
Sintesis Dan Karakterisasi Kompleks Brazilin dari Ekstrak Kayu Secang (*Caesalpinia sappan* Linn) Serta Aplikasinya dalam *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)

Synthesis and Characterization of the Brazilin Complex from Secang (*Caesalpinia sappan* Linn) Wood Extract and Its Application in *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)

Zulenda, Uray Amira Naselia, Nico Gustian, Titin Anita Zaharah, Winda Rahmalia*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura,
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak 78124

*Corresponding author: winda.rahmalia@chemistry.untan.ac.id

Receive: July 2018; Revision: October 2018; Accepted: March 2019; Available online: May 2019

Abstrak

Secang (*Caesalpinia sappan* Linn) merupakan tanaman endemik Kalimantan Barat yang mengandung pigmen berwarna merah brazilin. Dalam penelitian ini, brazilin diperoleh melalui proses maserasi dilanjutkan dengan partisi cair-cair, selanjutnya dikomplekskan dengan ion logam Cu, Mg, dan Zn untuk meningkatkan kinerjanya ketika digunakan sebagai sensitizer pada *dye sensitized solar cell* (DSSC). Pengompleksan dilakukan menggunakan media gliserol-air, sedangkan fabrikasi DSSC dilakukan menggunakan metode *doctor blading*. Hasil analisis FTIR terhadap ekstrak kayu secang menunjukkan adanya gugus fungsi O-H, C=O, C=C, dan C-H, yang merupakan gugus fungsional khas dari brazilin. Terbentuknya kompleks brazilin-Cu, brazilin-Mg, dan brazilin-Zn ditandai dengan menurunnya intensitas puncak dari C=O pada 1606 cm^{-1} dan -OH pada 3263 cm^{-1} . Hasil analisis UV-Vis menunjukkan bahwa kompleks memiliki rentang panjang gelombang lebih lebar dan cenderung batokromik. DSSC yang menggunakan kompleks brazilin-Cu, brazilin-Mg, dan brazilin-Zn menghasilkan rendemen konversi energi maksimum pada 200 W/m^2 , berturut-turut sebesar 0.034 %, 0.030 %, dan 0.013 %, serta DSSC ekstrak kayu secang murni sebesar 0.029 %. Dengan demikian, penggunaan sensitizer berbasis kompleks logam-brazilin dapat meningkatkan efisiensi DSSC.

Kata kunci: Brazilin, DSSC, fotosensitizer, kayu secang, kompleks.

Abstract

Secang (*Caesalpinia sappan* Linn) is an endemic plant in West Kalimantan that contains Brazilin red pigments. In this study, brazilin was obtained through a maceration process carried out by a liquid-liquid partition, then complexed with metal ions to improve the performance of compilation used as a sensitizer on dye-sensitized solar cell (DSSC). Complexation is carried out using glycerol-water media, while DSSC fabrication is carried out using the doctor blading method. The results of FTIR analysis of secang wood extract showed the presence of a functional group O-H, C=O, C=C, and C-H, which are typical functional groups of brazilin. The formation of the brazilin-Cu, brazilin-Mg, and brazilin-Zn complexes is characterized by an increase in peak intensity of C=O at 1606 cm^{-1} and O-H at 3263 cm^{-1} . The results of the UV-Vis analysis show that the complex has a wider wavelength and uses bathochromic. DSSCs that use the brazilin-Cu, brazilin-Mg, and brazilin-Zn complexes that complement each other produce efficiencies of 0.034%, 0.030%, and 0.013%, and DSSC pure secang wood extract of 0.029%. The efficiency of the brazilian metal-complex when compared with brazilin, the efficiency increases, so that the maximum efficiency obtained by the Cu-brazilin sensitizer is equal to 0.034%.

Keywords: Brazilin, DSSC, photosensitizer, secang wood, complex.

DOI: 10.15408/jkv.v5i1.8559

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Menurut Kementerian ESDM tahun 2015, rasio elektrifikasi di Indonesia adalah 88.3%. Angka ini menunjukkan bahwa sekitar 11.7% penduduk belum mendapatkan listrik dan penggunaan listrik belum merata. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi untuk mengembangkan energi alternatif berbasis energi matahari. Selain itu, Indonesia juga terletak di garis khatulistiwa, sehingga memperoleh penyinaran matahari rata-rata 8 jam/hari dengan intensitas radiasi matahari sekitar 4.8 kWh/m²/hari (Sitompul dan Rislina, 2011).

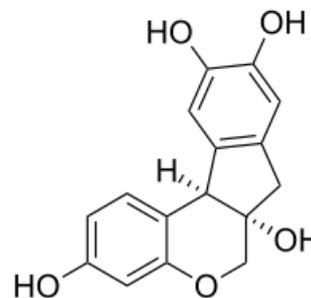
Salah satu dispositif elektronik yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik adalah sel surya atau sel fotovoltaik (Pebriningtyas *et al.*, 2013). Sel fotovoltaik berbasis silikon telah dikomersialisasi hingga saat ini. Namun, sel fotovoltaik berbasis silikon memiliki kekurangan diantaranya menggunakan silikon murni, teknologi canggih, penggunaan bahan kimia yang berbahaya dan memiliki harga relatif mahal (Arjunan dan Senthil, 2012). Oleh karena itu, dilakukan peralihan dari sel surya berbasis silikon ke sel surya tersensitisasi pewarna atau *dye sensitized solar cells* (DSSC).

DSSC merupakan energi alternatif yang memanfaatkan bahan alami, sederhana dalam pembuatannya, sehingga biaya produksinya relatif murah. DSSC terdiri dari lima komponen penting yaitu kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*), semikonduktor titanium oksida (TiO₂), zat warna (*dye*), larutan elektrolit dan elektroda lawan (Patle dan Chaudhari, 2016). Pemilihan semikonduktor TiO₂ dikarenakan sifatnya lebih stabil, tidak beracun, mudah diperoleh dan harganya relatif murah (Landuma *et al.*, 2015).

Selain semikonduktor, komponen yang berpengaruh pada kinerja DSSC yaitu zat warna. Beberapa pigmen alami yang telah digunakan yaitu antosianin dari tanaman beras hitam, mangostin dari tanaman manggis, kurkumin dari tanaman kunyit, dan bixin dari kesumba (Hug *et al.*, 2014; Hadary *et al.*, 2012). Pigmen alami tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda serta stabilitas yang dimiliki ketika diaplikasikan dalam DSSC juga berbeda.

Salah satu kelemahan pada pewarna alami yaitu memiliki penyerapan yang rendah terhadap sinar matahari. Kestabilan pewarna alami dapat ditingkatkan dengan cara penambahan ion logam untuk membentuk kompleks logam-senyawa berwarna (Cortez *et al.*, 2016). Penelitian yang telah dilakukan Zebib *et al.* (2010), melaporkan bahwa kurkumin yang dikomplekskan dengan Cu, Mg dan Zn, memiliki kestabilan yang sangat tinggi daripada kurkumin keadaan murninya.

Pada penelitian ini, telah difabrikasi DSSC menggunakan pigmen alami yaitu senyawa brazilin yang diperoleh dari ekstrak kayu secang (*Caesalpinia sappan Linn*). Kayu secang merupakan jenis tanaman yang dimanfaatkan sebagai tanaman obat dan sebagai pewarna karena memiliki senyawa brazilin yang dapat menghasilkan warna merah. Brazilin (C₁₆H₁₄O₅) merupakan senyawa yang dijadikan pewarna alami pada makanan, tekstil dan lain sebagainya. Senyawa ini memiliki gugus fungsi O-H, C-O, C=C, dan CH (Gambar 1).



Gambar 1. Struktur Brazilin (Tumpat, 2014)

Pemilihan brazilin dari kayu secang sebagai sensitizer pada DSSC dalam penelitian ini dikarenakan termasuk tanaman endemik Kalimantan Barat, serta mudah diperoleh. Brazilin memiliki daya serap pada panjang gelombang sinar tampak dengan rentang 328-515 nm (Landuma *et al.*, 2015). Brazilin terlebih dahulu dikomplekskan dengan logam Cu, Mg dan Zn. Brazilin yang memiliki lebih dari satu gugus hidroksil dapat berperan sebagai ligan untuk membentuk kompleks logam Cu-brazilin, Mg-brazilin dan Zn-brazilin. Adapun parameter yang diuji antara lain pengaruh intensitas sinar terhadap arus, tegangan, dan randemen konversi energi maksimum dari DSSC yang difabrikasi.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat alat gelas standar, corong pisah, desikator, tanur, oven, evaporator, *hotplate*, magnetik stirer, mortar, alu, multimeter *scientific* 6,5 digit (Agilent 34461 A), neraca analitik, oven, lampu halogen 500 watt/m², spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1280), FTIR (Perkin Elmer Frountier).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu secang, akuades, akua DM. Reagen dan bahan kimia seperti aseton, asetonitril, etanol, gliserol, I₂ (iodine), KI (kalium iodida), polietilen glikol (PEG), karbon *mesoporous*, serbuk TiO₂ anatase, CuCl₂·2H₂O, MgCl₂·5H₂O, ZnCl₂·4H₂O, triton-x dari MERCK. Kaca TCO dari Solems.

Ekstraksi dan Isolasi Pigmen Brazilin dari Kayu Secang

Kayu secang kering dihaluskan dan dimaserasi dengan metanol selama 24 jam. Campuran kemudian disaring menggunakan kertas saring. Filtrat dipartisi dengan pelarut n-heksana, kemudian lapisan metanol dievaporasi hingga diperoleh ekstrak kental. Filtrat dievaporasi hingga diperoleh ekstrak kental. Ekstrak dikeringkan dengan gas N₂, selanjutnya disimpan dalam botol gelap. Ekstrak kayu secang dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR.

Sintesis Kompleks Brazilin

Sintesis kompleks logam-brazilin dilakukan dengan mengadopsi metode Zebib *et al.*, (2010). Zink klorida (ZnCl₂·4H₂O) dicampurkan dengan brazilin di dalam mortar hingga homogen. Kemudian tambahkan larutan air dan gliserol (1:1v/v) kedalam campuran tersebut, di *shaker* pada suhu 25 °C hingga terbentuk bubur. Selanjutnya dikeringkan pada temperatur 60 °C. Kompleks untuk logam Cu dan Mg dilakukan dengan cara yang sama, dengan sumber logam yang digunakan yaitu tembaga klorida (CuCl₂·2H₂O), Magnesium klorida (MgCl₂·5H₂O). Hasil kompleks brazilin dikarakterisasi menggunakan UV-Vis dan FTIR.

Fabrikasi Dye dan DSSC

Preparasi Anoda Titanium Oksida (TiO₂)

Preparasi anoda dilakukan dengan memodifikasi metode Diana *et al.* (2013). Sebanyak 30 mL etanol ditambahkan 3.15 g bubuk TiO₂ anatase, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 40 °C. Campuran tersebut ditambahkan 16 tetes triton-x dan 12 tetes asetonitril sambil terus diaduk hingga terbentuk pasta.

Preparasi Katoda Karbon

Preparasi katoda karbon dilakukan dengan memodifikasi metode Rahmalia (2016). Sumber karbon yang digunakan adalah karbon *mesoporous*. Sebanyak 640 mg karbon ditambahkan dengan 1 mL pasta anoda, 2 mL akua DM, dan 10 tetes triton-X. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 24 jam, hingga terbentuk pasta, dilanjutkan dengan 6 jam sonikasi.

Preparasi Larutan Elektrolit

Preparasi larutan elektrolit dilakukan dengan metode Diana *et al.*, (2013) yaitu ditimbang 0.84 gram kalium iodida (KI) dicampurkan ke dalam 10 mL asetonitril, kemudian diaduk. Ditambahkan 0.127 gram iodin (I₂) kedalam larutan tersebut dan diaduk. Larutan yang telah siap disimpan didalam botol tertutup.

Perakitan DSSC

Perakitan DSSC dilakukan dengan merujuk pada metode Damiyanti *et al.*, (2014). Langkah pertama adalah kaca TCO di bersihkan terlebih dahulu dengan etanol. Kaca TCO yang berukuran 2.5 x 1.25 cm dibentuk area tempat TiO₂ dideposisikan dengan bantuan selotip pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 x 1 cm. Pasta TiO₂ dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan selama kurang lebih 15 menit dan di *furnace* pada temperatur sekitar 450 °C selama 30 menit. Lapisan TiO₂ kemudian direndam dalam larutan zat warna selama 24 jam. Kemudian lapisan TiO₂ yang telah direndam dalam zat warna dibilas pertama kali dengan aquades lalu dengan etanol dan dikeringkan dengan kertas tisu. Kemudian elektrolit gel polimer ditetaskan diatas permukaan TiO₂ lalu ditutup dengan elektroda lawan sehingga membentuk

struktur *sandwich*. Kemudian agar struktur selnya mantap dijepit dengan klip pada kedua sisi.

Karakterisasi Efisiensi DSSC

Karakterisasi efisiensi DSSC dilakukan dengan variasi intensitas (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 dan 400 watt/m²). Sumber sinar yang digunakan adalah lampu halogen 500 watt yang dilengkapi dengan dimer untuk mengatur intensitas. Parameter yang diukur adalah tegangan dan arus yang terekam pada multimeter.

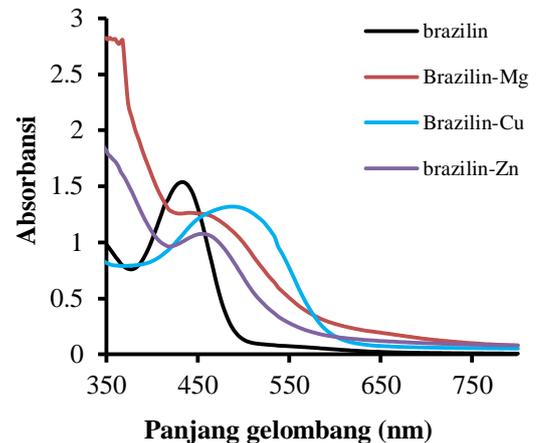
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Brazilin dan Kompleks Logam-Brazilin

Gambar 2 menunjukkan bahwa spektrum ekstrak kayu secang hasil isolasi dalam penelitian ini memiliki serapan yang kuat pada panjang gelombang 400-500 nm dengan panjang gelombang maksimum pada 435 nm. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wongsooksin *et al.*, (2008) dengan panjang gelombang brazilin yang diperoleh menunjukkan bahwa karakteristik untuk zat warna merah brazilin. Adanya pengompleksan brazilin pada logam menyebabkan terjadinya pergeseran batokromik pada spektrum dari brazilin. Hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara logam dengan brazilin. Logam Cu, Mg, dan Zn merupakan logam transisi yang dapat membentuk kompleks anorganik memperlihatkan penyerapan yang melebar dengan ditandai adanya faktor lingkungan serta kekuatan oksidasi dari logam-logam tersebut. Sehingga, dapat dilihat pada Gambar 2, bahwa kompleks brazilin-Cu memiliki pergeseran yang lebih besar dari pada brazilin-Mg dan brazilin-Zn. Pergeseran batokromik terjadi pada kompleks logam-brazilin karena pada logam memiliki sepasang elektron untuk pendonor atom O pada brazilin. Pergeseran Batokromik; merupakan pergeseran absorban ke daerah panjang gelombang yang lebih panjang karena adanya substitusi atau efek pelarut. Jenis logam yang terikat pada brazilin mempengaruhi karakteristik serapan UV-Vis.

Gambar 2 juga menunjukkan energi transisi Cu-brazilin lebih rendah dibandingkan dengan Zn-brazilin, Mg-brazilin dan brazilin murni sehingga semakin kecil pula energi yang dibutuhkan oleh Cu-brazilin untuk mengeksitasikan elektronnya. Sedangkan

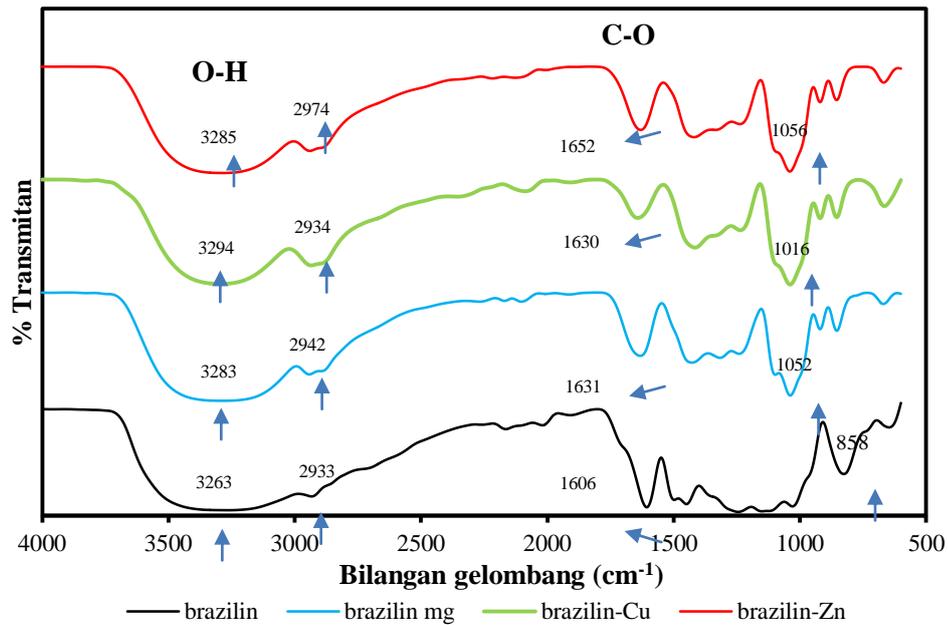
rendahnya efisiensi DSSC yang menggunakan Mg-brazilin dan Zn-brazilin kemungkinan disebabkan karena rendahnya nilai absorptivitas molar kompleks tersebut dibandingkan dengan brazilin murni. Gambar 1 menunjukkan pada konsentrasi yang sama, Zn-brazilin dan Mg-brazilin memiliki absorbansi yang lebih kecil daripada brazilin murni.



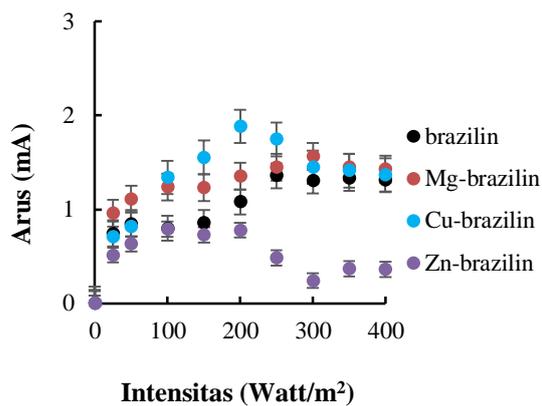
Gambar 2. Hasil uji UV-Vis hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi pada brazilin, Mg-brazilin, Cu-brazilin dan Zn-brazilin

Hasil analisis FTIR (Gambar 3) pada brazilin menunjukkan adanya puncak serapan pada 3263 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus -OH, 1606 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C=O, 1449 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C-H, 1029 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C-O, 825 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C=C. Sedangkan pada kompleks logam-brazilin menunjukkan adanya pergeseran puncak pada bilangan gelombang identik untuk gugus -OH yang dibandingkan dengan brazilin murni. Adapun kompleks Mg-brazilin, Cu-brazilin, dan Zn-brazilin masing-masing memiliki serapan pada 3283 cm⁻¹, 3294 cm⁻¹ dan 3285 cm⁻¹.

Senyawa kompleks logam-brazilin memiliki puncak serapan -OH dan C=O yang lebih rendah dibandingkan dengan brazilin murni. Hal ini sesuai dengan penelitian Zebib *et al.* (2010) bahwa terbentuknya kompleks logam dengan senyawa organik dapat dilihat dari menurunnya intensitas gugus hidroksil (O-H) dan gugus karbonil (C=O) dibanding senyawa organik murninya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa brazilin telah berinteraksi dengan logam Mg, Cu dan Zn dan terikat pada -OH dan C=O dari brazilin.



Gambar 3. Hasil uji FTIR hubungan antara bilangan gelombang dan % transmittan pada brazilin, Mg-brazilin, Cu-brazilin, dan Zn-brazilin



Gambar 4. Kurva hubungan arus terhadap intensitas pada brazilin, Mg-brazilin, Cu-brazilin, Zn-brazilin

Ikatan antara logam-logam tersebut dengan brazilin teridentifikasi juga pada daerah sidik jari antara 1800 cm^{-1} ke 600 cm^{-1} . Ikatan-ikatan tersebut dapat terjadi baik pada pori-pori maupun pada permukaan brazilin.

Fabrikasi Dye Sensitizer Solar Cell

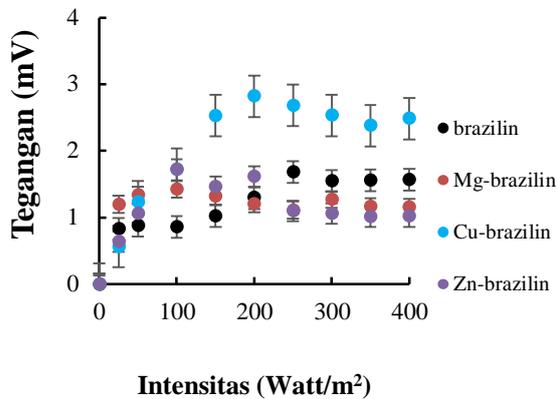
DSSC memiliki lima komponen penting dalam proses pembuatannya. Rangkaian 4 buah sel yang telah dibuat, dilakukan pengukuran arus (I) dan tegangan (V) ketika diberikan pancaran sinar dengan intensitas yang berbeda. Hasil yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi daya (P) dan

randemen konversi energi maksimum (% η). Hasil dari pengukuran arus dengan dye brazilin dan brazilin terkompleks logam adalah sebagai berikut.

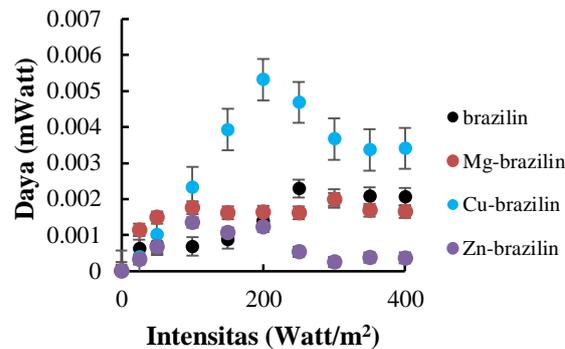
Gambar 4 dan 5 menunjukkan perbedaan arus dan tegangan yang dihasilkan disetiap DSSC yang menggunakan sensitizer brazilin, Mg-brazilin, Cu-brazilin, dan Zn-brazilin. Secara umum, hingga intensitas 200 W/m^2 , semakin tinggi intensitas sinar yang diberikan, semakin tinggi pula nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC. DSSC yang menggunakan Cu-brazilin menghasilkan arus dan tegangan paling tinggi dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan sensitizer lain. Hal ini disebabkan karena kemampuan serapan Cu-brazilin yang lebih besar dibandingkan dengan brazilin, Mg-brazilin serta Zn-brazilin, diindikasikan dari lebar puncak serapan UV-Vis yang disajikan pada Gambar 1.

Oleh karena sumber sinar yang dipancarkan pada sel bersifat polikromatik, semakin lebar spektra UV-Vis dari sensitizer mengindikasikan semakin banyak sinar yang dapat ditangkap oleh sel. Hasil tersebut bersesuaian pula dengan penelitian Agustini *et al.*, (2013) dan Damayanti *et al.*, (2014) yang melaporkan bahwa kerapatan arus yang dihasilkan DSSC menunjukkan kemampuan pewarna dalam mengumpulkan foton dan semakin baik performansi pewarna, akan

semakin banyak foton yang dikumpulkan sehingga arus dan tegangan yang dihasilkan semakin besar.



Gambar 5. Kurva hubungan tegangan terhadap intensitas pada brazilin, Mg-brazilin, Cu-brazilin, Zn-brazilin



Gambar 6. Kurva hubungan daya terhadap intensitas pada brazilin, Mg-brazilin, Cu-brazilin, Zn-brazilin

Ketika diberikan intensitas cahaya yang lebih besar, terjadi penurunan nilai arus yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena peningkatan intensitas cahaya diiringi dengan peningkatan temperatur. Temperatur akan mengakibatkan perubahan pada resistansi suatu benda, dimana semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula resistansi benda tersebut, hal ini akan menyebabkan menurunnya besar arus dan tegangan yang dikeluarkan oleh solar sel akibat dari resistansi yang semakin besar (Taqwa dan Dwiyanoro, 2015).

Kurva hubungan daya terhadap intensitas diperoleh dari perkalian arus dan tegangan. Nilai daya yang dihasilkan paling tinggi yaitu pada sel surya tersensitasi Cu-brazilin dengan intensitas sinar optimum adalah 200 watt/m². Hasil efisiensi DSSC yang menggunakan brazilin, brazilin-Cu, brazilin-

Mg, dan brazilin-Zn berturut-turut yaitu sebesar 0.029 %, 0.034%, 0.030% dan 0.013%.

4. SIMPULAN

Brazilin dapat berperan sebagai sensitizer pada DSSC. Pengompleksan terbukti dapat meningkatkan kemampuan brazilin dalam menangkap cahaya tampak, sehingga meningkatkan efisiensi DSSC. DSSC yang menggunakan Cu-Brazilin menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi (0.034%) daripada DSSC yang menggunakan Mg-brazilin (0.030%), Zn-brazilin (0.013) dan brazilin murni (0.029%).

DAFTAR PUSTAKA

- Arjunan, Senth. 2013. Review: Dye sensitised solar cells. *MaterialsTechnology*: 28(1-2).
- Cortez, Vital, Margulis, Mejia. 2016. Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications. Institute of Food Technologists.
- Damayanti, Hardeli, Sanjaya. 2014. Preparasi dye sensitized solar cell (DSSC) menggunakan ekstrak antosianin ubi jalar ungu (*Ipomoeabatatas L.*). *Jurnal Sainstek*. VI(2): 148-157.
- Diana, Aziz, Alif. 2013. Kestabilan sel surya dengan fotosensitizer ekstrak zat warna kulit jengkol (*Pithecellobium lobatum Benth.*). *Jurnal Kimia Unand*. 2(3): 2303-3401.
- Fardhyanti, Riski. 2015. Pemungutan brazilin dari kayu secang (*Caesalpinia sappan L*) dengan metode maserasi dan aplikasinya untuk pewarnaan kain. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 1(15): 216-225.
- Hadary F, Rahmalia W, Wahyuni N. 2012. Enhanced performance of bixin-sensitized TiO₂ solar cells with activated kaolinite. *International Journal Of Engineering Research And Innovation*. 4(1) : 7-12.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. Indonesia Energy Outlook2013[Online]. Available:<http://www.esdm.go.id/publikasi/indonesiaenergyoutlook.html>
- Landuma, Haryanto, Purwanto. 2014. Application Of Sappan Wood (*Caesalpinia Sappan Linn*) as Sensitizer for Dye-sensitized Solar

- Cell (DSSC): AIPConference Proceedings 1586. 109.
- Maulina, Hardeli, Bahrizal. 2014. Preparasi *Dye Sensitized Solar Cel* Menggunakan Ekstrak Antosianin Kulit Buah Manggis (*GarciniaMangostana* L). *Jurnal Sainstek*. VI (2): 158-167.
- Ohama, Tumpat. 2014. Textile Dyeing with Natural Dye from Sappan Tree (*Caesalpinia sappan* Linn.) Extract. *International Journal of Fashion andTextile Engineering*. 8(5): 432-434.
- Patle, Chaudhari. 2016. Performance of DSSC with Cu Doped TiO₂ Electrode Prepared by Dip Coating Technique. *International Journal of Scientific &Engineering Research*. 7(8).
- Pebriningtyas, Musyafa, Indriawati. 2013. Penelusuran daya maksimum pada panel *photovoltaic* menggunakan kontrol logika fuzzy di kota Surabaya. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(1).
- Rahmalia W. 2016. Parameter de Performance dePhto-electrodes de TiO₂/Kaolinit et d'electrolites a base de Carbonates Biosources dans la Cellule Solaire Sensibilisee par la Bixin. Thesis. Institute National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse).
- Sitompul, Rislina. 2011. *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukanyang Tepat Untuk Aplikasi di Masyarakat Pedesaan*. Jakarta : PNPM Support Facility (PSF). 45-75, 175-255.
- Taqwa KZ, Dwiyanoro. 2015. Studi eksperimental pengaruh intensitas cahaya terhadap performa DSSC (*dye sensitized solar cell*) dengan ekstrak buah dan sayur sebagai dye sensitizer. *Jurnal Teknik ITS*. 4(1): 2337-3539.
- Zebib, Mouloungui, Noirot. 2010. Stabilization of Curcumin by Complexation with Divalent Cations in Glycerol/Water System, Research Article Hindawi Publishing Corporation Bioinorganic Chemistry and Applications. doi:10.1155/2010/292760.