

Sintesa *Titanium dioxide* (TiO_2) untuk *Dye-Sensitized Solar Cell* dengan Antosianin Bunga Rosella (*Hibiscus sabdariffa*)

Elsa Ayu Adhitya, Ari Handono Ramelan, Suharyana

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
eadhiya@yahoo.com

Received 21-02-2013, Revised 01-05-2013, Accepted 07-05-2013, Published 13-10-2013

ABSTRACT

Synthesis of *titanium dioxide* (TiO_2) for dye sensitized solar cell (DSSC) with anthocyanins rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) has succesfully been done using sol-gel technique. The semiconductor layer is a very important part of the DSSC since it gives a high surface area for dye absorption which gives rise to high currents. DSSC was formed structually two electrodes sandwiching the electrolyte. The working electrode is TiO_2 layer coating on a Fluorine doped Tin Oxide (FTO) glass substrat and sensitified with anthocyanin dye. A counter electrode is carbon coating on the FTO. The fabricated solar cells have an area of 1.5 cm^2 , soaked in the anthocyanin dye for 24 hours and 48 hours. The sample was characteriz with X-ray diffraction method. The X-ray diffractogram indicates that the sample possesses rutile and anatase phase. The dye absorption measured using spektrofotometer UV-Visible Lambda 25 showed the absorption occurs in the range 440-620 nm. The efficiencies of the solar cells measured by I-V meter Keithley for 24 and 48 hours soaking are 0.0064(6)%, and 0.0151(4)%, respectively.

Keywords : titanium dioxide, dye sensitized solar cell, rosella, sandwich structure

ABSTRAK

Sintesis *titanium dioxide* (TiO_2) untuk *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan antosianin bunga rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) telah dilakukan menggunakan metode sol-gel. Lapisan semikonduktor merupakan bagian yang penting dari DSSC yang dapat memberikan daerah serapan tinggi untuk penyerapan *dye* sehingga arus yang dihasilkan semakin tinggi. DSSC dibentuk dengan struktur sandwich, dimana dua elektroda mengapit elektrolit. Elektroda kerja berupa lapisan TiO_2 pada substrat kaca *fluorine doped tin oxide* (FTO) disensitisasi dengan *dye* antosianin. Elektroda lawan merupakan lapisan karbon pada kaca FTO. Sel yang difabrikasi mempunyai luas $1,5 \text{ cm}^2$, sel direndam dalam *dye* antosianin dengan memvariasi waktu perendaman selama 24 jam dan 48 jam. Karakterisasi menggunakan metode sinar-X memperlihatkan sample memiliki fase rutile dan anatase. Pengukuran absorbansi *dye* dilakukan Spektrofotometer UV-Visible Lambda 25. Hasil pengukuran memperlihatkan absorbansi terjadi pada panjang gelombang 440 - 620 nm. Efisiensi sel diukur dengan I-V meter Keithley untuk perendaman 24 dan 48 jam diperoleh 0,0064(6)% dan 0,0151(4)%.

Kata kunci: titanium dioxide, dye sensitized solar cell, rosella, struktur sandwich

PENDAHULUAN

Krisis energi yang dialami Indonesia mendorong penelitian tentang sumber tenaga alternatif, salah satunya adalah *dye sensitized solar cell* (DSSC). DSSC dapat mengubah energi surya menjadi listrik dengan cara yang murah dan efisien. Keunggulan dari DSSC adalah teknik fabrikasinya relatif sederhana sehingga biaya produksinya relatif rendah. Berbeda dengan sel surya anorganik yang semua proses melibatkan bahan silikon itu sendiri.

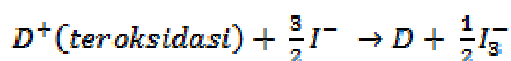
Rosella merah (*Hibiscus Sabdariffa*) adalah tanaman asli dari daerah yang terbentang dari India hingga Malaysia yang kini telah menyebar luas di semua negara tropis dan subtropis, termasuk Indonesia. Bahan penting yang terkandung dalam bunga rosella terletak pada kelopak bunga rosella yaitu gosipetin, antosianin, dan glukosidhibiskin. Antosianin merupakan salah satu zat pewarna alami berwarna kemerah-merahan yang larut dalam air. Zat ini berperan dalam transfer elektron sehingga digunakan sebagai *dye* pada DSSC.

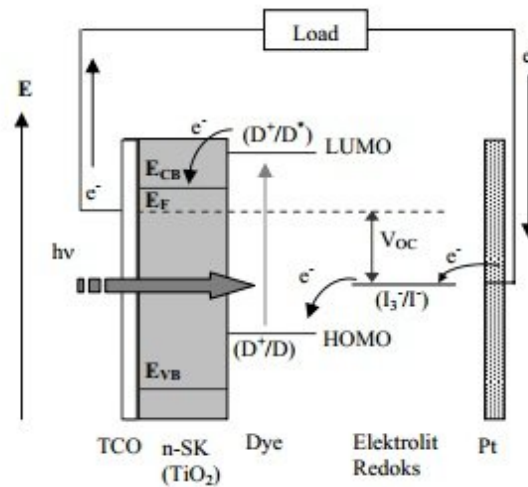
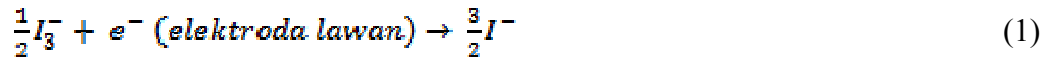
Pada sel surya organik, absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan separasi muatan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita lebar. Bahan semikonduktor yang sering digunakan sebagai elektroda dalam DSSC adalah *Titanium dioxide* (TiO₂). Hal itu dikarenakan TiO₂ memiliki fase kristal yang reaktif terhadap cahaya. Eksitasi elektron ke pita konduksi dapat dengan mudah terjadi apabila kristal ini dikenai cahaya dengan energi yang lebih besar daripada celah energinya. Selain itu TiO₂ relatif murah, inert, banyak dijumpai dan tidak beracun^[1].

DSSC tersusun dari tiga komponen utama, yaitu elektrode kerja (*working electrode*), elektrode lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit^[2]. Struktur DSSC berbentuk struktur sandwich. Dimana dua elektrode yaitu elektrode TiO₂ tersensitasi *dye* dan elektrode counter mengapit elektrolit^[3].

Elektrode kerja pada DSSC merupakan kaca *transparent conductive oxide* (TCO) yang dilapisi TiO₂ tersensitasi *dye*. TiO₂ berfungsi sebagai *collector* elektron sehingga dapat disebut semikonduktor tipe-n. Struktur nano pada TiO₂ memungkinkan *dye* yang terabsorpsi lebih banyak. Sehingga proses absorpsi cahaya menjadi lebih efisien. Pada elektrode pembanding dilapisi katalis berupa karbon untuk mempercepat reaksi redoks pada elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I⁻/I₃⁻ (iodide/triiodide)^[4].

Prinsip kerja dari DSSC dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1. Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC. Energi foton tersebut diserap oleh larutan *dye* yang melekat pada permukaan partikel TiO₂. Sehingga elektron dari *dye* mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi (D*). Elektron yang tereksitasi dari molekul *dye* akan diinjeksikan ke pita konduksi TiO₂. Dalam hal ini TiO₂ bertindak sebagai akseptor/kolektor elektron. Molekul *dye* yang ditinggalkan berada dalam keadaan teroksidasi (D⁺). Kemudian elektron akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektrode lawan (elektroda karbon). Elektrolit redoks berupa pasangan iodide dan triiodide (I⁻/I₃⁻) sebagai mediator elektron. Triiodide dari elektrolit akan menangkap elektron dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis. Elektron yang tereksitasi kembali ke dalam sel. Kemudian bereaksi dengan elektrolit menuju *dye* teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul *dye* teroksidasi. Sehingga *dye* kembali ke keadaan awal^[5]. Secara keseluruhan, prinsip TiO₂ tersensitasi *dye* melibatkan beberapa reaksi kimia secara berurutan dan berkesinambungan hingga membentuk siklus. Oleh karena itu digunakan elektrolit redoks. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi secara berurutan di dalam sel sebagai berikut^[6]:





Gambar 1. Prinsip Kerja DSSC [3]

Tegangan yang dihasilkan oleh DSSC berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor (TiO_2) dan potensial elektrokimia pasangan kopel redoks (I^-/I_3^-). Sedangkan arus yang dihasilkan oleh DSSC berkaitan dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan intensitas penyinaran serta kinerja dye yang digunakan^[7].

METODE

Pembuatan TiO_2

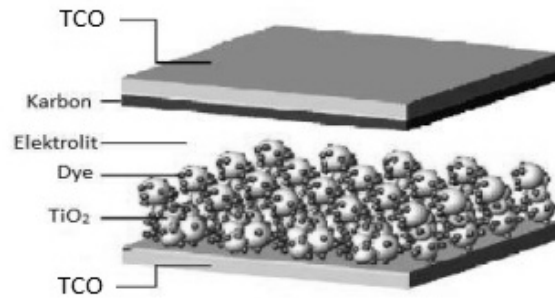
TiO_2 dibuat dari block copolymer/pluronic P2243-250G, ethanol dan $TiCl_4$. Rasio molar $TiCl_4$:ethanol:block copolymer adalah 1:21,7:0,0408^[8]. Larutan dipanaskan dalam oven (proses *aging*) pada suhu $40^\circ C$ selama 6-7 hari dalam cawan crucible sampai terbentuk *dry-gel*. *Dry-gel* yang terbentuk kemudian dikalsinasi (pemanasan dengan suhu tinggi, dibawah titik lebur) menggunakan Furnace Nabertherm dengan suhu kalsinasi sebesar $500^\circ C$, selama 4 jam dengan kecepatan pembakaran $5-6^\circ C$ /menit sehingga didapatkan bubuk TiO_2 .

Pembuatan Larutan Dye

Pewarna antosianin didapatkan dari bubuk bunga rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) yang sudah dikeringkan dan diekstraksi menggunakan pelarut organik. Pelarut yang digunakan merupakan kombinasi dari ethanol, aquades dan asam citrat dengan rasio volume 5:1:4. Bubuk bunga rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) dilarutkan dalam pelarut organik disertai pengadukan dengan menggunakan pengaduk magnet dengan suhu pemanasan $60^\circ C$ selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan proses perendaman (maserasi) selama ± 30 jam. Setelah proses perendaman, larutan kemudian disaring dengan kertas saring merk Whatman no 42. Dye hasil penyaringan disimpan dalam botol yang keseluruhan tertutup aluminium foil untuk mencegah terjadinya evaporasi dan degradasi.

Pembuatan DSSC

Konstruksi DSSC yang dibuat menggunakan sistem *sandwich* dengan urutan: elektroda kerja yang telah terlapsi dye – spacer (*screen protector*) – larutan elektrolit – elektroda lawan. Dengan ilustrasi gambar seperti Gambar 2.



Gambar 2. (color online) DSSC dengan struktur sandwich^[8]

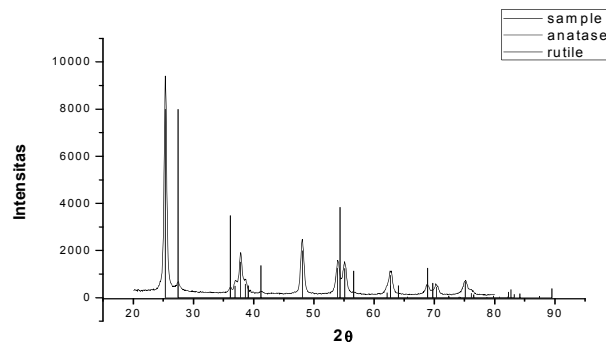
Karakterisasi

Karakterisasi untuk mengetahui fase yang terbentuk dilakukan dengan metode difraksi sinar-X menggunakan Bruker D8 Advance dengan sumber Cu tanpa monokromator. Pengukuran nilai absorbansi *dye* dilakukan dengan spektrofotometer UV-Visible Lambda 25. Pengukuran efisiensi sel surya dilakukan menggunakan IV-meter Keithley.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Kristal TiO₂

Pada Gambar 3 di bawah ini diperlihatkan pola difraksi sinar-X dari sampel. Analisa dilakukan dengan membandingkan puncak-puncak pada sampel dengan puncak-puncak standar dari JCPDF *database anatase* dan *rutile*. Pada Tabel 1 diperlihatkan posisi puncak-puncak difraksi sampel dan anatase serta rutile dari data standar JCPDS. Berdasarkan difraktogram tersebut dapat dinyatakan bahwa lapisan tipis TiO₂ yang dihasilkan pada penelitian ini tersusun atas fase anatase (grafik warna merah) dan rutile (biru).



Gambar 3. (color online) Grafik Hasil XRD bubuk TiO₂ dengan suhu kalsinasi 500°C beserta pola difraksi standar JCPDS

Tabel 1. Perbandingan Posisi Puncak TiO₂

Sample	Posisi Puncak 2θ JCPDS		h k l
	Anatase	Rutile	
25,3508	25,325	-	1 0 1
27,5012	-	27,434	1 1 0
37,8528	37,841	-	0 0 4
41,3034	-	41,237	1 1 1
48,1045	48,074	-	2 0 0
54,4055	-	54,317	4 8 0
55,1056	55,106	-	2 1 1
56,7058	-	56,622	2 0 0
62,8068	62,750	-	2 0 4
64,1070	-	64,043	3 1 0
69,0578	-	68,999	3 0 1
69,8579	70,346	-	2 2 0
75,1588	75,129	-	2 1 5

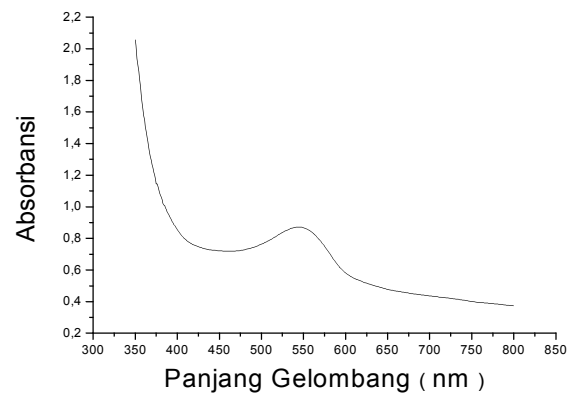
TiO₂ yang ada di alam pada umumnya mempunyai tiga fase, yaitu *anatase*, *brookite* dan *rutile*. Hanya dua fase yang sering digunakan sebagai fotokatalis, yaitu fase anatase dan *rutile*.

Terbentuknya fase anatase maupun *rutile* pada struktur TiO₂ bergantung pada transisi fase kristalin TiO₂. TiO₂ pada fase *anatase* umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fase *brookite* pada ukuran partikel 11-35 nm, dan fase *rutile* diatas 35 nm^[9]. Anatase memiliki struktur kristal tetragonal dengan Ti-O oktahedral *sharing* pada 4 sudutnya, sedangkan *rutile* memiliki struktur kristal tetragonal dengan Ti-O oktahedral *sharing* pada 4 sisinya. Pada *rutile* tiap struktur oktahedral dikelilingi oleh 10 oktahedral lain, sedangkan pada anatase setiap oktahedral dikelilingi oleh 8 oktahedral lain.

Adanya campuran anatase dan *rutile* sangat menguntungkan bagi konstruksi DSSC karena keberadaan *rutile* dalam lapisan tipis TiO₂ juga bisa memperkecil kemungkinan rekombinasi elektron yang berada pada pita konduksi^[1]. Oleh karena itu, lapisan tipis TiO₂ yang dihasilkan dalam penelitian ini cukup baik sebagai substrat zat warna untuk DSSC.

Karakterisasi Absorbansi Dye

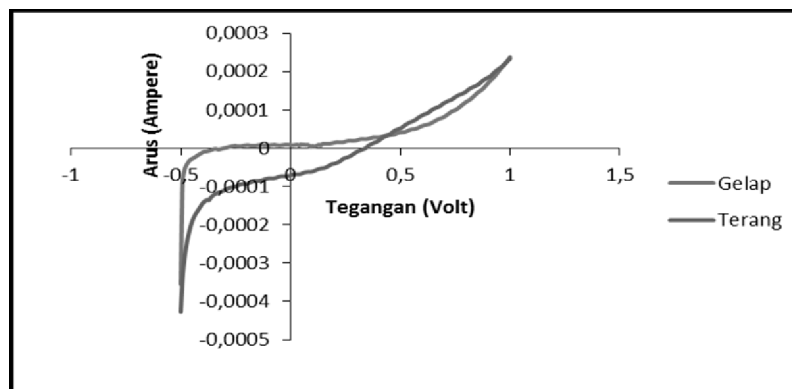
Sebelum digunakan sebagai *sensitizer*, ekstrak antosianin bunga rosella diuji spektrum absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Visible Lambda 25 dengan rentang panjang gelombang 350 nm – 800 nm.

**Gambar 4.** Grafik Absorbansi Antosianin Bunga Rosella

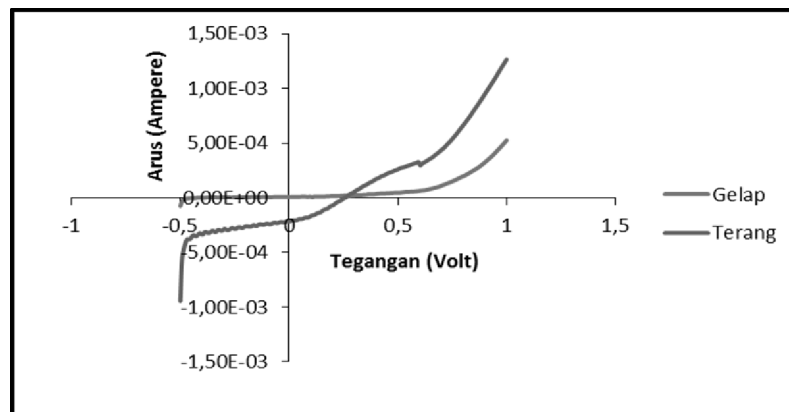
Hasil karakterisasi spektrum absorpsi memperlihatkan bahwa spektrum serapan ekstrak bunga Rosella berada di sekitar panjang gelombang 440 nm – 620 nm, yaitu rentangan panjang gelombang sinar tampak.

Karakterisasi Arus Tegangan DSSC

Untuk mengetahui karakteristik arus-tegangan sel surya digunakan I-V meter Keithley. Sistem DSSC dalam pengujian ini bertindak seperti dioda, yang memiliki sifat menyerahkan arus bolak-balik. Arus yang terbaca hasil variasi tegangan dibuat kurva I terhadap V untuk mengetahui kinerja DSSC. Kinerja DSSC sangat dipengaruhi oleh konstruksi sistem DSSC tersebut, seperti elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit yang digunakan. Selain itu kinerja alat ukur juga bisa mempengaruhi pengukuran kinerja DSSC. Kurva I-V setiap sel DSSC dengan variasi waktu perendaman ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. (color online) Grafik I-V meter pada perendaman (a) 24 jam dan (b) 48 jam

Pada perendaman 24 jam didapatkan efisiensi sebesar 0,0064(6)%. Pada perendaman 48 jam didapatkan efisiensi sebesar 0,0151(7)%. Berdasarkan penelitian Wang et.al sebagaimana disebutkan dalam Qin dan Peng^[10] didapatkan efisiensi DSSC yang menggunakan *dye* Ruthenium Complex sebesar 8,2%. Sedangkan menurut Dewi^[1] dengan menggunakan *dye* bunga mawar diperoleh efisiensi sebesar 0,0117(6)% untuk perendaman 36 jam.

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin lama perendaman, semakin banyak *dye* yang menempel pada substrat sehingga kemampuan menyerap cahaya semakin tinggi. Semakin lama waktu perendaman pada *dye* maka efisiensi sel surya semakin tinggi.

KESIMPULAN

Kinerja dye sensitized solar cell bernilai maksimum pada sampel yang direndam dalam antosiani bunga rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) selama 48 jam, dengan nilai efisiensi yang dihasilkan yaitu sebesar 0,0117(6)%.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Dewi, N. 2012. *Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) menggunakan Mawar Merah (*Rosa damascena mill*) sebagai Pewarna Alami Berbasis Antosianin [Skripsi]*. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret.
- 2 Kartini, I. 2004. *Synthesis and Characterisation of Mesoporous Titania for Photoelectrochemical Solar Cells*, PhD Thesis, Chemical Engineering. The University of Queensland, Australia.
- 3 Schmidt-Mende, L and Grätzel, M. 2006. Pore Filling and Its Effect on The Efficiency of Solid-State Dye Sensitized Solar Cell. *Thin Solid Films*, 500, 296-301.
- 4 O'regan and Grätzel, M. 1991. A Low Cost, High Efficiency Solar Cells Based On Dye Sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature*, Vol. 353, Issue 6346, 737.
- 5 Irmansyah, Maddu, A. dan Zuhri, M. 2008. Pabrikasi dan Karakterisasi Sel Surya Tersensitisasi Dye Berbasis Elektroda Komposit TiO₂/SnO₂ dan Elektrolit Primer. *Jurnal Ilmu dasar*, Vol. 9 No.2 Hal. 96-103.
- 6 Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P. and Qiu, Y. 2006. *Review of Recent Progress in Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells*. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 90:549-573.
- 7 Maddu, A., Zuhri, M. dan Irmansyah. 2007. Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye. *Makara Teknologi*, Vol. 11, No. 2, pp. 78-84.
- 8 Sastrawan, R. 2006. *Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells*. Disertasi University of Freiburg.
- 9 Zhang, H. and Banfield, J.F. 2000. Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from TiO₂. *J Phys Chem*, Vol. 104, pp. 3481.
- 10 Qin, Y. and Peng, Q. 2012. Ruthenium Sensitizers and Their Applications in Dye-Sensitized Solar Cells. *International Journal of Photoenergy*, Vol. 2012, pp. 1-21.