

Experimental Study on Effect of Electrolyte Phase Variations with Titanium Dioxide Nanoparticles on Dye Sensitized Solar Cell Power Using ITO Glass Substrate

Eqwar Saputra^{1,*}, Amalia Isna Rahmawati¹, Ni'mah Mufidah¹, Golda Defannisa Astrid¹, Evi Rohmatul Aini¹ dan Tri Widayatno¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta - Surakarta

*Korespondensi: eqwar_s@yahoo.com

Abstract. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a set of solar cells based on photoelectrochemistry, used as an alternative to making solar cells easier, inexpensive and performance-enhanced. This research aims to create a dye sensitized solar cell by performing a solid electrolyte/gel and liquid variation to obtain DSSC performance in converting to electricity with red dragon fruit dye extract (*Hylocereuspolyrhizus*) as its photosensitizer. In this research used anatase nanoparticle TiO₂ phases superimposed on ITO glass substrate. TiO₂ is used as a semiconductor material, carbon as a catalyst and liquid electrolyte on the arranged glass on two ITO glass is an electrode. I-V Keithleycurve meter is used to know the performance produced by solar cells with each electrolyte is PEG 1000 and PEG 6000 for solid/gel electrolyte while the liquid electrolyte using NaI and KI, which is mixed with I₂ with the same concentration. This research found that the use of solid electrolyte/gel in DSSC able to provide stable voltage, and stability of flow higher than liquid electrolyte.

Abstrak. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah satu set sel surya *photoelectrochemistry*, yang digunakan sebagai alternatif untuk membuat sel surya lebih mudah, murah dan berkinerja lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sel surya *dye sensitized* dengan variasi elektrolit padat / gel dan cair untuk mendapatkan kinerja DSSC dalam mengkonversi ke listrik dengan ekstrak pewarna buah naga merah (*Hylocereuspolyrhizus*) sebagai fotosensitizer. Dalam penelitian ini digunakan fase anatase nano partikel TiO₂ yang dilapiskan pada substrat kaca ITO. TiO₂ digunakan sebagai bahan semikonduktor, karbon sebagai katalis dan cairan elektrolit pada kaca yang disusun pada dua gelas ITO adalah elektroda. I-V Keithleycurve meter digunakan untuk mengetahui kinerja yang dihasilkan oleh sel surya dengan masing-masing elektrolit adalah PEG 1000 dan PEG 6000 untuk elektrolit padat/gel, sedangkan elektrolit cair menggunakan NaI dan KI yang dicampur dengan I₂ dalam konsentrasi yang sama. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan elektrolit/gel padat pada DSSC mampu memberikan tegangan yang stabil dengan stabilitas aliran lebih tinggi daripada elektrolit cair.

Kata kunci: dye, solid electrolyte, liquid electrolyte, DSSC

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama manusia dalam kehidupan sehari-hari. Ketidakseimbangan antara pertumbuhan populasi penduduk dengan peningkatan konsumsi energi menyebabkan krisis energi yang menjadi permasalahan serius pada saat ini. Pembuatan teknologi baru dengan sumber energi dari energi alternatif merupakan salah satu hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya krisis energi.

Sebagai negara tropis, Indonesia merupakan negara dengan sumber energi matahari yang melimpah. Posisi Indonesia yang berada pada garis

khatulistiwa memungkinkan Indonesia menerima sinar matahari dengan optimal hampir sepanjang tahun. Hal ini membuat potensi penggunaan seal surya sebagai salah satu sumber energi untuk masa depan sangat besar.) Perkembangan solar cell menjadi sebuah tuntutan ketika manusia dihadapkan dengan berbagai kerusakan yang diakibatkan penggunaan bahan bakar fosil dan global warning (Maya, 2012).

Berdasarkan perkembangan teknologi pada saat ini, terdapat tiga jenis sel surya yang didasarkan pada proses pembuatannya. Yang pertama adalah sel surya yang terbuat dari silikon tunggal dan silikon multi kristal, kedua adalah sel surya tipe

lapis tipis dan yang ketiga adalah sel surya organik (*Dye Sensitized Solar Cell*) (Ekasari, 2013). Sel surya yang paling sesuai dikembangkan di Indonesia adalah sel surya generasi ketiga yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan jenis sel surya tersensitasi yang mudah dan tidak membutuhkan biaya yang tinggi. Pada saat ini penelitian tentang DSSC masih sangat menjanjikan karena teknologi yang digunakan masih sangat tersedia serta masih berpeluang untuk ditingkatkan efisiensinya (Diah, 2016).

DSSC merupakan sel surya yang dikembangkan pertama kali oleh Gratzel *et.al*, sehingga pada hal ini disebut juga sel Gratzel (Maddu dkk, dalam Retno dkk, 2014). Pada DSSC dapat mengabsorbi cahaya dan muatan listrik yang terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang memiliki nanopori. Untuk memaksimalkan absorpsi cahaya digunakan molekul dye berupa antosianin (zat warna). Antosianin sendiri termasuk ke dalam kategori senyawa flavonoid. Antosianin merupakan pigmen tanaman yang dapat larut dalam air dan sering ditemukan pada buah, daun dan bunga (Wahyu dan Diah, 2015). Salah satu pewarna alami yang mengandung pigmen antosianin terdapat pada buah naga.

DSSC menarik perhatian para peneliti karena proses pembuatannya mudah dan bahannya murah. Selain itu, masih terbuka peluang untuk meningkatkan efisiensi. Selain TiO₂, dye, dan katalis, elektrolit berperan dalam meningkatkan kinerja DSSC (Prasetyo, 2014). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian ini untuk meningkatkan efisiensi DSSC dengan melakukan variasi elektrolit padat dan cair dengan nanopartikel titanium dioxide (TiO₂) terhadap daya keluaran DSSC.

Metode Penelitian

Mula-mula dalam penelitian ini menyiapkan bahan yang digunakan untuk TiO₂Nano (Nanotech) kemudian di *ball milling* selama 3 jam untuk mendapatkan campuran yang homogen. Kemudian butiran TiO₂ diuji *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui ukuran kristalnya.

Elektroda kerja dibuat dari kaca konduktif ITO yang diatasnya didepositikan larutan TiO₂ nano dengan teknik *Doctor Blade*. Cara membuat larutan TiO₂ nano yaitu dengan mencampurkan serbuk TiO₂ nano dengan larutan TiO₂ nano dibuat dari 6 gram TiO₂ nano ditambahkan 10 ml asam asetat, distirrer selama 30 menit, kemudian ditambahkan 10 tetes Triton X-100 dan distirrer kembali selama 30 menit. Kemudian disimpan dalam botol tertutup.

Pada penelitian ini berupa substrat kaca *Indium Tin Oxide* (ITO) dengan panjang dan lebar kaca 2,5 x 2,5 cm ukuran sel 2 x 1,5 cm. Pembersihan kaca konduktif ITO dengan menggunakan aseton. Gelas yang sudah berisi aseton 25 ml kemudian kaca ITO direndam selama 10 menit dan dikeringkan dengan udara ruang. Sebelum dipakai kaca tersebut dicari dulu sisi konduktifnya dengan mengukur resistensinya pada salah satu sisinya dengan menggunakan multimeter digital.

Larutan TiO₂ nano yang telah disiapkan sebelumnya, kemudian diletakkan diatas permukaan kaca ITO yang tidak berslotip kemudian dilakukan pelapisan dengan metode *Doctor Blade* untuk menjadi lebih baik, lalu disintering dengan menggunakan temperatur 450°C selama 2 jam. kemudian ditingginkan dengan temperatur ruang.

Pada awalnya buah naga segar sebanyak 40 gram dicuci dan dipotong kecil-kecil. potongan buah naga tersebut dihaluskan dengan menggunakan mortar sampai halus lalu dicampur dengan 50 ml methanol, 8 ml asam asetat, dan 42 ml aquades. Kemudian didiamkan dalam wadah tertutup yang dilapisi aluminium foil selama 24 jam kemudian disaring dengan kertas saring. Ekstrak hasil saringan disimpan dalam botol dan ditutup. Botol dilapisi dengan aluminium foil pada luarnya sebelum digunakan.

Karakterisasi larutan dye dilakukan di Laboratorium Fakultas FARMASI UMS. Setelah bahan diekstrak, larutan dye tersebut diuji karakterisasi absorbansinya dengan menggunakan Spectrophotometer UV-Vis. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pada panjang gelombang berapakah larutan tersebut dapat menyerap cahaya lampu halogen secara maksimal. Pengujian dilakukan dengan meletakkan 5 ml larutan dan 5 ml blanko yang digunakan.

Sebagai elektroda pembanding, digunakan elektroda yang dibuat dari pelapisan sisi konduktif kaca ITO dengan lapisan karbon. Dicari dahulu sisi konduktif kaca ITO lalu bagian sisi tersebut digores-gores dengan pensil 8B secara merata. Setelah itu, kaca tersebut dipanaskan diatas nyala api lilin hingga timbul lapisan karbon. ketebalan lapisan karbon dapat dilihat dari lama dan tidaknya diatas api tersebut.

Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasangan redoks Iodide dan Triiodide (I⁻/I₃⁻). Senyawa yang terkandung dalam pembuatan larutan elektrolit ini adalah Kalium iodida (KI) dan Iodine cair 10 % solution. Larutan elektrolit cair terlebih dahulu dibuat dengan mencampurkan 3 gram KI dan 3 ml Iodine 10 % solution kemudian di stirer pada skala kecepatan 8 rpm selama 30 menit. Kemudian hasilnya disimpan

pada botol dan ditutup rapat. Bahan polimer yang digunakan untuk membuat elektrolit gel adalah PEG 1000 dan PEG 6000. Langkah awal pembuatan elektrolit gel adalah melarutkan bahan polimer yaitu PEG 1000 dan PEG 6000 dalam pelarut chloroform. Pada proses pelarutan ini 3 gram PEG 1000 dan PEG 6000 3 ml Chloroform masing-masing distirrer selama 30 menit dengan skala kecepatan 8 rpm. Kemudian elektrolit cair yang sudah dibuat tadi ditambahkan ke dalam larutan polimer lalu distirrer kembali dengan skala kecepatan 8 selama 60 menit pada suhu 85°C. Elektrolit yang sudah jadi disimpan dalam wadah tertutup.

Larutan elektrolit cair yang digunakan dalam penelitian ini adalah Larutan elektrolit pasangan redoks iodide dan triiodide (I^-/I_3^-). Senyawa yang terkandung dalam pembuatan larutan elektrolit ini diantaranya KI dan NaI. Larutan elektrolit cair terlebih dahulu dibuat dengan mencampurkan 3 gram KI dan 3 ml iodine 10 % solution, kemudian di stirer pada skala kecepatan 8 selama 30 menit. Kemudian diulangi dengan metode yang sama pada pembuatan elektrolit dari NaI yaitu 3 gram NaI dan 3 ml iodine cair 10 % solution, lalu di stirer pada skala kecepatan 8 selama 30 menit.

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat dan telah siap, kemudian dilakukan proses perakitan dengan cara menempelkan kaca ITO yang telah dilapisi TiO_2 dan kaca ITO yang telah dilapisi oleh elektroda karbon dengan struktur *sandwich* dan dijepit dengan menggunakan klip supaya tidak bergerak lapisannya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil dari prototipe yang dibuat dengan menyambungkan sel surya dengan *sandwich* yang telah dibuat dengan rangkaian pengujian. Rangkaian dibuat sedemikian rupa hingga diproyeksikan sel dapat menghasilkan arus dan tegangan maksimum. Pengujian dilakukan dengan menggunakan I-V Keithley Meter.

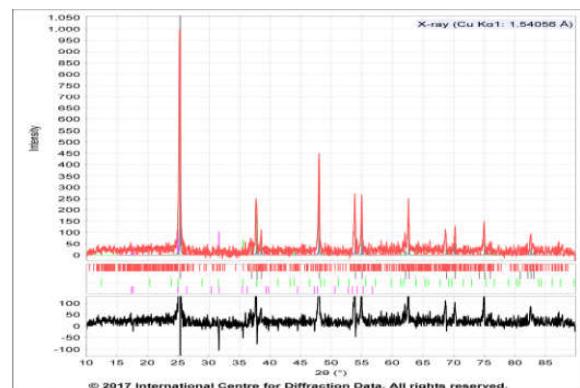
Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 menunjukkan hasil uji difraktogram sinar x dianalisis dengan menggunakan aplikasi match dan membandingkannya dengan data dalam JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) yang menunjukkan bahwa struktur kristal yang terbentuk adalah TiO_2 fase anatase. Trianiza (2013) mengatakan bahwa penggunaan TiO_2 fase anatase pada DSSC sangat potensial untuk mencapai efisiensi lebih tinggi dalam mengubah cahaya menjadi listrik karena mempunyai kemampuan penyerapan yang tinggi.

Ukuran kristal dari sampel bisa dihitung secara kuantitatif menggunakan metode Scheerer melalui persamaan:

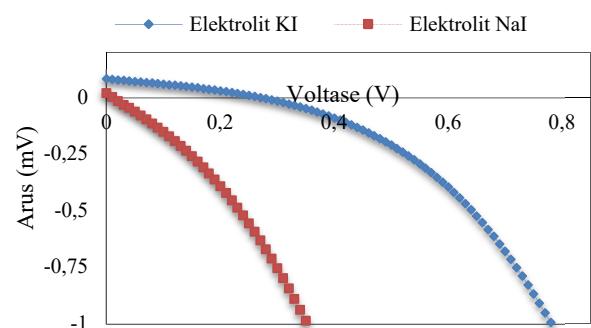
$$D = \frac{k x \lambda}{\beta x \cos \theta}$$

dengan k adalah konstanta sebesar 0,89; λ = adalah panjang gelombang sumber sinar X (dalam hal ini cu $K\alpha$ sebesar 0,15406 nm), dan β adalah setengah lebar puncak difraksi (FWHM) dalam satuan radian. Nilai β adalah nilai puncak maksimum yang dimiliki puncak anatase pada 2θ yaitu sebesar 0,0047 dan didapatkan ukuran Kristal sebesar 36,94 nm.

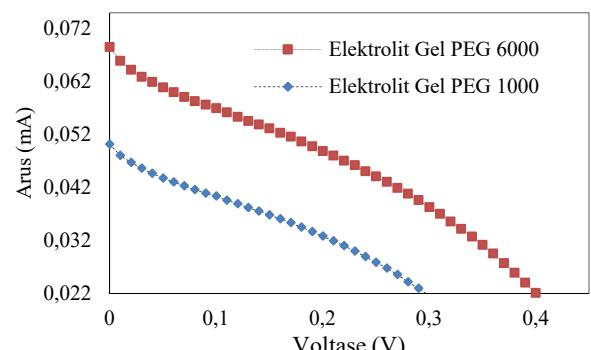


Gambar 1. Difraktogram TiO_2

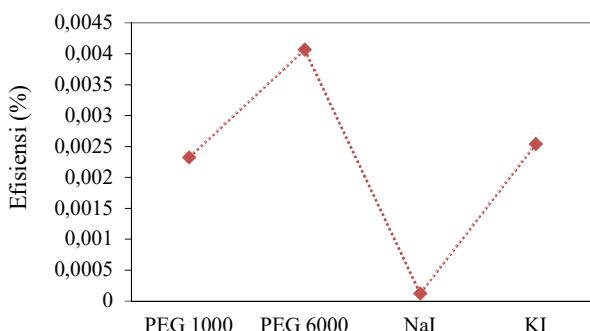
Pengukuran arus terhadap tegangan dilakukan untuk mengetahui mengetahui nilai ketabilan dari prototipe yang sudah dibuat. Gambar 2 menunjukkan hubungan arus terhadap tegangan DSSC yang dihasilkan dari pengujian dengan menggunakan Keithley Meter.



Gambar 2. Hubungan arus terhadap tegangan pada elektrolit cair



Gambar 3. Hubungan arus terhadap tegangan pada elektrolit gel



Gambar 4. Hubungan arus dan tegangan terhadap efisiensi

Tabel 1. Hasil Pengukuran parameter fotovoltaik dari sel surya DSSC

No	Sampel Elektrolit	V _{oc} (Volt)	I _{sc} (mA)	J _{sc} (mA/cm ²)	I _{max} (mA)	V _{max} (mV)	P _{max} (mW)	Efisiensi (%)	Fill Factor
1	KI	0,272	0,0849	0,0283	0,047	160	0,007	0,00254	0,311
2	NaI	0,032	0,0499	0,0166	0,019	200	0,0038	0,00012	0,239
3	PEG 1000	0,416	0,0507	0,0169	0,029	240	0,007	0,00232	0,358
4	PEG 6000	0,490	0,0701	0,0023	0,040	300	0,012	0,00406	0,377

Dari hasil diatas maka didapatkan efisiensi konversi energi surya $\eta = 0,00406\%$. Pada penelitian ini DSSC berhasil mengkonversi energi surya menjadi listrik yang ditunjukkan dengan nilai tegangan, kuat arus, dan efisiensi yang diperlihatkan dalam gambar 2 dan 3 serta tabel 1. DSSC berhasil meng-konversi sinar cahaya halogen menjadi nilai tegangan dan arus pada Kurva I-V meter. Data pada gambar 2 dibuat grafik hubungan pengaruh arus dan tegangan terhadap efisiensi pada elektrolit cair dan gambar 3 grafik hubungan pengaruh arus dan tegangan terhadap efisiensi pada elektrolit padat yang dihasilkan.

Pengukuran arus dan tegangan bertujuan untuk mengetahui performansi DSSC seperti yang ditujukan pada gambar 2 dan 3 untuk penggunaan elektrolit padat PEG 1000 dan PEG 6000 dan Cair yaitu KI dan NaI. Dari kedua kurva tersebut, arus yang dihasilkan DSSC dengan penggunaan elektrolit gel PEG 6000 menghasilkan nilai yang paling baik untuk elektrolit PEG 1000 maupun elektrolit yang cair. Sedangkan untuk elektrolit cair efisiensi yang baik pada elektrolit KI. Efisiensi DSSC sangat bergantung pada nilai I_{sc}, V_{oc}, dan FF beserta efisiensinya dapat dilihat pada Tabel 1.

Hal ini ditunjukkan pada nilai I_{sc} yang dihasilkan DSSC dengan elektrolit PEG 6000 lebih tinggi dari I_{sc} elektrolit yang cair untuk semua sampel. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa penggunaan elektrolit gel menghasilkan ketabilan arus dan tegangan yang tinggi. Sel DSSC dengan elektrolit gel juga memiliki tingkat oksidasi sel yang lebih rendah dibandingkan sel dengan elektrolit liquid (Hikmah, 2015).

Dari data tabel 1, gambar 2 dan 3 didapatkan bahwa sel surya dengan elektrolit gel PEG 6000 memiliki tingkat efisiensi yang paling tinggi. Sel surya ini memiliki *short-circuit current* (I_{sc}) mencapai 0,0701 mA, *open-circuit voltage* V_{oc} = 0,490 V, dan *fill factor* dengan rumus:

$$FF = \frac{(I \times V)_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

Maka didapatkan nilai *fill factor* 0,377 dan efisiensi dengan rumus:

$$\eta = \frac{(I \times V)_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{P_{in}} \times 100\%$$

Kedua pengukuran tersebut membuktikan bahwa elektrolit gel mampu meningkatkan *life time* DSSC. Dengan mengembangkan elektrolit berbasis polimer maka DSSC dapat lebih bertahan lama. Disamping itu penguapan yang terjadi pada elektrolit gel lebih lama dari pada elektrolit cair sehingga tidak banyak iodine yang hilang akibat penguapan (Hikmah, 2015). Hal ini sesuai dengan penelitian yang kami lakukan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah kami lakukan dihasilkan prototype DSSC berbasis TiO₂ orde nano dengan menggunakan variasi elektrolit cair dan gel. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan elektrolit padat menghasilkan efisiensi lebih tinggi dari pada elektrolit cair. Dimana efisiensi terbaik dihasilkan oleh elektrolit PEG 6000 yaitu 0,00406% sedangkan untuk elektrolit cair efisiensi terbaik menggunakan KI yaitu 0,00254. Dari hasil uji coba, dengan variasi elektrolit PEG 1000, KI, NaI menghasilkan nilai efisiensi, yaitu 0,00232%, 0,00254%, 0,00012%.

Daftar Pustaka

- [1] Diah, E.A., 2016. Pelapisan Nanopartikel dan Nanofiber Titanium Dioxide (TiO₂) di atas *Fluorine-Doped TIN OXIDE* (FTO) untuk Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell*, Skripsi.
- [2] Ekasari, V. dan Gatut, Y., 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.

- [3] Irmayatul, H. dan Gontjang, P., 2015. Pengaruh penggunaan Gel-Electrolyte pada prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis TiO₂ Nanopartikel dengan Ekstrak Murbei (*Morus*) sebagai Dye Sensitizer pada Substrat Kaca ITO, Jurnal Sains dan Seni. ITS Vol 4, No.1.
- [4] Gratzel, M., 2009. Chimie 9, 578-583.
- [5] Misbachudin, C.M. dkk., 2013. pembuatan prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* dengan memanfaatkan ekstrak antosianin strawberry, Prosiding seminar nasional sains dan pendidikan sains, UKSW, Salatiga.
- [6] Misbachudin, dkk., 2014. Pengaruh pH Larutan Antosianin Strawberry dalam *Prototipe Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), Jurnal Fisika dan Aplikasinya. Vol. 10 No 2. 2014.
- [7] Prasetya, 2014. Studi Variasi Elektrolit Terhadap Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). Jurnal Fisika No: 53 Vol XVIII. ISSN: 1410-2994.
- [8] Retno D. dkk., 2014. Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L.*), Jurnal sainstek Vol. VI No. 2: 148-157.
- [9] Septina, W. dkk., 2007. Pembuatan *Solar Cell* Murah dengan Bahan-Bahan Organik-Inorganik. Laporan Penelitian Bidang Energi, Bandung, ITB.
- [10] Ice T. dan Gatut Y., 2013. Fabrikasi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) dengan Teknik Pelapisan Spin Coating Menggunakan Kaca ITO dan FTO sebagai Substrat dan Variasi Jahe Merah (*Zinger Offinale Var Rubrum*) sebagai Dye Sensitizer, ITS