

PEMBUATAN SEL SURYA TERSENSITASI PEWARNA (SSTP) LAPISAN TiO₂/GRAFIT DARI EKSTRAK KELOPAK BUNGA ROSELLA, BERAS KETAN HITAM, DAN UBI JALAR UNGU

Nurhidayah^{1*}, Sri Rahayu Alfitri Usna¹, Suwarni¹, M. Ficky Afrianto¹, Faizar Farid²

¹Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

²Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

Email: ¹nurhidayah@unja.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan pembuatan Sel Surya Tersensitasi Pewarna (SSTP) dengan elektroda kerja yang terbuat dari campuran TiO₂ dan 14% grafit yang selanjutnya ditulis sebagai TiO₂:C14%. Koloid TiO₂:C14% dideposisikan pada substrat kaca konduktif Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) dengan metode sol-gel-spin coating pada kecepatan 1500 rpm selama 50 detik. Kemudian lapisan ini direndam selama 24 jam dalam pewarna (dye) yang diambil dari ekstrak kelopak bunga rosella (*hibiscus sabdariffa*), beras ketan hitam (*oryza sativa*) dan ubi jalar ungu (*ipomoea batatas*). 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 dye dari ekstrak kelopak bunga rosella memiliki nilai efisiensi tertinggi dibanding dye beras ketan hitam dan dye ubi jalar ungu yaitu $3 \times 10^{-3}\%$.

Kata Kunci: SSTP, dye, rosella, TiO₂, spin coating, XRD, efisiensi.

Abstract

[Title: Fabrication of TiO₂/Graphite-layer based Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Using Natural Dye Extracted from Rosella Petals, Black Glutinous Rice and Purple Sweet Potato] Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) using working electrodes composed of a mixture of TiO₂ and 14% of graphite, which then denoted as TiO₂:C14%, has been done. The TiO₂:C14% colloid was deposited on a conductive Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) glass substrate by using sol-gel-spin coating at the speed of 1500 rpm for 50 seconds. This thin layer was then immersed for 24 hours in different dye solutions extracted from Rosella petals (*hibiscus sabdariffa*), black glutinous rice (*oryza sativa*) and purple sweet potato (*ipomoea batatas*). Composition materials used to fabricate the solar cells were characterized by using x-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). The power conversion efficiency (PCE) of the solar cells was measured by using a set of I-V characteristic circuit. The result showed that the highest PCE of $3 \times 10^{-3}\%$ was obtained from the cells based on dye extracted from rosella petals compared to those from black glutinous rice and purple sweet potato.

Keywords: DSSC, dye, rosella, TiO₂, spin coating, XRD, efficiency.

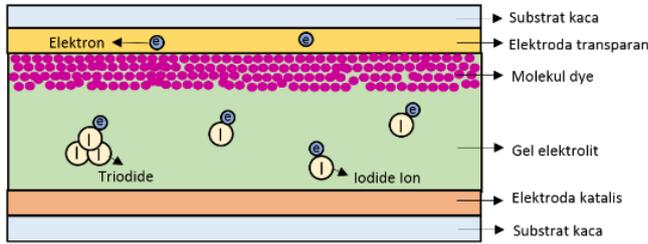
PENDAHULUAN

Energi mempunyai peranan penting dalam memenuhi segala kebutuhan hidup di dunia. Pesatnya perkembangan industri membuat kebutuhan energi juga semakin meningkat. 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, SSTP adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan.

Pada umumnya komponen-komponen di dalam SSTP terdiri dari elektroda kerja berupa elektrodafoto-anoda dari bahan semikonduktor

(misalkan: TiO₂ dan ZnO), *dye* sebagai (*sensitizer*) bahan aktif yang menyerap cahaya matahari dan membangkitkan pasangan elektron-



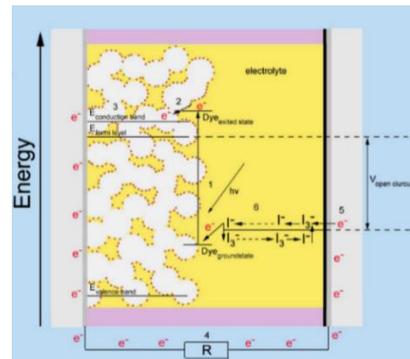
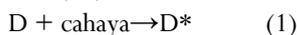
Gambar 1. Struktur Sel Surya Tersensitasi Pewarna

(SSTP)

hole serta berperan dalam proses transport pembawa muatan dalam divais sel surya, sertapasangan redoks berupa *triiodide/iodide*, dan *counter* elektroda berbahan platina (Pt) seperti yang terlihat pada Gambar 1. Bahan *dye* dapat diperoleh dari bahan-bahan alami seperti ekstrak buah-buahan atau bisa juga dari bahan polimer. Pewarna (*dye*) dapat membantu memperluas spektrum penyerapan SSTP tidak hanya pada panjang gelombang cahaya ultraviolet namun juga pada cahaya tampak [3]. Penggunaan *dye* dari ekstrak bunga rosela dan ubi jalar ungu telah dilakukan pada penelitian terdahulu [4]. Efisiensi maksimum yang dihasilkan SSTP dengan menggunakan *dye* tersebut masing-masing sebesar 0,3% dan 0,1%.

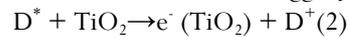
Terdapat berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sel surya organik SSTP seperti jenis *dye*, elektroda, ketebalan sel, luas permukaan TiO₂:C14%:*dye*:elektrolit dan mobilitas pembawa muatan [5]. Semakin besar luas permukaan lapisan aktif maka intensitas elektron yang tereksitasi antara TiO₂:*dye* serta transfer hole antara *dye*:elektrolit akan semakin tinggi.

Prinsip kerja dari SSTP merupakan reaksi dari transfer elektron seperti yang terlihat pada Gambar 2. Elektrolit yang digunakan pada SSTP terdiri dari iodida (I⁻) dan triiodida (I₃⁻) 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*)

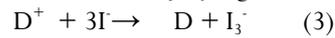


Gambar 2. Skema kerja dari SSTP (IEA, 2016)

Proses kedua terjadi pada elektroda negatif (anoda), yaitu pada lapisan TiO₂ dimana elektron tereksitasi (D*) kemudian terinjeksi menuju pita konduksi (E_{CB}) TiO₂ 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-elektrode* yang berperan sebagai elektroda positif (katoda) melalui rangkaian eksternal. Proses selanjutnya, dengan adanya katalis pada *counter-elektrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I₃⁻), 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 [6].

METODE PENELITIAN

Pembuatan Koloid TiO₂:14%C

Koloid TiO₂/grafit dipersiapkan terlebih dahulu dengan cara menambahkan 4 g polivinil alkohol (PVA) ke dalam 20 ml air aquades lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga merata selama 10 menit pada suhu 80 °C. Kemudian ditambahkan 2 g serbuk TiO₂ ke dalam larutan tadi dan diaduk selama 40 menit pada suhu yang sama hingga terbentuk koloid/pasta. Koloid lalu didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Selanjutnya ditambahkan 14% serbuk grafit sebagai pengotor yang sebelumnya

telah dilarutkan ke dalam 1 ml aquades. Kemudian diaduk secara perlahan dan dibiarkan selama 10 menit.

Deposisi Koloid TiO₂:C14%

Koloid TiO₂:C14% diteteskan diatas substrat FTO dengan permukaan konduktif berada pada bagian atashingga merata. Selanjutnya substat FTO diletakkan diatas sampel holder *spin coater* dengan kecepatan putar 1500 rpm selama 50 detik. Setelah lapisan kering, selotip diangkat secara perlahan-lahan. Kemudian, lapisan TiO₂:C14% disintering pada suhu 200°C selama 20 menit.

Preparasi Larutan Dye

Dye antosianin diekstrak dari bunga rosela, beras ketan hitam dan ubi jalar ungu. Masing-masing sampel diambil sebanyak 20 g dan dipotong kecil-kecil, digerus dengan mortar hingga halus, selanjutnya direndam (maserasi) di dalam pelarut yang terdiri dari 25 ml metanol, 4 ml asam asetat, dan 20 ml aquades selama 24 jam. Selama perendaman, larutan ekstrak antosianin harus disimpan di tempat gelap. Setelah direndam selama 24 jam, selanjutnya ekstrak dye antosianin disaring menggunakan kertas saring dan disimpan dalam botol gelap yang dibungkus rapat dengan aluminium foil.

Absorpsi Larutan Dye ke Dalam Lapisan TiO₂:C14%

Larutan ekstrak dye dari bunga rosela, beras ketan ungu dan ubi jalar ungu kemudian diteteskan di atas substrat kaca FTO yang telah dideposisi dengan lapisan TiO₂:C14% hingga kering. Kemudian sampel dikeringkan lagi dengan *hot plate* selama 10 menit pada suhu 80 °C.

Preparasi Counter Elektroda Karbon

Counter elektroda karbon diperoleh dari batang pensil 2B (*faber castle*). Pensil 2B diarsirkan pada bagian konduktif FTO yang telah ditutup selotip hingga merata, kemudian kaca dibakar di atas nyala lilin dengan posisi arsiran menghadap api. Pembakaran dilakukan hingga jelaga api menutupi permukaan konduktif FTO.

Preparasi Elektrolit

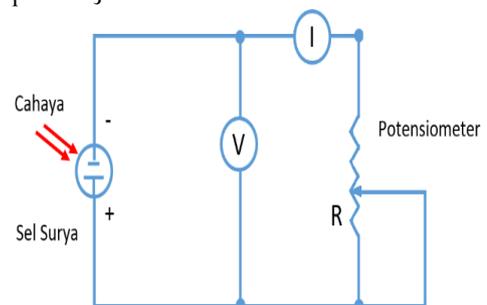
Sebanyak 7 gr PEG dilarutkan ke dalam 25 ml kloroform hingga berbentuk gel. Pada saat yang bersamaan di tempat lain dibuat larutan elektrolit dari pencampuran 8,3 gr KI dan 1,26 gr I₂. Kedua larutan kemudian dicampurkan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit pada suhu 80 °C hingga homogen. Larutan yang terbentuk disimpan dalam botol yang sudah bungkus aluminium foil.

Perakitan (*Assembly*)

Sel surya DSSC dirakit dengan cara meletakkan substrat terlapis TiO₂:C14%:dye pada bidang datar dengan permukaan yang telah dilapisi TiO₂ dan dye menghadap ke atas, kemudian di atasnya diletakan elektrolit padat dan substrat FTO yang telah dilapisi karbon sehingga membentuk struktur *sandwich* dimana di masing-masing ujung diberi *offset* sebesar 0,5 cm untuk kontak elektrik. Kemudian sampel dijepit dengan klip pada kedua sisi agar strukturnya lebih mantap dan sel surya siap diuji untuk mengetahui efisiensi dari perhitungan kurva I-V.

Karakterisasi dan Pengujian

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 tahanan untuk melihat kurva karakteristik I-V. Skema pengukuran ditunjukkan seperti **Error! Reference source not found.** 1 Potensiometer digunakan sebagai hambatan yang nilainya bisa divariasikan. Pengukuran karakteristik I-V dilakukan dibawah penyinaran cahaya matahari secara langsung pada tengah hari yang cerah di kampus UNJA Mendalo.



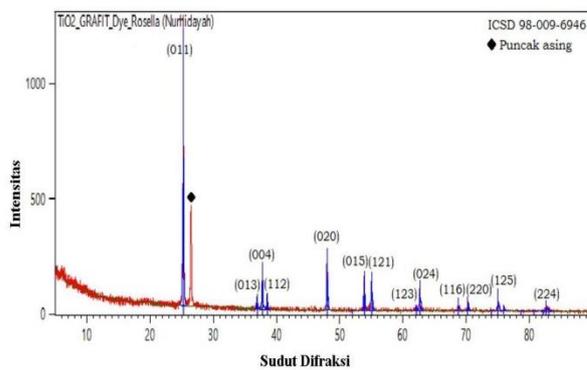
Gambar 3. Skema rangkaian untuk pengukuran efisiensi sel surya

HASIL DAN PEMBAHASAN

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 TiO₂:C14%. Dengan derajat kristalinitas yang baik maka proses difusi elektron di TiO₂ 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 TiO₂/grafit/dye rosella ditunjukkan pada Gambar 4.

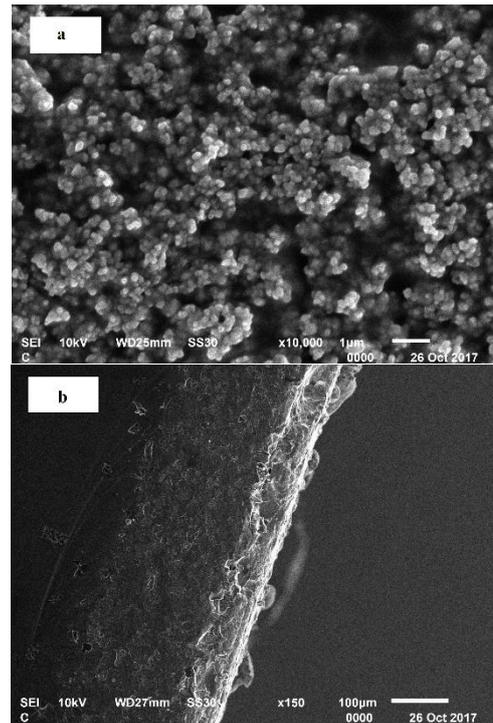


Gambar 4. Hasil XRD lapisan TiO₂/grafit/dye rosella

Karakterisasi SEM

Struktur morfologi permukaan lapisan TiO₂:C14% dapat dianalisis dari hasil karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JSM-6510 dengan 10.000 kali perbesaran seperti yang terlihat pada Gambar 5. Butiran dengan warna terang merupakan partikel TiO₂ dan butiran berwarna gelap diindikasikan sebagai partikel karbon. Hasil SEM dari morfologi permukaan pada Gambar 5.a. memperlihatkan adanya penumpukan butiran yang mengindikasikan kurang meratanya koloid TiO₂:C14% yang terlapisi pada substrat. Sementara ukuran partikel TiO₂ juga bervariasi dari 0,097 μm hingga 0,394 μm dengan rata-rata ukuran partikelnya adalah 0,218 μm. Ukuran partikel yang cukup besar dan beragam dapat mempengaruhi nilai *band gap* TiO₂ dan menurunkan kemampuan TiO₂ dalam menyerap dye yang berakibat pada penurunan nilai efisiensi. Selain itu ukuran partikel yang beragam juga menyebabkan kekasaran morfologi permukaan, hal ini dapat menyebabkan terhambatnya proses transport elektron dan meningkatkan hamburan foton yang datang sehingga berpengaruh pada proses interaksi foton dengan

lapisan TiO₂:C14%:dye. Karakterisasi SEM juga dilakukan untuk mengukur ketebalan penampang melintang lapisan TiO₂:C14% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.b. Terlihat bahwa lapisan TiO₂/C14% memiliki ketebalan rata-rata sebesar 64,23 μm. Nilai yang diperoleh dari karakterisasi SEM ini menunjukkan ketebalan yang cukup besar yang dapat mempengaruhi kemampuan TiO₂ dalam menyerap foton.



Gambar 5. Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM): a. morfologi permukaan dan b. tampang melintang lapisan TiO₂/C14%

Karakteristik Arus Tegangan (I-V)

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) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A} \tag{i}$$

$$FF = \frac{I_{max} V_{max}}{I_{sc} V_{oc}} \tag{ii}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100 = \frac{I_{max} V_{max}}{P_{in}} 100\% = \frac{FF \cdot I_{sc} V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \tag{iii}$$

Keterangan:

$$J_{sc} = \text{rapat arus short circuit } (\mu A/cm^2)$$

I_{sc} = arus *short circuit* (μA)

A = luas penampang lapisan aktif

$TiO_2/C14\%$:*dye*:*ekترولit* (cm^2)

FF = Fill Factor

I_{max} = arus maksimum (μA)

V_{max} = tegangan maksimum (mV)

V_{oc} = tegangan *open circuit* (mV)

η = nilai efisiensi (%)

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

P_{out} = 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 1. berikut.

Tabel 1. Hasil pengukuran parameter rapat arus *short circuit* (J_{sc}), *Fill Factor*(FF) dan efisiensi (η)

No.	Sampel	J_{sc} (A/cm ²)	FF	η (%)
1	Rosella	0,73	0,0606	3×10^{-3}
2	Beras ketan hitam	2,20	0,0023	2×10^{-4}
3	Ubi jalar ungu	0,40	0,0109	2×10^{-4}

Berdasarkan data Tabel 1 diatas dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi ditunjukkan pada penggunaan dye ekstrak bunga rosella yaitu sebesar 3×10^{-3} %. Secara umum nilai efisiensi dari penelitian ini masih tergolong rendah. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran partikel TiO_2 yang cukup besar dan kuran seragam, lapisan $TiO_2:C14\%$ yang tidak homogeny serta ketebalan lapisan yang terbentuk.

SIMPULAN

1. Sel surya organik berbasis $TiO_2:14\%$ grafit dengan penambahan *dye*: rosela, ubi jalar ungu, dan beras ketan hitam 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 TiO_2 dalam menyerap foton, sehingga efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi.
4. Berdasarkan hasil pengukuran karakteristik kurva I-V nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada jenis dye bunga rosella.

DAFTAR PUSTAKA

- J. Canadell, C. le Qu'er'e, M. Raupach, C. Field, E. Buitenhuis, P. Ciais, T. Conway, N. Gillet, R. Houghton and G. Marland, USA: Proc. Natl. Acad. Sci, 2007.
- M. Gratzel and C. Chimie, pp. 578-583, 2006.
- M. Gratzel, "Photochemistry Reviews," *Journal of Photochemistry and Photobiology*, pp. 145-153, 2003.
- Fahyuan, H.,Samsidar., Farid, F., Heriyanti., Napitupulu. S ., Pakpahan, S., 2015. Disain Prototipe Sel Surya Dssc (Dye Sensitized Solar Cell) Lapisan Grafit/ TiO_2 Berbasis Dye Alami. *Journal Online of Physics*. 1 :5-11.
- Hardali, Suwardani, Riky, T. Fernando, Maulidis and S. Ridwan, "Dye Sensitized SOLar Cells (DSSC) Bebrbasis Nanopori TiO_2 Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami," in *Semirata FMIPA*, Lampung, 2013.
- Hardali, Suwardani, Riky, T. Fernando, Maulidis and S. Ridwan, "Dye Sensitized SOLar Cells (DSSC) Bebrbasis Nanopori TiO_2 Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami," in *Semirata FMIPA*, Lampung, 2013.
- G. W. P. Adhyaksa, "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.
- R. Purwanto and G. Prajitno, "Variasi Kecepatan dan Waktu Pemutaran Spin Coating dalam Pelapisan TiO_2 untuk Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana*) sebagai Dye Sensitizer," *Jurnal Sains dan Seni Pomits* , p. 2, 2013.
- T. Priyambodo, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Memecah Kebuntuan Kebutuhan Energi Nasional dan Dampak Pencemaran Lingkungan," 15 Juli 2014. [Online]. Available:<http://www.chemistry.org/?sect=artikel&ext=114>.
- US.EIA, "International Energy Data and Analysis," Indonesia, 2015.