

Pengaruh Fraksi Etanol dalam Pelarut dan Ketebalan Coating TiO₂ terhadap Kinerja Prototip Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis Dye dari Buah Tumbuhan Senduduk (*Melastoma malabathricum*)

Arinil Haq⁽¹⁾, Amun Amri⁽²⁾, Ahmad Fadli⁽²⁾

⁽¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia UR, ⁽²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia UR
Laboratorium Material dan Korosi
Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293
E-mail: haq.arinil95@yahoo.co.id

Abstract

*The globally encountered energy crisis can be solved by utilizing sunlight as an alternative energy source. Sun energy can be harnessed through application on solar cell. Dye-sensitized solar cell (DSSC) is a type of solar cell which utilizes dye as light-harvester and also as sensitizer. This research aims to investigate the usage of malabar melastome (*Melastoma malabathricum*) as dye material and to observe the impact of ethanol solvent's dilution and coating thickness of TiO₂ on the DSSC's performance. To fabricate the DSSC, material preparation and dye extraction was done by dissolving fruit of malabar melastome in a mixture of 40 ml ethanol, 8 ml acetic acid, and 52 ml aquadest. The making of TiO₂ paste was done by mixing 5 g of TiO₂ with 40 ml solvent and deposited using spin coating method. The making of electrolyte was done by dissolving 0,127 g of iodine in 0,5 M of KI solvent. The counter-electrode was made and the DSSC was assembled. The DSSC's voltage was then examined using multimeter and analyzed using SEM, UV-Vis spectrophotometry, and adhesion test. The higher ethanol fraction in the solvent and the thicker the coating of TiO₂, the better voltage resulted. This fact is supported by the morphology and adhesivity test. It can be proved from the highest voltage that is obtained from the sample with 100% ethanol fraction and the thickness of 240 μm which is 659 mV/cm² under the illumination of LED light and 1806,7 mV/cm² when applied on direct sunlight.*

Keywords: DSSC, photovoltaic, malabar melastome, spin coating, TiO₂

1. Pendahuluan

Permasalahan energi merupakan salah satu krisis yang tengah dihadapi dunia. Hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya kebutuhan energi secara global. Data hingga tahun 2011 mencatat kebutuhan energi global mencapai 10 tW dan diperkirakan nilai ini akan mencapai 30 tW hingga tahun 2030 (Yuliarto, 2011). Masalah yang dihadapi juga berasal dari pertimbangan terhadap dampaknya bagi lingkungan. Permasalahan ini muncul dikarenakan sumber energi yang diolah yaitu kebanyakan berupa sumber energi konvensional ataupun sumber energi yang tidak bisa diperbarui. Menurut sumber dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 80% dari kebutuhan energi dunia

dipasok dari bahan bakar fosil, yang merupakan sumber daya alam yang tidak bisa diperbarui dan menghasilkan gas buangan yang bersifat polutan.

Sinar matahari merupakan sumber daya tak terbatas yang dapat kita gunakan sebagai sumber energi. Sinar matahari dapat mengatasi masalah energi yang tengah dihadapi. Salah satu bentuk pemanfaatan energi dari matahari ini adalah dengan menggunakan *photovoltaic cell* atau yang lebih banyak dikenal sebagai *solar cell*, yaitu pembangkit tenaga listrik dengan tenaga surya. Hingga saat ini pun teknologi mengenai pemanfaatan energi surya ini masih terus dikembangkan. Mulai dari *solar cell* silikon atau yang seterusnya disebut *solar*

cell konvensional hingga penggunaan substrat semikonduktor yang lebih ramah lingkungan dan menggunakan dye yang merangkap sebagai *sensitizer*. *Solar cell* ini kemudian dikenal dengan sebutan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan alat semikonduktor *photo-voltaic* yang secara langsung mengubah radiasi sinar matahari menjadi arus listrik. Cara kerja DSSC yaitu ketika terekspos terhadap cahaya matahari, *dye* sekaligus *sensitizer* tereksitasi, yang mana, elektron dari *dye* diinjeksikan kedalam film oksida *mesoporous*. Hal ini menghasilkan difusi elektron menuju anoda dan dipergunakan pada *external load* sebelum dikumpulkan elektrolit pada permukaan katoda dan diteruskan menjadi sebuah siklus (Gong dkk., 2012).

Pada penelitian ini diuji penggunaan ekstrak buah senduduk sebagai bahan *dye* dan diamati pengaruh fraksi etanol dalam pelarut TiO_2 dan ketebalan *coating* TiO_2 terhadap tegangan DSSC yang disintesis dengan *dye* dari tumbuhan Senduduk (*Melastoma malabathricum*). Tanaman Senduduk adalah tanaman semak liar yang belum banyak digunakan sehingga tidak berkompetisi dengan kegunaan lain. Ekstrak tanaman ini belum pernah digunakan sebagai bahan *dye* pada DSSC. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tanaman senduduk dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *dye* DSSC karena mengandung antosianin. Jenis pelarut dan ketebalan *coating* TiO_2 juga mempengaruhi kinerja DSSC yang telah dibuat.

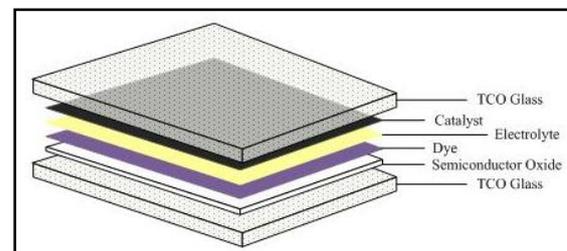
2. Metode Penelitian

DSSC dibuat dengan bahan *dye* dari ekstrak buah senduduk dengan bahan semikonduktor TiO_2 pada substrat kaca TCO jenis Fluorine-doped Tin Oxide (FTO). Elektrolit yang digunakan berbasis iodida/triiodida. Metode deposisi yang digunakan yaitu *spin coating*.

Kinerja DSSC yang dihasilkan diuji hubungannya dengan variasi ketebalan

lapisan *coating* TiO_2 dan pengenceran pelarut etanol pada pasta TiO_2 . Variasi ketebalan didapat berdasarkan volume TiO_2 yang diteteskan pada proses *coating* yaitu 100 μl , 150 μl , dan 200 μl . Sementara pengenceran pelarut etanol didasarkan pada fraksi etanol dalam pelarut pasta TiO_2 yaitu menggunakan etanol absolut, 50% etanol, dan aquades saja.

Proses fabrikasi DSSC diawali dengan persiapan kaca FTO dengan cara dibersihkan dengan etanol absolut. *Dye* diekstrak dari buah senduduk dengan cara merendam 20 gram buah senduduk dalam campuran 40 ml metanol, 8 ml asam asetat, dan 52 ml aquades. Ekstrak *dye* ini dibiarkan selama 24 jam pada tempat yang tidak terkena cahaya matahari. Pasta TiO_2 dibuat dengan mencampurkan bubuk TiO_2 dalam pelarut, untuk tiap 1 gram TiO_2 digunakan 8 ml pelarut. Pelarut yang digunakan bervariasi antara etanol absolut, etanol 50% dan aquades saja. Pasta diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit (Yulika, dkk., 2014).



Gambar 2.1 Struktur *sandwich* DSSC

Elektroda kerja dibuat dengan cara mendeposisikan pasta TiO_2 pada substrat kaca FTO dengan metode *spin coating* dengan volume tetes sesuai variabel. Lapisan *coating* kemudian disintering pada suhu 350°C selama 15 menit. Elektroda lawan 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*, dimana elektroda kerja diletakkan di atas elektroda lawan setelah ditetesi elektrolit diantaranya.

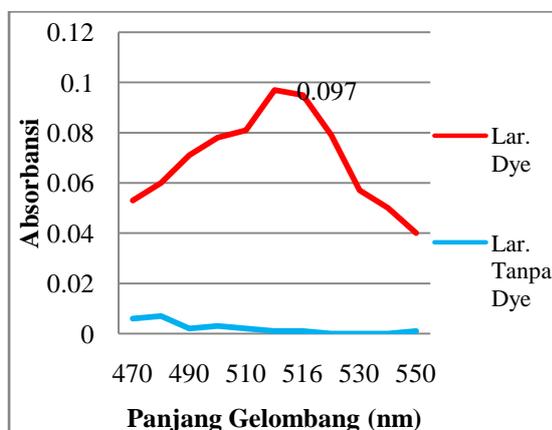
DSSC yang telah dirakit kemudian diuji kinerjanya, dalam bentuk tegangan yang dihasilkan, menggunakan multimeter. Kemudian dilakukan analisa kandungan antosianin dalam *dye*, analisa morfologi lapisan *coating*, hubungan ketebalan *coating* dengan penyerapan *dye*, dan pengujian adhesivitas *coating*.

3. Hasil dan Pembahasan

Dye-sensitized solar cell (DSSC) telah dibuat dengan dua variabel. Variabel pertama yaitu pengenceran pelarut etanol pada pembuatan pasta TiO_2 , yaitu menggunakan 100% fraksi etanol, 50% etanol, dan juga menggunakan aquades saja. Variabel kedua yaitu ketebalan *coating* TiO_2 , yang didapat dengan pengujian *cross section coating* TiO_2 dengan berbagai volume tetes. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi volume tetes sebesar 100 μl , 150 μl , dan 200 μl masing-masing setara dengan ketebalan 120 μm , 180 μm , dan 240 μm .

3.1 Pengujian *Dye* Buah Senduduk

Dye yang telah dibuat diuji kandungan antosianin-nya. Spektrum *dye* yang telah diekstrak dibandingkan dengan spektrum pelarutnya. Berikut spektrum *dye* yang telah diekstrak dibandingkan dengan spektrum larutan pelarut *dye* (campuran metanol, asam asetat, dan aquades):



Gambar 3.1 Spektrum Absorbansi Larutan *Dye* vs. Larutan Blanko (Pelarut *Dye*)

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa nilai panjang gelombang maksimum yang didapat dari spektrum di atas yaitu 515 nm. Nilai ini termasuk dalam rentang spektrum absorbansi antosianin yaitu dengan kisaran panjang gelombang puncak 515 hingga 545 nm (Sutanto, 2012). Disamping itu, pada gambar di atas terbukti bahwa larutan *dye* yang telah dibuat mengandung antosianin. Hal ini ditunjukkan dengan lebih tingginya absorbansi larutan *dye* jika dibandingkan dengan absorbansi pengekstrak *dye*. Hasil ini secara kualitatif membuktikan bahwa larutan *dye* mengandung antosianin.

3.2 Kinerja DSSC

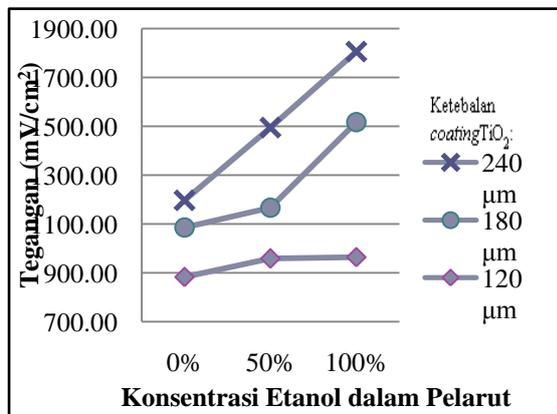
DSSC yang telah dibuat diuji tegangannya dengan pencahayaan dari Power LED dan cahaya matahari. Berikut ditampilkan hasil pengujian tegangan dengan menggunakan pencahayaan LED:

Tabel 3.1 Tegangan DSSC(Cahaya LED)

Fraksi Etanol	Ketebalan <i>coating</i> TiO_2	Tegangan yang Dihasilkan
Etanol Absolut	120 μm	293,4 mV/cm ²
	180 μm	430,0 mV/cm ²
	240 μm	659,0 mV/cm ²
50% Etanol	120 μm	86,7 mV/cm ²
	180 μm	108,8 mV/cm ²
	240 μm	215,3 mV/cm ²
Aquades	120 μm	41,2 mV/cm ²
	180 μm	67,0 mV/cm ²
	240 μm	94,8 mV/cm ²

Pencahayaan dengan LED dilakukan untuk standarisasi prototip. Dari 9 sampel yang dibuat dengan variasi fraksi etanol dalam pelarut dan variasi ketebalan *coating* TiO_2 , maka peningkatan nilai variabel menghasilkan tegangan semakin tinggi. Tegangan tertinggi (659,0 mV/cm²) ditunjukkan oleh DSSC yang dirakit menggunakan *coating* TiO_2 yang dideposisi menggunakan pelarut etanol tanpa pengenceran (100% fraksi etanol) dengan ketebalan 240 μm .

Untuk melihat aplikasi di lapangan, pengujian dengan sumber cahaya dari matahari langsung dilakukan. Tegangan dicatat selama 4 menit dengan selang pengambilan data setiap 15 detik sesuai standar AM 1.5. 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 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Hubungan Fraksi Etanol dalam Pelarut dan Ketebalan *Coating* TiO₂ terhadap Tegangan Rata-rata (Cahaya Matahari)

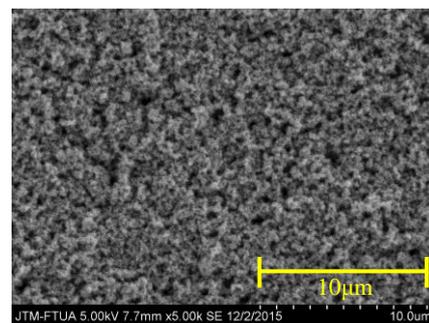
Pengujian tegangan dengan cahaya matahari menunjukkan hubungan yang setara antara tegangan hasil dengan fraksi etanol dalam pelarut TiO₂ dan volume tetes TiO₂ dengan pengujian menggunakan LED. Dimana, dari grafik diatas, tegangan tertinggi didapat pada sampel dengan fraksi etanol dalam pelarut TiO₂ sebesar 100% dengan ketebalan *coating* 240 μm yaitu sebesar 1806,7 mV/cm². Hal ini disebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang lebih besar dan juga spektrum cahaya matahari yang melingkup rentang panjang gelombang yang lebih luas dibandingkan LED. Dimana cahaya dari lampu LED hanya mencakup panjang gelombang 400-800 nm (Admesy, 2014).

Pegujian tegangan dengan kondisi pencahayaan LED yang seragam menunjukkan hubungan peningkatan

tegangan terhadap penggunaan etanol dengan fraksi yang lebih besar dalam pelarut. Pengujian terhadap fraksi etanol dalam pelarut pasta ini berpengaruh terhadap struktur morfologi lapisan TiO₂ yang kemudian berpengaruh terhadap kinerja DSSC. Peningkatan tegangan sejalan juga dengan semakin besarnya volume pasta TiO₂ yang digunakan. Hal ini secara langsung berpengaruh pada ketebalan lapisan TiO₂. Dimana hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang terdahulu, yang pernah dilakukan oleh M.A.R. Sembiring et.al (2015) mengenai pengaruh variasi ketebalan TiO₂ terhadap keluaran DSSC.

3.3 Analisa Sifat Morfologi

Variasi fraksi etanol dalam pelarut TiO₂ menghasilkan morfologi lapisan TiO₂ yang beragam. Penggunaan pelarut dengan fraksi yang beragam, fraksi 100% (etanol tanpa pengenceran), fraksi 50% (sekali pengenceran), serta percobaan penggunaan aquades saja sebagai pelarut pasta TiO₂ menghasilkan struktur pori yang beragam pula. Berikut bentuk morfologi permukaan sampel terbaik hasil analisa dengan instrumen SEM:



Gambar 3.3 Penampang Atas Lapisan TiO₂ dengan 100 % Fraksi Etanol

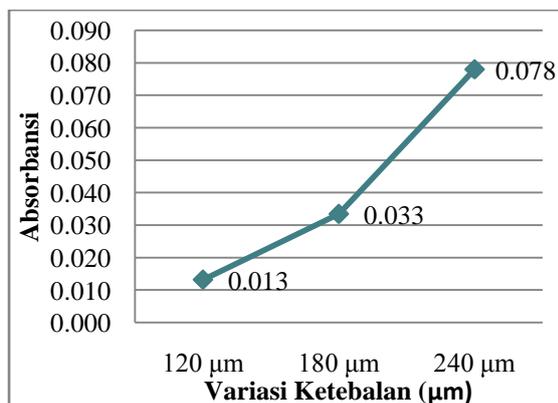
Dari Gambar di atas, dapat diamati bahwa morfologi permukaan *coating uniform* dan padat dengan lapisan TiO₂ yang rata dengan pori yang semakin kecil (mendekati *mesoporous*). Hal ini sebanding dengan tegangan hasil karena semakin kecil pori, maka jumlah pori semakin banyak sehingga memperluas *surface area*.

Jadi, pelarut yang baik untuk pasta TiO₂ adalah etanol absolut dengan fraksi 100%. Mori et. al (2010) menyatakan bahwa penggunaan pelarut organik menghasilkan lapisan tipis film TiO₂ yang lebih rapi dan seragam jika dibandingkan dengan penggunaan aquades sebagai pelarut.

Hasil ini juga didukung fakta percobaan dimana pasta TiO₂ yang dibuat dengan aquades cenderung lebih encer dibandingkan pasta dengan etanol sebagai pelarutnya. Konsistensi pasta yang lebih cair akan mempersulit proses deposisi pasta pada substrat kaca FTO.

3.4 Analisa Pengaruh Ketebalan Coating terhadap Serapan Dye

Peningkatan jumlah volume tetes TiO₂ (yang sebanding dengan ketebalan lapisan TiO₂) menunjukkan peningkatan 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 dye menggunakan instrumen spektrofotometri UV-Vis.



Gambar 3.4 Grafik Absorbansi Dye Antosianin pada Lapisan TiO₂

Gambar 3.4 di atas menunjukkan absorbansi sampel pada ketebalan yang berbeda-beda. Dengan panjang gelombang yang sama pada kalibrasi pengujian absorbansi larutan dye sebelumnya yaitu 515 nm, maka diuji absorbansi masing-masing sampel. Grafik diatas menun-

jukkan peningkatan nilai absorbansi untuk setiap peningkatan ketebalan TiO₂ dari 120 µm, 180 µm, hingga 240 µm. Hal ini membuktikan bahwa semakin tebal lapisan TiO₂, maka semakin banyak dye yang diadsorpsi, sehingga tegangan yang dihasilkan semakin besar pula. Peningkatan ketebalan lapisan TiO₂ menghasilkan ruang yang lebih luas untuk menyerap dye, yang berperan sebagai penyerap cahaya. Hal ini berpengaruh dalam meningkatkan kinerja DSSC. Walaupun demikian, setelah mencapai ketebalan tertentu lapisan TiO₂ tidak akan meningkatkan kinerja, khususnya tegangan listrik yang dihasilkan DSSC. Hal ini disebabkan setelah ketebalan tertentu, terjadi proses rekombinasi dalam lapisan TiO₂ dimana dye yang terserap pada lapisan yang tebal, tidak lagi tereksitasi secara efektif (Jena et.al, 2012).

3.5 Analisa Adhesi Coating

Analisa adhesi dilakukan untuk menguji kekuatan lapisan coating TiO₂ lapisan menempel pada substrat. Uji adhesi dilakukan pada sampel dengan variasi pengenceran pelarut etanol yaitu 100% (tanpa pengenceran), 50% (sekali pengenceran), dan sampel yang menggunakan aquades saja.

Uji ini dilakukan untuk mengamati pengaruh variasi komposisi pelarut pada pasta TiO₂ terhadap kekuatan coating menempel pada substrat. Uji adhesi ini dilakukan dengan peralatan menggunakan Cross Hatch Cutter ASTM No. 3359 sesuai dengan standar pengukuran kuat adhesi dengan pengukuran menggunakan tape.

Sampel dengan fraksi etanol dalam pelarut yang paling tinggi (100%) memiliki kuat tempel yang paling tinggi, sesuai dengan standar ASTM No. 3359-4B dimana hasil cross cut hanya berpengaruh pada tidak kurang dari 5% area pinggiran hasil cross cut dan termasuk dalam predikat "Bagus Sekali".

Dari penelitian ini didapati bahwa komposisi etanol sebagai pelarut dalam

pembuatan pasta TiO₂ berpengaruh terhadap kemampuan adhesi *coating*. Dimana, semakin besar fraksi etanol dalam pelarut TiO₂, maka semakin bagus kemampuan adhesi *coating* tersebut. Namun, saat ini belum ada studi mendalam mengenai pengaruh kekuatan lapisan TiO₂ menempel pada substrat selain dari hubungan transfer elektron yang lebih baik pada lapisan yang menempel kuat pada substrat.

4. Kesimpulan

Dye ekstrak buah Senduduk (*Melastoma malabathricum*) memiliki potensi yang baik untuk DSSC. Semakin besar fraksi etanol dalam pelarut TiO₂, maka semakin besar tegangan yang didapat pada DSSC. Begitu juga dengan semakin besar jumlah volume tetes TiO₂ yang berkorelasi langsung dengan ketebalan *coating*, maka tegangan yang dihasilkan pun semakin tinggi. Dengan hasil tegangan tertinggi didapat pada variasi fraksi etanol sebesar 100% dan ketebalan *coating* 240 µm (volume tetes 200 µl) sebesar 659,0 mV/cm² dengan pencahayaan LED dan 1806,7 mV/cm² dengan cahaya matahari. Peningkatan jumlah fraksi etanol yang digunakan dalam pelarut akan menghasilkan bentuk morfologi yang semakin baik, begitu pula dengan semakin tebal *coating* TiO₂ maka semakin banyak *dye* yang terserap sehingga meningkatkan kinerja DSSC. Kemampuan adhesi dari sampel berbanding lurus terhadap fraksi etanol yang digunakan, dimana semakin besar fraksi etanol dalam pelarut, maka semakin kuat kemampuan adhesi sampel.

Daftar Pustaka

- Admesy. 2014. *Spectroscopy: General Spectroscopy*. Dikutip pada 8 Desember 2015 dari <<http://www.admesy.nl/application/general-spectroscopy>>
- ESDM. 2008. *Dukung Kebijakan Energi Nasional dengan Pemetaan Potensi Energi Baru Terbarukan*. Dikutip pada 4 September 2015 dari: <<http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/6259-dukung-kebijakan-energi-nasional-dengan-pemetaan-potensi-energi-baru-terbarukan.html>>
- Gong, J., J. Liang., dan K. Sumathy. 2012. *Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) hal. 5848–5860.
- Jena, A., S.P. Mohanty., dan P. Kumar. *Dye Sensitized Solar Cells: A Review*. 2012. *Trans Indian Ceramic Society*, vol. 71, No. 1, hal. 1-16.
- Mori, R., T. Ueta., dan K. Sakai. 2010. *Organic Solvent Based TiO₂ Dispersion Paste for Dye-Sensitized Solar Cell Prepared by Industrial Production Level Procedure*. *Journal of Materials Science*, vol. 46, No. 5, hal. 1341-1350
- Sembiring, M.A.R., S.H. Pramono, dan E. Maulana. 2015. *Pengaruh Variasi Ketebalan Titanium Dioksida (TiO₂) terhadap Daya Keluaran Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Jurnal Mahasiswa TEUB* vol.3, No.1, hal. 1-6
- Sutanto, C.S. 2012. *Pemanfaatan Ekstrak Bunga Kecombrang (Nicolaia Speciosa, Horan) sebagai Pewarna Alami pada Makanan Ceni*. Skripsi. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Yulianto, B. 2011. *Solar Cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan*. Bandung: Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung.
- Yulika, D., Kusumandari, R. Suryana. 2014. *Pelapisan TiO₂ di atas FTO dengan Teknik Slip Casting dan Spin Coating untuk Aplikasi DSSC*. *Jurnal Fisika Indonesia* No. 53 Vol. XVIII, hal. 66-69.