin menghasilkan morfologi permukaan sangat halus dan homogen serta terdistribusi merata pada substrat ITO. Sementara dari foto mikroskop electron (Scanning Electron Microscope, SEM) sampel tersebut memperlihatkan adanya pori-pori. Dari pengukuran karakteristik I-V dihitung efisiensi sel surya yang menggunakan elektroda karbon tersebut. Efisiensi counter electrode yang diperoleh dari goresan pensil adalah 0,064 %, jelaga api lilin adalah 0,163%, goresan pensil dan jelaga api lilina dalah 0,088%, jelaga api lilin baru digores pensil 0,008%, campuran serbuk karbon dengan 3 mL air serta 0,1 gram CTAB serta 0,1 gram TiO₂ 0,065%.

Kata Kunci: Karbon, ITO, *Counter electrode*, DSSC, Efisiensi

ABSTRACT

Have been fabricated carbon counter electrode on a substrate Indium Tin Oxide (ITO) for the application of DSSC. Counter carbon electrode made of: pencil 7B, soot a candle flame, a combination of pencil strokes invitation soot a candle flame. The composition of the base material consisting of carbon powder pencil, cetyl trymetil ammonium bromide (CTAB) and TiO₂. The results of the characterization of an optical microscope shows a carbon source derived from a candle flame produces soot surface morphology is very smooth and homogeneous and evenly distributed on the ITO substrate. While the electron microscope photograph (Scanning Electron Microscope SEM) of the sample showed pores. From the I-V characteristic measurement calculated efficiency solar cells using the carbon electrodes. Efficiency counter electrode obtained from a pencil is 0.064%, soot flame is 0.163%, a pencil and soot fire lilina dalah 0.088%, a new candle flame soot pencil scratched 0.008%, a mixture of carbon powder with 3 mL of water and 0.1 grams CTAB and 0.1 grams of TiO₂ 0.065%.

Keywords: Carbon, ITO, Counter electrode, DSSC, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan sumber energi yang paling menjanjikan. Penggunaan energi surya juga tidak berdampak pada peningkatan emisi CO₂. Salah satu piranti yang dapat mengubah energy surya menjadi energi listrik adalah sel surya berbasis dye misalnya Dye Sensitized Solar Cell, DSSC (Dahlan dkk, 2014).

DSSC merupakan alternatif pengganti sel surya silikon yang memiliki efisiensi cukup tinggi, mudah dalam proses pembuatan serta harga yang relatif murah (Graetzel, 2003). Dominasi silikon dapat tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu DSSC (Barnoy dkk, 2011). Sebuah DSSC dapat berfungsi baik jika komponen-komponen penyusunnya berada pada posisi yang benar dan setiap komponen bekerja dengan optimal menurut fungsinya. Secara umum sebuah DSSC tersusun atas beberapa komponen, diantaranya foto anoda dan counter anoda. *Counter electrode* atau elektroda lawan juga mempengaruhi efisiensi DSSC, sehingga banyak menjadi subjek penelitian. *Counter electrode* berfungsi sebagai katalis dalam reaksi reduksi ion triiodida (I_3^-) menjadi ion iodida (I^-). Kecepatan reaksi reduksi pada *counter electrode* (katoda) penting untuk keberlangsungan proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. Reaksi yang terjadi pada fotoanoda harus lebih lambat dari reaksi yang terjadi pada *counter electrode* (Shelke, dkk., 2013).

Material yang digunakan pada elektroda lawan adalah zat yang tidak mudah bereaksi (*inert*), seperti platina, emas dan karbon. Material karbon menjadi alternatif karena ketersediaan yang melimpah di alam serta memiliki struktur yang bervariasi, diantaranya karbon *nanotube*, karbon *nanowire*, campuran grafit hitam dengan nanokristalin TiO_2 . Batang grafit atau grafit lunak pada pensil juga dapat dipakai sebagai *counter electrode*.

Bahan yang mengandung karbon memiliki sifat yang menguntungkan seperti konduktivitas elektronik cukup tinggi (Key dan Graetzel, 1996), tahan korosi terhadap triiodida, reaktivitas tinggi untuk reduksi triiodida dan biaya rendah, sehingga merupakan alternatif pengganti platinum (Key dkk., 1996; Joshi, 2009).

Dalam penelitian ini, peneliti membuat *counter electrode* dari karbon, dengan beberapa model dan metode penempatan karbon pada substrat ITO, guna mendapatkan *counter electrode* yang dapat diaplikasikan pada DSSC.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Preparasi Substrat ITO

Tahap awal preparasi substrat ITO adalah dengan memotong substrat sehingga berukuran (1,0 x 0,8) cm. Selanjutnya substrat ITO dibersihkan menggunakan alat *ultrasonic cleaner*. Substrat ITO dimasukkan ke dalam gelas kimia yang berisi air suling (*aquabides*) di getarkan menggunakan *ultrasonic cleaner* lagi selama 15 menit. Selanjutnya air *aquabides* diganti dengan larutan etanol 96%, dan substrat ITO di *ultrasonic cleaner* selama 15 menit. Substrat ITO selanjutnya dikeringkan dan disimpan ke kotak *petri dish*.

2.2. Pendeposisian *Counter Electrode* Karbon pada Substrat ITO

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan dan pendeposisian *counter electrode* karbon diatas substrat ITO menggunakan beberapa perlakuan seperti yang terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kode sampel *counter electrode* karbon

No	Kode Sampel	Pendeposisian <i>Counter Electrode</i> Karbon
1	A	Substrat ITO yang digores pensil 7B
2	B	Substrat ITO yang dibakar pakai jelaga api lilin
3	C	Substrat ITO digores kemudia dibakar pakai jelaga api lilin
4	D	Substrat ITO yang dibakar pakai jelaga api lilin, kemudian digores pakai pensil
5	E4	Larutan 0,5 gram serbuk karbon pensil yang sudah diayak menggunakan pengayak, ditambah 3 mL air dan 0,1 gram CTAB serta 0,1 gram TiO ₂

Pada sampel, bagian yang akan dideposisikan *counter electrode* karbon adalah bagian konduktif dari substrat ITO. Sampel E4 proses pembuatannya adalah sebagai berikut; *Counter electrode* karbon yang berasal dari pensil 7B, digerus dan dihaluskan menggunakan mortar. Kemudian diayak menggunakan pengayak yang ukurannya sampai 53 μm . Pengayakan ini dilakukan agar memperoleh serbuk karbon yang berukuran sangat halus.

Preparasi larutan karbon diawali dengan mencampurkan serbuk karbon sebanyak 0,5 gram dengan 3 mL air dan 0,1 gram CTAB serta 0,1 gram TiO₂. Ketiga bahan ini diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam menggunakan suhu 80 °C, sehingga menghasilkan pasta koloid karbon. Tujuan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 80 °C agar larutan homogen dan kadar air yang terkandung dalam larutan berkurang. Selanjutnya pasta koloid karbon hasil sintesis dideposisikan di atas substrat ITO menggunakan metode *doctor blade*, dimana keempat sisi substrat ITO berukuran (1,0 x 0,8) cm dipasang *scotch tape*. Pasta koloid karbon diletakkan pada salah satu sisi substrat ITO kemudian di *doctor blade* sampai menutupi daerah yang tidak ditutupi *scotch tape*. Partikel karbon berukuran 10-30 nm dengan ketebalan 20-60 μm diharapkan terbentuk pada substrat ITO. *Scotch tape* dilepaskan dan lapisan yang sudah terbentuk dibiarkan beberapa waktu hingga kering, kemudian sampel yang telah dideposisikan diletakkan dalam *crucibel* dan dimasukkan ke dalam *furnace* untuk proses pemanasan pada temperatur 200 °C dengan waktu tahan 1 jam. Proses ini bertujuan untuk menumbuhkan kristal, meningkatkan homogenitas butir dan menguatkan gaya adhesi antar lapisan dengan substrat. Selanjutnya, lapisan yang terbentuk kemudian dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik dan SEM

2.3. Preparasi Dye

Dye yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun pandan, daun pandan dicuci dengan menggunakan air ledeng, setelah itu dibersihkan lagi menggunakan air suling, kemudian diletakkan pada sebuah tempat yang ditutupi tisu, setelah itu biarkan mengering. Daun pandan yang sudah kering digerus dengan mortal hingga halus. Sebanyak 10 gram serbuk daun pandan ditimbang dan dicampurkan dengan 50 mL etanol 99,99% kemudian disimpan selama 2 jam agar pigmen *dye* larut dalam etanol (Zhou, dkk., 2011). Selanjutnya campuran disaring menggunakan kertas penyaring *whatman*, dan disimpan dalam botol gelap. *Dye* yang telah disaring siap digunakan sebagai sensitiser pada DSSC.

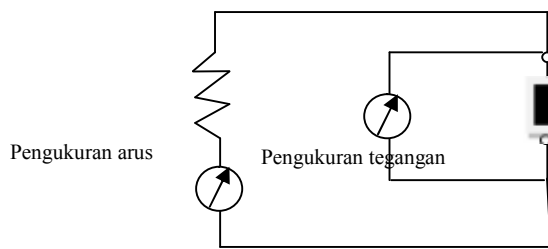
2.4. Preparasi Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit dibuat dari bahan-bahan kalium iodida (KI), dan iodin (I₂). Sebanyak 0,83 gram (0,5 M) kalium iodida (KI) dilarutkan ke dalam 10 mL Asetonitril, kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer, selanjutnya ditambahkan 0,127 gram (0,05 M) I₂ dan diaduk lagi sampai homogen selama 30 menit (Septina, dkk., 2007). Selanjutnya larutan disimpan dalam botol tertutup.

2.5. Perakitan (Assembly) dan Pengujian DSSC

Substrat ITO yang sudah dilapisi TiO₂ direndam kedalam larutan dye pandan selama 1 jam, bagian ini sebagai fotoanoda kemudian disandwich dengan counter electrode dan dijepit dengan clipbinder agar tidak bergerak. Selajutnya larutan elektrolit ditetesi diantara sela-sela kedua substrat konduktif, sehingga larutan tersebut menyebar dan DSSC siap diuji.

2.6. Karakterisasi Arus-Tegangan (I-V) DSSC



Gambar 2.1 Diagram pengukuran karakteristik I-V

Diagram metode pengukuran karakterisasi I-V DSSC ditunjukkan pada Gambar 2.1. Sel yang diukur disinari oleh lampu halogen dan beban 500 kΩ pada sirkuit sehingga didapatkan kurva I-V. Efisiensi konversi cahaya Matahari menjadi energi listrik pada sebuah DSSC dapat dihitung dengan formula :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} 100\% \tag{2.1}$$

Di mana, P_m merupakan nilai maksimum dari daya output $mWcm^{-2}$.

$$P_{max} = I_m V_m = I_{sc} V_{oc} FF \tag{2.2}$$

dengan V_m adalah tegangan yang memberikan nilai daya maksimum, I_m adalah arus yang memberikan nilai arus $mA.cm^{-2}$. P_{in} adalah daya masukan dari sumber cahaya yang digunakan, diukur dalam $mW.cm^{-2}$,

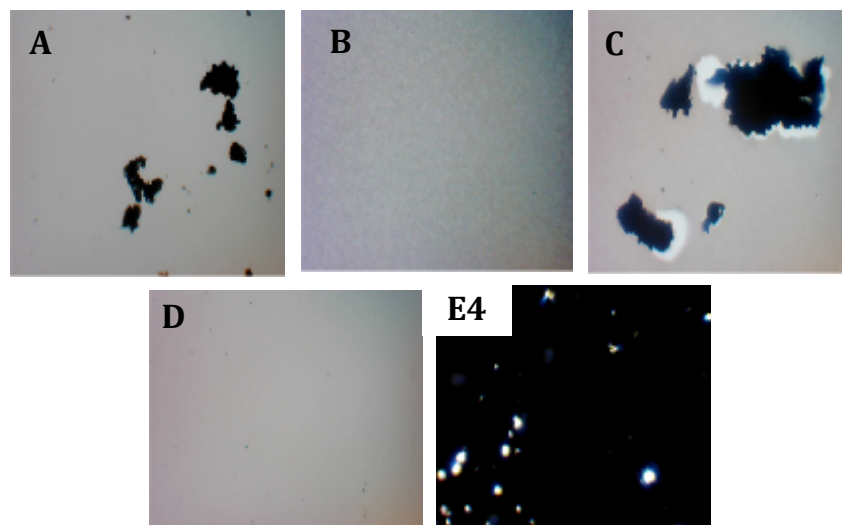
$$FF = \frac{I_m V_m}{(I_{sc} V_{oc})} \tag{2.3}$$

I_{sc} didefinisikan sebagai arus ketika potensial sama dengan nol (arus hubungan singkat) dalam $mA.cm^{-2}$, V_{oc} adalah tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*), yaitu tegangan ketika beban luar yang diberikan sangat besar.

$$\eta = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}} \tag{2.4}$$

3. HASIL DAN DISKUSI

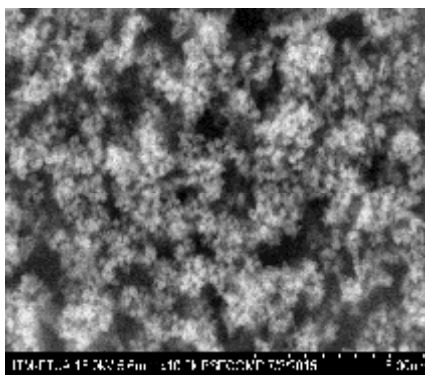
Dari penelitian ini telah dilakukan, pendeposisian *counter electrode* karbon yang terbentuk pada substrat ITO dapat dilihat pada Gambar 3.1. Terlihat bahwa *Counter electrode* karbonnya berasal dari pensil 7B yang digores saja (Sampel A), hanya sedikit karbon yang dapat terdepresiasi dengan baik. Hal ini disebabkan oleh permukaan kaca yang licin. Sampel B *counter electrode* karbonnya berasal dari jelaga api lilin. Terlihat sangat halus dan homogen serta terdistribusi secara merata pada substrat ITO. Hal ini dapat terjadi dikarenakan jelaga api lilin mampu menempel dengan baik pada substrat ITO. Sampel C, *counter electrode* karbonnya berasal dari goresan pensil 7B ke substrat ITO kemudian dibakar menggunakan api lilin sehingga karbon yang menempel lebih banyak bila dibandingkan dengan sampel B. Sampel D, *counter electrode* karbonnya berasal dari kombinasi antara jelaga api lilin dengan digoresi oleh pensil 7B, disini terlihat bahwa *counter electrode* tidak menempel dengan baik. Hal ini dikarenakan pada saat penggoresan terjadi pengikisan karbon yang berasal dari jelaga api lilin, sehingga hanya sedikit karbon yang mampu terdistribusi. Akibatnya *counter electrode* karbon ini tidak mampu bekerja dengan baik.



Gambar 3.1 Hasil Foto mikroskop optik permukaan sampel *counter electrode* karbon pada substrat ITO yang (A) digores pensil 7B, (B) jelaga api lilin, (C) digores pensil kemudian dibakar apililin, (D) dibakar kemudian digores pensil, (E4) campuran antara 0,5 gram serbuk karbon pensil + 0,1 gram CTAB + 0,1 gram TiO_2 .

Sampel E4, *counter electrode* karbonnya berasal dari 0,5 gram serbuk pensil 7B ditambah 3 mL air dan 0,1 gram CTAB serta 0,1 gram serbuk TiO_2 . *Counter electrode* karbonnya dapat menempel dengan baik, hal ini dikarenakan adanya CTAB. CTAB dalam larutan ini berfungsi sebagai *template* sehingga karbon dapat menempel lebih banyak pada substrat ITO dan CTAB juga mampu mereduksi ukuran partikel.

3.1. Hasil karakterisasi SEM *Counter Elektrode* Karbon



Gambar 3.2 Foto SEM lapisan karbon yang terbentuk pada substrat ITO dengan metode *doctor blade* pada perbesaran 10.000x

Pada penelitian ini dipilih 1 sampel yaitu sampel E4 yang memiliki karbon cukup banyak dari hasil mikroskop optik. Hasil SEM memperlihatkan partikel karbon mampu terdistribusi dengan baik. Karbon mampu terdistribusi dengan baik atas bantuan beberapa surfaktan yaitu CTAB dan TiO_2 . Penambahan CTAB membuat karbon terdistribusi lebih merata karna fungsi CTAB sebagai *template* dalam larutan ini. Sementara TiO_2 membuat partikel lebih halus yang menyebabkan terbentuknya pori-pori yang lebih kecil. Pori-pori inilah yang nantinya berfungsi sebagai area sentuh elektrolit untuk mereduksi ion triiodida (I_3^-) menjadi ion ionida (I^-). Ukuran partikel yang terbentuk adalah 500 nanometer.

3.2. Analisis Grafik Arus-Tegangan (*I-V*)

Hasil performa DSSC yang dibuat ditampilkan pada Tabel 3.2. Pada perhitungan efisiensi DSSC, kuat arus yang diperoleh dikonversikan ke dalam rapat arus (J) dalam mA/cm^2 , $J = I.1000/A$, dengan I adalah arus yang terukur pada alat solar simulator, A merupakan luas daerah DSSC yang disinari berbentuk persegi panjang maka luasnya adalah $(1,0 \times 0,8) = 0,8 \text{ cm}^2$.

Tabel 3.2 Parameter performa DSSC *counter electrode* Karbon

No	Jenis Preparasi karbon	Kode Sampel	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	J_{sc} (mA/cm^2)
1	Karbon pensil 7B yang digores ke substrat ITO	Sampel A	513	0,002	0,0025
2	Substrat ITO yang dipanaskan saja	Sampel B	511	0,006	0,0075
3	Substrat ITO yang digores pensil kemudian dipanaskan	Sampel C	445	0,004	0,005
4	Substrat ITO yang dipanaskan baru digores dengan pensil	Sampel D	410	0,002	0,0025
5	0,5 gram serbuk karbon pensil dengan 3 mL air dan 0,1 gram CTAB serta 0,1 gram TiO_2 .	Sampel E4	448	0,005	0,00625

Dari Tabel 3.2 dapat dijelaskan bahwa DSSC dengan sumber karbon dibakar saja memperoleh kuat arus *short circuit* dan rapat arus *short circuit* lebih besar bila

dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Hal ini menunjukkan sumber karbon yang berasal dari jelaga api lilin, baik digunakan sebagai *counter electrode* pada DSSC.

Untuk sampel A nilai V_{oc} nya lebih besar bila dibandingkan sampel B namun I_{sc} yang dihasilkan pada sampel B lebih kecil dari sampel B. Hal ini dikarenakan sedikitnya karbon yang terdistribusi dengan baik pada substrat ITO akibatnya luas permukaan karbon yang terdistribusi juga kecil sehingga mempengaruhi jumlah arus yang dihasilkan untuk elektroda kerja. Fungsi utama dari *counter electrode* adalah untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi ion triiodida (I_3^-) menjadi ion iodida (I^-). Permukaan karbon yang luas sangat mempengaruhi kerja dari *counter electrode* itu sendiri.

Untuk sampel C dan sampel D merupakan kombinasi sumber karbon antara jelaga api lilin dengan pensil namun yang membedakannya disini adalah proses penempatannya. Hasil yang diperoleh juga berbeda, untuk sampel C dengan nilai V_{oc} 445 mV dan I_{sc} 0,004 mA lebih besar jika dibandingkan dengan sampel D yaitu V_{oc} 410 mV dan I_{sc} 0,002 mA, semua ini dikarenakan sampel C jumlah karbon yang terdistribusi lebih besar bila dibandingkan dengan sampel D sehingga mempengaruhi jumlah arus yang dihasilkan untuk elektroda kerja.

Sampel E4 dengan tambahan surfaktan, nilai V_{oc} 448 mV dan I_{sc} 0,005 mA jauh lebih baik bila dibandingkan sampel A, sampel C, dan sampel D meskipun sumber karbonnya sama yaitu serbuk pensil, semua ini merupakan akibat dari jumlah karbon yang mampu terdistribusi pada *counter electrode*. Selanjutnya karakterisasi $I-V$ DSSC *counter electrode* karbon dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Karakterisasi $I-V$ DSSC *counter electrode* karbon

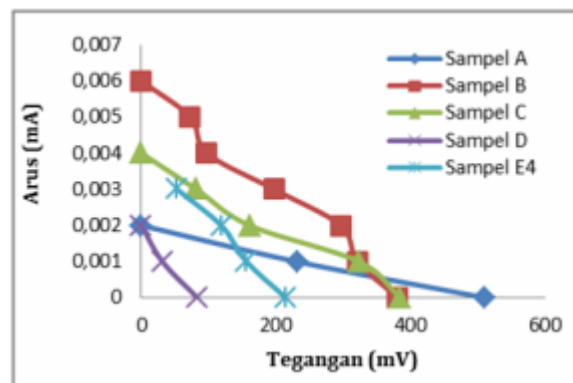
No	Sampel	FF	P_{max} (watt)	η (%)
1	A	0,266	$2,31 \times 10^{-7}$	0,064
2	B	0,193	$5,92 \times 10^{-7}$	0,163
3	C	0,181	$3,22 \times 10^{-7}$	0,088
4	D	0,038	$3,09 \times 10^{-8}$	0,008
5	E4	0,106	$2,37 \times 10^{-7}$	0,065

Pada Tabel 3.3 terlihat karakterisasi $I-V$ DSSC *counter electrode* karbon. Jika ditinjau dari P_{max} yang dihasilkan oleh kelima sampel, sampel B yang memiliki daya paling besar. Hal tersebut disebabkan karena arus dan tegangan yang dihasilkan juga besar. Nilai FF pada hasil karakterisasi $I-V$ DSSC *counter electrode* karbon, terlihat pada Tabel 3.3. Sampel yang memiliki nilai FF tertinggi adalah sampel A yaitu 0,226. Besarnya hasil yang diperoleh masih jauh dari hasil yang diharapkan yaitu 1 (kondisi ideal). Nilai efisiensi η yang dihasilkan kelima sampel tersebut yang memiliki efisiensi tertinggi terdapat pada sampel B yaitu sebesar 0,163 % dan sampel yang nilai η paling kecil adalah sampel D sebesar 0,008 %.

Hasil karakterisasi $I-V$ kelima sampel DSSC *counter electrode* karbon dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada Gambar 3.3 dapat dijelaskan bahwa $I-V$ pada sampel B menghasilkan nilai tertinggi bila dibandingkan keempat sampel lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa *counter electrode* karbon yang berasal dari substrat ITO yang dipanaskan saja dapat digunakan dalam aplikasi DSSC. Untuk sampel C kombinasi antara karbon yang

berasal dari pensil dan jelaga api lilin baik untuk dijadikan sebagai *counter electrode*. Hal ini dapat terlihat dari Gambar 3.3. Diikuti oleh sampel E4 yaitu kombinasi karbon yg berasal dari serbuk pensil dengan penambahan surfaktan CTAB dan TiO_2 juga mampu menghasilkan arus dan tegangan pada DSSC. Sedangkan untuk sampel A, pensil yang digores ke substrat ITO belum mampu menghasilkan *counter electrode* yang baik untuk aplikasi DSSC. Hal ini disebabkan karena karbon tidak mampu menempel secara baik pada substrat ITO. Sampel D sumber karbon yang berasal dari kombinasi jelaga api lilin kemudian digores pensil juga belum menghasilkan *counter electrode* yang baik bila dibandingkan dengan keempat sampel yang lainnya. Hal ini dikarenakan pada saat penggosokan sumber karbon yang berasal dari jelaga api lilin terkikis, hanya sedikit karbon yang mampu menempel. Akibatnya $I-V$ yang dihasilkan juga kecil jika dibandingkan pada keempat sampel.

Semakin banyak karbon yang mampu menempel pada substrat ITO, maka semakin luas area sentuh *counter electrode* dengan larutan elektrolit, akibatnya karakterisasi $I-V$ dan efisiensi yang dihasilkan juga akan baik.



Gambar 3.3 Hasil karakterisasi $I-V$ kelima sampel dari DSSC *counter electrode* karbon

4.KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pendeposisian karbon pada substrat ITO sebagai counter electrode. Lapisan counter electrode karbon dengan efisiensi tertinggi terdapat pada substrat ITO yang disintesis menggunakan jelaga api lilin. Efisiensi tertinggi dihasilkan pada DSSC yang menggunakan lapisan counter electrode karbon yang berasal dari jelaga api lilin sebesar 0,163 %. Diikuti oleh karbon yang digores kemudian dibakar dengan api lilin sebesar 0,088%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Barnoy, E., Conley, M., Gan, S., Gafe, Y., Lovell, J., Mann, K., Shuchatowitz, A., Tobin, C., 2011, The Potential of Natural, Photosynthetic Pigments To Improve the Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells, *PhD Thesis*, University of Maryland, Maryland.
2. Cahen, David., 2004, Review Articles: *Physical Chemical Principles of Photovoltaic Conversion with Nanoparticulate*, Vol.108, Mesoporous DSSC. J. P. Chem. B

3. Dahlan, D. dan Fahyuan, H., 2014, Pengaruh beberapa jenis dye organik terhadap efisiensi sel surya *dye-sensitized solar cell*, *Jurnal Sains Material Indonesia*, Vol. 15, No.2, pp. 74-79.
4. Gratzel, M., 2003, 'Dye-sensitized solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Vol. 4, pp. 145–153.
5. Joshi. P., 2009. , 'Dye-sensitized solar cell based on low cost nanoscale Carbon/TiO₂ composite counter electrode. *Energy & Environmental science* 2, pp.426-429.
6. Kay. A and Graetzel. M., 1996, *Low Cost Photovoltaic Modules Based On Dye Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide and Carbon Powder*, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 44, no. 1, pp. 99–117.
7. Lee, K.M., Suryanarayanan, V., Ho, K.C., 2006, The Influence of surface morphology of TiO₂ coating on the perform/hui nance of dye-sensitized solar cell, *Solar Energy Materials & Solar Cell*, Vol. 90, pp. 2398-2404.
8. Lia, M., Natalita, M, N., 2012. DyeSensitized Solar Cells Based on Carbon Nanoparticle Counter Electrode. *Research Center for Electronics and Telecommunication*, Volume 35, Number 1-6, LIPI Bandung.
9. Lungu, L., Stefan, N., Prodana, G., Georgescua, A., Mandes, A., Ciupina. V., Mihailescus, I. N., Girtua, M. A., 2015, Characterization of Spin Coated TiO₂ Buffer Layers for Dye Sensitized Solar Cell, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, Vol. 10, No. 3, pp. 967-976.
10. Septina, W., Fajarisandi, D., Aditia, M. 2007. Pembuatan Solar Cell Murah dengan Bahan-bahan Organik-Inorganik. Laporan Penelitian Bidang Energi, ITB: Bandung
11. Shao, L., Chen, M., Ren, T., Yuan, Z., 2014. Ordered Mesoporous Carbon/Graphene Nano-Sheets Composites as Counter Elctrodes In Dye-Sensitized Solar Cell. *Journal of power sources* 274, 791-789.
12. Suzuki, K., Yamaguchi, M., Kumagai, M., 2003, Application of Carbon Nanotube to Counter Electrodes of Dye-Sensitized Solar Cell, *Chem. Lett.* Vol, 32, pp. 28-29, 2003.
13. Wang, G., Wang, D., Kuang, S., Xing, W., Zhou, S., 2014, Hierarchical porous carbon derived from rice husk as a low-cost counter electrode of dye-sensitized solar cell, *Journal School of Chemical Engineering Shandong University of Techology*, Vol. 63, pp. 708-714.