



## PEMANFAATAN EKSTRAK DAUN KELOR (*Moringa oleifera* .1.) SEBAGAI DYE SENSITIZER UNTUK DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Ivona Anaphalia Farahdiba\*, Didik Krisdiyanto, Sudarlin dan Karmanto

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-540971  
Email: ivona.an@gmail.com\*

**Abstrak.** Dye sensitized solar cell (DSSC) merupakan rangkaian alat yang menggunakan energi celah antara semikonduktor dan ikatannya dengan gugus pada lapis tipis untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui absorpsi zat warna yang di ekstrak dari daun kelor dengan pelarut metanol, etanol dan aseton yang diuji dengan UV visible dan mengetahui aplikasi antosianin dari ekstrak daun kelor sebagai dye sensitizer untuk DSSC. Ekstrak antosianin dari daun kelor didapatkan dari metode maserasi dengan berbagai variasi pelarut yaitu metanol, etanol dan aseton yang masing-masing telah dicampurkan dengan menggunakan HCL 5%. Ekstrak daun kelor yang telah didapatkan diuji serapannya dengan spektrofotometer UV-visibel yang menghasilkan serapan pada panjang gelombang maksimum untuk pelarut metanol, etanol dan aseton sebesar 533 nm, 534 nm dan 533nm. Selain itu dilakukan perhitungan kadar total antosianin dengan menggunakan metode perbedaan pH dengan kadar antosianin maksimum didapatkan dari pelarut aseton yaitu sebesar 13,392 mg/100g. Ekstrak daun kelor diuji dengan kromatografi lapis tipis menghasilkan 3 spot noda yang salah satunya merupakan antosianin dengan nilai Rf sebesar 0,00. Hasil pemisahan dengan kromatografi kolom tidak didapatkan ekstrak antosianin sehingga hasil pemisahan tersebut tidak dapat digunakan menjadi dye sensitizer untuk DSSC. Sedangkan, ekstrak daun kelor dengan menggunakan pelarut aseton tanpa pemisahan menghasilkan tegangan sebesar 33,461 mV.

**Kata kunci:** *Antosianin, Ekstraksi, Daun kelor.*

This publication is licensed under a



## Pendahuluan

Kebutuhan energi di dunia semakin meningkat seiring dengan kebutuhan manusia. Energi yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia adalah energi konvensional seperti fosil dan batu bara. Energi konvensional itu sendiri merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui, sehingga jika digunakan secara terus-menerus sumber energi tersebut akan habis yang menyebabkan terjadinya krisis energi. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi manusia.

Sumber energi alternatif yang dapat digunakan salah satunya adalah energi dari sinar matahari. Energi sinar matahari tersebut dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya salah satunya adalah Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) (Fitria, 2016). Komponen DSSC terdiri dari dye, elektroda kerja dan elektroda lawan yang tersusun secara berlapis dan berurutan (Ardianto, 2015). Dye pada DSSC berfungsi sebagai pengabsorb dari sinar matahari sedangkan separasi muatan listrik dilakukan oleh semikonduktor yang merupakan elektroda kerja dari DSSC (Fitria, 2016).

Sensitizer atau zat warna yang paling efisien digunakan adalah logam kompleks polypyridyl ruthenium. Namun, sensitizer tersebut mengandung logam berat yang tidak diinginkan dari aspek lingkungan. Selain itu, proses untuk mensintesis memerlukan biaya yang tinggi dan rumit. Oleh karena itu, perlu dicari sensitizer alternatif yang ramah lingkungan. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan zat warna organik sebagai sensitizer sel surya. Senyawa organik tersebut sebagian besar berasal dari

tumbuhan seperti daun, buah atau bunga. Penggunaan sensitizer dengan menggunakan senyawa alami memiliki keunggulan yaitu kelimpahan di alam banyak dan murah walaupun efisiensi dari senyawa organik lebih rendah dibanding dengan kompleks polypyridyl ruthenium (Ludin dkk, 2013).

Beberapa kriteria dari zat warna yang dapat digunakan sebagai dye sensitizer yaitu memiliki absorbansi pada panjang gelombang visible, dapat menginjeksikan elektron ke pita konduksi dari material semikonduktor, mempunyai absorbs yang kuat pada permukaan semikonduktor dan memiliki gugus karbonil dan gugus hidroksi yang dapat berikatan dengan semikonduktor (Ludin dkk, 2013). Salah satu senyawa organik alami yang memiliki kriteria tersebut adalah antosianin. Antosianin sering digunakan sebagai sensitizer pada DSSC karena antosianin memiliki rentang spektrum cahaya yang lebar yaitu dari ungu hingga merah. Antosianin dapat ditemukan pada organ tumbuhan seperti bunga, buah dan daun. Molekul antosianin memiliki gugus karbonil dan gugus hidroksi yang dapat berikatan dengan permukaan semikonduktor ZnO sehingga dapat mentransfer elektron dari sensitizer ke pita konduksi ZnO (Ludin dkk, 2013).

Kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu tumbuhan yang memiliki kandungan antosianin yang terdapat pada bagian daun. Ekstrak antosianin ini dapat diambil dengan berbagai cara salah satunya adalah dengan teknik maserasi yang dilakukan dengan merendam daun kelor menggunakan pelarut yang didasarkan pada kelarutan komponen terhadap komponen lain yang terdapat pada campuran (Patidar, 2017). Zat yang bersifat polar akan akan larut pada pelarut polar, dan sebaliknya zat yang

bersifat nonpolar akan larut pada pelarut nonpolar. Proses ekstraksi antosianin dengan menggunakan pelarut polar lebih menguntungkan karena sifat dari antosianin adalah polar (Oktanuri, 2014).

Penelitian ini dilakukan dengan mengekstrak daun kelor dengan menggunakan berbagai jenis pelarut yaitu etanol, metanol dan aseton yang kemudian dipisahkan dengan menggunakan kromatografi lapis tipis dan kromatografi kolom. Sehingga dengan pemisahan tersebut didapatkan ekstrak antosianin yang lebih murni sehingga dapat meningkatkan kinerja dari DSSC.

## Bahan dan Metode

### Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: seng asetat dihidrat ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ) p.a produk Meck,  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  1% produk PSTA Batan, monethanolamine (MEA) p.a produk Meck, etanol, metanol, aseton, diklorometana, asam klorida (HCl), akuades, KCl,  $CH_3COOK$ , kaca substrat Indium Tin-Oxide (ITO), karbon, Iodium produk Meck, penjepit kertas, dan dye yang berasal dari ekstrak daun kelor.

### Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: seperangkat alat furnace, alat-alat gelas, pemanas listrik, magnetic stirrer, neraca analitik, seperangkat alat ultrasonic cleaner, seperangkat alat spin coating, multimeter, X-Ray Diffraction (XRD), spektroskopi UV-Vis reflektansi, kromatografi lapis tipis, dan kromatografi kolom.

### Metode Penelitian

#### Sintesis Semikonduktor $ZnO:Zr$ dengan Metode Sol Gel

Seng asetat dihidrat ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ) dan  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  1% dilarutkan dalam 10 mL etanol pada gelas piala 50 mL dengan kelarutan diatur sebesar 0,75 mol/L yang kemudian diaduk di atas hot plate menggunakan magnetic stirrer dengan temperatur maksimal 60°C selama dua jam. Setelah 30 menit proses pengadukan kemudian larutan ditambah monoethanolamine (MEA) hingga larutan menjadi homogen.

#### Deposisi $ZnO:Zr$ pada substrat kaca ITO

Lapisan semikonduktor  $ZnO:Zr$  dibuat menggunakan spin coating yang dideposisikan di atas substrat kaca ITO. Kemudian dipanaskan di atas hot plate dengan suhu 150°C selama 5 menit dan diletakkan di atas alat spin coating untuk ditetesi larutan  $ZnO:Zr$  hingga ketebalan yang sesuai dengan keinginan. Lapisan semikonduktor pada substrat kaca ITO di panaskan hingga temperature 500°C menggunakan furnace selama 1 jam. Selanjutnya diuji menggunakan difraksi sinar X (XRD), dan Spektroskopi Ultraviolet-Visible reflektansi (UV-Vis adsorption Spektroskopi).

#### Ekstraksi Antosianin

Daun kelor di keringkan menggunakan oven pada suhu 40°C yang kemudian dihaluskan dengan menggunakan blender.

Selanjutnya 1 gram serbuk daun kelor di ekstrak dengan larutan HCl 5% dalam akuades. Ekstraksi dilakukan dengan merendam bahan pada pelarut dengan perbandingan 1:10 selama 24 jam pada suhu 40°C. Adapun pelarut yang digunakan yaitu etanol, metanol dan aseton. Selanjutnya ekstrak antosianin di saring kemudian filtratnya diuji spektrum serapan optiknya dengan spektrofotometer UV-Vis.

#### Analisis Kadar Antosianin Total

Kadar total antosianin dilakukan dengan variasi pH 1,0 dan pH 4,5 yang kemudian diukur nilai absorbansinya pada panjang gelombang 510 nm dan 700 nm. Ekstrak daun kelor dengan variasi pelarut yaitu metanol, etanol dan aseton yang masing-masing diambil sebanyak 1 ml kemudian diencerkan dengan menggunakan larutan buffer pH 1,0 dan larutan buffer pH 4,5. Setelah itu, ekstrak antosianin yang telah diencerkan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-visibel.

#### Analisis Antosianin dengan Kromatografi Lapis Tipis

Analisis antosianin dengan menggunakan kromatografi lapis tipis dilakukan dengan menotolkan sampel pada plat silika yang merupakan fase diam dan dielusikan dengan fasa gerak yang merupakan campuran diklorometana:aseton.

#### Pemisahan dengan Kromatografi Kolom

Silika dibuburkan dengan menggunakan campuran diklorometana : aseton (7:3). Fasa gerak (diklorometana : aseton, 7:3) dialirkan pada kolom hingga aliran dari fase gerak tidak terlalu deras. Setelah kolom terbentuk, larutan sampel dimasukkan dalam kolom dengan dialiri fasa gerak terus menerus hingga senyawa dalam sampel dapat terpisah. Larutan yang telah terpisah diuji dengan menggunakan KLT untuk mengetahui kemurniannya.

#### Absorpsi Dye Lapisan $ZnO:Zr$

Elektroda kerja yang telah di panaskan pada furnace dan telah dikarakterisasi, direndam ke dalam larutan dye 24 jam. Setelah perendaman elektroda kerja dibilas dengan akuades dan pelarut yang digunakan dan dikeringkan pada temperatur maksimal 50°C selama 15 menit.

#### Deposisi Elektroda Lawan

Grafit (pensil 8B) dilapiskan pada bagian konduktif permukaan ITO. Setelah itu ITO berlapis grafit dipanaskan di atas lilin hingga terlapisi jelaga lilin secara merata.

#### Pembuatan Gel Elektrolit

Gel elektrolit dibuat dengan melarutkan 0,127 gram I<sub>2</sub> pada akuades yang kemudian ditambah 0,83 gram KI dan diaduk hingga homogen. Larutan kemudian dituang pada labu ukur 10 ml dan diencerkan hingga tanda batas. Setelah itu larutan disimpan pada botol kaca yang gelap.

#### Pembuatan Sandwich DSSC

Susunan lapisan DSSC berupa kaca sebagai substrat yang sudah dilapisi dengan  $ZnO:Zr$  kemudian pelapisan dye hasil ekstraksi yang disebut elektroda kerja ditetesi larutan elektrolit kemudian ditutup dengan kaca yang sudah dilapisi karbon disebut elektroda pembanding. Kemudian susunan DSSC tersebut dijepit dengan sebuah penjepit di dua sisi kanan dan kiri.

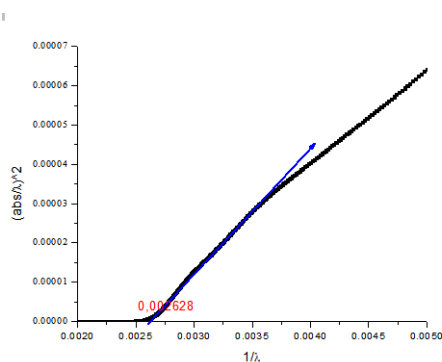
#### Penetesan Elektrolit

Elektroda kerja yang terdiri dari kaca terlapis ZnO:Zr dan telah terabsorpsi oleh dye diberi elektrolit. Penetasan elektrolit dilakukan pada setiap sampel yaitu pada elektroda kerja yang terabsorpsi selama 2 jam dan 24 jam sebanyak 2 tetes.

### Hasil dan Pembahasan

#### Analisis Spektrofotometer UV- Reflektansi

ZnO merupakan salah satu senyawa semikonduktor yang memiliki energi celah pita sebesar 3,34 eV. Pada penelitian ini senyawa semikonduktor yang digunakan sebagai photoanoda dalam DSSC adalah senyawa ZnO:Zr 1% yang disintesis dengan menggunakan Energi celah pita dari ZnO:Zr 1% dapat dihitung dengan menggunakan spektrofotometer uv-reflektansi yang kemudian dibuat hubungan antara  $1/\lambda$  dan  $(\text{abs}/\lambda)^2$ . Dari grafik tersebut ditarik garis lurus sehingga didapatkan nilai  $1/\lambda$  yang kemudian dikonversi menjadi energi seperti yang terdapat pada gambar 4.1 Energi celah pita dari ZnO:Zr 1% yang didapatkan yaitu sebesar 3,1 eV. Doping dengan Zr 1% pada senyawa ZnO memberikan efek penurunan energi celah pita. Penurunan tersebut diakibatkan karena adanya dopping Zr yang dapat merubah susunan dan komposisi dari kristal ZnO.



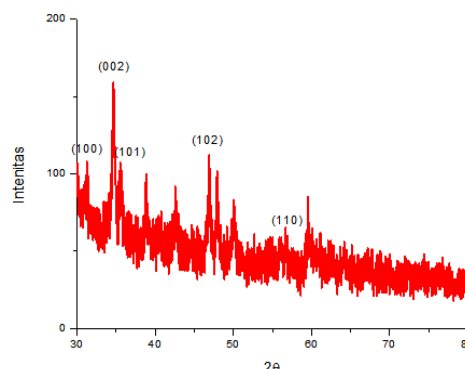
Gambar 1. Pengukuran Energi Celah Pita ZnO:Zr 1%

#### Analisis X-Ray Diffraction

Pada umumnya ZnO membentuk struktur Kristal hexagonal wurtzite(Kai, 2008). Walaupun struktur dari ZnO juga dapat berbentuk Kristal kubik zinblende dan rocksalt (Jagadish, 2006). Dari hasil penelitian ini didapatkan datayang menunjukkan posisi  $2\theta$  dari tiap puncak sehingga dapat diketahui senyawa yang terbentuk oleh hasil sintesis.Data yang didapatkan tersebut kemuian dicocokkan dengan database JCPDS maupun penelitian yang terkait. Hasil penelitian ini yang ditunjukkan pada gambar 4.2 merupakan difaktogram untuk senyawa ZnO dengan bentuk kristal hexagonal yang disintesis dengan metode sol gel.

Puncak pertama yang ditunjukkan pada sudut  $2\theta$  sebesar  $31,3535^\circ$  pada bidang difraksi d100. Puncak kedua didapatkan bidang difraksi pada d002 pada sudut  $34,6768^\circ$ . Pada sudut  $38,8485^\circ$  menunjukkan adanya bidang difraksi pada d101. Sedangkan puncak difraksi pada bidang yang lain adalah d102 dan d110. Data tersebut kemudian disamakan dengan data standar (JCPDS No. 36-1451). Puncak difraksi juga muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar  $21,8182^\circ$ ;  $29,7273^\circ$  dan  $35,596^\circ$  yang merupakan puncak-puncak impuritas yang berdasarkan database

pada JCPDS merupakan puncak impuritas dari indium tin oxide (ITO) (JCPDS 71-2194).



Gambar 2. Difaktogramnanopartikel ZnO:Zr1%

#### Ekstraksi Antosianin

Antosianin merupakan pigmen utama yang terdapat dalam tumbuhan. Pigmen antosianin bersifat polar sehingga larut dalam air (Lestario dkk, 2009). Antosianin dapat diisolasi dari tumbuhan dengan metode ekstraksi salah satunya adalah maserasi. Spektrum absorbansi dari antosianin diukur pada rentang panjang gelombang 400-800 nm.

Tabel 1. Panjang Gelombang Maksimum Ekstrak Antosianin dari Daun Kelor

Jenis Pelarut	Antosianin	
	$\lambda_{\text{maks}}$ (nm)	Absorbansi
Metanol	533	0,148
Etanol	534	0,097
Aseton	533	0,292

Ekstrak daun kelor dengan menggunakan pelarut aseton menunjukkan serapan absorbansi tertinggi dibandingkan ekstrak dengan pelarut yang lain. Serapan absorbansi yang tinggi menandakan tingginya konsentrasi antosianin dalam larutan.

Adapun pengukuran kadar total antosinin diukur dengan metode perbedaan pH yaitu pada pH 1,0 dan 4,5. Pengukuran dilakukan dengan variasi pH karena pada pH 1,0 antosianin akan membentuk senyawa kation flavilium atau oxonium yang berwarna dan pada pH 4,5 kation flavinium akan berubah menjadi senyawa hemiketal tidak berwarna dan bentuk kalkon yang lebih stabil. Pengukuran antosianin pada pH 1,0 merupakan perwakilan bahwa jumlah antosianin total karena pada dasarnya antosinin lebih stabil pada pH mendekati 1 sedangkan pada pH 4,5 senyawa antosianin yang diukur adalah senyawa pengganggu.

Kadar antosianin terbesar dimiliki oleh pelarut aseton. Hal tersebut diduga karena kepolaran dari aseton relatif sama dengan antosianin. Menurut Moulana et all (2012) kepolaran sering diartikan dengan pemisahan kutub positif dan negatif dari suatu molekul karena akibat dari terbentuknya konfigurasi tertentu dari

atom penyusunnya. Keadaan tersebut mengakibatkan adanya penarikan molekul oleh molekul lain dengan kepolaran yang sama yang sering disebut dengan prinsip like desolves like.

Tabel 2. Kadar Total Antosianin dari Ekstrak Daun Kelor

Jenis Pelarut	Kadar Total Antosianin (mg/100g)
Metanol	4,342
Etanol	9,685
Aseton	13,192

Sebelumnya diketahui bahwa kadar antosianin dari ekstrak daun kelor yang paling baik adalah dengan pelarut aseton. Hasil kromatogram ekstrak daun kelor dapat dilihat pada gambar 3 yang menunjukkan bahwa dalam ekstrak daun kelor terdapat beberapa senyawa kimia. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya pemisahan noda dengan warna coklat, kuning dan hijau pada plat KLT. Diantara 3 spot yang dihasilkan diketahui bahwa terdapat 1 spot yang diduga merupakan antosianin. Hal itu dapat dibuktikan dengan nilai Rf yang dihasilkan yaitu 0,00. Penelitian pada *Amaranthus* sp juga menunjukkan hasil yang hampir sama dengan penelitian ini yaitu ekstrak yang dipisahkan menghasilkan salah satu spot dengan nilai Rf 0,00 yang merupakan antosianin (Uddin, 2015).



Gambar 3. Hasil Pemisahan Antosianin dengan KLT pada Ekstrak Daun Kelor

Sedangkan Pemisahan antosianin dengan kromatografi kolom dilakukan untuk mendapatkan antosianin yang lebih murni dari ekstrak kasar daun kelor. Pemisahan dilakukan dengan metode basah yaitu dengan mencampurkan eluen pada fasa diam yang kemudian dimasukkan dalam kolom. Adapun eluen yang digunakan yaitu campuran antara aseton dan diklorometana dan fasa diam yang digunakan adalah silika. Eluen yang digunakan memiliki sifat semipolar karena aseton memiliki sifat polar dan diklorometana memiliki sifat nonpolar. Sedangkan, silika yang berperan sebagai fasa diam memiliki sifat polar. Sehingga, diantara keduanya memiliki kekuatan kepolaran yang berbeda. Jadi, dalam penelitian ini senyawa yang lebih polar akan tertinggal pada fasa diam dan senyawa yang memiliki tingkat kepolaran lebih rendah akan terbawa oleh eluen.

Pada saat pengelusan didapatkan 15 fraksi seperti yang terdapat pada gambar 4.5. Kemudian tiap fraksi di KLT dengan plat silika dan eluen aseton:diklorometana. Nilai Rf dari tiap fraksi kemudian disesuaikan dengan nilai Rf awal pada saat

melakukan analisis dengan menggunakan KLT. Hasil perbandingan nilai Rf tersebut menunjukkan bahwa antosianin di dalam daun kelor tidak dapat terambil.

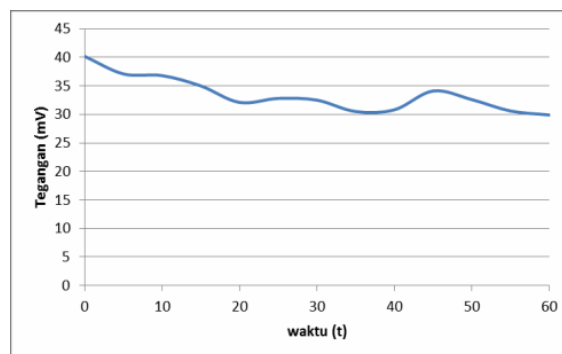


Gambar 4. Ketebalan Edible Film Variasi Lidah Buaya

#### Aplikasi Ekstrak Antosianin dari Daun Kelor sebagai Dye Sensitizer pada DSSC

Aplikasi ekstrak antosianin dari daun kelor sebagai dye sensitizer dilakukan dengan merendam kaca ITO yang telah terlapis semikonduktor ZnO:Zr pada larutan ekstrak selama 24 jam. Perendaman tersebut bertujuan untuk membentuk ikatan antara dye dan semikonduktor yang terlapis pada kaca ITO. Setelah itu, kaca ITO yang telah terlapis ZnO:Zr dan ekstrak antosianin di buat sandwich dengan kaca ITO yang terlapis grafit sebagai elektroda pembanding. Lapisan sandwich yang telah dibuat selanjutnya ditetesi dengan larutan elektrolit yang kemudian di rangkai secara seri dengan multimeter untuk mengukur tegangan dan arus dari sistem secara kuantitatif.

Hasil pengukuran tegangan dari DSSC dapat dilihat pada Gambar 5. Namun, dalam penelitian ini arus dari sistem DSSC tidak terukur oleh multimeter dikarenakan nilai arus telah melewati limit detection dari multimeter. Sehingga pada pembahasan ini hanya akan dibahas mengenai tegangan terhadap waktu. Pengukuran tersebut dilakukan pada kondisi gelap dengan menggunakan lampu halogen dengan intensitas penyinaran 2 watt/cm<sup>2</sup>. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ekstrak antosianin dengan pelarut aseton tanpa dipisahkan menghasilkan tegangan paling besar sebesar 40,2 mV.



Gambar 5. Hubungan antara Tegangan terhadap Waktu Ekstrak antosianin dengan menggunakan pelarut aseton

Dari Gambar 5 tersebut juga dapat diketahui bahwa nilai tegangan mengalami penurunan. Hal tersebut dapat terjadi diduga karena larutan elektrolit mengalami pengeringan sehingga tidak dapat lagi menangkap elektron dan menyuplai elektron kepada dye untuk menghilangkan elektron yang hilang dari molekul dye.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa, Absorpsi zat warna yang diekstrak dari daun kelor dengan menggunakan pelarut metanol, etanol dan aseton yang diuji dengan menggunakan UV visibel menghasilkan panjang gelombang maksimum sebesar 533 nm, 534 nm dan 533nm. Antosianin dari ekstrak daun kelor tidak dapat dipisahkan dengan menggunakan kromatografi kolom sehingga hasil pemisahan tersebut tidak dapat digunakan sebagai dye sensitizer untuk DSSC.

## Daftar Pustaka

- Ardianto, Rino, Wahyunanto Agung Nugroho dan Sandra Malin Sutan. 2015. Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Lapisan Capacitive Touchscreen Sebagai Substrat dan Ekstrak Klorofil *Nannocloropsis* Sp. Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO<sub>2</sub>. Malang: Universitas Malang. Vol. 3 No. 3: 325-337.
- Fitria, Anisa, Amun Amri dan Ahmad Fadli. 2016. Pembuatan Prototip Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma Molabathricum* L) dengan Variasi Fraksi Pelarut dan Lama Perendaman Coating TiO<sub>2</sub>. Pekanbaru: Universitas Riau. Vol. 3 No. 1 Februari 2016.
- Lestario, Lydia Ninan, Hartati Soejipto, dan Agustine Eviningyum. 2009. Identifikasi Antosianin dan Antosianidin dari Daun Iler (*Coleus Sentellariodes* L. Benth) Var. *Crispa* dan Var. *Parfivolius*. Salatiga: Universitas Kristen Setya Wacana.
- Ludin, Norasikin A., A.M. Al-Alwani Mahmoud, Abu Bakar Mohamad, Abd. Amir H. Kadhum, Kamaruzzaman Sopian, and Nor Shazlinah Abdul Karim. 2013. Review on The Development of Natural Dye Photosensitizer for Dye-Sensitized Solar Cell. Baghdad: University of Baghdad.
- Shazlinah Abdul Karim. 2013. Review On The Development of Natural Dye Photosensitizer for Dye-Sensitized Solar Cell. Baghdad: Univesity of Baghdad.
- Oktanuri, Sundari. 2014. Estraksi Pigmen Antosianin dari Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas* Poiret) Metode Maseasi, Soxhletasi dan Ekstraksi Cairan Bertekanan. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- O'Regan, B., dan Gratzel, M. 1991. A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> Film. *Nature*. 353-737.
- Patidar, Vivek dan Preeti Jain. 2017. Green Synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanoparticle Using *Moringa Oleifera* Leaf Extract. India: Medicaps Institute of Science & Technology.
- Uddin, Jasim, Islam, Jahid M. M., Ejajul Karim, Shuak M. M. Khan, Shireen Akhter, Enamul Hoque, dan Mubarak A. Khan. 2015. Preparation and Characterization of Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dye Extract from Red Amaranth (*Amaranthus* sp.) as Sensitizer. Bangladesh: Jahangirnagar University. No. 2, 141- 146.