Treatment Combination Menggunakan Double Layer, Teknik Kompresi dan Perendaman Ultrasonik Pada Pembuatan Photoelektroda Untuk Peningkatan Efisiensi DSSC

Hadi Santoso

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan
hadisantoso.ubt@gmail.com / hadisantoso@borneo.ac.id

Abdul Muis Prasetya

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan
prasetya.electric@gmail.com

Abstrak

Telah dibuat Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) yang dapat mengkonversi cahaya menjadi energi listrik dengan memanfaatkan Black Dye N-749 sebagai dye sensitizer dan bahan semikonduktor TiO_2 sebagai penyusun photoelektroda yang terdposisi pada kaca ITO dengan luasan 1 cm^2 . Variasi dilakukan pada proses pembuatan photoelektroda, dimana proses dimulai dari photoelektroda yang dibuat menjadi single/double layer TiO_2 yang terdiri dari lapisan nanopartikel pada lapisan dasar, sedangkan lapisan atas tersusun atas partikel berukuran sub-mikro. Proses selanjutnya adalah kompresi mekanik pada lapisan semikonduktor dengan beban 25 kg/satuan luas. Proses diakhiri dengan perendaman photoelektroda dengan tujuan mengadsorpsi partikel dye pada lapisan TiO_2 . Perendaman dilakukan menggunakan proses ultrasonik dengan waktu 20 detik. Hasilnya menunjukkan bahwa setelah dilakukan kombinasi dari ketiga treatment maka efisiensi DSSC mampu meningkat dari 0,028% menjadi 0,040%.

Kata Kunci: Dye Sensitized Solar Cell (DSSC); Photoelektroda, Double Layer; Kompresi Mekanik; Perendaman Ultrasonik; Efisiensi Solar Cell

Abstract

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) which is able to convert light into electrical energy by using Black Dye N-749 as a dye sensitizer and TiO_2 semiconductor material as a photoelectrode has been conducted on 1 cm^2 ITO glass area. In the process, photoelectrodes made by variations of single layer and double layer TiO_2 which nanoparticles TiO_2 as main/base layer and top/second layer is sub-microparticles. In the next process, photoelectrodes was given mechanical compression with a load of 25 kg/unit area. The last process, photoelectrode was dipping in N-749 extracts with ultrasonic process for 20 seconds. The results show that combination of variation DSSC can increase produces efficiency from 0.028% to 0.040%.

Keywords: Dye Sensitized Solar Cell (DSSC); Photoelectrode, Double Layer; Mechanical Compression; Ultrasonic Dipping; Solar Cell efficiency

PENDAHULUAN

Sumber energi di Indonesia masih didominasi dengan pemanfaatan minyak bumi dan batu-bara, sehingga penggunaan yang secara terus menerus menimbulkan krisis energi akibat berkurangnya persediaan dan keterbatasan cara memperoleh kedua sumber energi tersebut. Berbagai sumber menyebutkan bahwa konsumsi energi semakin terus meningkat tak sebanding dengan produksi sumber energi yang semakin terus menurun. Oleh sebab itu, eksplorasi terhadap sumber energi terbarukan merupakan solusi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat. Salah satu energi terbarukan adalah sel surya atau photovoltaic, yang merupakan teknologi yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Saat ini, teknologi sel surya semakin berkembang, salah satu jenis sel surya yang

ada adalah Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). DSSC menggunakan bahan dasar alami maupun sintetis dan prosesnya fabrikasinya tergolong mudah dan menggunakan peralatan murah dan sederhana. Penelitian terhadap penyusunan DSSC telah banyak diteliti untuk memperoleh nilai efisiensi yang tinggi. Dye yang merupakan zat pewarna dibuat menjadi larutan diadsorpsi ke lapisan semikonduktor yang disebut elektroda kerja atau photoelektroda.

Seo dan Kim (2012) menemukan sebuah metode perendaman elektroda kerja dalam larutan dye agar dye secara optimal dengan waktu yang singkat dengan proses ultrasonic cleaner, yang hanya membutuhkan waktu kurang dari 30 menit. Pada penelitian Hadi Santoso (2015), dengan memanfaatkan alat yang sama dalam proses adsorpsi dye jenis sintesis N-749 ke lapisan

semikonduktor disimpulkan bahwa 20 detik perendaman ultrasonik menghasilkan efesiensi yang sebanding dengan perendaman tanpa ultrasonik selama 12 jam. Efesiensi yang dihasilkan adalah 0,025%. Park (2012) melakukan treatment dengan melakukan pelapisan elektroda kerja dengan menggabungkan lapisan nanopartikel dan sub-mikropartikel yang bertujuan ganda yakni untuk peningkatan jumlah dye yang terikat dan kemampuan penyebaran cahaya diseluruh photoelektroda. Pada penelitian lainnya, Meen (2014) menunjukan bahwa perlakuan mekanik yang menekan rata lapisan semikonduktor memberikan pengaruh penambahan kinerja DSSC dengan memberikan jumlah partikel TiO_2 yang cukup banyak untuk menyerap dye pada ketebalan yang relatif tipis serta bertujuan untuk menurunkan jarak-jarak porositas yang terlalu lebar antar partikel semikonduktor sehingga transfer elektron semakin lancar. Berdasarkan uraian diatas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk meyelidiki peningkatan efesiensi yang diperoleh bila perendaman ultrasonik dilakukan pada photoelektroda yang dikenai treatment double-layer serta kompresi mekanik.

METODE

Ada beberapa proses dalam pembuatan DSSC ini

(1) Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah magnetik stirrer, potensiostat, hot-plate, neraca digital, ultrasonic-cleaner, penekan-mekanik, mikroskop, mortar dan gelas kimia. Bahan yang digunakan adalah TiO_2 sub-mikropartikel, TiO_2 nanopartikel, Serbuk dye sintetis N-749, Kaca Konduktif ITO, Aquades, PEG 1000 (Polyethylene Glycol), KI, Acetonitril, Iodine, HCL, Ethanol, Triton X-100, Asam Asetat dan serbuk Black-Carbon.

(2) Pembuatan Pasta Semikonduktor TiO_2

Semikonduktor pada photoelektroda menggunakan dua jenis TiO_2 , yakni yang berukuran sub-mikropartikel dan nanopartikel. Proses pembuatan pasta TiO_2 nanopartikel dan sub-mikropartikel sama, yakni : 0,7 gram serbuk TiO_2 ditambahkan 1,4 ml aquades digerus dalam mortar. Selanjutnya ditambahkan 0,3 gram PEG-1000, 0,7 ml asam asetat, 1 ml acetylacetone dan 0,7 ml triton X-100.

(3) Proses Deposisi dan Pembuatan Double Layer

Dilakukan metode double-layer pada proses pendeposisian lapisan semikonduktor, dimana layer pertama adalah lapisan semikonduktor berukuran nanopartikel yang dilapiskan bersentuhan lansung dengan kaca konduktif ITO, sedangkan layer kedua merupakan lapisan semikonduktor sub-mikropartikel yang dilapiskan diatas layer pertama. Kedua pelapisan layer tersebut menggunakan teknik yang sama, menggunakan metode

doktor blade yang pada sisi kaca ITO berukuran 1 cm^2 dan ketebalan $10 \mu\text{m}$. Setelah pasta TiO_2 terdeposisi kemudian dipanaskan pada suhu 450°C selama 15 menit.

(4) Kompresi Mekanik

Perlakuan mekanik dengan menekan rata lapisan semikonduktor yang terdiri dari dua layer dengan memberikan beban dengan variasi 25 kg/cm^2 . Kompresi dilakukan dengan memberi beban yang sedemikian rupa sehingga menekan permukaan TiO_2 seperti gambar 1. Proses kompresi mekanik dilakukan selama 3 menit. 3 menit merupakan lama kemampuan kaca menahan beban proses kompresi.

Gambar 1. Proses kompresi mekanik lapisan TiO_2

(5) Pembuatan Larutan Dye

Photoelektroda direndaman selama 20 detik dalam 10 ml larutan dye (dye sensitizer) pada perangkat ultrasonic cleaner. Larutan dye menggunakan bahan sintetis N-749 (Sigma-Aldrich) atau disebut dengan black dye yang memiliki absorpsi 350–800 nm, dimana 1,1 mg serbuk dye dilarutkan kedalam 20 mL ethanol dan di aduk menggunakan magnetic stirrer selama 10 menit.

(6) Perakitan DSSC dan pengukuran efesiensi

DSSC tersusun atas lapisan photoelektroda, elektrolit dan counterelektroda. Counter elektroda terbuat dari lapisan karbon dari serbuk black-karbon yang dilapiskan kepermukaan konduktif ITO. Fungsi karbon sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pada DSSC. Antara photoelektroda dan counterelektroda ditetesi oleh elektrolit. elektrolit berupa pasangan iodide dan triiodide (I/I^3) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel.

Elektrolit yang digunakan bersifat gel. Agar gel elektrolit tidak mengalir ataupun menguap keluar yang menyebabkan berkurangnya jumlah elektrolit yang digunakan, maka packaging dibuat sedemikian rupa sehingga susunan sandwich terutama elektrolit tetap dalam keadaan dan jumlah yang konstan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan plastik pembatas area kerja.

Gambar 2 (a) DSSC tampak dari atas,
(b) tampak dari samping

Salah satu titik di konduktif ITO disambungkan kabel sebagai pengalir elektron. Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) dilakukan menggunakan alat Keithley I-V meter. DSSC di sinari dengan daya lampu 1000 Watt/m². Data keluaran dan alat I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus menggunakan Microsoft Excel. Karakteristik sel surya yaitu Fill factor (FF) Unjuk kerja sel surya adalah faktor pengisian. Fill factor sel surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara Voc dan Isc, menurut Green,Martin.A, melalui persamaan :

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

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (Pmax) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (Pcahaya):

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan photoelektroda dibuat dalam beberapa treatment, yang berhubungan dengan single/double layer serta kompresi atau tidak kompresi mekanik. Treatment-treatment tersebut dilakukan dengan perendaman ultrasonik dengan tujuan untuk mempercepat proses adsorpsi partikel dye kedalam pori lapisan TiO₂ yang selanjutnya dirakit menjadi DSSC yang dilengkapi dengan elektrolit dan counter-elektroda. Counter electrode terbuat dari lapisan black-carbon yang memiliki konduktifitas yang cukup baik dengan biaya yang lebih terjangkau. Serbuk black carbon dibuat dalam bentuk pasta dan dilapiskan keatas kaca ITO, kemudian dipanaskan hingga yang tersisa hanya lapisan karbon pada kaca ITO.

Treatment-treatment dalam proses pembuatan photoelektroda DSSC dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Sampel 1, photoelektroda yang terdiri dari satu lapisan nanopartikel TiO₂ setebal 10 µm, selanjutnya dilakukan perendaman dye menggunakan ultrasonik selama 20 detik.

Sampel 2, photoelektroda yang terdiri dari satu lapisan nanopartikel TiO₂ setebal 10 µm, yang selanjutnya dilakukan kompresi mekanik. Lapisan yang sudah jadi kemudian direndam kedalam dye menggunakan ultrasonik selama 20 detik. **Sampel 3**, photoelektroda yang terdiri dari dua lapisan (double layer) yakni lapisan nanopartikel dan lapisan double partikel setebal 20 µm, selanjutnya direndam kedalam dye menggunakan ultrasonik selama 20 detik. **Sampel 4**, photoelektroda yang terdiri dari dua lapisan (double layer) yakni lapisan nanopartikel dan lapisan double partikel setebal 20 µm, yang selanjutnya dilakukan kompresi mekanik. Lapisan yang sudah jadi kemudian direndam kedalam dye menggunakan ultrasonik selama 20 detik.

Setelah dirakit antara photo-elektroda, elektrolit dan counterelektroda, DSSC kemudian diukur nilai keluaran arus dan tegangannya . Hasil karakterisasinya ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Efisiensi DSSC berbagai Treatment

No	Treatment	Voc (Volt)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	Ef (%)
1	Single Layer + Tanpa Kompresi Mekanik	0.295	0.053	46	0.025
2	Single Layer + Kompresi Mekanik				
3	Double Layer + Tanpa Kompresi Mekanik	0.340	0.053	41	0.007
4	Double Layer + Kompresi Mekanik	0.381	0.363	27.5	0.045

Sampel 2 menunjukkan nilai arus dan tegangan bernilai nol. Hal ini disebabkan karena lapisan single layer yang terkompresi akan menyebabkan lapisan menjadi bertambah tipis. Lapisan yang lebih tipis akhirnya akan mudah rusak ketika mengalami gangguan air yang disebabkan oleh getaran suara ultrasonik oleh ultrasonic-cleaner, sehingga photoelektroda sampel 2 menjadi tidak efektif dalam aplikasi DSSC. Pada sampel 1 menunjukkan hasil yang lebih baik, dimana efisiensinya 0,028%, hal ini menunjukkan bahwa lapisan semikonduktor TiO₂ dapat mengadsorpsi partikel dye selama proses ultasonik tanpa mengalami kerusakan lapisan, sehingga sampel 1 ini dapat diaplikasikan sebagai DSSC.

Sampel 3 menunjukkan efisiensi yang relatif sangat kecil, yakni 0,007%. Efisiensi yang kecil ini disebabkan efek bertambah tebalnya lapisan photoelektroda, yang berdampak pada transfer elektron akan mengalami hambatan disertai ditangkapnya kembali elektron tereksitasi oleh dye teroksidasi, pengaruh tersebut menjadi sangat berpengaruh dalam produksi elektron oleh DSSC.

Sampel 4 menunjukkan nilai efisiensi yang lebih baik diantara tiga sample lainnya. Sample 4 mengindikasikan tebalnya lapisan akan menambah porositas tempat nantinya partikel-partikel dye teradsorpsi. Sebelum dilakukan proses perendaman dye, lapisan tersebut dikompresi hingga ketebalan menjadi relatif berkurang. Berkurangnya ketebalan menyebabkan semakin dekatnya porositas-porositas yang telah ada sehingga mampu mengalirkan elektron lebih baik. Dengan berkurangnya ketebalan akan yang berdampak pada transfer elektron yang lebih baik tanpa disertai teroksidasinya elektron yang tereksitasi. Efisiensi yang dihasilkan oleh sampel ini jauh lebih baik diantara ketiga sampel lainnya, yakni 0,04%.

Gambar 3. Grafik I-V DSSC Sampel 1 dan DSSC 4

Gambar 3 menunjukkan keberhasilan kombinasi ketiga treatment dalam meningkatkan efisiensi DSSC. Sampel 1 yakni DSSC yang menggunakan photoelektroda yang terbuat hanya menggunakan perendaman ultrasonik tanpa diberi double layer dan tanpa kompresi mekanik hanya menghasilkan efisiensi sebesar 0,025% dengan grafik I-V dengan nilai arus dan tegangan yang lebih kecil dibandingkan sampel 4. Sampel 4 merupakan DSSC yang menggunakan photoelektroda dengan kombinasi treatment double layer, kompresi mekanik dan perendaman ultrasonik yang menghasilkan efisiensi mencapai 0,045% dengan kenaikan arus dan tegangan yang cukup signifikan dibandingkan sampel 1. Kenaikan efisiensi dari 0,025% menjadi 0,045% menunjukkan bahwa pengaruh ketiga treatment akan mampu meningkatkan efisiensi hingga 80%.

Treatment perendaman ultrasonik sendiri mampu memberikan manfaat yang akan memberikan efek dispersi pada endapan partikel dye, peningkatan difusi molekul dye ke dalam pori TiO_2 nanopartikel, dan terjadi pelepasan gas yang terperangkap pada lapisan TiO_2 berpori secara cepat. Menurut Park [3], Treatment double-

layer bermanfaat bagi proses transfer elektron, dimana nano partikel TiO_2 pada layer pertama memiliki permukaan yang lebih luas serta pori yang lebih banyak untuk menampung partikel dye yang terdispersi akibat ultrasonik, sedangkan submikropartikel pada layer kedua mampu menyebarkan cahaya yang terserap menuju lapisan sebelumnya yakni layer pertama ber-nanopartikel, sehingga cahaya yang masuk kedalam photoelektroda mampu dipotimalkan untuk menghasilkan elektron tereksitasi. Antisipasi efek tebal yang berdampak buruk karena dapat ditangkapi kembali elektron tereksitasi oleh dye teroksidasi adalah dengan melakukan kompresi mekanik. Dengan adanya treatment kompresi mekanik akan memberikan penurunan ketebalan lapisan yang menjadi lebih tipis dengan jumlah porositas yang tetap sama, hanya berubah jarak antar pori-pori yang semakin dekat sehingga meningkatkan kelancaran lalu-lintas elektron tereksitasi yang menuju kerangkaian luar yang menjadi arus listrik.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembuatan photoelektroda DSSC dengan menggunakan kombinasi treatment berupa double-layer, kompresi mekanik serta perendaman dye menggunakan ultrasonik mampu meningkatkan efisiensi DSSC.
2. Efisiensi DSSC yang hanya menggunakan photoelektroda dengan single layer TiO_2 nanopartikel tanpa kompresi mekanik direndam dalam larutan dye dengan proses ultrasonik hanya memberikan efisiensi sebesar 0,025 dengan Voc 0,295 volt dan Jsc 0,053 mA/cm^2 .
3. DSSC yang menggunakan photoelektroda dengan kombinasi treatment berupa double-layer, kompresi mekanik serta perendaman dye menggunakan ultrasonik memberikan nilai efisiensi sebesar 0,045% dengan Voc 0,381 volt dan Jsc 0,363 mA/cm^2 .
4. DSSC yang semula hanya menggunakan photoelektroda single layer dan perendaman ultrasonik tanpa proses kompresi mekanik menjadi DSSC ber-photoelektroda dengan treatment combination (double layer, kompresi mekanik dan perendaman ultrasonik) efisiensinya akan meningkat hingga 80%.

DAFTAR PUSTAKA

- Y. Seo and et.al, Rapid Dye Adsorption For Dye-Sensitized Solar Cells Using A Simple Ultrasonication Method, Department of Chemical Engineering, University of Seoul, Republic of Korea.: Journal of Industrial and Engineering Chemistry 19, 488–492., 2012.
- H. Santoso, Investigation on the Effect of Dye Adsorption Processes for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), Physics Instrumentation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia: International Symposium on Modern Optics and Its Applications, 2015.
- J.Park and et.al, Fabrication of double layer photoelectrodes using hierarchical TiO₂ nanospheres for dye-sensitized solar cells, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, 262 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, South Korea: Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2012.
- H. Meen and et.al, Optimization of the dye-sensitized solar cell performance by mechanical compression, Department of Electronic Engineering, National Formosa University, Yunlin: Nanoscale Research Letters. 9:523, 2014.