
EFEK PENYISIPAN *Cu* KE DALAM *DYE* BERAS HITAM DENGAN LUASAN 0,5 cm² PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (*DSSC*)

Ulfa Mahfudli Fadli^{1*}, Ardimas², Agus Supriyanto^{3**}, Cari⁴, Ashari Bayu Prasada⁵

^{1,2}Program Studi Fisika, Universitas Billfath

^{3,4}Program Studi Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret

⁵Program Studi Fisika, Universitas Pattimura

Corresponding Author: ulfa@billfath.ac.id *, agus122@yahoo.com **

Abstract

Thanks to the addition of copper (Cu) metal into black rice (*Oryza sativa* L. indica) dye as an active material, It has been successfully developed Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC). The structure of the sample as a sandwich consisting of the working electrode (TiO₂), dye, electrode of platinum (Pt) and the electrolyte sandwiched between two electrodes. Extraction process of black rice Dye was stirred for 30 minutes, then mixed with copper metal (Cu) and be waited for 24 hours. Cu metal was obtained by stirring Copper Sulfate Pentahydrate for 2 hours. The Current and voltage (I-V) of the sample was characterized by using Keithley 2602A. The measurement results showed that the inserting Cu metal of 2 g (0.36 M) was reached the highest efficiency of 0.0217%.

Keywords: *Copper; Oryza; DSSC; TiO₂; platinum;*

How to cite: Fadli, U.M., Ardimas, Supriyanto, A., Cari, dan Prasada, A.B. (2020). Efek Penyisipan *Cu* Ke dalam *Dye* Beras Hitam dengan Luasan 0,5 cm² pada *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *JMS (Jurnal Matematika dan Sains)*, 1 (1), pp.41-48.

PENDAHULUAN

DSSC merupakan *solar cell* generasi ketiga yang dapat menjadi alternatif pengganti solar cell konvensional. Material DSSC memiliki berbagai keunggulan antara lain biaya rendah dan mudah dalam produksi (Stathatos, 2012). Terdapat empat komponen utama dalam DSSC, yaitu semikonduktor sebagai elektroda kerja (TiO₂), zat warna yang peka terhadap penyerapan cahaya, elektrolit dan elektroda counter seperti platina (Pt). Telah banyak penelitian tentang pewarna kompleks rutenium yang mencapai efisiensi 11,1% (Chiba Dkk, 2006). Harga dan ketersediaan pewarna rutenium kompleks terbatas karena bahan organik seperti beras hitam (*Oryza*) dipilih. Pewarna *Oryza* memiliki absorbansi maksimum dari 240 nm sampai 423 nm. Ini berarti bahwa serapan *Oryza* dapat menyerap lebih banyak energi ultraviolet dan cahaya tampak. Konduktivitas listrik pewarna *Oryza* adalah 0,21 Ω⁻¹m⁻¹. Semakin besar nilai konduktivitas menunjukkan resistansi yang semakin kecil, sehingga produksi elektron dapat meningkat (Cari dkk, 2017).

Elektroda kerja nanopartikel TiO_2 di FTO berfungsi sebagai penangkap elektron untuk menyediakan lubang. TiO_2 rutil dan TiO_2 anatase merupakan jenis nanopartikel TiO_2 . Celah energi (E_g) dari TiO_2 rutil dan TiO_2 anatase masing-masing adalah 3,0 eV dan 3,2 eV. Misalnya anatase lebih tinggi dari E_g rutil karena luas permukaan aktif lebih besar dan lebih banyak fotokatalis (Kuznesof, 2006). Fungsi dari elektroda lawan adalah sebagai katalisator saat mentransfer elektron ke elektrolit. Elektroda counter adalah fungsi ganda, fungsi pertama; ia dapat mengalirkan elektron dari sirkuit luar (lampu) kembali ke sistem redoks (elektrolit) dan yang kedua berfungsi sebagai mediator untuk mengkatalisasi reaksi redoks (Ting & Chao, 2010). Elektroda counter dari platina (Pt) telah dipilih sebagai bahan karena merupakan katalis yang sangat baik untuk mereduksi triiodida (Calanda dkk, 2010). Platina berfungsi untuk menurunkan ketahanan kaca FTO.

Elektrolit menghasilkan elektron saat terjadi reaksi redoks, yang akan diteruskan untuk mengisi lubang pada pewarna. Kaca digunakan untuk meneruskan cahaya sehingga energi cahaya diserap oleh elektron pada atom zat warna dan elektron mencapai lubang lapisan TiO_2 . Selanjutnya elektron berpindah ke lapisan FTO dan rangkaian luar, kemudian elektron diteruskan ke lapisan platina dan elektrolit. Elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran yodium (I_2) dengan Kalium Iodida (KI) atau Natrium Iodida (NaI) ke dalam polietilen glikol (PEG). Elektrolit digunakan sebagai mediator elektron antara elektroda kerja dan elektroda counter. Nilai efisiensi elektrolit KI lebih besar dari NaI, dan TEAI masing-masing dicampur menjadi I_2 (Prasetyo dkk, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi DSSC. Kinerja sel surya adalah kemampuan untuk mengubah cahaya menjadi energi listrik. Penentuan unjuk kerja sel surya diukur menggunakan Keithley 2602A untuk mencari nilai arus hubung singkat (I_{sc}) dan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sebagai daya maksimum. Nilai I_{sc} ditentukan berdasarkan data dimana nilai tegangan dimulai dari negatif ke positif. Begitu pula untuk nilai V_{oc} ditentukan oleh nilai saat ini dimulai dari nilai negatif hingga nilai positif. Kemudian nilai tegangan maksimum (V_{in}) dan arus maksimum (I_{in}) sebagai daya keluaran diperoleh dengan perkalian tegangan dan arus. Kinerja sel surya dapat ditentukan dengan membandingkan daya maksimum hasil perkalian V_{oc} dan I_{sc} dengan daya keluaran hasil perkalian V_{in} dan I_{in} .

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan berkontribusi pada penggunaan energi terbarukan. Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan di laboratorium material Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam. Penelitian ini diharapkan mampu membuka peluang penggunaan luasan deposisi terkecil untuk mendapatkan efisiensi sebesar besarnya pada sel surya jenis DSSC.

Langkah pertama menyiapkan larutan yang digunakan sebagai elektroda kerja. Nanopartikel TiO_2 (anatase) dengan basis trace metal 99,8% sebanyak 0,5 gr dilarutkan dalam 3 ml ethanol, kemudian diaduk menggunakan vortex stirrer dengan kecepatan 500 rpm selama 30 menit. Pasta TiO_2 disimpan dalam wadah tertutup yang dilapisi dengan aluminium foil.

Selanjutnya menyiapkan dye (pewarna) yang sensitif terhadap cahaya, yaitu menggunakan beras hitam. Beras hitam 10 gr (*Oryza sativa L. indica*) dihaluskan hingga menjadi bubuk halus menggunakan blender. Kemudian bahan dilarutkan dalam etanol, asam asetat dan akuades dulu memiliki perbandingan 25: 4: 21 sehingga nilai absorbansi larutan tinggi karena konsentrasi antosianin terbaik (Misbachudin, 2013). Kemudian diaduk (300 rpm) pada suhu 30°C selama 30 menit. Bahan didiamkan selama 24 jam dan disaring dengan kertas saring kualitas no. 42. Kemudian pewarna beras hitam dicampur dengan larutan Cu.

Larutan Cu terbuat dari tembaga sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dengan variasi massa 0,01 gr, 0,1 gr, 1 gr, 2 gr, 3 gr, dan 4 gr. Kemudian dilarutkan dalam etanol, asam asetat dan akuades kemudian diaduk 300 rpm pada suhu 30°C selama 60 menit. Kemudian disaring dengan kertas saring kualitas no. 42. Pewarna dikatakan dapat bekerja jika memiliki serapan di daerah ultraviolet dan tampak, sedangkan konduktivitas menyatakan seberapa besar arus listrik dapat dilewatkan. Untuk meningkatkan efisiensi perlu dilakukan penyisipan suatu logam, dalam hal ini $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ menghasilkan konduktivitas yang baik, meningkatkan absorpsi, dan dapat menurunkan rekombinasi lubang elektron (Fadli dkk, 2016).

Padatan kalium iodida (KI) 0,8 gram dicampur dengan 10 ml polietilen glikol, kemudian diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit. Kemudian ditambahkan iodium (I_2) sebanyak 0,127 gram dan diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit.

Larutan TiO_2 dideposisikan pada kaca konduktif FTO dengan teknik spin coating. Luasan deposisi sebesar $0,5\text{ cm}^2$ dengan setiap sisi FTO ditemplei selotip. Pasta TiO_2 diteteskan pada gelas FTO yang telah direkatkan di spinner, kemudian diaduk dengan kecepatan 200-300 rpm. Selanjutnya dipanaskan menggunakan hotplate pada suhu 5000°C selama 60 menit, kemudian didinginkan pada suhu ruang.

Komposisi DSSC berupa gelas FTO yang telah dilapisi TiO_2 dan direndam dalam zat warna dengan Cu (zat warna + Cu), kemudian disebut elektroda kerja. Elektroda kerja dietsa dengan larutan elektrolit kemudian dilapisi dengan lapisan platina atau disebut elektroda

counter. Kemudian komposisi DSSC dijepit pada kedua sisi kanan dan kiri. Setelah terbentuk sistem DSSC Sandwich kemudian dikarakterisasi arus dan tegangan (I-V) yang menunjukkan seberapa besar DSSC mampu mengubah energi cahaya.

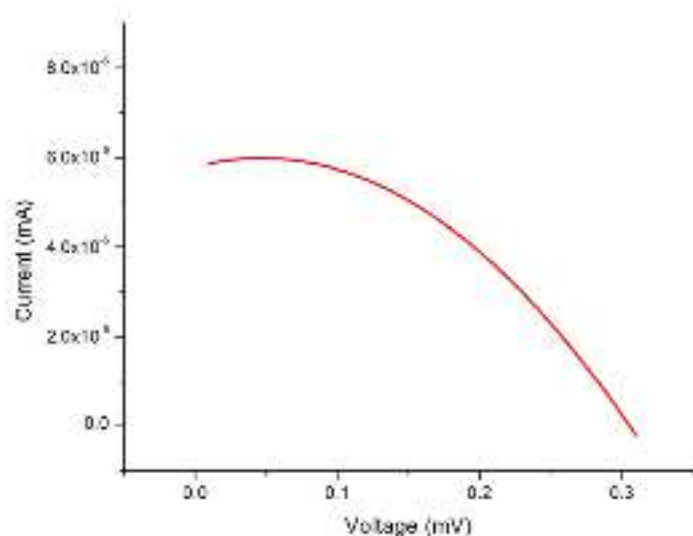
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi tegangan arus (I-V) merupakan salah satu metode untuk menentukan seberapa besar DSSC dapat mengubah cahaya menjadi energi listrik. Tegangan arus diukur menggunakan Keithley 2602A di bawah iradiasi dengan lampu halogen 1000 W / m². Sampel diuji dengan perendaman selama 24 jam dalam pewarna beras hitam + Cu dengan luas FTO 0,5 cm².

Energi cahaya yang paling tinggi diserap oleh zat warna, hal ini sebanding dengan jumlah elektron yang tereksitasi. Eksitasi elektron molekul zat warna terjadi dari Higher Occupied Molecular Organic (HOMO) ke celah pita dan diteruskan ke Lower Unoccupied Molecular Organic (LUMO). Setelah itu elektron akan mengalir ke TiO₂, atau diteruskan ke elektroda kerja. Lapisan elektroda yang berfungsi adalah TiO₂ yang berfungsi sebagai akseptor elektron dari zat warna. Selain dapat meneruskan pewarna elektron yang dihasilkan, semikonduktor TiO₂ juga dapat menghasilkan elektron sebagai hasil penyerapan energi cahaya, namun relatif kecil sehingga diabaikan (Fadli dkk, 2016).

Tembaga merupakan konduktor yang berfungsi untuk menghantarkan elektron yang dihasilkan oleh zat warna. Penambahan Cu ke dalam zat warna (zat warna + Cu), sehingga akan mampu menyerap energi cahaya yang lebih besar. Hasilnya akan memiliki lebih banyak elektron yang dilepaskan dari HOMO ke celah pita dan kemudian menuju ke LUMO dalam molekul pewarna. Hasilnya akan terbentuk lubang di HOMO dan elektron bebas di LUMO. Kemudian elektron bebas akan diteruskan untuk menghantarkan Cu dan TiO₂. Tetapi elektron dari zat warna juga dapat langsung menuju pita konduksi TiO₂ karena zat warna dapat terikat langsung ke TiO₂. Pita konduksi TiO₂ dapat memerangkap elektron dari zat warna atau dari Cu. Sehingga dipengaruhi banyaknya Cu maka elektron yang dapat ditangkap kemudian dialirkan ke rangkaian luar (Fadli dkk, 2016).

Pembahasan difokuskan pada pengaitan data dan hasil analisisnya dengan permasalahan atau tujuan penelitian dan konteks teoretis. Temuan berupa kenyataan di lapangan dikaitkan dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya atau dengan teori yang sudah ada.



Gambar 1. Kurva I-V Dye Beras Hitam yang di doping dengan Cu

Gambar 1 menyajikan efisiensi (η) pewarna beras hitam + Cu. Kinerja Fotovoltaik Pewarna Beras Hitam dengan Doping Cu disajikan pada Tabel 1. Dapat dilihat efisiensi tertinggi pada luasan FTO $0,5 \text{ cm}^2$ masih lebih kecil dari efisiensi pewarna beras hitam yang hanya (0,0496%) pada 1 cm^2 . Ketebalan TiO_2 pada kaca FTO akan mempengaruhi aliran elektron. Dalam hal ini ketebalan TiO_2 pada kaca FTO dibuat dengan teknik spin coating. TiO_2 akan menghasilkan lubang dan akan terperangkap sebagai pewarna elektron. Lubang tersebut akan menangkap atau melewatkan elektron dari pewarna. Jika ketebalannya terlalu tipis, jumlah TiO_2 memiliki lubang yang sedikit, elektron yang terperangkap terlalu banyak, maka elektron yang mengalir ke rangkaian luar mengarah ke minimum (Fadli dkk, 2016).

Tabel 1. Performa *Photovoltaic* dari Dye Beras Hitam yang di doping Cu

Dye+Cu	VOC (mV)	ISC (mA)	Vin (mV)	Iin (mA)	FF	η
0.01 gram	0.295	6.3×10^{-5}	0.280	3.7×10^{-5}	0.56	0.0205
0.1 gram	0.220	4.8×10^{-5}	0.145	2.9×10^{-5}	0.40	0.0084
1 gram	0.175	3.0×10^{-5}	0.115	2.3×10^{-5}	0.50	0.0053
2 gram	0.310	8.3×10^{-5}	0.175	6.2×10^{-5}	0.42	0.0271
3 gram	0.235	6.5×10^{-5}	0.205	4.6×10^{-5}	0.62	0.0187
4 gram	0.295	5.7×10^{-5}	0.250	3.6×10^{-5}	0.54	0.0181
0.01 gram	0.295	6.3×10^{-5}	0.280	3.7×10^{-5}	0.56	0.0205

Sehingga hasil DSSC yang menghasilkan performansi terbaik pada pewarna Oriza sativa L. indica dengan efisiensi 0,0271% dengan 0,175 mV (V_{in}) dan $6,2 \times 10^{-5}$ mA (I_{in}). Nilai efisiensi bahan senyawa organik masih kecil (dibawah 1%). Untuk meningkatkan performansi DSSC digunakan elektroda counter yang berbeda dengan polianilin (PANI), karena PANI dapat meningkatkan efisiensi dari 6,90% (platinum) menjadi 7,15% dengan menggunakan

PANI (Li dkk, 2008), dengan menggunakan elektrolit yang memiliki viskositas lebih kecil dari iodine seperti Gel polimer PEO (Duangkaew, 2010). Penambahan tembaga pada TiO₂ mampu meningkatkan kinerja DSSC dengan metode elektroplating, karena nilai efisiensinya dapat mencapai 0,090% (Supriyanto, 2019).

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tembaga (CuSO₄·5H₂O) pada pewarna beras hitam dengan luas FTO 0,5 cm² dapat mencapai efisiensi terbesar yaitu 0,0217% dengan 0,175 mV (V_{in}) dan 6,2 x 10⁻⁵ mA (I_{in}).

DAFTAR RUJUKAN

- Stathatos, E.(2012).*Dye-Sensitized Solar Cells: A New Prospective to the Solar to Electrical Energy Conversion. Issues to be Solved for Efficient Energy Harvesting*.Journal of Engineering Science and Technology Review (5) 9-13
- Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiya, R., Koide, N., and Han, L.(2006).*Dye-Sensitized Solar Cells with Conversion Efficiency of 11.1%*.Japanese Journal of Applied Physics (45) L638
- Cari, Fadli, U.M., Prasada, A.B., and Supriyanto, A.(2017).*Dye characteristics of Zingiber officinale var rubrum, Cinnamomum zaylanicum, Curcuma longa L., Oryza sativa L. Indica in dye sensitized solar cell (DSSC)*.Journal of Physics: Conference Series (795) 012035, doi:10.1088/1742-6596/795/1/012035
- Kuznesof, P.M.(2006).*Titanium Dioxide*.Chemical And Technical Assessment (8) 1-8
- Ting, C.C. and Chao, W.S.(2010).*Efficiency improvement of the DSSCs by building the carbon black as bridge in photoelectrode*.Applied Energy (87) 2500–2505
- Calandra, P., Calogero, G., Sinopoli, A., and Gucciardi, P.G.(2010).*Metal Nanoparticles and Carbon-Based Nanostructures as Advanced Materials for Cathode Application in Dye-Sensitized Solar Cells*.International Journal of Photoenergy Vol 2010, Article ID (109495), 15 pages, doi:10.1155/2010/109495
- Prasetyo, Y.H., Wahyuningsih, S., and Suryana, R.(2014).*Studi Variasi Elektrolit Terhadap Kinerja Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*.Indonesian Physics Journal 18 (53), Vol XVIII, August, ISSN: 1410-2994, 47-49
- Misbachudin, M.C., Trihandaru, S., and Sutresno, A.(2013).*Studi awal ekstrak antosianin strawberry sebagai sensitizer solar cell (DSSC)*.Seminar Nasional 2nd Lontar Physics Forum, ISBN 978-602-8047-80-7 LPF (1350): 1-5
- Fadli, U.M., Prasada, A.B., Cari, and Supriyanto, A.(2016).*The effect of Cu doping into Oryza sativa L. indica dye as photosensitizer for dye sensitized solar cell (DSSC)*.Journal of Physics: Conference Series (776) 012004, doi:10.1088/1742-6596/776/1/012004
- Li, Q., Wu, J., Tang, Q., Lan, Z., Li, P., Lin, J., and Fan, L.(2008).*Application of microporous polyaniline counter electrode for dye-sensitized solar cells*.Electrochemistry Communications (10) 1299-1302
- Duangkaew, P., Chindaduang, A., and Tumchareem.(2010).*Efficiency and Stability Enhancement of Dye Sensitized Solar Cell using PEO Polymer Gel and Imidazolium-Based Ionic Liquid Electrolyte*.Science Jurnal Ubonratchathani University Vol 1.No (1) (January-June).page: 9-14.
- Supriyanto, A., Obina, W.M., Septiawan, T.Y., Ramelan, A.H., and Nurosyid, F.(2019).*Dye-sensitized solar cell (DSSC) performance of copper on TiO₂ as a photoelectrode through*

nanocomposite and electroplating method. Journal of Physics: Conference Series (1170) 012048, doi:10.1088/1742-6596/1170/1/012048