

Pengaruh Ketebalan Elektroda Kerja TiO_2 /Grafrit Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

Nurhidayah*, Suwarni, Sri Rahayu Alfitri Usna, M. Ficky Afrianto, Faizar Farid, Rady Purbakawaca, Frastica Deswadarni

Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

*E-mail korespondensi: nurhidayah@unja.ac.id

ABSTRACT

The production of Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) has been done. The transparent electrode is made by mixing of TiO_2 and graphite 14% (TiO_2 :C14%). TiO_2 :C14% colloid is deposited on a conductive glass substrate Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) by spin coating method at 500, 1000 and 1500 rpm during 50 second. Then, the layer is soaked of 24 hours in dye taken from the extract of rosella. SEM and XRD characterization are performed for looking properties of DSSC materials. The efficiency of DSSC is calculated by using the characteristic circuit IV curve. The highest efficiency value is obtained when the thickest active layer (0,9 mm) at 500 rpm, the resulting efficiency is 0,014%.

Keywords: DSSC, rosella, TiO_2 , XRD, efficiency.

ABSTRAK

*Telah dilakukan pembuatan Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan elektroda kerja yang terbuat dari campuran TiO_2 dan 14% grafit yang selanjutnya ditulis sebagai TiO_2 :C14%. Koloid TiO_2 :C14% dideposisikan pada substrat kaca konduktif Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) dengan metode sol-gel-spin coating pada kecepatan 500, 1000 dan 1500 rpm selama 50 detik. Kemudian lapisan ini direndam selama 24 jam dalam pewarna (dye) yang diambil dari ekstrak kelopak bunga rosella (*hibiscus sabdariffa*). Untuk mengkarakterisasi bahan pembentuk sel surya dilakukan uji XRD dan SEM. Uji efisiensi sel surya tersensitasi zat warna dihitung dengan menggunakan rangkaian karakteristik kurva IV. Dari hasil yang diperoleh ketebalan tertinggi diperoleh pada kecepatan putar 500 rpm dengan ketebalan lapisan 0,9 mm dan efisiensi yang dihasilkan adalah 0,014%.*

Keywords: DSSC, rosella, TiO_2 , XRD, efisiensi.

PENDAHULUAN

Energi mempunyai peranan penting dalam memenuhi segala kebutuhan hidup di dunia. Penyediaan energi saat ini masih bergantung pada minyak, gas bumi dan berbagai sumber bahan bakar fosil lainnya yang memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Saat ini, data mencatat bahwa lebih dari 40 juta ton dari efek gas rumah kaca yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dilepaskan ke udara setiap tahunnya [1]. Seiring dengan berkurangnya cadangan bahan bakar fosil secara signifikan dalam beberapa tahun belakangan ini, serta efek rumah kaca dan pemanasan global yang ditimbulkan selama proses penggunaannya, pencarian sumber energi

alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*), murah dan ramah lingkungan menjadi fokus utama dalam mengatasi permasalahan energi dunia saat ini. Dari sekian banyak sumber energi yang dapat diperbaharui seperti angin, biomassa dan *hydro power*, penggunaan energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah energi matahari atau yang lebih dikenal sebagai sel surya (*photovoltaic*) yang mampu mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa menimbulkan emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya.

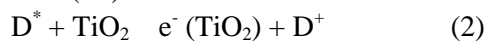
Salah satu jenis sel surya yang banyak diteliti adalah tipe Sel Surya Tersensitasi Pewarna (SSTP) organik yang lebih dikenal dengan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Kelebihan tipe sel surya ini adalah teknologi berbiaya rendah, fabrikasi yang mudah dan tidak membutuhkan teknologi tinggi. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan.

Terdapat berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sel surya organik DSSC seperti jenis *dye*, elektroda, ketebalan sel, luas permukaan TiO_2 :C14%:*dye*:elektrolit dan mobilitas pembawa muatan [2]. Semakin tebal lapisan aktif maka intensitas elektron yang tereksitasi antara TiO_2 :*dye* serta transfer hole antara *dye*:elektrolit akan semakin tinggi.

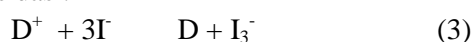
Prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron seperti yang terlihat pada Gambar 1. Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari iodida (I^-) dan triiodida (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari keadaan *ground state* (D) ke *excited state* (D^*)



Proses kedua terjadi pada elektroda negatif (anoda), yaitu pada lapisan TiO_2 dimana elektron tereksitasi (D^*) kemudian terinjeksi menuju pita konduksi (E_{CB}) TiO_2 sehingga *dye* teroksidasi (D^+).



Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.

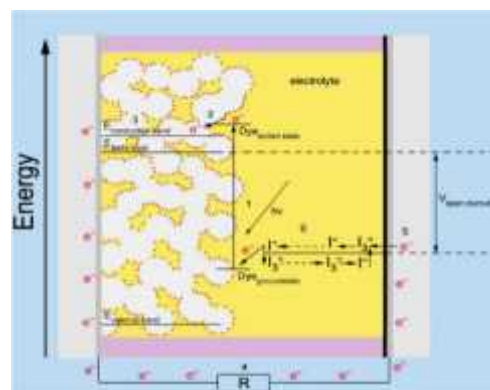


Proses ketiga, setelah mencapai elektroda ITO, elektron mengalir menuju *counter-electrode* yang berperan sebagai elektroda positif (katoda) melalui rangkaian eksternal. Proses selanjutnya, dengan adanya katalis pada *counter-electrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada

elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodida (I^-).



Proses terakhir, iodida ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik [3].



Gambar 1. Skema kerja dari DSSC (IEA, 2016)

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketebalan lapisan aktif TiO_2 terhadap nilai efisiensi sel surya dari ekstrak *dye* bunga rosella.

Substrat yang digunakan adalah kaca FTO yang sebelumnya sudah dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner*. Deposisi elektroda kerja (TiO_2) menggunakan metode *spin coating* dengan memvariasikan kecepatan putar yaitu 1500, 1000 dan 500 rpm selama 50 detik. Ketebalan lapisan diukur menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Substrat yang telah terdepositasi di-*sintering* pada suhu 200°C selama 20 menit. Proses pewarnaan dilakukan dengan merendam lapisan TiO_2 kedalam *dye* Rosella selama 24 jam. Elektroda lawan dilapisi karbon dengan cara membakar elektroda di atas jelaga api hingga menutupi permukaan konduktif FTO.

Larutan elektrolit terdiri dari KI dan I_2 dicampur menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit pada suhu 80°C hingga

homogen. Struktur *sandwich* DSSC tersusun atas substrat terlapis TiO_2 :C14%:dye dengan permukaan yang telah dilapisi TiO_2 dan dye menghadap ke atas, kemudian di atasnya diletakan elektrolit padat dan substrat FTO yang telah dilapisi karbon sehingga membentuk struktur *sandwich*.

Struktur kristal, ukuran kristal dan informasi lainnya dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Untuk melihat morfologi lapisan digunakan mikroskop elektron, *Scanning Electron Mycroscope* (SEM). Pengujian photovoltaik dari sel surya DSSC dilakukan dengan cara melakukan pengukuran arus dan teggangan untuk melihat kurva karakteristik I-V.

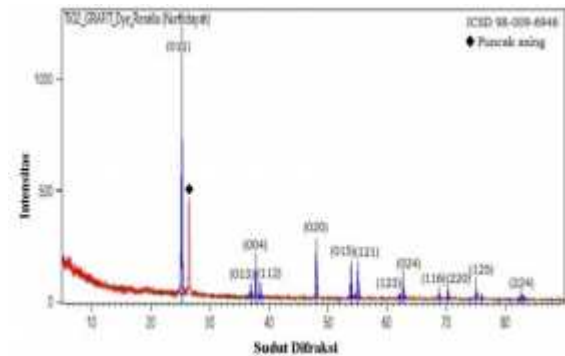
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakterisasi XRD

Berdasarkan karakterisasi menggunakan XRD dapat dilihat pola difraksi yang telah dicocokkan dengan *database* terlihat memiliki puncak-puncak pada sudut 2θ disekitar 25° , 36° , 37° , 38° , 48° , 53° , 55° , 62° , 63° , 68° , 70° , 75° , 76° dan 83° yang sesuai dengan fase anatase berdasarkan data JCPDS No.83-2243. Puncak-puncak tersebut bersesuaian dengan orientasi Kristal pada bidang (011), (013), (004), (112), (020), (015), (121), (123), (024), (116), (220), (125), (031), (224). Puncak tertinggi dimiliki orientasi bidang (011).

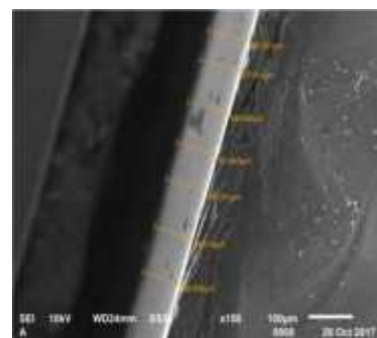
Tampak terlihat semua puncak dimiliki fase anatase dengan struktur kristal tetragonal, namun masih terdapat satu puncak asing yang tidak terdeteksi dalam struktur kristal karena mempunyai struktur amorf. Puncak asing ini diduga unsur karbon yang tidak tercampur secara homogen pada saat pembuatan koloid TiO_2 :C14%. Dengan derajat kristalinitas yang baik maka proses difusi elektron di TiO_2 akan lebih cepat yang implikasinya proses transfer elektron untuk DSSC secara keseluruhan akan lebih tinggi sehingga akan meningkatkan efisiensi sel surya. Hasil pola difraksi lapisan

TiO_2 /grafit/dye rosella ditunjukkan pada Gambar 2.

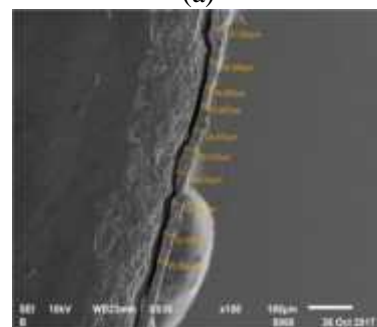


Gambar 2. Hasil XRD lapisan TiO_2 /grafit/dye rosella

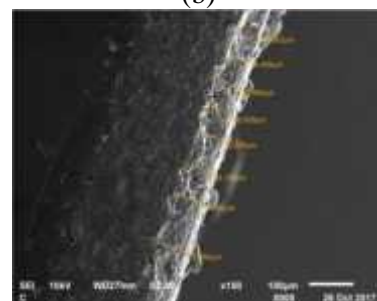
b. Karakterisasi SEM



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Hasil SEM tampak melintang pada kecepatan putar, a) 500 rpm, b) 1000 rpm, c) 1500 rpm.

Struktur morfologi permukaan lapisan TiO₂/C14% dilihat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JSM-6510 dengan 10.000 kali perbesaran. Berdasarkan (Gambar 3.a, 3.b dan 3.c) terlihat bahwa lapisan TiO₂/C14% pada kecepatan putar 500 rpm memiliki ketebalan lapisan sebesar 0,9 mm dan pada kecepatan putar 1000 rpm sebesar 0,3 mm. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putar *spin coating* mempengaruhi tingkat kehomogenan dan ketebalan lapisan dari lapisan TiO₂/C14%. Namun pada kecepatan putar 1500 rpm ketebalan lapisan sebesar 0,7 mm. Hal ini diduga pada saat pendeposisian koloid TiO₂/C14% yang diteteskan terlalu banyak.

c. Karakteristik Arus Tegangan (I-V)

Pengukuran karakteristik I-V diperlukan untuk menghitung nilai efisiensi sel surya. Adapun proses pengukuran dilakukan langsung dengan menggunakan sumber matahari. Parameter data hasil pengukuran karakteristik I-V dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Sedangkan parameter rapat arus *short circuit* (J_{sc}) yang berhubungan dengan arus yang dihasilkan persatuan luas permukaan TiO₂:C14%:dye:elektrolit, nilai daya pengisi atau *Fill Factor* (*FF*) serta efisiensi sel surya (η) ditunjukkan pada Tabel 3 dan dapat

dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$J_s = \frac{I_s}{A}$$

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_s \cdot V_o}$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{ii}} \times 100 = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{ii}} \times 100\% = \frac{FF \cdot I_s \cdot V_o}{P_{ii}} \times 100\%$$

Keterangan:

J_s = rapat arus *short circuit* (μ / cm^2)

I_s = arus *short circuit* (μ)

A = luas penampang lapisan aktif

TiO₂/C14%:dye:elektrolit (cm^2)

FF = Fill Factor

I_m = arus maksimum (μ)

V_m = tegangan maksimum (mV)

V_o = tegangan *open circuit* (mV)

η = nilai efisiensi (%)

P_{ii} = daya energi matahari yang masuk ke dalam sel (watt)

P_o = daya energi listrik yang dihasilkan (watt)

Dengan menggunakan Persamaan (i) hingga Persamaan (iii) maka diperoleh parameter-parameter performansi sel surya seperti rapat arus *short circuit*, J_{sc} , tegangan *open circuit* V_{oc} , *Fill Factor* FF dan efisiensi η yang ditabulasikan pada Tabel 3.

Tabel 1. Parameter karakteristik rapat arus-tegangan (I-V) dari sel surya DSSC dengan luas lapisan aktif TiO₂/C14%:dye:elektrolit 3 cm².

No.	Jenis dye	Rpm	Label sampel	I_{sc} (μA)	V_{oc} (mV)	I_{max} (μA)	V_{max} (mV)
1	Rosela	500	R ₁	7.6	2.1	0.6	2.8
		1000	R ₂	3	2.6	0.1	0.3
		1500	R ₃	1.1	5.4	0.3	1.2

Tabel 2. Parameter karakteristik rapat arus-tegangan (I-V) dari sel surya DSSC dengan luas lapisan aktif TiO₂/C14%:dye:elektrolit 1,5 cm².

No.	Jenis dye	Rpm	Label sampel	I_{sc} (μA)	V_{oc} (mV)	I_{max} (μA)	V_{max} (mV)
1	Rosela	500	R _a	2.7	5.2	0.3	0.1
		1000	R _b	5.1	3.2	0.2	0.1
		1500	R _c	1.6	5.8	0.5	1.2

Tabel 3. Parameter karakteristik rapat arus-tegangan dari sel surya DSSC dengan variasi luas lapisan aktif 1,5 cm² dan 3 cm² serta variasi kecepatan *spin coater* di bawah penyinaran AM 1.5, P_{in} = 80 mW/cm².

No.	Label Sampel	J _{sc} (A/cm ²)	FF	(%)
1	R ₁	5,07	0,1053	0,0140
2	R ₂	2,00	0,0038	0,0003
3	R ₃	0,73	0,0606	0,0030
4	Ra	0,90	0,0021	0,0001
5	Rb	1,70	0,0012	0,0001
6	Rc	0,53	0,0647	0,0025

Berdasarkan data pengukuran parameter karakteristik I-V pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat diketahui bahwa tidak ada perubahan signifikan pada nilai arus maksimum dan tegangan maksimum pada hasil pengukuran dua variasi luas daerah aktif TiO₂/C14%:dye:elektrolit yaitu 1.5 cm² dan 3 cm².

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat efisiensi tertinggi sel dari surya organik dari ekstrak bunga rosella yaitu pada sampel R₁ yaitu 0,014% yang terdiri dari TiO₂/C14%:dye rosella:elektrolit dimana TiO₂ dideposisikan ke substrat FTO dengan kecepatan putar *spin coater* adalah 500 rpm. Kecepatan putar *spin coater* mempengaruhi efisiensi sel surya, dimana pada kecepatan 500 rpm lapisan TiO₂/C14%:dye:elektrolit yang terbentuk lebih tebal dan merata sehingga *dye* dapat menempel lebih banyak sehingga foton yang terserap juga semakin banyak dan dimungkinkan semakin tinggi terjadinya eksitasi elektron.

Namun jika dilihat dari luas permukaan lapisan aktif TiO₂/C14%:dye rosella:elektrolit maka belum bisa dilihat perubahan yang signifikan dari dua jenis luas permukaan aktif yang diterapkan yaitu 1,5 cm² dan 3 cm². Hal ini tidak sesuai dengan hipotesa yang menyatakan bahwa semakin luas permukaan lapisan aktif maka intensitas elektron yang tereksitasi antara TiO₂:dye serta transfer hole antara dye:elektrolit akan semakin tinggi yang berakibat pada peningkatan arus dan tegangan maksimum. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti kurang meratanya permukaan lapisan TiO₂/C14% saat dideposisi

ke substrat, perendaman TiO₂/C14% kedalam *dye* yang mengakibatkan pengikisan lapisan TiO₂/C14%, penggunaan serbuk TiO₂ yang memiliki ukuran partikel cukup besar yaitu 0,117 hingga 0,354 μm, serta proses penguapan elektrolit yang cukup tinggi.

KESIMPULAN

1. Sel surya organik berbasis TiO₂:14% grafit dengan penambahan *dye*: rosella telah berhasil dibuat.
2. Hasil XRD menunjukkan bahwa semua puncak memiliki fase antase dengan struktur kristal tetragonal.
3. Berdasarkan karakterisasi SEM ketebalan yang besar dapat mempengaruhi kemampuan TiO₂ dalam menyerap foton, sehingga efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi.
4. Berdasarkan hasil pengukuran karakteristik kurva I-V nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada kecepatan putar *spin coater* 500 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

1. Canadell, J., le Qu'ér'e, C., Raupach, M., Field, C., Buitenhuis, E., Ciaï, P., Conway, T., Gillet, N., Houghton, R., & Marland, G. (2007). USA: *Proc. Natl. Acad. Sci.*
2. Adhyaksa, G. W. P. *Status dan Tantangan kedepan dari Dye Sensitized Solar Cell*. 5 Januari 2010. [Online]. Available: <https://www.kompasiana.com/debalitech/status-dan-tantangan-kedepan-dari-dye->

sensitized-solar-
cell_54ff4efea333112b4a50fe25.

3. Purwanto, R. & Prajitno, G. (2013). Variasi Kecepatan dan Waktu Pemutaran Spin Coating dalam Pelapisan TiO₂ untuk Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana*) sebagai Dye Sensitizer. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)