

**UJI BEDA KESTABILAN TEGANGAN DAN ARUS ANTARA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) YANG MENGGUNAKAN COUNTER ELECTRODE JELAGA LILIN DAN GRAFIT PENSIL**

**DIFFERENCE TEST OF THE VOLTAGE AND THE CURRENT STABILITY BETWEEN DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) USING CANDLE SOOT AND PENCIL GRAPHITE AS COUNTER ELECTRODE**

Oleh:

Danang Mohamat Yuri<sup>1</sup>, W.S. Brams Dwandaru<sup>2</sup>

Program Studi Fisika, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Fisika FMIPA UNY

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Fisika FMIPA UNY

Email: dmyuri88@gmail.com

**Abstrak**

Telah dilakukan fabrikasi dan karakterisasi DSSC dengan *counter electrode* karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kestabilan tegangan dan arus antara DSSC yang menggunakan *counter electrode* jelaga dan grafit pensil, mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan DSSC pada kondisi gelap dan terang, mengetahui performansi DSSC dari hasil uji *I-V* karakteristik, serta membandingkan tegangan dan arus DSSC yang menggunakan jelaga dengan DSSC yang menggunakan grafit pensil. DSSC dibuat dengan kaca substrat dari kaca preparat yang dilapisi dengan  $\text{SnCl}_2$ . Bahan semikonduktor yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  yang dideposisikan pada elektroda kerja. Dye yang digunakan terbuat dari buah naga merah, serta menggunakan larutan elektrolit dengan komposisi 5 ml KI 0,5 M + 5 ml  $\text{I}_2$  0,05 M. Bahan katalis menggunakan karbon yang divariasikan jenisnya, yaitu menggunakan jelaga dan grafit pensil. Untuk mengetahui performa DSSC, dilakukan pengujian kestabilan tegangan dan arus, pengujian kedua sampel DSSC pada ruang gelap dan terang, serta pengujian karakteristik *I-V*. Adapun sifat optik dye buah naga diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari jelaga mempunyai efisiensi sebesar 0,000667141 %, lebih besar daripada DSSC yang menggunakan *counter electrode* grafit pensil yaitu 0,000400285 %. Namun kedua DSSC belum menghasilkan output tegangan dan arus yang stabil, dimana tegangan dan arus yang terukur selalu mengalami penurunan dari waktu ke waktu.

**Kata-kata kunci:** DSSC, grafit pensil 2B, jelaga, buah naga

**Abstract**

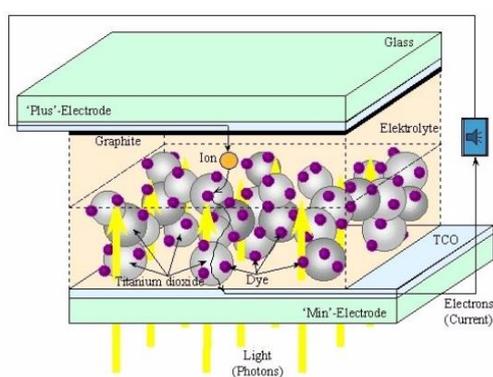
*Has been done a fabrication and characterization to DSSC with carbon as counter electrode. This study aims to know the difference of the voltage and the current stability between DSSC using candle soot and pencil graphite as counter electrode, to know the voltage and the current value produced by DSSC at dark and lighted condition, to know DSSC's performance from I-V characteristic test, and to compare the voltage and the current of DSSC using candle soot and pencil graphite as counter electrode. DSSC was made with substrate glasses from preparat covered with  $\text{SnCl}_2$ . Semiconductor material was  $\text{TiO}_2$  covered at the main electrode surface. The dye was made from red dragon fruit and used electrolyte solution from 5 ml KI 0.5 M + 5 ml  $\text{I}_2$  0.05 M. Carbon material used as a catalyst material, which is given the kind variation using candle soot and pencil graphite. To know the DSSC's performance, then did a voltage and current stability test, testing the two samples of DSSC at dark and lighted room, and I-V characteristic test. The optic's characteristic of the dragon fruit dye was tested using UV-Vis spectrofotometer. The results of this research showed that DSSC using candle soot as counter electrode had 0.000667141 % efficiency, higher than DSSC using pencil graphite as counter electrode, which is that DSSC had 0.000400285 % efficiency. However, the two samples of DSSC did not produce the stable voltage and current, the voltage and the current getting lower.*

**Keywords:** DSSC, 2B pencil graphite, soot, dragon fruit

## PENDAHULUAN

Energi surya sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat bahwa negara ini dilewati garis khatulistiwa. Salah satu devais untuk memanfaatkan energi surya adalah sel surya. Sel surya dapat langsung mengubah foton menjadi energi listrik dan menyimpannya dalam baterai (Damastuti, 1997). Perkembangan sel surya hingga saat ini telah sampai pada pengembangan *dye sensitized solar cell* (DSSC), yang merupakan sel surya generasi ketiga. Namun performa DSSC ini masih belum sebagus sel surya dari generasi sebelumnya, dimana efisiensi yang dihasilkan DSSC ini masih relatif rendah.

DSSC pertama kali dikembangkan oleh O'Regan dan Grätzel pada tahun 1991. DSSC mempunyai struktur *sandwich* yang disusun oleh lapisan-lapisan seperti pada Gambar 1.



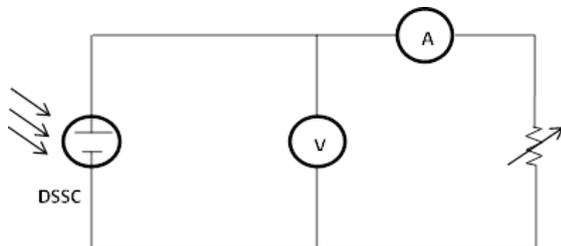
**Gambar 1.** Struktur susunan DSSC (Ekasari dan Yudoyono, 2013).

Proses konversi energi dari cahaya matahari menjadi listrik pada DSSC dimulai dengan diterimanya foton oleh molekul *dye* sehingga menyebabkan eksitasi elektron. Elektron yang terlepas ini kemudian menginjeksi pita konduksi TiO<sub>2</sub> dan selanjutnya didifusikan ke elektroda kerja. Dari elektroda kerja, elektron dialirkan ke *counter electrode* (elektroda lawan) melalui rangkaian eksternal (dalam Gambar 1 digambarkan dengan bentuk seperti *speaker*). Pada elektroda lawan terdapat lapisan katalis, dalam hal ini jelaga atau grafit, sehingga elektron dapat sampai pada larutan elektrolit. Larutan elektrolit yang digunakan merupakan pasangan redoks iodida/triiodida. Dari reaksi redoks ini dihasilkan elektron yang dapat dikembalikan pada *dye* yang dalam keadaan teroksidasi. Rangkaian proses tersebut berlangsung secara terus menerus membentuk suatu siklus.

Faktor yang mempengaruhi efisiensi DSSC adalah sifat fisis lapisan-lapisan penyusunnya, yang salah satunya adalah bahan katalis yang melapisi *counter electrode*-nya. Bahan pelapis *counter electrode* yang biasa digunakan adalah karbon. Karbon merupakan material yang mempunyai tiga alotrop, yaitu intan, grafit, dan karbon amorf. Jenis alotrop karbon yang dapat digunakan sebagai pelapis *counter electrode* adalah grafit dan karbon amorf, karena keduanya bersifat konduktif

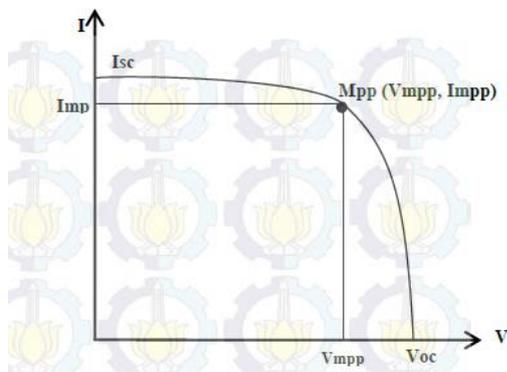
terhadap listrik. Grafit mempunyai struktur heksagonal yang berlapis-lapis yang setiap satu atomnya berikatan dengan tiga atom lainnya. Karbon amorf mempunyai struktur yang menyerupai grafit, bedanya pada tumpukan lapisannya yaitu pada grafit lapisannya beraturan sedangkan pada karbon amorf tidak beraturan (Sunarya dan Setiabudi, 2007: 88). Luas permukaan karbon tinggi, sehingga sebagai *counter electrode*, karbon mempunyai kemampuan reduksi triiodide yang tinggi menyerupai platina (Kumara dan Prajitno, 2012).

Performansi DSSC diuji menggunakan karakterisasi arus-tegangan (*I-V*). Uji karakteristik *I-V* menggunakan rangkaian seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Rangkaian pengujian karakteristik *I-V*.

Hasil pengujian menghasilkan kurva karakteristik seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Kurva *I-V* solar cell (Kumara dan Prajitno, 2012).

Kurva karakteristik tersebut menghasilkan parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung nilai efisiensi. Persamaan yang digunakan adalah

$$FF = \frac{V_{mpp} I_{mpp}}{V_{oc} I_{sc}}, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\%. \quad (2)$$

Dengan *FF* adalah *fill factor*,  $V_{mpp}$  dan  $I_{mpp}$  adalah tegangan dan arus saat terjadi daya maksimum pada kurva,  $V_{oc}$  adalah tegangan DSSC dalam rangkaian terbuka,  $I_{sc}$  adalah arus yang tersukur saat tidak diberikan beban,  $\eta$  adalah efisiensi DSSC,  $P_{max}$  daya maksimum pada kurva, dan  $P_{cahaya}$  adalah daya penyinaran yang mengenai daerah kerja DSSC. Besarnya *fill factor* (*FF*) dan efisiensi ( $\eta$ ) ini menjadi ukuran global kualitas suatu sel surya.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Eksperimen ini dilakukan untuk menyelidiki perbedaan kestabilan tegangan pada DSSC yang *counter electrode*-nya dibuat dari dua bahan karbon yang berbeda, yaitu dari grafit dan jelaga.

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukukan pada bulan Desember 2015-Mei 2016 di kediaman

peneliti dan laboratorium kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta (FMIPA UNY).

### **Prosedur**

Fabrikasi atau pembuatan DSSC dimulai dengan pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ . Pasta  $\text{TiO}_2$  ini dibuat dengan melembutkan serbuk  $\text{TiO}_2$  kemudian menambahkan aquades tetes demi tetes dan mengaduknya sehingga menjadi larutan yang homogen. Pada larutan  $\text{TiO}_2$  tersebut ditambahkan lagi asam asetat 2 M tetes demi tetes hingga diperoleh bentuk pasta. Pasta  $\text{TiO}_2$  ini selanjutnya dideposisikan pada kaca substrat dengan metode *doctor blade* dan membentuk daerah kerja seluas  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ . Kaca substrat yang digunakan merupakan *transparent conductive oxide* (TCO) yang terbuat dari kaca preparat kemudian dilapisi dengan  $\text{SnCl}_2$ . Kaca substrat yang telah dideposisi dengan  $\text{TiO}_2$  selanjutnya dipanaskan pada kompor gas dengan suhu  $340^\circ\text{C}$ . Pengontrolan suhu kompor menggunakan termometer digital. Pemanasan ini berlangsung selama 60 menit.

Di sela-sela pemanasan kaca substrat tersebut, dilakukan pembuatan *dye*. *Dye* yang digunakan adalah ekstrak buah naga. Daging buah naga dihaluskan kemudian direndam pada aquades selama 30 menit. Setelah itu rendaman buah naga disaring

dan hasil saringan disimpan pada wadah yang gelap.

Kaca substrat yang telah terdepositasi  $\text{TiO}_2$  selanjutnya direndam pada *dye* selama 30 menit. Kaca substrat ini berfungsi sebagai elektroda kerja pada DSSC. Secara bersamaan disediakan lagi kaca substrat yang lain untuk kemudian dilapisi menggunakan lapisan karbon (grafit atau jelaga). Kaca substrat dengan lapisan karbon ini berfungsi sebagai *counter electroda*.

Sebelum akhirnya kedua elektroda disusun menjadi susunan *sandwich*, pada salah satu elektroda ditetesi dengan larutan elektrolit. Larutan elektrolit ini dibuat dengan mencampurkan 5 ml KI 0,5 M dengan 5 ml larutan  $\text{I}_2$  0,05 M. Penyusunan dibuat sedemikian rupa sehingga sisi-sisi DSSC ada tempat yang digunakan sebagai kutub-kutub untuk DSSC. Pada bagian sisi-sisi DSSC tersebut dilapisi dengan logam aluminium. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih valid karena elektroda kaca yang digunakan tidak menghasilkan konduktivitas yang homogen. Untuk melakukan pengujian, pada elektroda-elektroda tersebut dipasangkan kabel menggunakan penjepit buaya. Hasil fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Hasil fabrikasi DSSC

### **Data, Instrumen, dan Teknik Pengumpulan Data**

Pengujian dan karakterisasi yang dilakukan meliputi uji UV-Vis *dye* buah naga menggunakan perangkat UV-2400PC *series* yang terdapat pada laboratorium Kimia FMIPA UNY, uji katrakteristik *I-V* DSSC menggunakan rangkaian penguji pada Gambar 2, serta pengujian tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* menggunakan multimeter digital. Uji UV-Vis *dye* dilakukan guna mengetahui panjang gelombang dan spektrum warna cahaya yang mampu diserap secara optimal oleh *dye* yang digunakan. Uji UV-Vis ini selanjutnya ditampilkan pada grafik hubungan antara absorbansi terhadap panjang gelombang.

Pengujian karakteristik *I-V* bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi dan *fill factor* DSSC. Pada pengujian karakteristik *I-V* diperoleh data berupa tegangan dan arus akibat variasi beban yang diberikan. Data tersebut diplot pada grafik hubungan antara

arus terhadap tegangan. *Plotting* data tersebut membentuk kurva karakterisitik yang digunakan untuk menentukan parameter-parameter untuk menghitung *fill factor* dan efisiensi DSSC.

Pengukuran tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* ini untuk menyelidiki perbedaan kestabilan tegangan dan arus antara kedua sampel DSSC dengan mengamati besarnya tegangan dan arus yang berubah terhadap waktu selama 90 menit. Selain itu, hal ini juga dilakukan untuk megamati perbedaan nilai tegangan dan arus yang diukur dalam ruang gelap dan ruang terang.

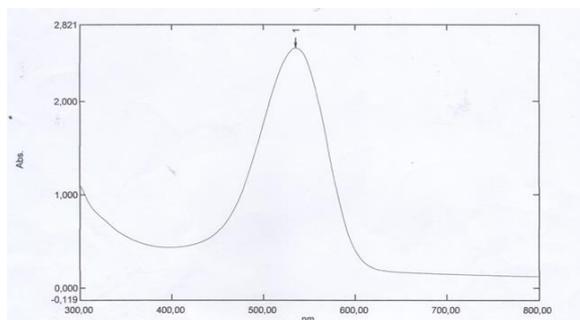
### **Teknik Analisis Data**

Pada uji karakteristik *I-V* ditampilkan dalam benntuk kurva seperti pada Gambar 3. Dari kurva tersebut muncul parameter-parameter sehingga dapat menghitung *fill factor* dan efisiensi DSSC menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

Tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* yang terukur ditampilkan dalam grafik tegangan dan arus sebagai fungsi waktu. Grafik tersebut dianalisis menggunakan beberapa fitting dan dipilih fit data yang mempunyai koefisien determinasi yang paling mendekati satu. Grafik tegangan dan arus terhadap waktu digunakan untuk mengamati kestabilan tegangan dan arus DSSC.

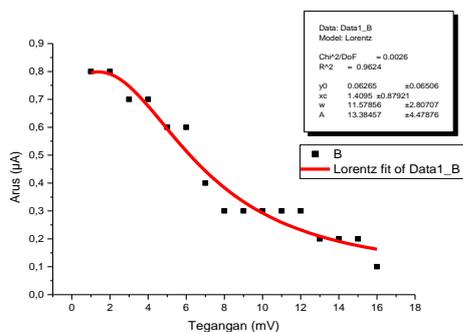
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dye buah naga hasil ekstraksi menyerap cahaya pada rentang panjang gelombang cahaya tampak cahaya tampak saat dilakukan pengujian menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Dye menyerap cahaya pada gelombang 535 nm. Panjang gelombang tersebut merupakan spektrum cahaya warna hijau (Kumara dan Prajitno, 2012). Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

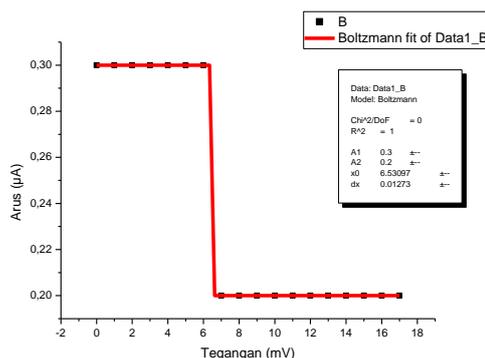


Gambar 5. Hasil uji UV-Vis dye buah naga.

Uji karakteristik *I-V* dilakukan dengan kondisi penyinaran menggunakan sumber cahaya dari lampu *day lights* 18 watt. Intensitas cahaya dikontrol menggunakan lux meter sebesar 1540 lux. Hasil uji karakteristik *I-V* disajikan dengan grafik pada Gambar 6.



(a)

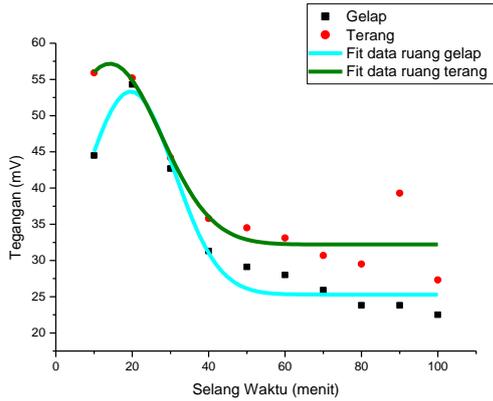


(b)

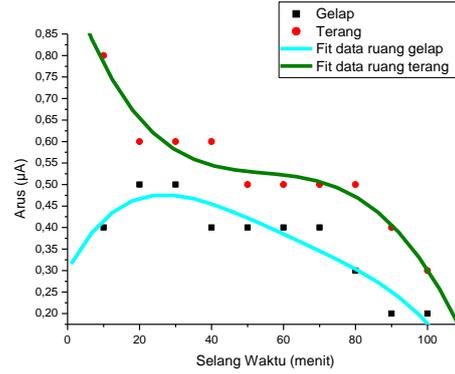
Gambar 6. Kurva karakteristik *I-V* DSSC yang menggunakan *counter electrode* (a) jelaga dan (b) karbon.

Hasil pengujian karakteristik *I-V* menunjukkan bahwa DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari jelaga mempunyai *fill factor* dan efisiensi berturut-turut sebesar 0,045153522 dan 0,000667141%. Sedangkan pada DSSC yang menggunakan *counter electrode* grafit pensil menghasilkan *fill factor* dan efisiensi berturut-turut sebesar 0,128571429 dan 0,000400285 %.

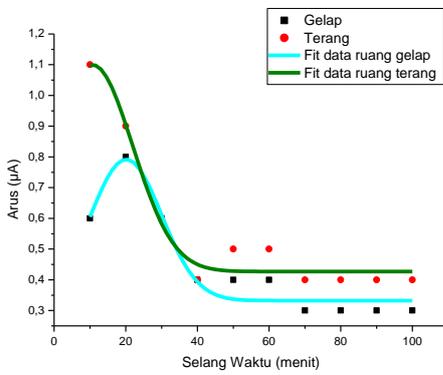
Lebih lanjut, untuk menunjukkan respon DSSC terhadap perbedaan intensitas cahaya, maka dilakukan pengujian tegangan dan arus DSSC pada ruang gelap dan terang. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 7.



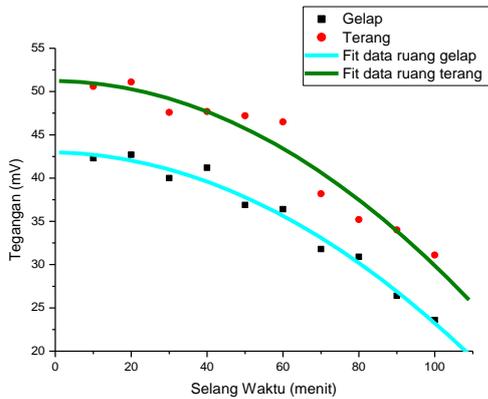
(a)



(d)



(b)

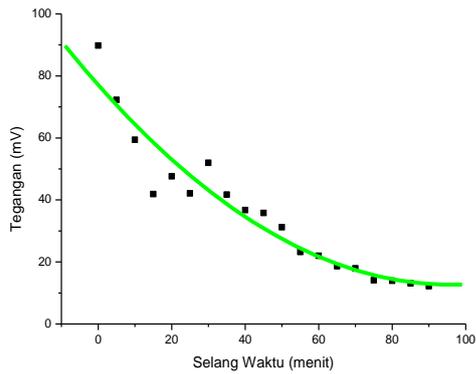


(c)

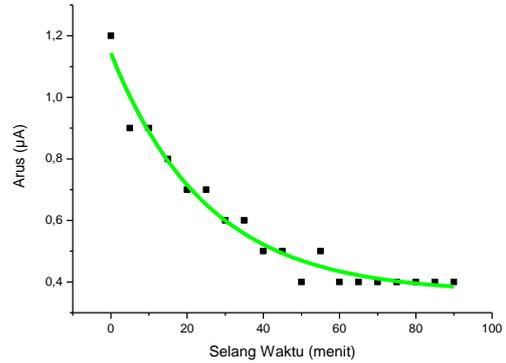
**Gambar 7.** Grafik (a) tegangan dan (b) arus terhadap waktu pengujian tegangan DSSC yang menggunakan *counter electrode* jelaga serta Grafik (c) tegangan dan (d) arus terhadap waktu pengujian tegangan DSSC yang menggunakan *counter electrode* grafit pensil dalam ruang gelap dan terang.

Secara keseluruhan kedua sampel DSSC menunjukkan kecenderungan tegangan dan arus yang lebih besar saat diukur dalam ruang terang. Hal tersebut menandakan bahwa DSSC telah menunjukkan terjadinya suatu siklus *photoelectric*.

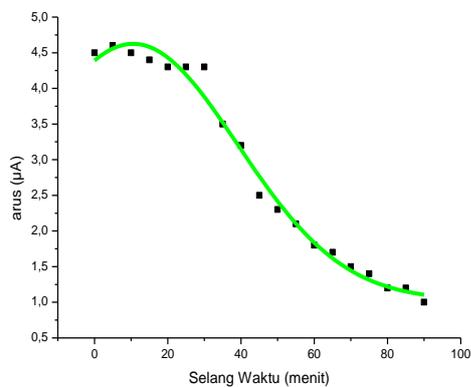
Pengujian tegangan dan arus juga digunakan untuk mengamati kestabilan kedua sampel DSSC. Besarnya tegangan dan arus DSSC yang berubah terhadap waktu ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 8.



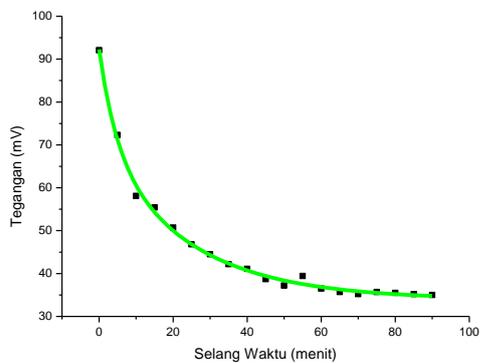
(a)



(d)



(b)



(c)

**Gambar 8.** Grafik hubungan antara (a) tegangan dan (b) arus terhadap selang waktu DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari grafit pensil serta hubungan antara (c) tegangan dan (d) arus terhadap selang waktu DSSC yang menggunakan *counter electrode* grafit pensil hasil pengujian kestabilan tegangan.

Hasil fitting keempat grafik menunjukkan kecenderungan tegangan dan arus dari kedua sampel DSSC yang menurun. Kondisi ini menandakan bahwa kedua sampel sama-sama belum memiliki kestabilan output yang baik. Saat usia DSSC memasuki hari kedua ternyata DSSC sudah tidak memiliki tegangan dan arus. Hal ini menandakan bahwa fotoelektrokimia dalam DSSC telah mati. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya larutan elektrolit dalam DSSC yang telah mengalami evaporasi dan *dye* organik yang digunakan tidak mampu bertahan terhadap keadaan lingkungan sekitar.

Untuk menentukan DSSC mana yang lebih baik, maka dibuat masing-masing 5 sampel DSSC. Dalam hal ini, juga telah dibuat variasi sumber penyinaran, dimana sumber penyinaran normal menggunakan lampu *day light* 18 watt kemudian divariasikan dengan sumber cahaya normal yang diberi filter cahaya warna hijau. Pemberian filter warna hijau ini bertujuan untuk melihat tegangan dan arus maksimal pada DSSC karena *dye* yang digunakan dalam DSSC menghasilkan puncak absorbansi pada spektrum cahaya hijau. Hasil pengujian tegangan dan arus disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Perbandingan tegangan DSSC yang menggunakan *counter electrode* jelaga dengan yang menggunakan grafit pensil.

DSSC Ke-	Tegangan output (mV)			
	Jelaga		Grafit	
	Tanpa filter	Dengan filter	Tanpa filter	Dengan filter
1	47,3	36,2	130,4	126,0
2	60,4	60,1	110,2	106,0
3	52,2	47,2	83,5	79,8
4	33,8	31,8	92,1	89,7
5	89,8	76,7	100,8	97,2
Rata-rata	56,7	50,4	103,4	99,74

**Tabel 2.** Perbandingan arus DSSC yang menggunakan *counter electrode* jelaga dengan yang menggunakan grafit pensil.

DSSC Ke-	Arus ( $\mu$ A)			
	Jelaga		Grafit	
	Tanpa filter	Dengan filter	Tanpa filter	Dengan filter
1	1,0	0,7	3,1	2,7
2	1,8	1,3	2,4	1,7

3	1,4	1,1	4,8	4,4
4	0,9	0,9	1,2	1,0
5	1,5	1,4	1,9	1,1
Rata-rata	1,32	1,08	2,68	2,18

Dari Tabel1 dan Tabel2 juga dapat disimpulkan bahwa DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari grafit pensil menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Sebagai katalis, ternyata karbon dalam bentuk grafit lebih baik dibandingkan karbon dalam bentuk jelaga. Susunan atom yang teratur ternyata membuat fungsi karbon sebagai katalis menjadi lebih optimal.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

DSSC yang telah berhasil dibuat menggunakan *counter electrode* dari jelaga dan grafit pensil, ternyata belum diperoleh kestabilan output berupa tegangan dan arus yang stabil. Sampel DSSC mampu menunjukkan respon terhadap cahaya saat dilakukan pengujian pada ruang gelap dan terang. Baik DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari jelaga maupun dari grafit pensil mampu menghasilkan keluaran tegangan dan arus yang lebih besar saat dalam ruang terang dibandingkan saat berada dalam keadaan ruang gelap. Hasil I-V karakteristik menunjukkan bahwa DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari jelaga mempunyai *fill factor* sebesar 0,045153522 dan efisiensi sebesar

0,000667141 %. Sedangkan pada sampel DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari grafit pensil menghasilkan *fill factor* sebesar 0,128571429 dan efisiensi 0,000400285 %. DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari grafit pensil mempunyai keluaran yang lebih baik, dengan rata-rata tegangan 103,4 mV dan rata-rata arus 2,68  $\mu\text{A}$ . Sedangkan DSSC yang menggunakan *counter electrode* dari jelaga menghasilkan rata-rata tegangan 56,7 mV dan rata-rata arus 1,32  $\mu\text{A}$ .

### Saran

Setelah menyelesaikan ini, penulis memberikan saran kepada peneliti lain, antara lain:

1. Sebaiknya kaca preparat sebagai bahan substrat diganti dengan bahan kaca yang lebih tebal, sehingga dalam pendeposisian  $\text{TiO}_2$  bisa menggunakan *furnace* dan diperoleh lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang baik.
2. Menggunakan potensiometer dengan resistansi yang lebih besar sehingga diperoleh hasil karakteristik I-V yang maksimal.
3. Menggunakan *dye* hasil ekstraksi dengan metode yang baik dan benar.
4. Menggunakan analisis morfologi dan karakterisasi lebih lanjut terhadap lapisan  $\text{TiO}_2$ .

### DAFTAR PUSTAKA

- Damastuti, Anya P. (1997). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Wacana No. 7.
- Ekasari, Vitriany dan Gatut Yudoyono. (2013). *Fabrikasi Dssc dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum) Variasi Larutan Tio2 Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating*. JURNAL SAINS DAN SENI POMITS Vol. 2, No.1, (2013) 2337-3520 (2301-928X Print).
- Kumara, Maya Sukma Widya dan Gontjang Prajitno. (2012). *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC*. Surabaya : Digilib ITS.
- Sunarya, Yayan dan Agus Setiabudi. (2007). *Mudah dan Aktif Belajar Kimia*. Bandung: Penerbit PT Setia Purna Inves.