

## BIOPHOTOVOLTAIC TIPE-N DAN TIPE-P DENGAN MENGGUNAKAN EKSTRAK KULIT JERUK DARI ACEH

**Luthviah C. Muhimmah**

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Fisika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Email: luthviahc@gmail.com

**Rio Akbar Yuwono**

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Fisika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Email: rio.akbar.yuwono@gmail.com

**Ernawita**

Jurusan Biologi  
Universitas Al-Muslim Aceh  
Email: ernawita.ernawita@gmail.com

### ABSTRAK

Sel surya berwarna tersensitisasi atau dikenal dengan *dye-sensitized solar cell* (DSSC) dengan menggunakan semikonduktor tipe-n dan tipe-p serta ekstrak jeruk Mentui (khas Aceh) sebagai biomolekul pewarna sensitisasi (*dye*) telah difabrikasi dan dikarakterisasi. Sebagai pembanding, ekstrak jeruk nipis dan jeruk purut juga digunakan. Ekstrak jeruk mentui berdasarkan spektrum inframerah mengandung berbagai macam karotenoid dan flavonoid seperti beta karoten, hesperidin, lutein, naringin, quersetin, tangeretin, dan zeaxanthin. Karakteristik optik ekstrak jeruk Mentui juga menunjukkan nilai absorptivitas molar yang cukup tinggi sehingga dapat digunakan untuk pembuatan DSSC. Hasil pengujian arus-tegangan menunjukkan hasil bahwa penggunaan ekstrak jeruk Mentui pada semikonduktor tipe-n mampu menghasilkan efisiensi yang lebih besar daripada semikonduktor tipe-p. Adapun tegangan rangkaian terbuka ( $V_{OC}$ ) dan faktor pengisian (*fill factor*,  $FF$ ) relatif sama untuk semua jenis ekstrak jeruk yaitu  $V_{OC} \sim 0.340$  V dan  $FF \sim 0.4$ . Rapat arus pada rangkaian singkat terbesar ( $J_{sc} = 1.21$  mA·cm<sup>-2</sup>) dihasilkan DSSC dengan molekul pewarna ekstrak jeruk mentui.

**Kata kunci:** DSSC, karotenoid, flavonoid, jeruk mentui, ZnO, NiO.

### ABSTRACT

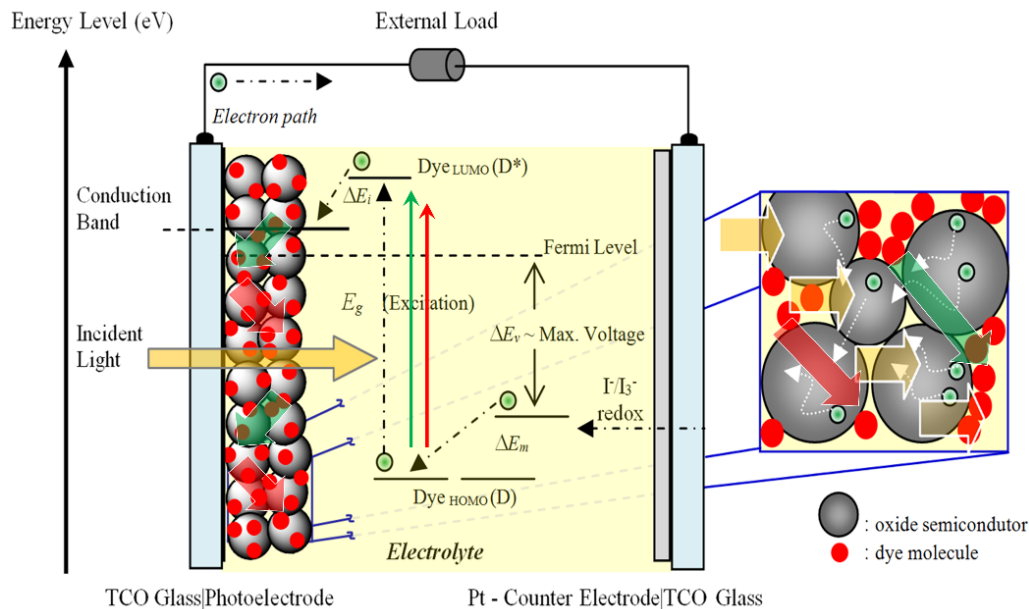
*The dye-sensitized solar cell (DSSC) using n-type and p-type semiconductors and Mentui orange extract (indigenous Aceh) as dye biomolecule for sensitization has been fabricated and characterized. As a comparison, lime extract and kaffir lime extract were also used in this study. Based on infrared spectrum analysis, Mentui extract contains various carotenoids and flavonoids such as beta carotene, hesperidin, lutein, naringin, quercetin, tangeretin, and zeaxanthin. Optical characteristic of Mentui extract Mentui also shows a high molar absorptivity that can be used for DSSC fabrication. The result of current-voltage measurements indicate that the use of Mentui extract on n-type semiconductors is capable of producing greater efficiency than p-type semiconductors. The open circuit voltage ( $V_{OC}$ ) and fill factor ( $FF$ ) are relatively identical for all types of orange extract, i.e.  $V_{OC} \sim 0.340$  V and  $FF \sim 0.4$ . The highest current density ( $J_{sc} = 1.21$  mA·cm<sup>-2</sup>) is produced by DSSC utilizing Mentui extracts.*

**Keywords:** DSSC, carotenoid, flavonoid, mentui orange, ZnO, NiO.

### 1. PENDAHULUAN

Sel surya berwarna tersensitisasi atau *dye-sensitized solar cell* (DSSC) merupakan teknologi konversi energi surya generasi ketiga berbasis proses fotoelektrokimia. DSSC dapat dikategorikan menjadi n-DSSC dan p-DSSC berturut-turut apabila menggunakan elektroda kerja berbasis semikonduktor tipe-n (TiO<sub>2</sub> atau ZnO) dan tipe-p (NiO) [1,2,3]. Secara umum DSSC terdiri dari elektroda kerja yang terbuat dari semikonduktor tipe-n atau tipe-p, molekul dye (D), elektrolit (I<sub>3</sub><sup>-</sup>/I<sup>-</sup>) dan elektroda pembanding (Pt). Prinsip kerja n-DSSC (Gambar 1) adalah sebagai berikut: Fotoeksitasi elektron dye (D + hv → D\*) akan menyebabkan injeksi elektron ke pita konduksi seikonduktor (D\*|ZnO → D<sup>-</sup>|ZnO +

$e_{CB(ZnO)}$ ). Kemudian, molekul dye yang kehilangan elektron diregenerasi oleh elektron di dalam elektrolit ( $3D^+ZnO + I_3^- \rightarrow 3D|ZnO + 3I^-$ ). Selain itu, dalam proses kerjanya terjadi pula mekanisme rekombinasi antara elektron yang telah diinjeksi dengan senyawa  $I_3^-$  dalam elektrolit sehingga mengurangi nilai neto arus listrik yang dihasilkan [2,3,4]. Sama halnya dengan n-DSSC, prinsip kerja p-DSSC melibatkan runtutan proses yang sama dengan arah transfer elektron yang berkebalikan dengan n-DSSC.



**Gambar 1. Skema Prinsip Kerja Dye-Sensitized Solar Cell Tipe-N [2]**

Pada aspek pengembangan bahan dye, penggunaan pewarna alami dari ekstraksi bahan alam dapat dijadikan sebagai alternatif molekul antenna pemanen cahaya. Sebagai contoh, antosianin dan karotenoid serta derivatifnya dari berbagai ekstrak buah dan daun seperti kulit manggis, daun nanas kerang, klorofil dan bunga sepatu telah dieksplorasi untuk fabrikasi DSSC [5,6,7,8]. Gugus hidroksil (OH) atau karboksil (-COOH) pada senyawa organik, seperti antosianin dan karotenoid serta derivatifnya, dapat berikatan kovalen dengan  $Zn^{2+}$  atau  $Ti^{4+}$  atau  $Ni^{2+}$  sehingga sangat prospektif sebagai molekul sensitisasi pada DSSC. Pada penelitian ini, dieksplorasi ekstrak kulit jeruk khas Aceh (jeruk Mentui) sebagai bahan pewarna untuk DSSC dengan pembandingan ekstrak jeruk purut dan jeruk nipis. Adapun karakterisasi sifat optik dan komposisi ekstrak jeruk dikarakterisasi dengan mengukur spektrum serapan (absorbansi) infra merah, absorbansi dan emisi UV/Vis. Sifat elektrokimia ekstrak jeruk dianalisis dari hasil pengukuran cyclic voltammogram serta efisiensi DSSC diukur dengan menganalisis kurva arus-tegangan dan daya-tegangan dengan iluminasi simulator surya ( $100 \text{ mWcm}^{-2}$ ).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Ekstraksi Pewarna Alami Dari Kulit Jeruk Mentui

Ekstrak jeruk yang digunakan dalam studi ini adalah ekstrak kulit jeruk jeruk mentui dan sebagai pembandingan digunakan juga ekstrak jeruk nipis serta jeruk purut. Sejumlah 500 mg dari kulit jeruk diekstrak dengan pelarut metanol:tetrahydrofuran (1:1, v/v) menggunakan ultra turrax hingga larutan ekstraksi berubah tidak berwarna [9,10]. Ekstraksi polifenol dilakukan sebagai berikut: Sampel kulit jeruk dihidrolisis menggunakan HCl dan NaOH untuk melepaskan senyawa polifenol dari matrik sampel. Sampel yang telah dihidrolisis diekstrak menggunakan pelarut etanol:air (1:a, v/v).

### 2.2 Sintesis Semikonduktor

Sintesis  $ZnO$  dilakukan sesuai prosedur pada literatur [11,12,13]. Sejumlah 0.1M  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  dilarutkan dalam 100 ml *diethylene glycol* dan dipanaskan pada temperatur  $180^\circ C$  serta diaduk selama 1 jam. Larutan kemudian disentrifugasi sehingga terpisah antara endapan dan pelarut sisa. Pelarut sisa yang terdiri dari sisa-sisa DEG,  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  yang tidak bereaksi, air dan produk-produk reaksi lainnya disimpan untuk reaksi berikutnya: 0.1M  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  dilarutkan

dalam 100 ml DEG dan dipanaskan tanpa diaduk. Sejumlah 10 ml dari pelarut sisa ditambahkan ketika larutan reaksi mencapai temperatur 140°C. Larutan kemudian dipanaskan lanjut hingga mencapai temperatur 160°C dan diaduk secara kontinyu selama 1 jam. Larutan kemudian didinginkan dan disentrifugasi untuk memperoleh ZnO. Sintesis NiO juga dilakukan dengan menggunakan prekursor NiCl<sub>2</sub> dengan bantuan polimer seperti pada literatur [4].

### 2.3 Karakterisasi Ekstrak Kulit Jeruk Dan Semikonduktor

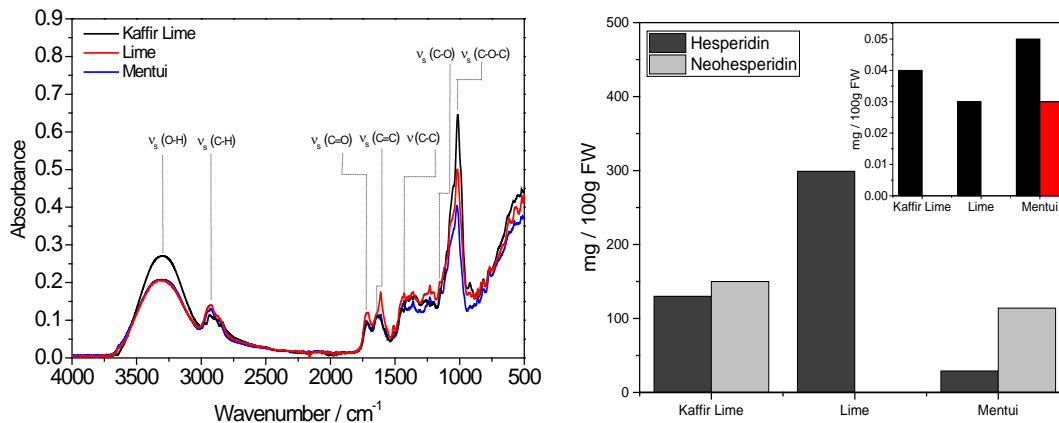
Kandungan dalam ekstrak jeruk sebelumnya telah dikarakterisasi menggunakan HPLC dan LC-MS dan dilaporkan dalam artikel [9,10]. Spektrometer serapan inframerah direkam menggunakan perangkat FTIR Nicolet iS10 (Thermo Scientific, Massachusetts, USA). Spektrum absorpsi pada rentang panjang gelombang 400 – 800 nm dari ekstrak jeruk diukur dengan menggunakan spektrometer UV/vis sedangkan spektrum emisi diukur menggunakan fluorolog. Sifat elektrokimia diuji dengan mengukur karakteristik arus-tegangan pada *cyclic voltammogram* (CV) dengan elektroda kerja karbon dan elektroda pembanding kawat platina. Adapun elektroda referensi pada pengukuran CV adalah Ag/AgCl.

### 2.4 Preparasi Dan Uji Performansi DSSC

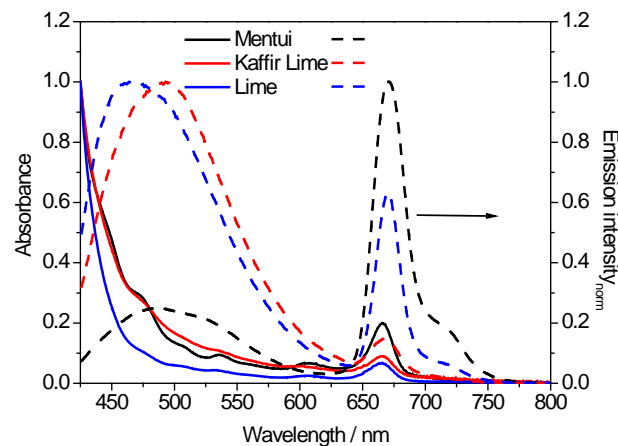
DSSC difabrikasi dengan struktur berlapis (*sandwich*) [13,14]. Pasta ZnO dengan pelarut etanol dan DEG dideposisikan pada substrat FTO (*F-doped tin oxide*) dengan luas aktif 20 mm<sup>2</sup> menggunakan metode *doctor-blade* serta kemudian dianil pada temperatur 450°C selama 1 jam untuk mendapatkan elektroda ZnO dan NiO. Pada tahapan sensitisasi, elektroda dipanaskan pada temperatur 80°C kemudian direndam dalam larutan ekstrak jeruk dengan pelarut etanol selama 24 jam. Elektroda yang telah direndam kemudian diangkat dan dibersihkan dengan etanol untuk menghilangkan ekstrak yang tidak terserap secara kimia. Selanjutnya elektroda disandwich dengan elektroda pembanding Pt. Elektroda pembanding disiapkan dengan melapiskan larutan 10 mM hydrogen hexachloroplatinate (IV) hydrate (H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>, 99.9%) dalam pelarut 2-propanol pada substrat kaca FTO (FTO, ±10 Ω) dan dipanaskan pada temperatur 450°C selama 30 menit. Sebelum dilakukan pengujian arus-tegangan, elektrolit pasangan redoks I<sup>3-/I<sup>-</sup></sup> diinjeksikan ke dalam sel. Adapun elektrolit ini terdiri dari 0.5 M tert-butylammonium iodide, 0.1 M Lithium iodide, 0.1 M iodine and 0.5 M 4-tert-butylpyridine yang dilarutkan dalam pelarut asetonitril. Pengujian arus-tegangan dilakukan menggunakan potensiostat Kethley dengan iradiasi *solar simulator* 100 mW.cm<sup>-2</sup> menggunakan filter AM1.5.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan ekstrak jeruk Mentui, yaitu karotenoid dan flavonoid, telah diestimasi menggunakan teknik HPLC dan diuji menggunakan pengukuran FTIR. Estimasi kuantitatif kandungan karotenoid dan flavonoid dilakukan dengan program fitting berbasis *particle swarm optimization* (PSO) seperti pada penelitian sebelumnya [9,10]. Adapun spektrum IR dari ekstrak jeruk Mentui beserta dengan pembanding ekstrak jeruk lainnya ditampilkan pada gambar 2. Puncak pada 3500 – 3200 cm<sup>-1</sup> merupakan karakteristik vibrasi regangan O–H dari makromolekul ataupun molekul air permukaan. Absorpsi pada rentang 3000 – 2800 cm<sup>-1</sup> dapat disebabkan vibrasi peregangan C–H dari gugus metil, metoksi dan metilena yang terdapat dari dua fraksi utama struktur molekuler flavonoid yaitu gugus benzopiron dan fenil. Vibrasi peregangan dari karbonil (C=O) dari gugus karboksil (COO) ditunjukkan dengan puncak spectrum pada rentang 1740 – 1710 cm<sup>-1</sup>. Puncak infra merah pada 1640 cm<sup>-1</sup> merupakan penciri pergangan ikatan C=C dari cincin benzena. Spektrum vibrasional pada rentang 1430–1455 cm<sup>-1</sup> merupakan karakteristik senyawa alifatik dan aromatik (C–H) dari vibrasi deformasi planar gugus metil, metilena dan metoksi. Puncak absorpsi pada rentang 1300–1000 cm<sup>-1</sup> menunjukkan vibrasi peregangan C–O asam karboksilat dan alkanol, sedangkan absorpsi pada rentang 1130–1150 cm<sup>-1</sup> berasosiasi dengan vibrasi C–O–C dan O–H dari polisakarida. Berbeda dengan analisis ekstrak jeruk nipis dan jeruk purut [9,10], hasil *fitting* terhadap spektrum IR ekstrak jeruk mentui menunjukkan kandungan karotenoid dan flavonoid sebagai berikut (data ditunjukkan hanya kandungan > 5%): Beta karoten (7%), hesperidin (8%), lutein (20%), naringin (10%), quercetin (7%), tangeretin (15%), dan zeaxanthin (6%). Selain itu ditemukan kandungan asam ferulic hingga 7% di dalam ekstrak.



**Gambar 2. (kiri) Spektrum Serapan IR Dari Ekstrak Jeruk Mentui (biru), Jeruk Nipis (merah) Dan Jeruk Purut (hitam). (kanan) Kandungan Hesperidin Dan Neohesperidin Berdasarkan Analisis HPLC [9,10]. Inset Adalah Kandungan Lutein (hitam) Dan Zeaxhantin (merah).**

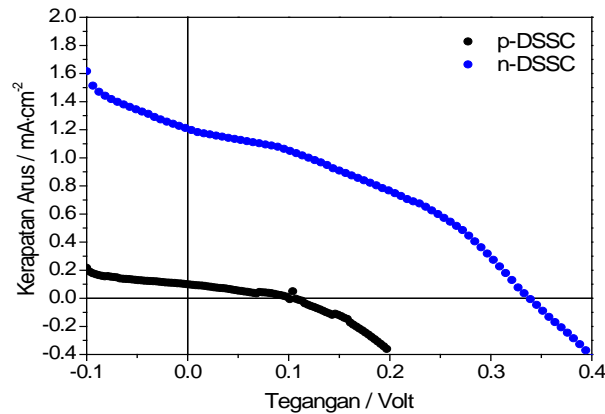


**Gambar 3. Spektrum Absorpsi (garis) Dan Emisi (garis putus-putus) UV-Cahaya Tampak Dari Ekstrak Jeruk Mentui (biru), Jeruk Nipis (merah) Dan Jeruk Purut (hitam).**

Karakteristik optik ekstrak jeruk ditampilkan pada **Gambar 3** melalui spektrum absorpsi dan emisi. Ekstrak jeruk Mentui memiliki karakteristik absorpsi pada panjang gelombang 475 nm, 510 nm, 540 nm, 580 nm, 600 nm, 615 nm, dan 668 nm. Puncak-puncak absorpsi ekstrak jeruk Mentui ini dapat dikaitkan dengan karakteristik absorpsi hesperidin ( $\lambda_{maks} = 435, 525$  dan  $670$  nm), naringenin ( $\lambda_{maks} = 410$  dan  $550$  nm), quercetin ( $\lambda_{maks} = 510, 560$  dan  $690$  nm), dan lutein ( $\lambda_{maks} = 423, 445$  dan  $474$  nm) [15,16]. Dengan jumlah puncak-puncak absorpsi ekstrak jeruk Mentui yang jauh lebih banyak dibandingkan dua ekstrak jeruk lainnya, ekstrak jeruk Mentui lebih kaya akan kandungan karotenoid dan flavonoid. Selain itu absorbtivitas molar dari spektrum absorpsi menunjukkan bahwa ekstrak jeruk Mentui biasa lebih berpotensi untuk memanen iradiasi cahaya lebih besar dibandingkan ekstrak jeruk nipis dan jeruk purut. Di sisi lain, spektrum emisi dari masing-masing ekstrak jeruk menunjukkan bahwa semua ekstrak memiliki karakteristik emisi yang hampir sama ( $\lambda_{maks} = 480, 680,$  dan  $720$  nm). Terlebih lagi, adanya irisan spektrum emisi dan absorpsi ini memungkinkan terjadinya transfer energi antar senyawa yaitu interaksi emisi foton dengan molekul pewarna yang terjerap pada semikonduktor.

Hasil uji elektrokimia (lihat tabel 1) menunjukkan bahwa keseluruhan ekstrak kulit jeruk memiliki tegangan oksidasi yang sama yaitu sekitar  $+0.67$  V. Pada tegangan reduksi didapati ekstrak kulit jeruk nipis hanya menunjukkan satu langkah reduksi pada  $-1.02$  V, sedangkan ekstrak kuit jeruk purut dan jeruk mentui menunjukkan dua langkah reduksi berturut-turut pada  $-1.11$  V dan  $-1.74$  V (jeruk purut) serta  $-1.09$  V dan  $-1.89$  V (jeruk Mentui). Karakteristik arus-tegangan DSSC ditampilkan pada gambar 4. Pada tabel 1 dan tabel 2 ditunjukkan karakteristik performansi n-DSSC dan p-DSSC. Secara umum, penggunaan ekstrak jeruk mentui menghasilkan efisiensi DSSC terbaik ( $0.18\%$  untuk n-DSSC dan  $0.005\%$  untuk p-DSSC) dibandingkan penggunaan ekstrak jeruk lainnya. Untuk n-DSSC didapati bawa nilai  $V_{oc}$  dan FF tidak bervariasi antara DSSC. Hal ini menunjukkan bahwa beda potensial antara pita

konduksi ZnO dan potensial reaksi redoks elektrolit tidak berbeda satu sama lain. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik elektronik ZnO dan elektrolit yang digunakan pada masing-masing DSSC adalah identik. Hasil yang berbeda diperoleh p-DSSC, yang mana nilai  $V_{oc}$  dan FF bervariasi untuk penggunaan ekstrak jeruk yang berbeda-beda. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa proses pembangkitan arus pada p-DSSC didominasi proses rekombinasi.



Gambar 4. Kurva Rapat Arus-Tegangan n-DSSC Dan p-DSSC Dengan Iradiasi 100mW/cm<sup>2</sup>.

Tabel 1. Karakteristik elektrokimia dan performansi n-DSSC

Ekstrak	$E_{red,1}$ (Volt)	$E_{red,2}$ (Volt)	$V_{oc}$ (volt)	$J_{sc}$ (mA.cm <sup>-2</sup> )	FF (%)	$\eta$ (%)
Nipis [17]	-1.02	-	0.334	0.786	40.07	0.105
Mentui	-1.11	-1.74	0.345	1.211	42.54	0.178
Purut [17]	-1.09	-1.89	0.336	0.956	37.92	0.122

Tabel 2. Karakteristik elektrokimia dan performansi p-DSSC

Ekstrak	$V_{oc}$ (volt)	$J_{sc}$ (mA.cm <sup>-2</sup> )	FF (%)	$\eta$ (%)
Nipis	0.062	0.031	95.4	0.0002
Mentui	0.107	0.099	49.2	0.0052
Purut	0.095	0.093	32.3	0.0029

Secara umum ekstrak jeruk memberikan efisiensi yang lebih besar saat digunakan pada elektroda ZnO dibandingkan dengan elektroda NiO. Selain itu, penggunaan ekstrak jeruk Mentui menghasilkan efisiensi yang paling tinggi diantara ketiga ekstrak jeruk yang diuji. Hal ini dikarenakan nilai absorptivitas ekstrak jeruk Mentui lebih tinggi dibandingkan ekstrak jeruk nipis dan jeruk purut. Dengan demikian, efisiensi pemanenan cahaya/foton juga lebih besar. Adanya irisan spektrum absorpsi dan emisi ekstrak yang dapat menginduksi terjadinya transfer energi secara resonansi Förster antar molekul yang teradsorpsi secara berdekatan dan efeknya digambarkan pada gambar 1 [17]. Adanya transfer energi ini akan meningkatkan kapasitas sensitisasi molekul pewarna oleh foton yang terhambur karena interaksi foton dengan semikonduktor serta interaksi dengan emisi foton dari molekul pewarna akibat penyerapan foton pada panjang gelombang yang bersesuaian.

#### 4. KESIMPULAN

Preparasi dan karakterisasi *Dye-sensitized solar cells* (DSSCs) tipe p dan tipe n berturut-turut dengan anoda ZnO dan katoda NiO telah dilakukan. Ekstrak jeruk mentui yang digunakan mengandung berbagai macam karotenoid dan flavonoid seperti beta karoten (7%), hesperidin (8%), lutein (20%), naringin (10%), quercetin (7%), tangeretin (15%), dan zeaxanthin (6%). Kombinasi kandungan flavonoid dan karotenoid pada ekstrak jeruk Mentui ini menunjukkan absorptivitas molar yang lebih besar dibandingkan ekstrak jeruk lain. Hasil uji performansi DSSC menunjukkan pula efisiensi tertinggi dihasilkan oleh DSSC dengan menggunakan ekstrak jeruk Mentui terlepas tipe semikonduktor yang digunakan. DSSC dengan anoda ZnO mampu menghasilkan efisiensi hingga 0.18%, sedangkan DSSC dengan katoda NiO hanya mampu menghasilkan efisiensi hingga 0.005%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grätzel, M. 2003. "Dye-sensitized solar cells". *J. Photochem. Photobiol. C* 4, 2, 145-153.
- [2] Wahyuono, R. A. 2013. *Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Fabrication with TiO<sub>2</sub> and ZnO Nanoparticle for High Conversion Efficiency*. Master Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.
- [3] Rusu, M. M., Wahyuono, R. A., Fort, C. I., Dellith, A., Dellith, J., Ignaszak, I., Vulpoi, A., Danciu, V., Dietzek, B., Baia, L. 2017. "Impact of drying procedure on the morphology and structure of TiO<sub>2</sub> xerogels and the performance of dye sensitized solar cells". *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 81. 693-703.
- [4] Queyriaux, N., Wahyuono, R. A., Fize, J., Gablin, C., Wächtler, M., Martinez, E., Léonard, D., Dietzek, B., Artero, V., Chavarot-Kerlidou, M. 2017. "Aqueous Photocurrent Measurements Correlated to Ultrafast Electron Transfer Dynamics at Ruthenium Tris Diimine Sensitized NiO Photocathodes". *J. Phys. Chem. C* 121. 11, 5891-5904.
- [5] Putri, I. E., Sidik, M. L., Wahyuono, R.A., Sawitri, D., Risanti, D. D. 2015. "Co-Sensitization Promoted Light Harvesting Capability of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Anthocyanin-Based Dye". *Advanced Materials Research* 1123, 325-328.
- [6] Syukron, A., Wahyuono, R. A., Sawitri, D., Risanti, D. D. 2014. "The Effect of Paste Preparation and Annealing Temperature of ZnO Photoelectrode to Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Performance". *Advanced Materials Research* 896, 183-186.
- [7] Agustini, S., Wahyuono, R. A., Sawitri, D., Risanti, D. D. 2013. "Effects of nano anatase-rutile TiO<sub>2</sub> volume fraction with natural dye containing anthocyanin on the dye sensitized solar cell performance". *AIP Conference Proceedings* 1554. 1, 66-69.
- [8] Wahyuono, R. A., Risanti, D.D. 2012. "Selection of Natural Dye Photosensitizer for Quasi-solid State Dye-sensitized Mesoporous TiO<sub>2</sub> Solar Cell (DSC) Fabrication". *Proceeding International Conference on Chemical and Material Engineering* 2012. PSE.12-1 – PSE.12-6.
- [9] Ernawita, Wahyuono, R. A., Hesse, J., Hipler, U. C., Elsner, P., Böhm, V. 2016. "Carotenoids of indigenous citrus species from Aceh and its in vitro antioxidant, antidiabetic and antibacterial activities". *Eur. Food Res. Technol.* 242. 1869.
- [10] Ernawita, Wahyuono, R. A., Hesse, J., Hipler, U. C., Elsner, P., Böhm, V. 2017. "In Vitro Lipophilic Antioxidant Capacity, Antidiabetic and Antibacterial Activity of Citrus Fruits Extracts from Aceh, Indonesia." *Antioxidants* 6. 1, 11.
- [11] Wahyuono, R. A., Risanti, D. D. 2015. "Modeling and experiment of dye-sensitized solar cell with vertically aligned ZnO nanorods through chemical bath deposition". *Proceeding SPIE ISPhOA*, 94440Q-94440Q-6.
- [12] Wahyuono, R. A., Risanti, D. D., Shirotsaki, T., Nagaoka, S., Takafuji, M., Ihara, H. 2014. "Photoelectrochemical performance of DSSC with monodisperse and polydisperse ZnO SPs". *AIP Conference Proceedings* 1586. 1, 78-8.
- [13] Wahyuono, R. A., Hermann-Westendorf, F., Dellith, A., Schmidt, C., Dellith, J., Plentz, J., Schulz, M., Presselt, M., Seyring, M., Rettenmayr, M., Dietzek, B. 2017. "Effect of Annealing on the Sub-Bandgap, Defects and Trapping States of ZnO Nanostructures". *Chemical Physics* 483-484. 112-121.
- [14] Wahyuono, R. A., Schmidt, C., Dellith, A., Dellith, J., Schulz, M., Seyring, M., Rettenmayr, M., Plentz, J., Dietzek, B. 2016. "ZnO nanoflowers-based photoanodes: Aqueous chemical synthesis, microstructure and optical properties". *Open Chemistry* 14. 1, 158-169.
- [15] Domenici, V., Ancora, V. D., Cifelli, M., Serani, A., Veracini, C. A., Zandomenighi, M. 2014. "Extraction of Pigment Information From Near-Uv Vis Absorption Spectra Of Extra Virgin Olive Oils". *J. Agric. Food Chem.* 62. 38, 9317-9325.
- [16] Sierra, J. A., Vanoni, C. R., Tumelero, M. A., Cid, C. C. P., Faccio, R., Franceschini, D. F., Creczynski-Pasaa, T. B., Pasa, A. A. 2016. "A biogenic approaches using citrus extracts for the synthesis of metal nanoparticles: the role of flavonoids in gold reduction and stabilization". *New J. Chem.* 40. 1420-1429.
- [17] Ernawita, Irwansyah, Sawitri, D., Wahyuono, R. A. 2017. "Preparasi dan Karakterisasi Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Pewarna Ekstrak Jeruk: Pengaruh Variasi Komposisi Karotenoid dan Flavonoid Terhadap Efisiensi Sel Surya." *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 13. 3, 1 – 6.