

PREPARASI KOATING TiO₂ PADA *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBASIS MELASTOMA MALABATHRICUM*

Amun Amri¹, Arinil Haq¹, Ahmad Fadli¹ dan Indra Yasri²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Jl. HR. Subrantas Km. 12,5 Panam, Pekanbaru, Riau, 28293, Indonesia

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Jl. HR. Subrantas Km. 12,5 Panam, Pekanbaru, Riau, 28293, Indonesia

E-mail : amun.amri@eng.unri.ac.id

ABSTRAK

Salah satu solusi terhadap masalah krisis energi adalah optimalisasi pemanfaatan energy matahari sebagai sumber energi alternatif. *Dye-sensitized solar cell (DSSC)* adalah sel surya yang memanfaatkan zat warna (*dye*) sebagai pengikat cahaya matahari sekaligus sebagai *sensitizer*-nya untuk menghasilkan listrik DC. Penelitian ini bertujuan menguji penggunaan ekstrak buah Senduduk sebagai bahan zat warna dalam DSSC dan mempelajari pengaruh fraksi/konsentrasi etanol pada proses penyiapan koating TiO₂ dalam DSSC dan ketebalannya terhadap kinerja DSSC. Zat warna diekstrak dengan melarutkan buah Senduduk dalam campuran pelarut metanol - asam asetat - aquades. Pasta TiO₂ dibuat dengan mencampurkan 5 g TiO₂ ke dalam 40 ml pelarut ethanol-air dengan berbagai variasi konsentrasi/fraksi. Selanjutnya TiO₂ dideposisikan pada substrat kaca *fluorine tin oxide (FTO)* menggunakan *spin coater* dengan variasi ketebalan yang selanjutnya disintering membentuk elektroda kerja. Elektroda lawan (*counter-electrode*) yang sekaligus sebagai katalis dibuat menggunakan lapisan karbon. Uji UV-Vis menunjukkan bahwa ekstrak buah Senduduk mengandung senyawa antosianin sebagai media sensitizer. Semakin besar fraksi etanol dalam pelarut pasta TiO₂ dan semakin tebal koating TiO₂, maka semakin tinggi tegangan listrik yang dihasilkan. Tegangan tertinggi ditunjukkan oleh DSSC dengan koating yang disintesis menggunakan etanol tanpa pengenceran yaitu sebesar 659 mV/cm² (pencahayaan LED), dan sebesar 1806,7 mV/cm² (pencahayaan matahari langsung). Uji morfologi menunjukkan peningkatan fraksi etanol pada preparasi pasta TiO₂ mempengaruhi morfologi permukaan koating yang bermuara pada peningkatan kinerja DSSC. Peningkatan fraksi etanol juga meningkatkan daya adhesi koating TiO₂ pada substrat.

Kata Kunci : *DSSC, senduduk, TiO₂, preparasi, optimasi*

ABSTRACT

The globally encountered energy crisis can be solved by utilizing sunlight as an alternative energy source. Dye-sensitized solar cell (DSSC) is a solar cell which utilizes dye as light-harvester and sensitizer. This research aims to investigate the usage of Malabar Melastome as dye in DSSC and to observe the impact of ethanol fraction and coating thickness of TiO₂ on the DSSC's performance. Dye was extracted by dissolving Melastome fruit in the mixture of ethanol - acetic acid - aquadest. TiO₂ paste was made by mixing 5 g of TiO₂ with 40 ml ethanol-water solvent system and deposited on FTO glass substrate using spin coating method as working-electrode. Finally, the counter-electrode was made and the DSSC was assembled. UV-Vis spectrophotometry analysis showed that the Melastome extract contained Anthocyanin as sensitizer. Voltage testing using multimeter showed that the higher ethanol fraction and the thicker the of TiO₂ coating's, the better voltage resulted. The highest voltage was obtained from the sample with ethanol without dilution which was 659 mV/cm² (the illumination of LED) and 1806,7 mV/cm² under direct sunlight. Morphology test showed that the increase ethanol fraction affected the coating's morphology which improved DSSC's voltage. From the adhesion test, it could be inferred that the increase of ethanol fraction would increase the coating's adhesivity.

Keywords: *DSSC, malabar melastome, TiO₂, preparation, optimization*

PENDAHULUAN

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan perangkat semikonduktor *photovoltaic* yang secara langsung mengubah radiasi sinar matahari menjadi arus listrik DC. Ketika terekspos foton dari cahaya matahari, zat warna yang merupakan *sensitizer* mengalami eksitasi, dimana elektron tereksitasi diinjeksikan ke dalam film oksida *mesoporous*. Hal ini menghasilkan difusi elektron menuju anoda - *external load* sebelum ditransfer menuju elektrolit pada permukaan katoda membentuk siklus listrik tertutup [1].

DSSC berbasis zat warna dari berbagai tanaman yang mengandung senyawa antosianin seperti Buah Raspberry, Blueberry, atau tanaman lain telah banyak dijumpai [2]. Meskipun saat ini masih memiliki efisiensi yang cukup rendah, diperkirakan tipe DSSC organik ini akan terus berkembang karena sangat kompetitif secara ekonomi dibanding DSSC zat warna anorganik ataupun *fotovoltaic* konvensional berbasis silikon, apalagi dapat ditemukan sumber-sumber bahan zat warna baru yang murah dan tidak berkompetisi dengan penggunaan lain dalam rangka menuju sistem produksi yang *sustainable development*.

Pada penelitian ini diuji penggunaan ekstrak buah senduduk (*Melastoma malabathricum*) sebagai bahan zat warna pada DSSC dengan bahan semikonduktor TiO_2 . Tanaman Senduduk merupakan tanaman semak belukar yang mudah ditemukan dan belum dimanfaatkan sehingga tidak berkompetisi dengan penggunaan lain. Hasil pengujian menunjukkan bahwa zat warna tanaman Senduduk dapat digunakan sebagai zat warna dalam DSSC. Kinerja DSSC dipengaruhi oleh fraksi pelarut etanol-air pada proses penyiapan prekursor dan ketebalan coating TiO_2 . Sepanjang pengetahuan penulis, penelitian penggunaan ekstrak buah Senduduk sebagai zat warna pada DSSC belum pernah dijumpai sehingga berpotensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu kaca *fluorine tin oxide* (FTO) (*Latech Scientific Supply, Singapore*), TiO_2 (*Merck, Germany*), etanol absolut (p.a.) (*Merck, Germany*), serbuk kalium iodida (*Merck, Germany*), iodin, aquades, lilin dan buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*) yang diperoleh dari lingkungan sekitar Universitas

Riau. Sedangkan peralatan yang digunakan berupa *spin coater* (*Glichn, China*) untuk deposisi pasta TiO_2 , dan *micropipette* (*Dumo, Indonesia*).

Prosedur Kerja

Proses fabrikasi DSSC diawali dengan pembersihan FTO dengan dengan etanol absolut. Selanjutnya dilakukan pembuatan *dye*, pasta, dan elektrolit. Ekstrak zat warna diperoleh dengan cara merendam 20 gram buah senduduk dalam campuran 40 ml metanol, 8 ml asam asetat, dan 52 ml aquades.

Ekstrak zat warna ini dibiarkan selama 24 jam pada tempat yang tidak terkena cahaya matahari. Pasta TiO_2 dibuat dengan mencampurkan bubuk TiO_2 dalam pelarut dengan rasio 1:8, yaitu untuk tiap 1 gram TiO_2 digunakan 8 ml pelarut. Pelarut yang digunakan bervariasi antara etanol absolut, etanol 50% dan aquades (ethanol 0%). Pasta diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit [3].

Elektroda kerja dibuat dengan mendeposisikan pasta TiO_2 pada substrat kaca FTO menggunakan *spin coater* dengan volume tetes bervariasi antara 100-200 μl atau setara 120-240 μm (setelah kalibrasi). Lapisan coating kemudian disintering pada suhu 350°C selama 15 menit. Elektroda lawan (*counter-electrode*) dibuat dengan melapisi kaca FTO dengan karbon dari pembakaran lilin. Elektrolit dibuat dengan melarutkan 0,127 gr iodin dalam larutan KI 0,5 M. DSSC dirakit dengan struktur *sandwich*, dengan elektroda kerja diletakkan di atas elektroda lawan setelah ditetesi elektrolit. Selanjutnya diuji kinerja DSSC dengan mengukur tegangan yang dihasilkan.

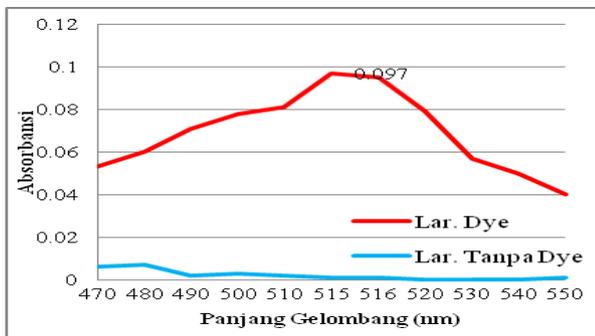
Karakterisasi dilakukan baik terhadap ekstrak buah Senduduk maupun kinerja DSSC yang telah dirakit. Kandungan antosianin diuji dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang 470-550 nm. Uji kinerja DSSC dilakukan dengan mengukur tegangan yang dihasilkan menggunakan multimeter yang linier terhadap perhitungan efisiensi. Uji morfologi dilakukan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM, HITACHI S3400-N). Perbesaran yang diambil yaitu 5000 X. Pengujian adhesivitas coating TiO_2 pada substrat dilakukan dengan metode *cross hatch cutter* (ASTM D 3359-B) menggunakan Elkometer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kandungan antosianin ekstrak buah Senduduk

Pengujian kandungan antosianin ekstrak buah Senduduk dilakukan dengan membandingkan puncak absorbansi spektra larutan dengan literatur [4]. Pengukuran dengan blanko pelarut (campuran metanol, asam asetat, dan aquades) diperlukan sebagai kontrol.

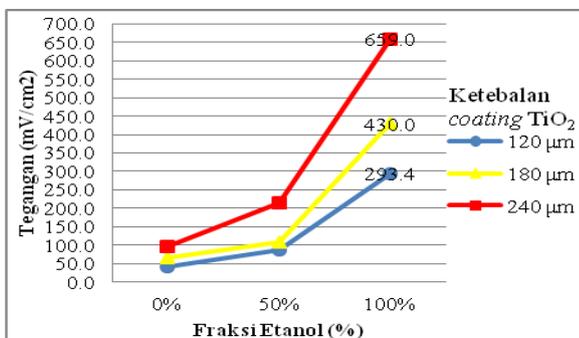
Gambar 1 menunjukkan kurva absorbansi larutan ekstrak buah Senduduk dan larutan blanko. Dari gambar terlihat bahwa nilai panjang gelombang maksimum (puncak) yang didapat dari spektrum adalah pada 515 nm. Nilai ini termasuk dalam rentang spektrum absorbansi antosianin yaitu pada kisaran panjang gelombang puncak 515 hingga 545 nm [4]. Hasil ini secara kualitatif membuktikan bahwa larutan zat warna mengandung antosianin dan akan dipakai sebagai *dye* untuk DSSC.



Gambar 1. Skurva Absorbansi Larutan zat warna vs. Pelarut Tanpa zat warna

Pengukuran Tegangan DSSC

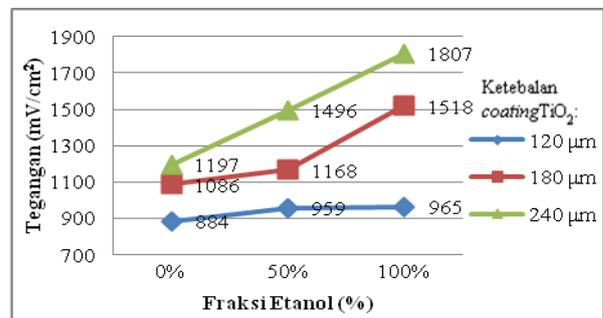
DSSC yang telah dibuat diuji tegangannya dengan pencahayaan dari Power LED (*Light-emitting Diode*) dan cahaya matahari langsung. Gambar 2 menampilkan hasil pengujian tegangan menggunakan pencahayaan LED:



Gambar 2. Hubungan Fraksi Etanol dalam Pelarut dan Ketebalan Coating TiO₂ terhadap Tegangan (Cahaya LED)

Pada gambar terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi etanol dan semakin tebal *coating* maka tegangan semakin meningkat. Tegangan tertinggi (659,0 mV/cm²) ditunjukkan oleh DSSC yang dirakit menggunakan coating TiO₂ yang dideposisi menggunakan pelarut etanol tanpa pengenceran (100% etanol) dengan ketebalan 240 µm.

Untuk melihat aplikasi di lapangan, dilakukan pengujian dengan sumber cahaya dari matahari langsung. Pengujian dilakukan selama 4 menit dengan selang interval pengambilan data 15 detik. Hal ini dilakukan agar didapat bacaan tegangan yang stabil karena intensitas cahaya matahari yang tidak konstan. Selama 4 menit tersebut, diambil tegangan rata-ratanya sebagai tegangan hasil. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Hubungan Fraksi Etanol dalam Pelarut dan Ketebalan coating TiO₂ terhadap Tegangan Rata-rata (Cahaya Matahari)

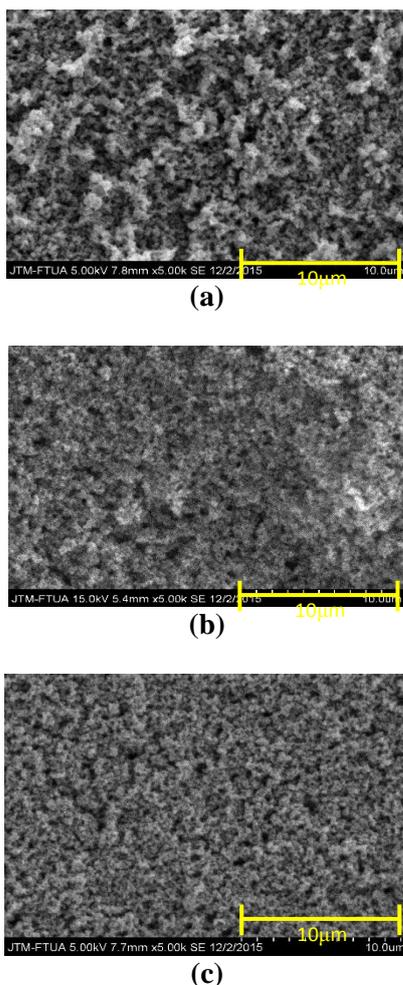
Seperti halnya pengujian dengan lampu LED, pengujian tegangan menggunakan cahaya matahari langsung menunjukkan bahwa tegangan meningkat dengan meningkatnya fraksi etanol dalam pelarut TiO₂ dan volume tetes (ketebalan) TiO₂. Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa tegangan tertinggi (1806,7 mV/cm²) ditunjukkan oleh sampel yang disintesis menggunakan fraksi etanol dalam pelarut TiO₂ 100% dan ketebalan *coating* 240 µm. Hal ini dapat dimaklumi karena intensitas cahaya matahari yang lebih besar dan spektrum yang melingkupi rentang panjang gelombang yang lebih luas dibandingkan LED. Dimana cahaya dari lampu LED hanya mencakup panjang gelombang 400-800 nm [5].

Peningkatan tegangan akibat peningkatan ketebalan coating adalah sesuatu yang logis akibat pertambahan situs aktif proses sensitasi, sedangkan peningkatan tegangan akibat penggunaan fraksi etanol yang berbeda diperkirakan akibat morfologi yang dihasilkan

juga berbeda. Klarifikasi akan kedua hal ini selanjutnya dilakukan dengan analisa morfologi (SEM) dan uji serapan zat warna.

Analisa Morfologi Coating

Gambar 4 menunjukkan perbedaan morfologi (yang diinvestigasi dengan SEM) akibat penggunaan fraksi ethanol yang berbeda pada penyiapan pasta TiO₂. Variasi fraksi ethanol dalam pelarut TiO₂ menghasilkan morfologi lapisan TiO₂ yang beragam. Dari gambar ini dapat diamati pengaruh fraksi ethanol dalam pelarut pasta TiO₂. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar fraksi ethanol dalam pelarut, morfologi permukaan coating semakin seragam dengan struktur pori yang teratur yang mengandung sebaran pori yang lebih banyak akibat ukuran partikel yang lebih kecil (Gambar 4c) yang berkorelasi langsung dengan perluasan *surface area* atau situs konversi cahaya menjadi listrik yang bermuara pada peningkatan tegangan yang dihasilkan.

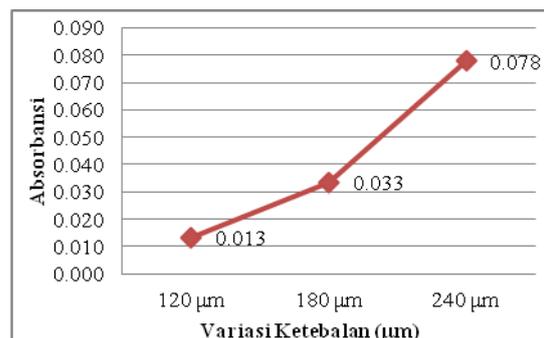


Gambar 4. Penampang Atas Lapisan TiO₂ (a) 0% Fraksi Etanol (b) 50% Fraksi Etanol (c) 100 % Fraksi Etanol

Penggunaan fraksi ethanol yang tinggi yang menghasilkan kinerja yang lebih baik ini sesuai dengan apa yang telah dilaporkan oleh Mori, dkk (2010). Mori, dkk (2010) menyatakan bahwa penggunaan pelarut organik menghasilkan lapisan tipis film TiO₂ yang lebih rapi dan seragam jika dibandingkan dengan penggunaan aquades sebagai pelarut polar [6]. Hasil ini juga didukung fakta percobaan dimana pasta TiO₂ yang dibuat dengan aquades cenderung lebih encer dibandingkan pasta dengan ethanol sebagai pelarutnya. Konsistensi pasta yang lebih cair akan mempersulit proses deposisi pasta pada substrat kaca FTO.

Pengaruh Ketebalan Coating terhadap Serapan zat warna

Peningkatan ketebalan lapisan TiO₂ menunjukkan kenaikan pada tegangan listrik yang dihasilkan. Hal ini diperkirakan karena semakin banyak zat warna yang terserap akibat semakin tebal coating TiO₂. Untuk mengkonfirmasi hal ini maka diuji hubungan antara ketebalan coating terhadap serapan zat warna menggunakan instrumen spektrofotometri UV-Vis.



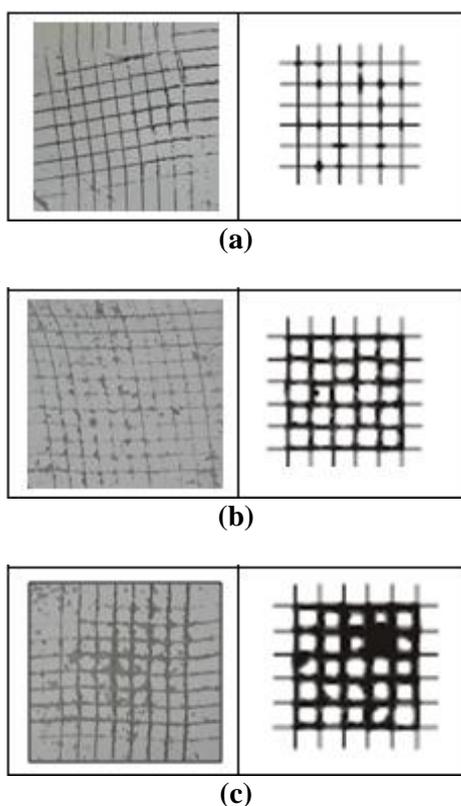
Gambar 5. Grafik Absorbansi zat warna Antiosianin pada Lapisan TiO₂

Gambar 5 menunjukkan absorbansi sampel pada ketebalan coating yang berbeda-beda. Dengan panjang gelombang serapan yang sama (515 nm) maka diuji absorbansi masing-masing sampel. Grafik di atas menunjukkan peningkatan nilai absorbansi untuk setiap peningkatan ketebalan TiO₂. Hal ini membuktikan bahwa semakin tebal lapisan TiO₂, maka semakin banyak zat warna yang diadsorpsi. Peningkatan ketebalan lapisan TiO₂ menghasilkan situs yang lebih banyak untuk menyerap zat warna, yang bermuara pada peningkatan kinerja DSSC. Walaupun demikian, diperkirakan setelah mencapai ketebalan tertentu, tidak akan ada lagi peningkatan tegangan listrik yang dihasilkan DSSC karena setelah ketebalan tertentu akan terjadi proses *blocking* cahaya dan penurunan penetrasi zat warna akibat coating

yang terlalu tebal sehingga zat warna tidak lagi tereksitasi secara efektif [7].

Uji Adhesi Coating pada substrat

Uji adhesi dilakukan untuk melihat kekuatan lapisan coating TiO₂ menempel pada substrat. Uji adhesi dilakukan pada sampel dengan variasi fraksi pelarut etanol 100%, 50%, dan 0%. Uji ini dilakukan untuk mengamati pengaruh variasi komposisi pelarut pada pasta TiO₂ terhadap kekuatan coating menempel pada substrat. Uji adhesi ini dilakukan secara semi-kualitatif dengan alat Elcometer menggunakan metode *Cross Hatch Cutter* (ASTM D 3359-B). Berikut hasil pengujian adhesi yang dibandingkan dengan dengan standar ASTM D 3359-B:



Gambar 6. Standarisasi ASTM No. 3359 Kemampuan Adhesivitas Sampel (a) 0% Fraksi Etanol (b) 50% Fraksi Etanol (c) 100 % Fraksi Etanol

Dari Gambar 6 dapat diamati bahwa sampel dengan fraksi etanol dalam pelarut yang paling tinggi (100%) memiliki kuat tempel yang paling tinggi, sesuai dengan standar ASTM No. 3359-B dimana hasil *cross cut* hanya berpengaruh pada tidak kurang dari 5% area pinggiran hasil *cross cut* dan termasuk dalam predikat 4B ASTM No. 3359-B atau predikat adhesi “Bagus Sekali”. Sampel dengan fraksi etanol dalam pelarut sebesar 50% memiliki kuat tempel yang “Baik” atau (3B), dimana

hasil *cross cut* menghasilkan celah yang lebih besar dan menghilangkan sedikit bagian dari blok hasil *cross cut* dengan area yang ter-pengaruh lebih besar dari 5% namun tidak mencapai 15%. Sementara itu, hasil *cross cut* pada sampel yang hanya menggunakan pelarut aquades menunjukkan hasil yang tergolong predikat “Cukup” atau 2B, dimana hasil *cross cut* menghilangkan sedikit atau hampir seukuran satu blok pada area yang diuji dengan ukuran area yang terpengaruh sekitar 15-35%. Peningkatan adhesi coating-substrat yang linier dengan konsentrasi pelarut etanol diperkirakan akibat sifat polaritas pelarut yang berbeda. Semakin lemah polaritas pelarut nampaknya akan melemahkan baik kohesi antar partikel TiO dalam bulk coating maupun adhesi antarmuka coating-substrat

KESIMPULAN

Ekstrak buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*) mengandung senyawa antosianin dan dapat digunakan sebagai zat warna (*dye*) pada DSSC. Semakin besar fraksi etanol dalam pelarut TiO₂, maka semakin besar tegangan yang dihasilkan pada DSSC, begitu juga dengan semakin besar jumlah volume tetes TiO₂ (ketebalan coating). Tegangan tertinggi (lampu LED=659,0 mV/cm², cahaya matahari langsung= 1806,7 mV/cm²) ditunjukkan oleh coating yang disintesis menggunakan pelarut etanol absolut dan volume tetes 200 µl). Peningkatan fraksi etanol yang digunakan dalam pelarut akan menghasilkan bentuk morfologi yang semakin seragam/teratur serta tingkat adhesi coating-substrat yang semakin baik. Semakin tebal *coating* TiO₂ maka semakin banyak zat warna yang terserap sehingga meningkatkan kinerja DSSC.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak di Jurusan Teknik Kimia FTUR yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Jena *et al.*, 2012. Dye Sensitized Solar Cells: A Review. *Trans Indian Ceramic Society*, vol. 71, pp. 1-16.
- Admesy, 2014. *Spectroscopy: General Spectroscopy* [Online]. Available: <http://www.admesy.nl/application/general-spectroscopy> [Accessed, 9 Dec, 2014].
- C.S. Sutanto, 2012. *Pemanfaatan Ekstrak Bunga Kecombrang (Nicolaia Speciosa, Horan) se-*

bagai Pewarna Alami pada Makanan Cencil.
Skripsi. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.

- D. Yulika *et al.*, 2014. Pelapisan TiO₂ di atas FTO dengan Teknik Slip Casting dan Spin Coating untuk Aplikasi DSSC. *Jurnal Fisika Indonesia*, No. 53, vol. 18, pp. 66-69.
- H. M. Smith and N.J. Elkins-Daukes, 2006. Blueberry Electricity: An Experimental Introduction and Analysis of Fruit and Chlorophyll based Dye-Sensitized Solar Cells. *ANZSES Solar*, vol. 07, pp. 1-10.
- J. Gong *et al.*, 2012. Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5848–5860.
- R. Mori *et al.*, 2010. Organic Solvent Based TiO₂ Dispersion Paste for Dye-Sensitized Solar Cell Prepared by Industrial Production Level Procedure. *Journal of Materials Science*, vol. 46, pp. 1341-1350.