

PENGARUH BEBERAPA JENIS *DYE* ORGANIK TERHADAP EFISIENSI SEL SURYA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*

Dahyunir Dahlan dan Helga Dwi Fahyuan

¹Jurusan Fisika, FMIPA - Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Pauh, Padang 25163
e-mail: dahyunir@yahoo.com

Diterima: 10 Juni 2013

Diperbaiki: 25 September 2013

Disetujui: 22 Nopember 2013

ABSTRAK

PENGARUH BEBERAPA JENIS *DYE* ORGANIK TERHADAP EFISIENSI SEL SURYA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*. Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh beberapa jenis *dye* organik, yaitu; *dye* dari kelopak bunga rosella, kulit buah manggis dan daging buah terung belanda terhadap efisiensi sel surya *Dye Sensitized Solar Cell (DSC)*. *DSC* dibuat dengan menggunakan lapisan tipis TiO_2 yang di sintesis dari prekursor TiCl_4 dan methanol dengan penambahan *CTAB*. Lapisan TiO_2 dianalisis menggunakan *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*, dimana diperoleh fase dominan adalah *anatase* dengan ukuran kristal rata-rata 29,15 nm. Karakteristik I-V menunjukkan bahwa efisiensi pada penggunaan cahaya 300 lux terhadap *dye* dari kelopak bunga rosella, kulit buah manggis dan daging buah terung belanda berturut-turut adalah 1,67; 2,65; dan 1,12.

Kata kunci: *Dye* organik, *DSC*, TiO_2 , Efisiensi

ABSTRACT

EFFECTS OF SEVERAL TYPES OF ORGANIC *DYE* FOR EFFICIENCY OF *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*. Research on the effects of several types of organic *dye* namely; *dye* from rosella petals, mangosteen rind and flesh of the eggplant dutch to *Dye Sensitized Solar Cell (DSC)*. solar cell efficiency have been done. *DSC* made by using TiO_2 semiconductor layer in the synthesis of precursor TiCl_4 and methanol with the addition of *CTAB*. TiO_2 layer was analyzed using *X-Ray Diffractometer (XRD)* and *Scanning Electron Microscope (SEM)*. The dominant *anatase* phase is obtained with an average crystal size of 29.15 nm. I-V characterization show that the efficiency in the use of light to the *dye* of the 300 lux to rosella petals, mangosteen rind and flesh of fruit eggplant dutch are 1.67, 2.65 and 1.12 respectively.

Keywords: Organic Dye, *DSC*, TiO_2 , Efficiency

PENDAHULUAN

Dye Sensitized Solar Cell (DSC) adalah jenis sel surya yang tersusun dari tiga komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*counter electrode*) dan larutan elektrolit [1]. Elektroda kerja terdiri dari kaca konduktif transparan, seperti *Indium Tin Oxide (ITO)*, lapisan semikonduktor nano kristalin TiO_2 dan lapisan aktif *dye*. Elektroda pembanding terdiri dari kaca konduktif transparan yang dilapisi misalnya lapisan karbon [2] atau platinum [3]. Elektrolit yang digunakan adalah elektrolit iodin triiodida dengan pasangan redoks (I^-/I_3^-).

Pada sel surya *DSC*, penyerapan energi foton dari cahaya tampak dilakukan oleh *dye* yaitu bahan yang peka cahaya yang berfungsi sebagai *sensitizer*. Dengan adanya *sensitizer* dimungkinkan terjadinya transfer elektron ke material semikonduktor TiO_2 .

Untuk mendukung proses ini dibutuhkan semikonduktor TiO_2 yang mampu menyerap molekul *dye* lebih banyak, agar semakin banyak elektron yang bisa diterima. Oleh karena itu semikonduktor TiO_2 yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain ukuran partikel berada dalam skala nanometer. Hal tersebut disebabkan, karena suatu partikel dalam ukuran nanometer akan memiliki luas permukaan per volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel dalam ukuran *bulk*. Sehingga dengan luas permukaan yang lebih besar, dimungkinkan terjadinya penyerapan *dye* yang lebih banyak. Selain itu partikel TiO_2 juga diharapkan memiliki morfologi yang berpori, agar molekul *dye* tersebut bisa masuk ke sela-sela pori dan bisa terserap ke setiap permukaan partikel TiO_2 .

Sintesis nanopartikel berpori dapat dilakukan dengan metode sol gel dengan menambahkan surfaktan sebagai pereduksi ukuran partikel dan

pencetak pori [4]. Surfaktan merupakan molekul yang terdiri dari dua bagian dengan polaritas yang berbeda yaitu bagian non-polar atau hidrofobik dan bagian polar atau hidrofilik. Ketika dilarutkan dalam suatu pelarut maka energi permukaan larutan tersebut akan berkurang sejalan dengan peningkatan konsentrasi dari surfaktan. Namun, pengurangan energi permukaan tersebut akan berhenti ketika suatu konsentrasi kritis tercapai, dan energi permukaan akan cenderung konstan dengan penambahan konsentrasi surfaktan. Konsentrasi kritis ini disebut *Critical Micellar Concentration (CMC)*. Pada konsentrasi ini surfaktan akan membentuk kumpulan surfaktan yang disebut misel.

Fasa kristal dari TiO_2 yang digunakan juga menjadi persyaratan untuk aplikasi sel surya DSC. Kristal TiO_2 memiliki tiga fase, yaitu *anatase*, *rutile* dan *brookite*. Untuk aplikasi sel surya DSC fase kristal yang umum digunakan adalah fase *anatase* [1,5]. Namun ada juga yang menggunakan fase campuran antara *anatase* dan *rutile* [6, 7].

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan sel surya DSC menggunakan TiO_2 yang di sintesis dari $TiCl_4$ (*Titanium tetrachloride*) dengan penambahan surfaktan *Cetyltrimethyleammonium Bromide (CTAB)* menggunakan metode sol gel. Penambahan *CTAB* bertujuan untuk mereduksi ukuran partikel dan memperbanyak pori yang terbentuk. Semakin banyaknya pori yang terbentuk, *dye* yang terserap juga akan semakin banyak, hal ini akan menyebabkan foton yang terserap akan semakin banyak pula sehingga akan menghasilkan nilai efisiensi DSC yang optimum [8]

Selain itu, penggunaan *dye* yang tepat juga akan mempengaruhi efisiensi DSC, yaitu penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan pita energi TiO_2 . Sejauh ini *dye* yang digunakan sebagai *sensitizer* dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. *dye* sintesis umumnya menggunakan organik logam berbasis ruthenium kompleks [9]. *Dye* sintesis ini cukup mahal dan mengandung logam berat, yang tidak aman untuk lingkungan. Sedangkan, *dye* alami dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer berupa ekstrak klorofil, karoten, atau antosianin [10]. Oleh karena itu pada penelitian ini akan digunakan *dye* alami yang mengandung senyawa antosianin. Dilakukan pemvariasian jenis *Dye*, yaitu *Dye* kelopak bunga rosella, kulit buah manggis dan daging buah terung belanda. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan *dye* yang mampu menghasilkan efisiensi DSC yang lebih tinggi.

METODE PERCOBAAN

Sintesis nanopartikel TiO_2 dilakukan dengan metode sol gel dengan variasi konsentrasi *CTAB*

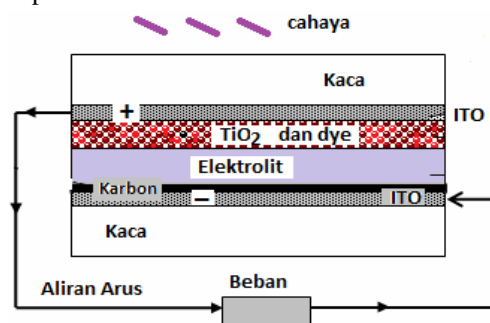
1 mM, diaduk selama 30 menit. Selanjutnya ditambahkan 2 mM $TiCl_4$, dan diaduk selama 30 menit. Kemudian larutan dipanaskan pada suhu 40 °C selama 72 jam dan dikalsinasi pada suhu 450 °C selama 4 jam. Sehingga terbentuk serbuk TiO_2 . Kemudian serbuk TiO_2 dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

Koloid TiO_2 dibuat dengan cara melarutkan Polivinil Alkohol (PVA) ke dalam *aquadest*. Selanjutnya ditambahkan serbuk TiO_2 dan diaduk sampai terbentuk pasta/koloid. Koloid TiO_2 dideposisikan pada substrat ITO dengan teknik *Doctor Blade*.

Dye antosianin diekstrak dari kelopak bunga rosella, kulit buah manggis dan buah terung belanda masing-masing sebanyak 20 gram yang telah dipotong kecil-kecil digerus dengan sebuah mortar hingga halus, selanjutnya direndam (maserasi) di dalam pelarut yang terdiri metanol, asam asetat, dan *aquadest* selama 24 jam. Ekstrak *dye* antosianin disaring menggunakan kertas saring. Kemudian dilakukan pengabsorbisian *dye* ke lapisan TiO_2 . Dilanjutkan pengujian *UV-Vis* yang bertujuan untuk melihat koefisien absorpsi dari lapisan TiO_2 yang dibuat.

Tahap preparasi counter elektroda karbon menggunakan *graphite* dari pensil 2B (Faber Castel) sebagai sumber karbon dengan cara mengarsirkan pensil 2B pada bagian konduktif ITO hingga merata, kemudian kaca dibakar di atas nyala lilin dengan posisi arsiran menghadap api. Pembakaran dilakukan hingga jelaga api menutupi permukaan konduktif ITO.

Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redok (I^-/I_3^-), yaitu dengan cara melarutkan kalium iodida (KI) dalam asetonitril, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, selanjutnya ditambahkan 0,127 gr (0,05 M) I_2 dan diaduk lagi sampai homogen. Selanjutnya larutan disimpan dalam botol tertutup.

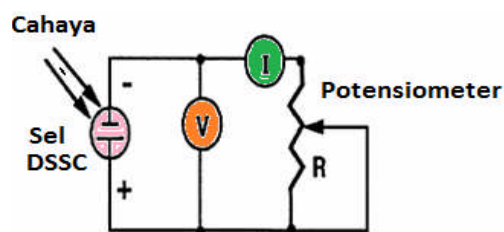


Gambar 1. Struktur Lapisan Komponen DSC.

Tahapan akhir adalah perakitan (*assembly*) dan pengujian sel surya DSC. Perakitan DSC dilakukan dengan menggunakan teknik lapisan *sandwich* (Gambar 1), yaitu dengan cara meletakkan substrat ITO yang telah dilapisi karbon pada bidang datar dengan permukaan yang terlapis karbon menghadap

ke atas, kemudian di atasnya diletakkan substrat ITO yang telah dilapisi TiO₂ dan dye sedemikian rupa, sehingga lapisan TiO₂ dan dye menghadap ke lapisan karbon dengan struktur sandwich, kemudian sisi kiri dan kanan sel dijepit dengan penjepit kertas agar tidak bergerak. Selanjutnya larutan elektrolit diteteskan di sela-sela sel, hingga larutan tersebut menyebar di sela-selanya dan sel siap untuk diuji.

Karakteristik arus-tegangan (I-V) diukur dengan merangkai sel surya pada rangkaian uji seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu pijar dengan daya 100 W (Philips) yang dapat diatur intensitasnya. Penyinaran menggunakan lampu bertujuan agar besarnya foton yang mengenai DSC dapat dikontrol.

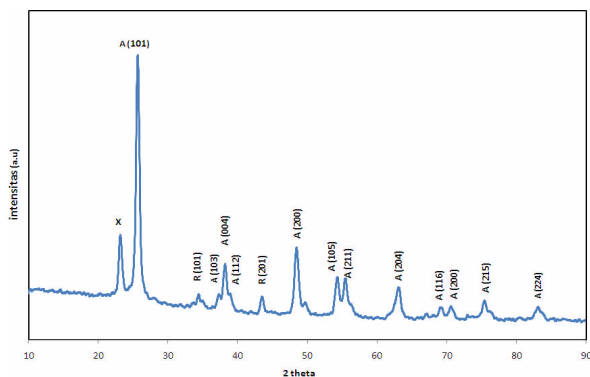


Gambar 2. Diagram skematik rangkaian uji arus-tegangan.

Pengukuran arus dan tegangan (I-V) akan dilakukan dengan memvariasikan besarnya intensitas cahaya dari lampu, yaitu 300 lux, 700 lux, 1100 lux dan 1500 lux. Hal ini bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh intensitas cahaya terhadap besar arus dan tegangan yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 3, terlihat bahwa serbuk TiO₂ memiliki puncak-puncak pada sudut 2-theta 25°, 36°, 37°, 38°, 48°, 53°, 55°, 62°, 68°, 70°, 75° dan 82°. yang bersesuaian dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fase anatase berdasarkan data JCPDS No. 84-1285.



Gambar 3. Pola difraksi serbuk TiO₂ hasil sintesis.

Puncak-puncak tersebut bersesuaian dengan orientasi kristal pada bidang (101), (103), (004), (112),

(200), (105), (211), (204), (116), (220), (215), dan (224). Puncak tertinggi dimiliki oleh orientasi bidang (101). Selain fase anatase, terbentuk juga fase rutile pada sudut 2-theta di sekitar 35° dan 43° yang bersesuaian dengan orientasi bidang (101) dan (210), hal tersebut sesuai dengan data JCPDS No. 77-0446.

Komposisi kandungan fase rutile terhadap anatase bisa ditentukan secara kuantitatif menggunakan bobot rutile yang terkandung (WR) melalui Persamaan (1) [11]:

$$W_R = \frac{A_R}{0,886A_A + A_R} \dots\dots\dots (1)$$

dengan A_R adalah jumlah luas daerah terintegrasi dari semua puncak Rutile, sedangkan A_A adalah jumlah luas daerah terintegrasi dari semua puncak anatase. Dari persamaan tersebut didapatkan kandungan fase rutile adalah 6,5 %.

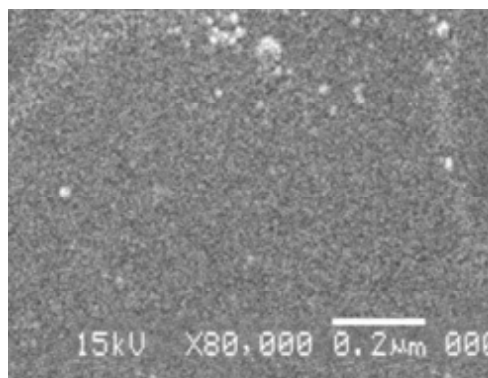
Sementara perhitungan ukuran kristal dilakukan dengan menggunakan Metode Debye Scherrer:

$$D = \frac{\kappa\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- D = Ukuran kristal,
- k = Konstanta sebesar 0,9 dan
- λ = Panjang gelombang sumber sinar-X (Cu Kα sebesar 1,542 Å), dan
- β = Setengah lebar puncak difraksi (dalam satuan radian).

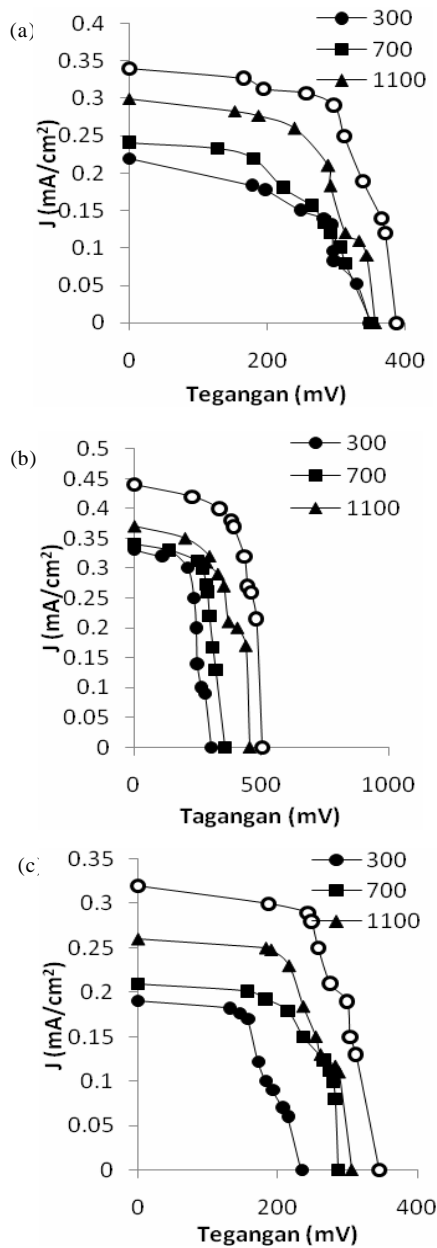
Melalui perhitungan kuantitatif menggunakan rumus pada Persamaan (2), didapatkan ukuran kristal rata-rata untuk serbuk TiO₂ yaitu 29,15 nm.



Gambar 4. Foto SEM lapisan TiO₂ hasil sintesis diatas ITO.

Dari Gambar 4, terlihat bahwa lapisan yang terdiri dari partikel TiO₂ yang dihasilkan cukup halus pada skala 200 nm dengan ukuran yang hampir seragam. Terlihat pula bahwa di antara partikel-partikel tersebut terdapat rongga atau pori yang

memungkinkan untuk terserapnya dye dan elektrolit lebih banyak. Semakin banyak pori pori yang halus, semakin banyak pula ion-ion dalam elektrolit yang mengalir. Akibatnya semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan untuk aplikasi sel surya.



Gambar 5. Hasil karakterisasi I-V dari sel surya yang menggunakan serbuk TiO_2 dengan variasi Dye (a) Kelopak Bunga Rsella (C1R), (b) Daging Kulit Buah Manggis (C1M) dan (c) Daging Buah Terung Belanda (C1T)

Pada Tabel 1 dapat dilihat nilai arus *short-circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open-circuit* (V_{oc}) sel surya dari serbuk TiO_2 untuk masing-masing intensitas penyinaran. Secara keseluruhan dapat dilihat nilai arus *short-circuit* (I_{sc}) dan nilai tegangan *open-circuit* (V_{oc}) yang paling besar dimiliki oleh sel surya C1M yaitu sel surya dengan dye buah manggis, dan yang terkecil

dimiliki oleh sel surya C1T dengan dye terung belanda. Sedangkan untuk sel surya C1R, dimana dye rosella memiliki arus *short-circuit* (I_{sc}) dan nilai tegangan *open-circuit* (V_{oc}) yang lebih besar dari sel surya C1T namun lebih kecil dari sel surya C1M. Hal ini dimungkinkan karena sel surya C1M lebih banyak menyerap molekul dye dibandingkan sel surya C1R dan C1T sehingga mampu mengakumulasi muatan lebih banyak di ujung-ujung elektrodanya yang menyebabkan transport muatan internalnya menjadi lebih banyak.

Tabel 1. Nilai arus-tegangan sel surya dari serbuk TiO_2 dengan variasi Dye [Kelopak Bunga Rosella (C1R), Daging Kulit Buah Manggis (C1M) dan Daging Buah Terung Belanda (C1T)].

Intensitas penyinaran (Lux)	C1R		C1M		C1T	
	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)
300	0,22	350,3	0,33	303	0,19	233,94
700	0,24	352,2	0,34	358,4	0,21	286
1100	0,30	356,6	0,37	456,2	0,26	306,5
1500	0,34	387,1	0,44	505	0,32	345,2

Nilai tegangan *open-circuit* (V_{oc}) yang dihasilkan oleh sel C1M dengan intensitas penyinaran 1100 dan 1500 lux, mampu menghasilkan nilai tegangan *open-circuit* (V_{oc}) sebesar 456,2 dan 505 mV, dimana nilai tegangan ini berada dalam rentang nilai tegangan *open-circuit* (V_{oc}) yang dikemukakan oleh Smastad pada tahun 1998, dimana nilai tegangan *open-circuit* yang dihasilkan oleh DSC dengan ekstraksi bahan-bahan alami sebagai *sensitizer*-nya seharusnya berkisar antara 400 mV hingga 500 mV. Jika ditinjau dari variasi intensitas penyinaran yang diberikan pada masing-masing sel surya, dimana arus dan tegangan yang diperoleh semakin meningkat dengan meningkatnya intensitas penyinaran yang diberikan. Kecenderungan kenaikan arus dan tegangan ini mengindikasikan akumulasi muatan yang terkumpul pada ujung-ujung elektroda semakin meningkat seiring meningkatnya intensitas penyinaran yang diberikan. Ini menunjukkan bahwa besarnya intensitas cahaya yang mengenai sel surya sangat mempengaruhi proses transpor elektron pada sel surya, sehingga dengan penyinaran yang semakin besar, kecepatan transpor elektron semakin besar maka arus dan tegangan yang dihasilkan juga semakin besar.

Pada Tabel 2, terlihat parameter performasi dari sel surya dengan dye kelopak bunga rosella, kulit buah manggis dan terung belanda. Dimana jika ditinjau dari P_{max} yang dihasilkan dari masing-masing sel surya, ternyata semakin besar intensitas penyinaran yang diberikan nilai P_{max} yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan karena arus dan tegangan yang dihasilkan juga semakin besar jika intensitas penyinaran ditingkatkan.

Table 2. Parameter performasi sel surya dengan Dye: (a) Kelopak Bunga Rosella (C1R), (b) Daging Kulit Buah Manggis (C1M) dan (c) Daging Buah Terung Belanda (C1T).

(a)		C1R			
Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	300	700	1100	1500	
J (mA/cm ²)	0,22	0,24	0,3	0,34	
V_{oc} (mV)	350,1	352,2	356,6	387,1	
P_{max} (μ W)	39,7	41,3	60,7	86,4	
FF (Fill Factor)	0,51	0,49	0,57	0,66	
η (%)	1,67	0,74	0,69	0,72	

(b)		C1M			
Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	300	700	1100	1500	
J (mA/cm ²)	0,33	0,34	0,37	0,44	
V_{oc} (mV)	303	358,4	456,2	505	
P_{max} (μ W)	63,18	80,79	95,82	145,92	
FF (Fill Factor)	0,62	0,66	0,57	0,65	
η (%)	2,65	1,45	1,09	1,22	

(c)		C1T			
Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	300	700	1100	1500	
J (mA/cm ²)	0,19	0,21	0,26	0,32	
V_{oc} (mV)	233,94	286	306,5	345,2	
P_{max} (μ W)	26,69	38,52	49,8	70,5	
FF (Fill Factor)	0,60	0,64	0,62	0,63	
η (%)	1,12	0,69	0,57	0,59	

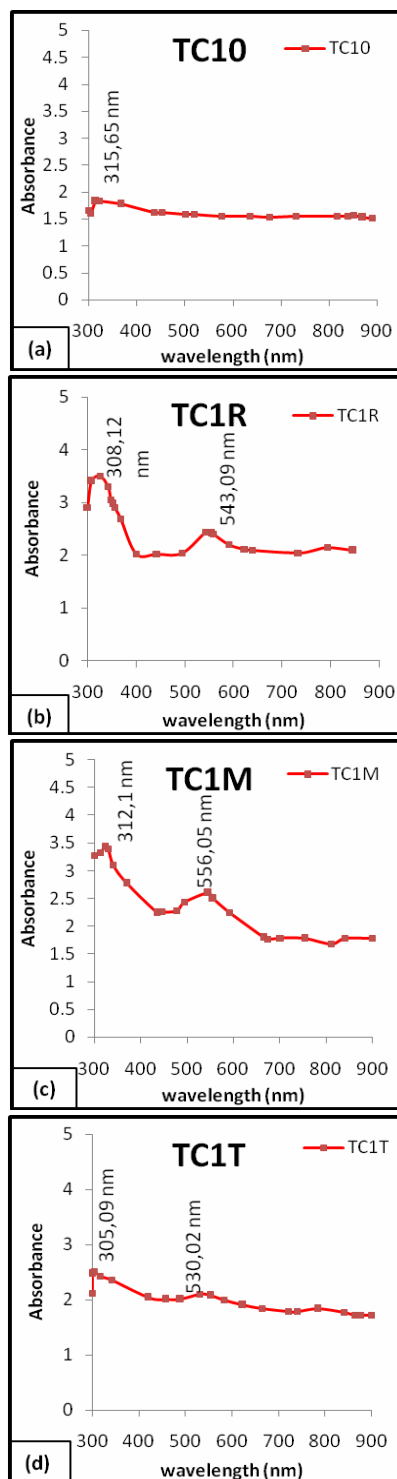
Table 3. Kode sampel Spektrum absorpsi lapisan TiO₂.

Dye	Lapisan TiO ₂ yang digunakan
	TiO ₂ + CTAB
tanpa Dye	TC10
Dye rosella	TC1R
Dye manggis	TC1M
Dye terung Belanda	TC1T

Jika diamati Tabel 2, terlihat secara keseluruhan nilai efisiensi yang paling tinggi terdapat pada intensitas penyinaran yang rendah yaitu intensitas 300 lux. Jika dilihat dari I_{sc} dan V_{oc} yang dihasilkan pada penelitian ini, semakin besar intensitas yang diberikan, I_{sc} dan V_{oc} yang diperoleh akan semakin besar sehingga P_{maks} yang dihasilkan juga besar. Namun besarnya kenaikan I_{sc} dan V_{oc} pada sel surya tersebut, tidak sebanding dengan besarnya kenaikan intensitas penyinaran yang diberikan. Hal tersebut dimungkinkan karena transfer elektron yang kurang stabil pada sel surya yang menyebabkan rendahnya efisiensi yang dihasilkan pada intensitas penyinaran yang tinggi.

Spektrum absorpsi cahaya dari masing-masing sampel dianalisis menggunakan UV-Vis spektrometer, seperti yang terlihat pada Gambar 6.

Analisis adsorpsi dye pada lapisan TiO₂ bertujuan untuk melihat spektrum absorpsi cahaya pada lapisan TiO₂ ketika diberi dye. Sebagai pembandingan juga akan dianalisis lapisan TiO₂ tanpa diberi dye, sehingga dapat dilihat perbedaan spektrum absorpsi cahaya antara lapisan TiO₂ yang diberi dye, dan lapisan TiO₂ tanpa pemberian dye.



Gambar 6. Spektrum absorpsi (a) lapisan TiO₂ tanpa diberi dye, (b) lapisan TiO₂ dengan dye rosella, (c) lapisan TiO₂ dengan dye manggis, (d) lapisan TiO₂ dengan dye terung belanda.

Pada Gambar 6(a) terlihat spektrum absorpsi dari lapisan TiO₂ tanpa diberi dye. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa spektrum absorpsi cahaya hanya terlihat pada rentang gelombang UV (300 - 380 nm), sedangkan lapisan TiO₂ setelah diberi dye (Gambar 6(b), Gambar (c) dan Gambar (d)), spektrum absorpsi cahayanya terlihat dari rentang UV sampai rentang cahaya tampak. Ini membuktikan bahwa, pemberian dye pada lapisan TiO₂, mampu menyerap cahaya dalam rentang panjang gelombang UV sampai cahaya tampak.

Gambar 6(b) merupakan gambar spektrum absorpsi cahaya dengan menggunakan dye rosella. Pada gambar tersebut terlihat bahwa spektrum absorpsi cahaya terdapat pada rentang gelombang UV dengan λ_{maks} 308,12 nm dan juga terdapat pada rentang panjang gelombang cahaya tampak dengan λ_{maks} 543,09 nm. Dengan menggunakan rosella terjadi penyerapan maksimum pada kedua panjang gelombang tersebut. Sedangkan Gambar 6(c) terlihat spektrum absorpsi cahaya UV λ_{maks} 312,1 nm dan rentang gelombang cahaya tampak dengan maks 556,05 nm.

Hal ini menunjukkan bahwa rentang penyerapan cahaya menggunakan dye manggis menghasilkan penyerapan cahaya dalam jangkauan yang sedikit lebih lebar. Sementara Gambar 6(d) terlihat spektrum absorpsi cahaya menggunakan dye terung belanda, dimana rentang gelombang UV pada λ_{maks} 305,09 nm dan pada gelombang cahaya tampak dengan λ_{maks} 530,02 nm. Dye terung belanda menghasilkan rentang penyerapan sedikit lebih rendah dari pada dye kulit buah manggis.

Dari ketiga jenis dye tersebut dapat dilihat bahwa spektrum absorpsi cahaya yang paling lebar dimiliki oleh dye kulit buah manggis, setelah itu dye rosella dan yang terakhir adalah dye terung belanda. Nilai efisiensi sel surya yang menggunakan dye buah manggis lebih besar dibandingkan sel surya yang menggunakan dye dari kelopak bunga rosella dan terung belanda, hal tersebut disebabkan karena dye manggis memiliki spektrum absorpsi cahaya yang paling lebar.

KESIMPULAN

Dari variasi ketiga jenis dye, sel surya menghasilkan efisiensi tertinggi adalah sel surya yang menggunakan dye dari kulit buah manggis. Efisiensi berturut turut pada cahaya 300 lux untuk dye kulit buah manggis, dye kelopak bunga rosella dan dye daging buah terung belanda adalah 2,65; 1,67 dan 1,12.

Dengan peningkatan intensitas penyinaran yang dilakukan, menghasilkan nilai arus dan tegangan yang semakin besar. Kenaikan arus dan tegangan tidak selalu sebanding dengan kenaikan intensitas penyinaran. Dari rumus penghitungan efisiensi didapatkan nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada intensitas penyinaran rendah, yaitu pada penelitian ini adalah pada intensitas 300 lux.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Dirjend. Pendidikan Tinggi, Kemendikbud RI melalui DIPA Universitas Andalas No. DIPA:023.04.2.41506/ 2013, atas bantuan pembiayaan Penelitian Hibah Program Pascasarjana UNAND 2013.

DAFTAR ACUAN

- [1]. M. Grätzel. "Dye-sensitized solar cells." *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 4(2), pp.145-153. Oct. 2003.
- [2]. A. K. K. Kyaw, H. Tandang, T. Wu, L. Ke, J. Wei, H. V. Demir, Q. Zhang and X. W. Sun. "Dye-sensitized solar cell with a pair of carbon-based electrodes." *J. Phys. D*, vol. 45, pp. 165103. 2012.
- [3]. T. Adachi and H. Hoshi. "Preparation and characterization of Pt/carbon counter electrodes for dye-sensitized solar cells." *Materials Letters*, vol.91, pp. 15-18, March. 2013.
- [4]. Kartini. "Sel Surya Berbasis Sistem Sandwich Nanokristal semikonduktor celah lebar dan zat warna alam (Natural Dye Sensitized Solar Cell, DSC)". Thesis, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. 2009.
- [5]. C. Longo and M. D. Paoli. "Dye-sensitized solar cells: a successful combination of materials." *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 14, no. 6, pp. 889-801, Nov/Dec. 2003.
- [6]. J. Jitputti, S. Pavasupree, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa. "Synthesis of TiO₂ nanotubes and its photocatalytic activity for H₂ evolution." *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 47, no. 1, pp. 751-756. 2008.
- [7]. K. Tomita, M. Kobayashi, V. Petrykin, M. Yoshimura, M. Kakihana. "Hydrothermal synthesis of TiO₂ nano-particles using novel water-soluble titanium complexes." *J. Mat. Sci.*, vol. 43, pp. 2217-2221, April. 2008.
- [8]. Q. Peng. "The Study of Organic Dyes for p-Type DyeSensitized Solar Cells." Doctoral Thesis, Universitetservice US AB, Stockholm, 2010.
- [9]. T. Nagata and H. Murakami. "Development of Dye-sensitized solar cells." *Ulvac Tech. J.*, vol. 70E, pp.1-5. 2009.
- [10]. W.K. Huang, C.M. Lan, Y.S. Liu, P.H. Lee, S.M. Chang, and E.W.G. Diau. "Synthesis and Characterization of Novel Heteroleptic Ruthenium Complexes for Dye-Sensitized Solar Cells." *J. of Chinese Chem. Soc.*, vol. 57, pp. 1151-1156. 2010.
- [11]. A. Maddu, M. Zuhri dan Irmansyah. "Penggunaan ekstrak antosianin kol merah sebagai fotosensitisasi dye." *Makara Teknologi*, vol. 11, pp. 78-84. 2007.