

PENGARUH WAKTU PERENDAMAN TiO₂ DALAM LARUTAN EKSTRAK ANTOSIANIN BUNGA ROSELLA PADA KINERJA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Rafika Andari^{1,*}, Dona Abrini²

¹Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Sumatera Barat

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Dharma Andalas, Padang

*Email korespondensi: rafika.andari09@gmail.com

ABSTRACT

The use of solar panels is still quite expensive in the making, for it needs to be developed solar panels are cheap based DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). The use of DSSC is very good developed in Indonesia which is famous for its biological richness. This study used rosella flowers as photosensitizer obtained from the extraction process in the form of maceration for 24 hours. The components used to construct a DSSC outline can be divided into four parts, namely substrate, dye, semiconductor titanium dioxide (TiO₂), and electrolyte. In this research the TiO₂ layer was immersed in a solution of rosella flower extract with different time variations, ie 1 hour, 2 hours, and 3 hours. Light sources used are sunlight and 150 watt halogen lamps. It was found that at 3 hours of immersion using the sunlight source was the best result of maximally current (I_{max}) 0.3 mA, maximum voltage (V_{max}) 582,4 mV and its efficiency 0,258%. The results obtained were lower when the DSSC was given a halogen light source, i.e. Maximum current (I_{max}) 0.08 mA, maximal voltage (V_{max}) 125,6 mV and its efficiency 0,167%. The greater the intensity of the light illumination the greater the output power of the DSSC.

Keywords : anthocyanin, DSSC, Hibiscus sabdariffa, TiO₂.

ABSTRAK

Penggunaan panel surya masih tergolong mahal dalam pembuatannya, untuk itu perlu dikembangkan panel surya yang berbahan dasar murah yaitu DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). Penggunaan DSSC sangat bagus dikembangkan di Indonesia yang terkenal akan kekayaan hayatinya. Penelitian ini menggunakan bunga rosella sebagai photosensitizer yang diperoleh dari proses ekstraksi berupa maserasi selama 24 jam. Komponen yang digunakan untuk membangun sebuah DSSC secara garis besar dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu substrat, dye, semikonduktor titanium dioksida (TiO₂), dan elektrolit. Dalam penelitian ini lapisan TiO₂ direndam dalam larutan ekstrak bunga rosella dengan variasi waktu yang berbeda, yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Sumber cahaya yang digunakan adalah cahaya matahari dan lampu halogen 150 watt. Didapatkan hasil bahwa pada perendaman 3 jam menggunakan sumber cahaya matahari merupakan hasil terbaik arus maksimal (I_{max}) 0,3 mA, tegangan maksimal (V_{max}) 582,4 mV dan efisiensinya 0,258 %. Hasil yang didapatkan lebih rendah ketika DSSC tersebut diberi sumber cahaya lampu halogen, yaitu arus maksimal (I_{max}) 0,08 mA, tegangan maksimal (V_{max}) 125,6 mV dan efisiensinya 0,167 %. Semakin besar intensitas penerangan cahaya maka semakin besar daya keluaran DSSC.

Kata Kunci: antosianin, DSSC, Hibiscus sabdariffa, TiO₂.

PENDAHULUAN

Sel surya merupakan suatu piranti elektronik yang mampu mengkonversi energi cahaya (foton) menjadi energi listrik tanpa proses yang menyebabkan dampak buruk terhadap lingkungan. Sel surya konvensional yang diproduksi saat ini merupakan sel surya berbasis silikon. Penggunaan panel surya silikon ini masih tergolong mahal dalam

pembuatannya, untuk itu perlu dikembangkan panel surya yang berbahan dasar murah, yaitu DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). Penggunaan DSSC sangat bagus dikembangkan di Indonesia yang terkenal akan kekayaan hayatinya.

DSSC tersusun atas sepasang elektroda dan *counter* elektroda. Elektroda terbuat dari substrat kaca, yang telah dilapisi material konduktif dan transparan (TCO), umumnya

digunakan *indium tin oxide* (ITO) dan *fluorine tin oxide* (FTO) [1]. Pada elektroda dilapisi oleh nanopartikel semikonduktor yang dilapisi oleh molekul zat pewarna (*dye*) sensitasi. Molekul *dye* berfungsi sebagai penangkap foton cahaya, sedangkan nanopartikel semikonduktor berfungsi menyerap dan meneruskan foton menjadi elektron. Pada *counter* elektroda diberi katalis platinum (pt), berfungsi untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Selain itu DSSC juga menggunakan media elektrolit sebagai medium transport muatan [2]. Elektrolit yang umum digunakan pada DSSC terdiri dari iodine (I⁻) dan triiodide (I₃⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut.

Dalam DSSC, perwarna alami sebagai sensitizer memainkan peran kunci untuk menyerap foton dari sinar matahari atau lampu dan mengubahnya menjadi arus listrik. Jenis-jenis perwarna seperti kompleks logam, organik dan alami biasanya digunakan sebagai sensitizer. Prinsip kerja DSSC adalah mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Saat *dye* yang melekat dipermukaan TiO₂ menyerap foton dari cahaya matahari elektron akan tereksitasi ke pita konduksi TiO₂. Electron akan terkumpul di TiO₂ melekat *dye* yang ditinggalkan berada dalam keadaan teroksidasi. Selanjutnya elektron akan transfer melalui rangkaian luar menuju lawan.

Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi *dye*. *Dye sensitizer* alami yang pernah digunakan dalam sistem DSSC diantaranya yaitu, kol merah [3], buah naga [4], bluberi dan kranberi [5]. Zat warna alami tersebut terbukti mampu memberikan efek fotovoltaiik walaupun efisiensinya masih jauh lebih kecil dibandingkan zat warna sintetis.

Telah banyak dilaporkan bahwa antosianin dari bunga rosella (*Hibiscus Sabdariffa L.*) memiliki kemampuan sebagai *dye-sensitizer* alami karena terbukti memberikan efek *photovoltaic* [6]. Penelitian Okoli *dkk.* [7] bunga rosella [8-10] telah berhasil

mempelajari performa antosianin dari ekstrak rosella sebagai *dye sensitizer*.

Pada penelitian ini digunakan kelopak bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*) sebagai sumber *dye*. Bunga rosella merupakan salah satu bahan organik yang dapat digunakan sebagai sumber *dye* karena mengandung senyawa antosianin. Keunggulan bunga rosella adalah memiliki warna merah yang menarik dan aroma yang khas juga biasa disebut *functional food* karena kandungan antioksidannya yang tinggi, yaitu kandungan antosianin yang terdapat didalamnya [11]. Dari hasil penelitian ini diharapkan *dye* dari kelopak bunga rosella mampu menghasilkan efisiensi sel surya yang tinggi. Untuk melakukan penelitian lebih lanjut dilakukan variasi terhadap lama perendaman TiO₂ dalam larutan ekstrak antosianin bunga rosella terhadap kinerja DSSC.

METODE PENELITIAN

Pembuatan pasta TiO₂

Tahap preparasi pasta TiO₂ dilakukan dengan teknik lapisan tebal dengan mencampurkan 3,07 gram polivinil alkohol (PVA) ke dalam 30 ml aquades, kemudian mengaduknya selama 30 menit pada temperatur 40⁰C menggunakan magnetic stirrer. Kemudian, sebanyak 3,10 gram bubuk TiO₂ ditambahkan hingga terbentuk pasta. Viskositas pasta diatur melalui banyaknya binder yang digunakan.

Ekstraksi Dye Ekstrak Bunga Rosella

Sebanyak 1,5 gram bunga rosella direndam ke dalam metanol: asam asetat: air (25:4:21 perbandingan volume) sebanyak 10 ml. Kemudian dimaserasi selama 24 jam dan disaring dengan kertas saring [12].

Pembuatan Larutan Elektrolit

Sebanyak 0,8 gram potassium iodida (KI) dilarutkan ke dalam 10 ml asetonitril

kemudian diaduk, ditambahkan 0,127 gram iod (I_2) ke dalam larutan tersebut kemudian diaduk.

Pembuatan lapisan elektroda karbon

Sumber karbon diperoleh dari grafit pensil 2B yang diarsir pada bagian konduktif ITO hingga merata. Kaca dibakar di atas nyala lilin dengan posisi arsiran menghadap api. Pembakaran dilakukan hingga jelaga api menutupi permukaan konduktif ITO.

Pembuatan dan Karakterisasi Sel Surya

Elektroda TiO_2 dibuat dengan melapiskan pasta TiO_2 pada kaca ITO dengan ukuran luasan 2 cm x 1 cm, kemudian dua buah elektroda ini direndam dalam larutan dye masing-masing selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Kemudian larutan elektrolit diteteskan pada elektroda TiO_2 yang telah disensitisasi dengan dye dan ditutup dengan *lapisan elektroda karbon* menjadi struktur sandwich. Sel surya tersebut kemudian diukur arus dan tegangannya dengan multimeter dalam keadaan disinari cahaya matahari. Karakterisasi komponen pembuatan sel surya meliputi analisis menggunakan Spektrofotometri UV-Vis pada larutan dye ekstrak bunga rosella untuk mengetahui panjang gelombang maksimum. Analisis SEM dan XRD pada lapis tipis TiO_2 yang dihasilkan untuk mengetahui morfologi serta fase kristal TiO_2 .

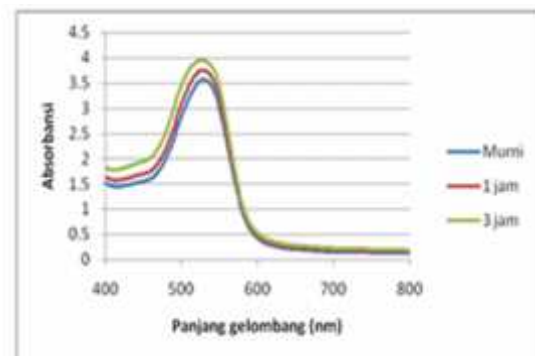
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Absorbansi Larutan dye Rosella

Ekstrak bunga rosella yang diperoleh dianalisis dengan Spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang maksimum larutan dye tersebut. Hasil analisis spectrum absorbansi disajikan pada gambar 1. Dari data dapat diketahui bahwa puncak panjang gelombang maksimum ekstrak bunga rosella pada 529 nm (dye murni), 528 nm

(perendaman 1 jam) dan 526 nm (perendaman 3 jam) dengan absorbansi masing-masing sebesar 3,5637; 3,7557 dan 3,9529. Pada waktu perendaman yang lebih lama (3 jam), intensitas absorbansi semakin besar. Nilai absorbansi ini dipengaruhi oleh kandungan antosianin pada permukaan elektroda TiO_2 . Hasil ini menunjukkan bahwa bunga rosella dominan menyerap cahaya tampak berkisar antara 400-550 nm serta bersesuaian dengan warna ekstrak yang kemerahan [13].

Pada waktu perendaman yang lebih lama (3 jam), intensitas absorbansi semakin besar. Nilai absorbansi dipengaruhi oleh kandungan antosianin pada permukaan elektroda TiO_2 . Ekstraksi bunga rosella menghasilkan warna yang tampak ungu kemerahan dengan warna yang diserap adalah warna hijau dengan panjang gelombang 500-560 nm.

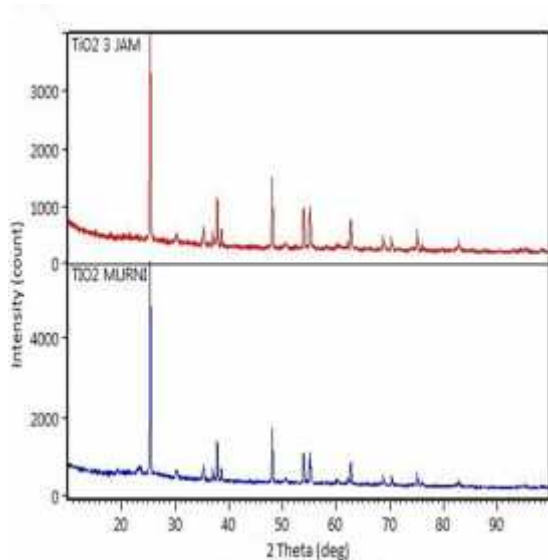


Gambar 1. Spektrum absorbansi larutan dye.

Analisis XRD Elektroda TiO_2

Analisis menggunakan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui fase dan ukuran kristal penyusun lapis tipis TiO_2 . Hasil pengujian berupa pola difraksi yang terdiri dari puncak-puncak karakteristik TiO_2 seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pola difraksi yang dihasilkan menunjukkan derajat kristalisasi TiO_2 yang cukup tinggi dengan adanya puncak tajam dan intensitas yang besar. Tampak bahwa puncak-puncak karakteristik TiO_2 murni muncul pada sudut $2\theta = 25,38^\circ$; $37,85^\circ$; $48,10^\circ$; dan $55,12^\circ$, serta jarak antarbidang (d) sebesar $3,50 \text{ \AA}$; $2,37 \text{ \AA}$; $1,89 \text{ \AA}$; dan $1,66 \text{ \AA}$. Untuk elektroda yang

telah direndam larutan dye selama 3 jam puncak-puncak TiO₂ muncul pada sudut 2θ = 25,38°; 37,85°; 48,09°; dan 55,11°, serta jarak antarbidang (d) sebesar 3,50 Å; 2,37 Å; 1,89 Å; dan 1,66 Å.



Gambar 2. Hasil difraksi XRD elektroda TiO₂, a) Biru, elektroda TiO₂ murni, b) Merah, elektroda setelah perendaman 3 jam.

Dari data pola difraksi dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal TiO₂ berdasarkan nilai FWHM (*Full Width and Half Maximum*) pada berbagai puncak dengan menggunakan persamaan Scherrer,

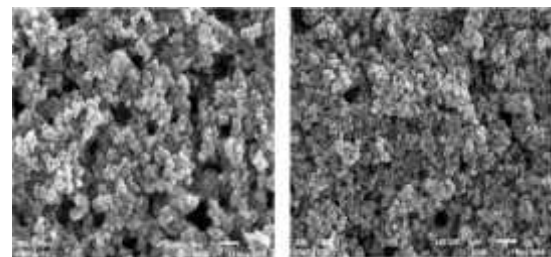
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

dengan D adalah ukuran kristal, $\lambda = 0,154060$ nm adalah panjang gelombang sinar X yang menggunakan Cu sebagai sumber lampunya, adalah nilai FWHM masing-masing puncak karakteristik, θ adalah sudut difraksi, dan k = 0,94 yang merupakan suatu konstanta. Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan Scherrer diatas dapat diperoleh ukuran kristal TiO₂. Dari hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan diatas diperoleh ukuran kristal TiO₂ murni sebesar 0,975 nm sedangkan setelah perendaman selama 3 jam sebesar 0,973 nm. Dalam aplikasinya pada sistem sel surya TiO₂ tersensitisasi dye, semakin kristal TiO₂ berukuran nanopartikel,

maka diharapkan semakin banyak dye yang teradsorb pada lapisan nanopartikel TiO₂ sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari DSSC.

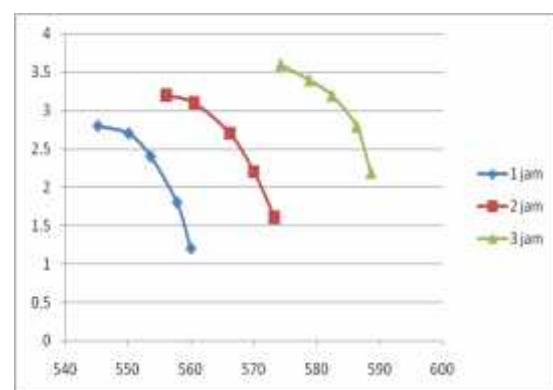
Morfologi Lapis Tipis TiO₂ menggunakan SEM

Dari hasil SEM lapis tipis TiO₂ pada gambar 3 tampak bahwa morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ berongga-rongga. Rongga pada permukaan lapis tipis TiO₂ berperan untuk mengabsorpsi molekul-molekul dye antosianin. Jumlah dan luas rongga ini mempengaruhi efektivitas absorpsi molekul-molekul dye antosianin ke dalam lapis tipis TiO₂ [14].



Gambar 3. Morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ murni perbesaran 10.000 kali (kiri) Morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ setelah perendaman 3 jam (kanan).

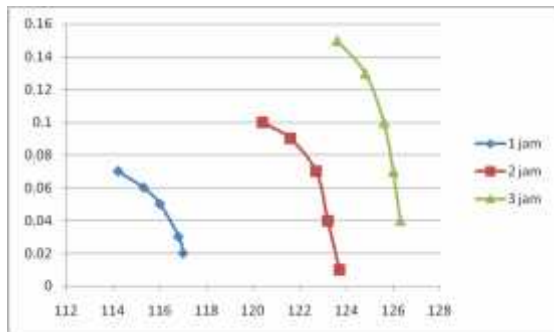
Penentuan Efisiensi DSSC



Gambar 4. Grafik arus-tegangan (I-V) sel surya dengan cahaya matahari.

Kinerja sel surya dilakukan dengan pengukuran karakteristik arus dan tegangan (I-V) menggunakan cahaya matahari dan lampu halogen. Gambar 4 merupakan hasil

pengukuran sumber cahaya matahari dan Gambar 5 untuk sumber cahaya lampu halogen. Kedua grafik arus dan tegangan (I-V) menunjukkan pola yang cukup ideal dengan kelengkungan yang cukup signifikan. Tampak bahwa grafik untuk sumber cahaya matahari menunjukkan karakteristik yang lebih ideal dengan kelengkungan yang lebih besar dibandingkan untuk sumber cahaya lampu halogen.



Gambar 5. Grafik arus-tegangan (I-V) sel surya dengan cahaya lampu halogen.

Tabel 1. Hasil pengukuran arus-tegangan sel surya dengan sumber cahaya matahari

Karakteristik I-V	Perendaman 1 jam	Perendaman 2 jam	Perendaman 3 jam
Vmax (mV)	553,6	566,2	582,4
Imax (mA)	2,4	2,7	3,2
Pmax (mW)	1328,64	1528,74	1863,68
Voc (mV)	552	565,6	582
Isc (mA)	2,1	2,4	3
FF	1,146	1.126	1.067
Efisiensi (%)	0,184	0,212	0,258

Dari grafik arus-tegangan (I-V) yang diperoleh dapat ditentukan parameter-parameter keluaran dari sel surya, yaitu arus rangkaian pendek (I_{sc}), tegangan rangkaianbuka (V_{oc}), arus maksimum (I_{max}), tegangan maksimum (V_{max}), daya maksimum (P_{max}), *fill factor* (FF) dan efisiensi konversi (). Efisiensi konversi sel surya dihitung menurut hubungan :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2)$$

P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya, dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan. P_{in} dapat bersumber dari sinar matahari dengan intensitas sekitar 1000 W/m^2 . Intensitas matahari dapat diukur menggunakan alat yang disebut *luxmeter*. Daya maksimum diberikan oleh hubungan:

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (3)$$

dengan fill factor (FF) diberikan hubungan:

$$F = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4)$$

Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan yang telah dibuat dalam bentuk grafik arus-tegangan (I-V), diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya seperti dirangkum di dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran arus-tegangan sel surya dengan sumber cahaya lampu halogen

Karakteristik I-V	Perendaman 1 jam	Perendaman 2 jam	Perendaman 3 jam
Vmax (mV)	116	122,7	125,6
Imax (mA)	0,05	0,07	0,08
Pmax (mW)	5,8	8,589	10,048
Voc (mV)	115,8	112	123,5
Isc (mA)	0,07	0,1	0,17
FF	0,716	0,767	0,479
Efisiensi (%)	0,096	0,143	0,167

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sel surya yang telah dibuat dapat menghasilkan arus listrik, karena di dalam sistem sel surya terjadi aliran elektron secara terus menerus. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa pada perendaman 3 jam menggunakan sumber cahaya matahari merupakan hasil terbaik arus maksimal (I_{max}) 0,3 mA, tegangan maksimal

(V_{max}) 582,4 mV dan efisiensinya 0,258 %. Hasil yang didapatkan lebih rendah ketika DSSC tersebut diberi sumber cahaya lampu halogen, yaitu arus maksimal (I_{max}) 0,08 mA, tegangan maksimal (V_{max}) 125,6 mV dan efisiensinya 0,167%. 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 (DSSC) dipengaruhi oleh sumber cahaya yang digunakan dan lama perendaman sel dalam larutan dye. Efisiensi terbesar diperoleh pada sampel yang direndam dalam antosianin bunga rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) selama 3 jam menggunakan cahaya matahari, yaitu sebesar 0,258%. Sedangkan efisiensi terkecil pada perendaman 1 jam menggunakan cahaya lampu halogen, yaitu sebesar 0,096%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kemenristek Dikti atas bantuan dana penelitian ini sebagai Penelitian Dosen Pemula (PDP). Terimakasih kami ucapkan kepada semua pihak (ITP, Unand dan UNP) yang membantu demi kelancaran dan selesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Purwanto, A., Widyandari, H., & Jumari, A. (2011). *Fabrication of High Performance Fluorine Doped Tin Oxidefilm Using Flame-Assisted Spray Deposition*. *Thin Solid Films* 520 (2012) 2092–2095.
2. Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering : An Introduction 7th Edition*. John Wiley & Sons, Inc: New York.
3. Maddu, A. & Makara. (2007). *Teknologi*. **11**(2), 78-84.
4. Ariyanto, T. (2013). *Analisis Efisiensi Dye sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Kulit Buah Naga Merah dan Kulit Buah Naga Merah*. Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITB, Bandung.
5. Vania, L. *Investigasi Kinerja DSSC (Dye-sensitized Solar Cell) Tersensitasi Ekstrak Bluberi dan Kranberi sebagai Sumber Pemeka Antosianin*. Departemen Kimia FMIPA, ITB, Bandung.
6. Khwanchit, W., Vissanu, M., & Sumaeth, C. (2007). Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **91**(7), 566-571. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2006.11.005>.
7. Okoli, L. U., Ozuomba, J. O., Ekpunobi, A. J., & Ekwo, P. I. (2012). Anthocyanin-dyed TiO₂ electrode and its performance on dye-sensitized solar cell. *Research Journal of Recent Sciences*, **1**, 22-27.
8. Adhitya, E. A. (2013). Sintesa Titanium dioxide (TiO₂) untuk Dye-Sensitized Solar Cell dengan Antosianin Bunga Rosella (*Hibiscus sabdariffa*). *Indonesian Journal of Applied Physics*, **3**(2), 181-187.
9. Artono, M. (2013). *Fabrikasi Dye sensitized Solar Cell Menggunakan Natural Dye sebagai Alternatif Dye Ruthenium*, Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITB, Bandung.
10. Mustaqim. *Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell Menggunakan Fotosensitizer Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L) dan Elektrolit Padat Berbasis PEG (Polyethylene Glycol)*.

11. Mardiah. (2010). *Ekstraksi Kelopak Bunga dan Batang Ekstraksi Kelopak Bunga dan Batang Rosella (Hibiscus Sabdariffa L.) sebagai Pewarna Merah Alami* (Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi Universitas Djuanda, Bogor).
12. Septina, W., Fajarisandi, D., & Aditia, M. (2007). *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*, in: Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi, Penghargaan PT. Rekayasa Industri.
13. Samina, A. & Matthew, J. E. (2007). *Biomimicry in Solar Energy Conversion with Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Photovoltaic Cells*, Department of Chemistry and Biochemistry Obelin College, Ohio, 1-22.
14. Lee, J. -W., Hwang, K. -J., Shim, W. -G., Park, K. -H., Gu, H. -B., & Kwun, K. -H. (2007). Energetic surface heterogeneity of nanocrystalline TiO₂ films for dye-sensitized solar cells. *Korean Journal of Chemical Engineering*, **24**(5), 847-850.