

## PENGARUH PERUBAHAN INTENSITAS CAHAYA HALOGEN RUTHENIUM (N719) FOTOSENSITIZER DALAM DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

EFFECT OF PHOTOSENSITIZER HALOGEN RUTHENIUM (N719) LIGHT INTENSITY VARIATION IN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Hardani<sup>1,a</sup>, Hendra Darmaja<sup>2,b</sup>, Muh. Iman Darmawan<sup>2,c</sup>, Cari<sup>2,d</sup>, dan Agus Supriyanto<sup>2,e</sup>

<sup>1</sup>D3 Farmasi, Politeknik Medica Farma Husada Mataram  
Jl. Medica Farma No. 1, Lingkungan Batu Ringgit, Sekarbela, Mataram, Indonesia

<sup>2</sup>S2 Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta  
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta 57126, Indonesia

e-mail: <sup>a</sup>danylchild07@gmail.com, <sup>b</sup>hendradarmaja@gmail.com, <sup>c</sup>darmawan240290@gmail.com,  
<sup>d</sup>cariln@yahoo.com, <sup>e</sup>agusf22@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk mempelajari dan memahami proses pembuatan sel surya berbasis Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) menggunakan Ruthenium (N719). Lapisan fotoelektroda TiO<sub>2</sub> menggunakan pasta TiO<sub>2</sub> ukuran 21 nm yang dideposisi menggunakan teknik spin coating dan pewarna N719 sebagai dye sensitizer. Counter elektroda Platina dideposisi menggunakan teknik sputtering. Parameter proses yang mempengaruhi karakteristik listrik sel surya dianalisa dan diukur. Karakteristik kurva I-V sel surya diukur menggunakan Kethely dengan variasi intensitas yaitu 100 Watt/m<sup>2</sup>, 250 Watt/m<sup>2</sup>, 500 Watt/m<sup>2</sup>, 750 Watt/m<sup>2</sup> dan 1000 Watt/m<sup>2</sup>. Prototipe sel yang terbaik menghasilkan efisiensi sebesar 0,15%. Uji absorbansi menggunakan Spectrophotometer UV Visible 1601 PC dan uji sifat kelistrikan menggunakan Elkahfi 100/Meter I-V. Hasil menunjukkan bahwa pewarna organik sintesis ruthenium (N719) memiliki absorbansi yang kuat pada panjang gelombang 400-550 nm ini menjadikan dye ruthenium (N719) perlu untuk di selidiki sebagai bahan fotosensitizer DSSC.

**Kata kunci:** Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), fotosensitizer, N719, absorbansi, konduktivitas

### Abstract

This research is the beginning research to study and understand the manufacturing process of Dye sensitized Solar Cell (DSSC) based solar cells by using Ruthenium (N719). Photoelectrode TiO<sub>2</sub> layer used TiO<sub>2</sub> paste in size of 21 nm that was deposited by using a spin coating technique and N719 dye as the dye sensitizer. Platinum counter electrode deposited by using sputtering techniques. The process parameters that affect the electrical characteristics of the solar cells is analyzed and measured. I-V characteristic curve of the solar cell was measured by using Kethely with variations in intensity of 100 Watts / m<sup>2</sup>, 250 Watt / m<sup>2</sup>, 500 Watt / m<sup>2</sup>, 750 Watt / m<sup>2</sup> and 1000 Watt / m<sup>2</sup>. The prototype cells produce the best efficiency of 0.15%. Test absorbance used Visible Spectrophotometer UV 1601 PC and the electrical properties testing used Elkahfi 100 / Meter I-V. The results showed that the synthetic organic dyes ruthenium (N719) has a strong absorbance at a wavelength of 400-550 nm makes ruthenium dye (N719) needs to be investigated as a photosensitizer DSSC.

**Keywords:** Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), Photosensitizer, N719, Absorbance, Conductivity

Copyright © 2016 Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)

## I. PENDAHULUAN

Sejak ditemukannya sel surya berbasis dye-sensitized (Dye sensitized solar cell, DSSC) [1], DSSC telah menjadi penelitian sel surya yang sangat menarik para peneliti dan ilmuwan

di dunia bahkan di Indonesia. Hal ini dikarenakan teknologi fabrikasi yang sederhana, biaya produksi yang murah, dan ramah lingkungan.

Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah sel surya (*photovoltaic/solar cell*) yang mampu mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik [2]. DSSC berbeda dengan sel surya komersial berbasis silikon, dimana pada sel surya DSSC ini terjadi pemisahan antara fungsi penyerapan cahaya dengan transport pembawa muatannya [3]. DSSC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sel surya komersial berbasis silikon diantaranya murah, pembuatannya mudah, serta memiliki efisiensi tinggi walau pada intensitas cahaya yang kurang. Komponen-komponen didalam DSSC pada umumnya terdiri dari elektroda kerja berupa elektroda foto-anoda dari bahan semikonduktor (misalkan:  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ ), *dye* sebagai *sensitizer* yang menyerap cahaya matahari, pasangan redox berupa triiodide/iodide, dan counter elektroda berbahan Platina (Pt).

Sedangkan kelemahan dari sel surya berbasis silikon tidak hanya harganya yang mahal, juga spektrum penyerapan terlalu sempit. Diketahui distribusi energi dari sinar matahari terdiri sekitar 4% ultraviolet dan cahaya tampak 96%. Spektrum utama penyerapan sel surya silikon adalah ultraviolet dan ungu. Ini menunjukkan sel surya silikon tidak dapat menggunakan hampir 96% energi dari cahaya matahari. Upaya untuk memperluas spektrum serapan dari daerah ultraviolet hingga wilayah cahaya tampak sekarang diaplikasikan sebagai Dye Sensitized Solar Cell, dimana pewarna dapat membantu DSSC untuk memperluas spektrum penyerapan.

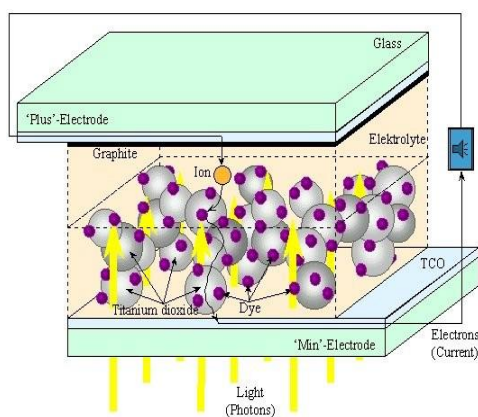
Kesulitan teknis pengembangan DSSC untuk memperpanjang masa pakai DSSC dan meningkatkan penyerapan kuantitas cahaya matahari, karena pewarna organik dengan mudah akan busuk. Semua pertanyaan untuk *dye* adalah sangat menarik dan layak untuk dipelajari. Penelitian ini menyajikan beberapa data eksperimen dari bahan organik sintesis yaitu ruthenium (N719) yang dapat digunakan sebagai bahan *sensitizer*. Analisis bahan dilakukan pada sifat optik dan listrik bahan

organik sintesis dari ruthenium (N719). Hasil ekstrak dari bahan organik sintesis yang digunakan dalam penelitian menunjukkan absorbansi kisaran 400-550 nm. Metode yang umum digunakan untuk pendeposisian  $\text{TiO}_2$  adalah dengan melapiskan pasta nanopartikel  $\text{TiO}_2$  di atas gelas transparan konduktif (gelas FTO) menggunakan metode *doctor blade/slip casting*. Namun, metode ini memiliki kelemahan, sulit mendapatkan film dengan ketebalan yang konsisten. Pada penelitian ini menggunakan metode *spin coating*, dengan metode ini terbukti menghasilkan film dengan ketebalan terkontrol dan memiliki homogenitas tinggi serta proses yang simpel. Ketebalan film yang terkontrol memungkinkan untuk mendapatkan film dengan pengulangan yang konsisten. Untuk mendapatkan DSSC dengan efisiensi tinggi ketebalan film pada elektroda foto-anoda  $\text{TiO}_2$  yang optimum karena ketebalan film ini mempengaruhi proses penyerapan cahaya (*light absorption*).

Pada dasarnya prinsip kerja DSSC mengkonversi energi cahaya ke listrik dalam skala molekular dalam bentuk reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada *dye* akibat absorpsi foton. Dimana ini merupakan salah satu peran dari sifat  $\text{TiO}_2$ . Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh *dye* yang melekat pada permukaan  $\text{TiO}_2$  [4]. Sehingga *dye* mendapatkan energi untuk tereksitasi. *Dye* tereksitasi membawa energi dan diinjeksikan ke pita konduksi pada  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  berperan sebagai akseptor atau kolektor elektron [5]. Molekul *dye* yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi. Selanjutnya elektron akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda pembanding (elektroda yang mengandung lapisan platina). Elektrolit (pasangan iodide dan triiodide) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Ion Triiodide menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul platina sebagai katalis. Elektron yang tereksitasi masuk kembali ke dalam sel dan dibantu oleh platina sehingga dapat bereaksi

dengan elektrolit yang menyebabkan penambahan ion iodide pada elektron. Kemudian satu ion iodide pada elektrolit mengantarkan elektron yang membawa energi menuju *dye* teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul *dye* teroksidasi. Sehingga *dye* kembali ke keadaan awal [6].

Secara umum, Gambar 1 menunjukkan DSSC terdiri dari *dye-sensitized* yang terbuat dari bahan organik, lapisan TiO<sub>2</sub> nanokristal, larutan elektrolit yang mengandung pasangan redoks I<sup>-</sup>/I<sup>3-</sup> dan substrat kaca FTO sebagai elektoda kerja. Faktor luar area dan ketebalan lapisan semikonduktor yang mengatur peningkatan beban *dye*, kemudian kerapatan optis yang menghasilkan efisiensi penyerapan cahaya [7]. Kerapatan optis menyatakan ukuran transmisi suatu elemen optik dengan panjang gelombang tertentu. Jika dihubungkan dengan pemberian radiasi pada suatu objek, maka kerapatan optisnya merupakan perbandingan antara intensitas awal dan intensitas transmisi.



Gambar 1. Skema DSSC

DSSC berbentuk struktur *sandwich*, dimana dua elektroda yaitu elektroda TiO<sub>2</sub> dengan *dye* dan elektroda pembanding yang terbuat dari kaca FTO dilapisi platina yang mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia. Elektroda pembanding terbuat dari kaca FTO yang dilapisi dengan platina karena memiliki konduktivitas yang cukup dan resistansi panas dan aktivitas elektrokatalitik dari reduksi triiodide.

TiO<sub>2</sub> adalah material fotokatalis yang memiliki daya oksidasi yang kuat, photostabilitas yang tinggi dan selektivitas redoks [8]. Syarat penting untuk meningkatkan aktivitas katalis dari TiO<sub>2</sub> adalah meningkatkan luas permukaan dari TiO<sub>2</sub> yang bergantung pada ukuran kristalnya.

Sifat fisis dan kimia dari TiO<sub>2</sub> bergantung pada ukuran, morfologi dan struktur kristalnya. TiO<sub>2</sub> memiliki tiga bentuk kristal yaitu anatase, rutil, dan brookite. Kristal TiO<sub>2</sub> fase anatase memiliki kemampuan yang lebih aktif daripada rutil. Anatase dianggap sebagai fase yang paling menguntungkan untuk fotokatalisis dan konversi solar energi. TiO<sub>2</sub> hanya mampu menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra TiO<sub>2</sub> di daerah tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai *sensitizer* [9].

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari *dye* ruthenium (N719) dengan berbagai variasi intensitas terhadap peningkatan efisiensi sel surya berbasis DSSC. Ekstraksi diuraikan pada sub bagian berikut.

### Ekstraksi Dye Ruthenium

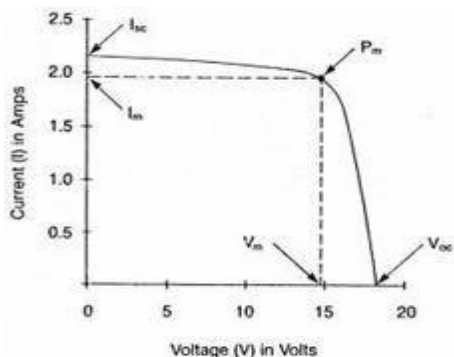
Bahan-bahan yang hendak diekstraksi dibersihkan dengan air, kemudian sebanyak 10 mg ruthenium dicampur 50 ml *etanol* diaduk selama 30 menit 200 rpm menggunakan *vortex stirrer* pada suhu kamar. Setelah diaduk kemudian didiamkan selama 24 jam, kemudian simpan larutan dalam wadah tertutup dan terlindung dari sinar matahari.

### Analisis Penyerapan

Kandungan tiap-tiap bahan hasil ekstraksi dianalisa menggunakan *Spectrofotometer UV Visible shimadzu 1601 PC* untuk menentukan sifat absorbansi bahan. Rentang panjang gelombang analisis penyerapan spektrum di cahaya tampak 300 –800 nm.

**Konduktivitas bahan**

Sifat kelistrikan dapat diukur dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter dengan variable beban. Pengukuran *fill factor* (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ) solar energi menurut persamaan (1), berdasarkan gravik *I-V* seperti ditunjukkan Gambar 2



Gambar 2. Grafik *I-V* pada photovoltaic yang bekerja secara normal

$$FF = \frac{I_{max}V_{max}}{I_{sc}V_{oc}} \tag{1}$$

Keterangan:

*FF* = *fill factor*

*I max* = arus maksimum

*V max* = tegangan maksimum

*Isc* = arus yang dihasilkan pada keadaan *short circuit*

*V oc* = tegangan input

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{I_{max}V_{max}}{P_{in}} \times 100\% \tag{2}$$

Pengukuran konduktivitas menggunakan *Elkahfi 100/IV-Meter* dilakukan dalam keadaan gelap dengan menutup semua bagian wadah menggunakan aluminium foil dan di bawah penyinaran menggunakan sumber cahaya lampu halogen 100 mW/cm<sup>2</sup> dan energi intensitas 680,3 W/m<sup>2</sup>. Lampu halogen digunakan karena memiliki spektrum penuh yang mirip cahaya tampak dengan sinar matahari. Dari hasil pengukuran *I-V* kemudian ditentukan konduktivitas ( $\sigma$ ) bahan. Untuk menentukan konduktivitas larutan organik

dapat menggunakan persamaan (3) dan (4).

$$\rho = \frac{RA}{l} \tag{3}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA} \tag{4}$$

Dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas (ohm<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>), *R* adalah resistansi (Ohm), *l* adalah jarak antara dua elektroda (m) dan *A* adalah penampang permukaan daerah elektroda (m<sup>2</sup>).

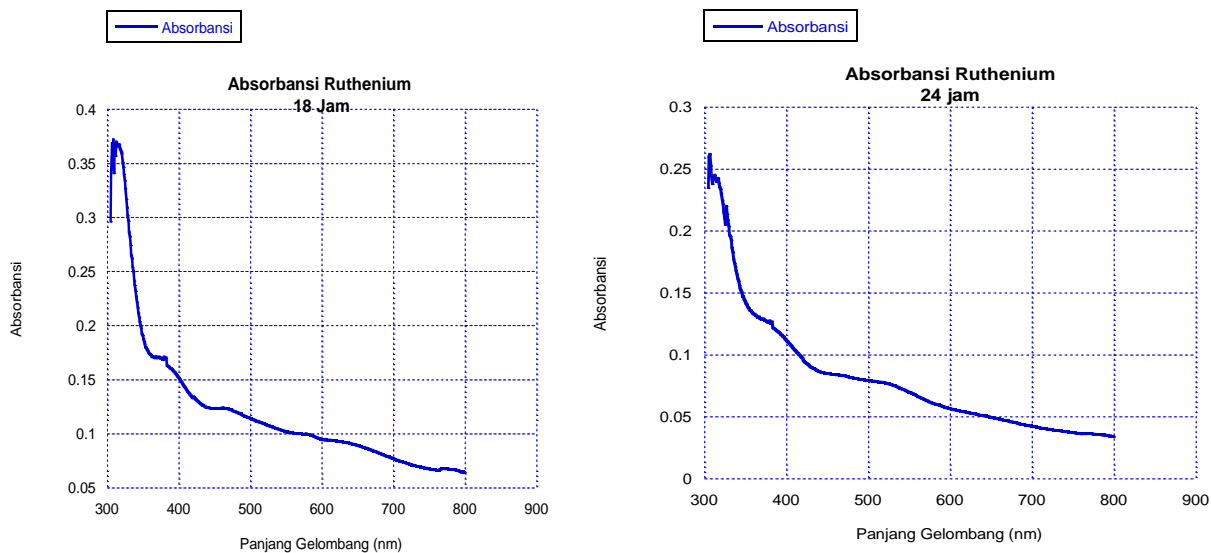
**III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI**

Penelitian menggunakan bahan organik sintesis ruthenium (N719) diekstrak menggunakan *etanol* dengan perbandingan tetap 10 mg *dye* ruthenium dalam 50 ml pelarut. Kemudian diuji absorbansi menggunakan *Spectrofotometer UV Visible shimadzu 1601 PC* dan pengukuran Arus-Tegangan menggunakan *I-V* meter/elkahfi 100 dari *I-V* untuk mengetahui nilai konduktivitas *dye*.

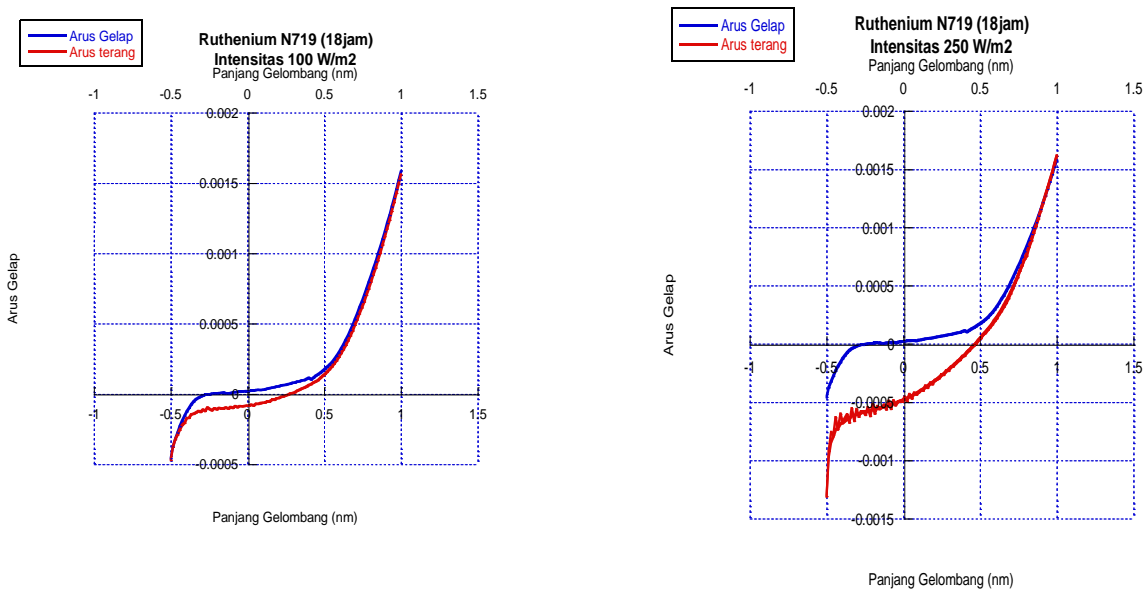
Dari gambar 3 menunjukkan bahwa kurva absorbansi dari *dye* ruthenium (N719) dengan variasi perendaman dan menghasilkan absorbansi yang berbeda. Hal ini menunjukkan spektrum pewarna diekstrak dari bahan organik sintesis memiliki spektrum penyerapan yang berkisar 300 – 580 nm.

Untuk pengujian karakteristik DSSC dari *dye* Ruthenium dengan perendaman 24 jam menggunakan *Kethley* dapat ditunjukkan pada gambar 5. Dari gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan bahwa karakteristik dari sel *dye* ruthenium yang di rendam selama 24 jam lebih bagus dibandingkan sel *dye* ruthenium 18 jam. Secara otomatis tingkat efisiensi *dye* ruthenium sangat baik. Untuk lebih jelasnya spesifikasi DSSC dapat dilihat pada Tabel 1.

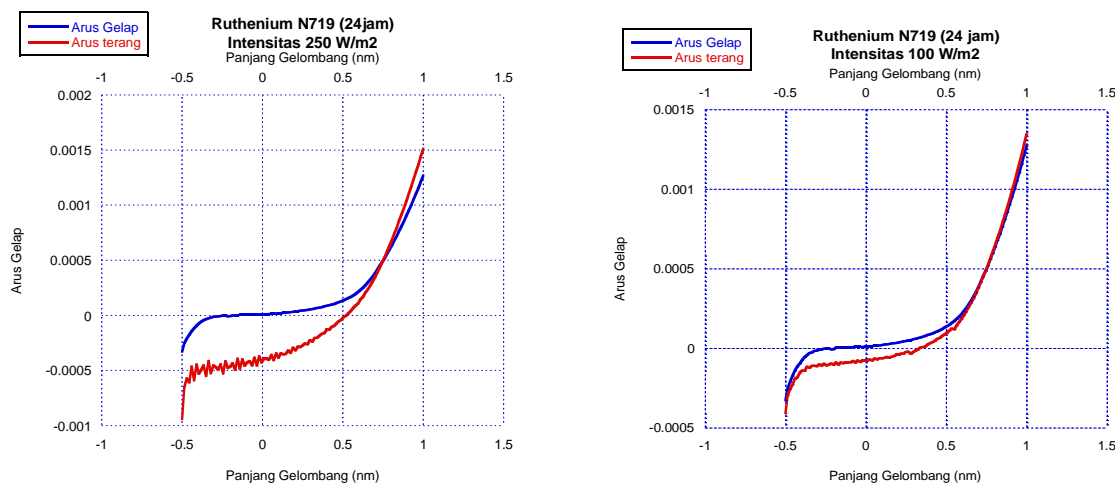
Dari tabel dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi dihasilkan oleh *dye* ruthenium yang direndam selama 24 jam dengan intensitas 250 W/ m<sup>2</sup> dengan efisiensi sebesar 0,13%.



Gambar 3 Absorbansi *dye* ruthenium (N719) menggunakan *Spectrofotometer UV Visible shimadzu 1601 PC*



Gambar 4 Pengujian karakteristik DSSC dari *dye* ruthenium dengan perendaman 18 jam menggunakan Kethley



Gambar 5 Pengujian karakteristik DSSC dari dye ruthenium dengan perendaman 24 jam menggunakan Kethley

Tabel 1 Spesifikasi Dye Ruthenium (N719) selama 18 jam

Intensitas Penyinaran (W/m <sup>2</sup> )	Voc (mV)	Isc (mA)	Vmax (mV)	Imax (mA)	Fill Factor	Efisiensi
100	0,28	8,4 x 10 <sup>-5</sup>	0,145	5,24 x 10 <sup>-5</sup>	2,28 x 10 <sup>-9</sup>	0,034%
250	0,47	4,58 x 10 <sup>-4</sup>	0,26	2,6 x 10 <sup>-4</sup>	6,8 x 10 <sup>-8</sup>	0,125%
500	0,19	3,25 x 10 <sup>-4</sup>	0,07	1,9 x 10 <sup>-4</sup>	2,29 x 10 <sup>-8</sup>	0,012%
750	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-

Tabel 2 Spesifikasi Dye Ruthenium (N719) selama 24 jam

Intensitas Penyinaran (W/m <sup>2</sup> )	Voc (mV)	Isc (mA)	Vmax (mV)	Imax (mA)	Fill Factor	Efisiensi
100	0,34	7,9 x 10 <sup>-5</sup>	0,28	3,7 x 10 <sup>-5</sup>	2,4 x 10 <sup>-5</sup>	0,046%
250	0,53	3,9 x 10 <sup>-4</sup>	0,31	2,3 x 10 <sup>-4</sup>	5,38 x 10 <sup>-8</sup>	0,13%
500	0,31	5,6 x 10 <sup>-4</sup>	0,16	2,9 x 10 <sup>-4</sup>	8,3 x 10 <sup>-8</sup>	0,04%
750	0,28	3,9 x 10 <sup>-4</sup>	0,23	9,8 x 10 <sup>-5</sup>	3,3 x 10 <sup>-8</sup>	0,014%
1000	-	-	-	-	-	-

#### IV. KESIMPULAN

Pengukuran dan analisis penyerapan spektrum dari *dye* ruthenium (N719) telah dilakukan dengan perbandingan massa bahan dan volume pelarut dijaga tetap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pewarna diekstrak dari bahan alam tersebut memiliki spektrum penyerapan di panjang gelombang antara 300-580 nm.

Hasil pengukuran absorbansi dari *dye* ruthenium (N719) yang direndam selama 18 jam dan 24 jam memiliki tingkat penyerapan yang berbeda. Hal ini menjadikan bahan organik sintesis perlu untuk di selidiki sebagai bahan *sensitizer* DSSC.

Efisiensi yang tertinggi dihasilkan oleh *dye* ruthenium yang direndam selama 24 jam yaitu sebesar 0,13% sedangkan *dye* ruthenium yang direndam selama 18 jam sebesar 0,125%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada pengelola Laboratorium MIPA UNS Surakarta dan dukungan dari LPPM hibah pasca UNS Surakarta dengan No. 301A/UN27/PN/2014.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Reagen BO dan Gratzel M. A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> Films. *Nature*. 1991; 353(6346): 737-740. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/353737a0>

[2] Ito S, et al. Photovoltaic characterization of dye-sensitized solar cells: Effect of device masking on conversion efficiency. *Prog.*

*Photovoltaics Res. Appl.* 2006; 14(7): 589-601. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pip.683>

[3] YM Xiao, et al. Low temperature fabrication of high performance and transparent Pt counter electrodes for use in flexible dye-sensitized solar cells. *Chinese Sci. Bull.* 2012; 57(18): 2329–2334. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5110-6>

[4] Hagfeldt A, et al. Verification of high efficiencies for the gratzel-cell - a 7-percent efficient solar-cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* 1994; 31(4): 481–488.

[5] Ma T, Akiyama M, Abe E, dan Imai I. High-efficiency dye-sensitized solar cell based on a nitrogen-doped nanostructured titania electrode. *Nano Lett.* 2005; 5(12): 2543-2547. DOI: <https://doi.org/10.1021/nl051885l>

[6] TH Meen, et al. Applications of vertically oriented TiO<sub>2</sub> micro-pillars array on the electrode of dye-sensitized solar cell. *J. Phys. Chem. Solids.* 2011; 72(6): 653–656. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2011.02.008>

[7] Kalyanasundaram K dan Gratzel M. Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices. *Coord. Chem. Rev.* 1998; 177(1): 347–414. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(98\)00189-1](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(98)00189-1)

[8] Purwanto A, Widiyandari H, dan Jumari A. Fabrication of high-performance fluorine doped-tin oxide film using flame-assisted spray deposition. *Thin Solid Films.* 2012; 520(6): 2092–2095. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2011.08.041>

[9] Agarwala S, et al. Mesophase ordering of TiO<sub>2</sub> film with high surface area and strong light harvesting for dye-sensitized solar cell. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2010; 2(7): 1844–1850. DOI: <https://doi.org/10.1021/am100421e>