

Kinerja Pencampuran Pewarna Kunyit dan Indigofera dengan Molaritas Indigo/Kunyit 0,32M/0,23M sebagai *Sensitizer* Pada *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSCC)

Basuki

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasyim Asy'ari, E-mail: ukibas02its@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja pencampuran pewarna kunyit dan indigo. Pewarna kunyit diperoleh dengan metode ekstraksi, sedangkan pewarna indigo diperoleh dengan metode fermentasi dari tanaman indigofera. Pewarna indigofera dan kunyit diberi perlakuan pencampuran pewarna dengan molaritas indigo/kunyit 0,32M/0,23M. Karakteristik dari pewarna tersebut dipelajari. Pada pewarna alami dilakukan pengujian absorbansi, FTIR, dan *cyclic voltammetry*. Pencampuran pewarna tersebut kemudian diaplikasikan pada *dye-sensitized solar cells* (DSSCs) dan kemudian kinerja DSSC diuji pada 0 jam. Hasil UV-Vis menunjukkan bahwa serapan cahaya pewarna dengan molaritas indigo/kunyit 0,32M/0,23M dengan puncak serapan 375 - 525 nm. Dari pengujian FTIR teridentifikasi gugus fungsi pencampuran pewarna dengan molaritas indigo/kunyit 0,32M/0,23M adalah -OH, cincin aromatik C=C, alkana C-H, amina C-N. Hasil uji *cyclic voltammetry* menunjukkan bahwa pencampuran pewarna dengan molaritas indigo/kunyit 0,32M/0,23M mempunyai band gap 0,745 eV. Dari penelitian ini efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya adalah 0,038%.

Kata Kunci: Pewarna alami, kunyit, indigofera, molaritas, kinerja, sel surya.

Abstract

The research is to examine the performance of solar cell with turmeric and indigo dye. Turmeric dye is obtained by extraction method while the indigo dye is obtained by fermentation method from indigofera plants. Indigofera and turmeric dyes were treated by mixing dye with indigo / turmeric molarity 0.32M / 0.23M. Characteristics of the dye are studied. The natural dye was tested with absorbance test, FTIR and *cyclic voltammetry*. The dye mixing was then applied to dye-sensitized solar cells (DSSCs) and then DSSC performance was tested at 0 hours. The UV-Vis results showed that the dye absorption with indigo / turmeric molarity was 0.32M / 0.23M with an absorption peak of 375 - 525 nm. From the FTIR test, the dyeing function mixing group with indigo / turmeric molarity of 0.32M / 0.23M is -OH, C = C aromatic, alkane C-H, amine C-N. The result of cyclic voltammetry test showed that mixing dye with indigo / turmeric molarity 0.32M / 0.23M band gap 0.745 eV. Result from this research of solar cell efficiency is 0.038%.

Keywords: Natural dyes, turmeric, indigofera, molarity, performance, solar cells.

PENDAHULUAN

Efisiensi *dye-sensitized solar cells* (DSSC) salah satunya ditentukan oleh kepekaan pewarna yang digunakan. Pada umumnya jenis pewarna sintetis yang sering digunakan yaitu N719, N3 dan *black dye*. Pewarna sintetis tersebut mempunyai konversi efisiensi yang cukup baik. Namun pewarna sintetis selalu menggunakan beberapa logam yang harganya mahal, pembuatannya rumit dan bisa menyebabkan pencemaran lingkungan (Chang, Wu et al. 2010).

Oleh karena itu untuk menggantikan pewarna sintetis yang mahal dan tidak ramah lingkungan, banyak jenis pewarna alami yang telah aktif dan diuji sebagai penggantinya. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan oleh tim peneliti riset di Teknik Mesin UNS terkait warna alam diantaranya adalah *turmeric dye* (Basuki, Hidajat et al. 2017), daun pepaya (Suyitno, Rachmad et al. 2014; Suyitno, Saputra et al. 2015; Arifin, Soeparman et al. 2017), secang (Mulyanto, Suyitno et al. 2016), dan curcumin (Agustia, Suyitno et al. 2016).

Masing-masing pewarna mempunyai sifat kepekaan molekul yang berbeda-beda jika diaplikasikan pada DSSC (Mozaffari, Saeidi et al. 2015). Diketahui juga bahwa, pewarna alami memiliki respon photovoltaik yang rendah pada DSSC (Gang, Haijun et al. 2014; Suyitno, Rachmad et al. 2014; Suyitno, Saputra et al. 2015; Arifin, Soeparman et al. 2017). Selain persoalan respon photovoltaiknya yang rendah, pewarna alami juga memiliki ketahanan (stabilitas) yang juga rendah (Suyitno, Saputra et al. 2015).

Pada penelitian ini menggunakan campuran pewarna kunyit (curcumin) dengan pewarna indigo. Curcumin merupakan pewarna organik yang berasal dari rimpang tanaman kunyit (*Curcuma longa L*) yang mempunyai intensitas serapan cahaya nampak pada panjang gelombang 420 – 580 nm. Selain itu, curcumin juga bisa digunakan untuk bahan pewarna sel surya karena memiliki stabilitas thermal dan kimia yang tinggi serta sifatnya yang ramah lingkungan dan biayanya yang murah (Kim, Kim et al. 2013). Curcumin menghasilkan efisiensi DSSC 0,36% tanpa penambahan asam asetat dan

0,60% dengan penambahan asam asetat. Dalam hal ini adalah kunyit atau curcumin diekstrak dengan pelarut aseton menghasilkan *efisiensi*, V_{oc} , J_{sc} dan *fill factor* adalah sebagai berikut 0,64%, 0,43 V, 1,35 mA/cm² dan 0,517. Dalam penelitian berlangsung menggunakan pelarut etanol dalam ekstrak kunyit menghasilkan *efisiensi*, V_{oc} , J_{sc} dan *fill factor* adalah 0,36%, 0,56V, 1,00 mA/cm² dan 0,6499 (Sreekala, Jinchu et al. 2012).

Selain pewarna kunyit pada penelitian ini juga menggunakan pewarna indigo. Indigo adalah pewarna alami yang dihasilkan dari tanaman indigofera tinctoria yang telah dibudidayakan selama 4000 tahun di negara Cina, India dan Mesir untuk pewarna tekstil. Indigo memiliki kelarutan yang sangat rendah dan titik lebur yang tinggi yaitu 390 – 392°C (Irimia-Vladu, Głowacki et al. 2012).

Sehingga menarik untuk diteliti pencampuran dua jenis pewarna alami yaitu kunyit dan indigofera untuk sensitizer DSSC, yang mana pewarna kunyit mempunyai efisiensi lebih baik daripada pewarna indigo, tetapi stabilitas warnanya rendah. Hal ini mengingat bahwa pencampuran dua pewarna alami dari kunyit dan *Indigofera* untuk sensitizer DSSC jarang ditemukan pada publikasi-publikasi sebelumnya.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Sintesis Pewarna

Pewarna yang digunakan adalah pewarna kunyit dan indigo. Langkah pertama adalah membuat pewarna kunyit terlebih dahulu dengan cara kunyit dipotong-potong, kemudian dikeringkan. Setelah kering kunyit dihancurkan untuk dijadikan serbuk, kemudian diekstrak. Pada saat proses ekstraksi menggunakan pelarut dengan perbandingan 1 : 7 artinya 1 gram serbuk kunyit dilarutkan kedalam 7 ml etanol. Setelah itu membuat bahan pewarna sel surya dari pewarna alami kunyit dengan cara padatan kunyit dilarutkan dalam alkohol dengan konsentrasi 8 g/100 ml. Langkah kedua adalah membuat pencampuran indigo/kunyit dengan formula molaritas indigo/kunyit 0,32M/0,23M. Ini artinya membuat pewarna indigo lebih dulu dengan massa indigo 100 gram dilarutkan kedalam 1200 ml air kapur tohor diaduk sampai rata kemudian ditambah 16,7 gram hidrosulfid diaduk sampai rata sampai muncul buih warna kuning kehijauan. Setelah itu dilakukan penyaringan dengan kertas saring untuk memisahkan padatan indigo dengan larutan pewarna sehingga dihasilkan larutan pewarna indoxyl yang kuning kehijauan. Kemudian larutan pewarna indigo tersebut dicampur dengan larutan pewarna kunyit dengan konsentrasi 1 gram padatan kunyit kedalam larutan 12 ml etanol. Setelah tercampur kemudian dilakukan proses spray.

2. Sintesis FTO

FTO digunakan untuk penerus cahaya dan sebagai dasar counter elektroda.

3. Sintesis counter elektroda

Counter electrode dalam sel surya berfungsi sebagai katalis untuk redox elektrolit. Bahan yang digunakan untuk membuat counter electrode adalah H₂PtCl₆

4. Sintesis lapisan semikonduktor

Lapisan semikonduktor dibuat dengan menggunakan pasta TiO₂. Proses pembuatan lapisan semikonduktor dengan menggunakan metode doctorblade. Selanjutnya TiO₂ yang telah menempel pada FTO disintering pada suhu 450°C selama 2 jam (Wongcharee, Meeyoo et al. 2007; Chang, Wu et al. 2010) dengan tujuan agar terjadi interlocking (ikatan) antara kaca dengan semikonduktor (Chang and Lo 2010; Chang, Wu et al. 2010).

5. Sintesis elektrolit

Elektrolit yang dipakai dalam penelitian ini adalah garam Sodium Iodide (NaI) 99,95 % murni, Iodine I₂ 99,95 % murni dan HPA

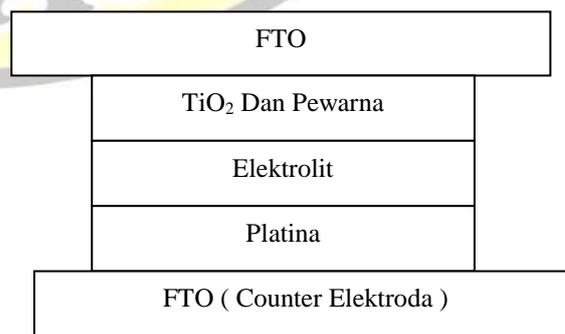
6. Pelapisan sealant

Sealant dan isolatip digunakan untuk melekatkan bagian semikonduktor dan counter electrode

7. Penambahan larutan elektrolit

Proses ini dilakukan dengan memasukkan larutan elektrolit pada dua lubang counter electrode yang telah dilubangi pada sisi pojok atas dan bawah.

Struktur DSSC dibuat seperti pada gambar 1 yang terdiri dari FTO yang telah dilapisi TiO₂ sebagai semikonduktor dan telah direndam dengan pewarna kemudian disatukan dengan pewarna kemudian disatukan dengan konter elektroda yang telah dilapisi platinum, antara FTO semikonduktor, dan FTO counter diberi seal. Selanjutnya dilakukan pengisian elektrolit. Untuk kerja sel surya DSSC diuji dengan pengukuran kurva karakteristik I-V dengan menggunakan digital multimeter merk Keithley 2602 A, dibawah sinar lampu OSRAM 300 W/230V SK TI pada intensitas 1000 W/m². Dari hasil uji kurva karakteristik I-V kemudian dianalisis V_{oc} , I_{sc} , *fill factor*, dan *efisiensi* dari sel surya

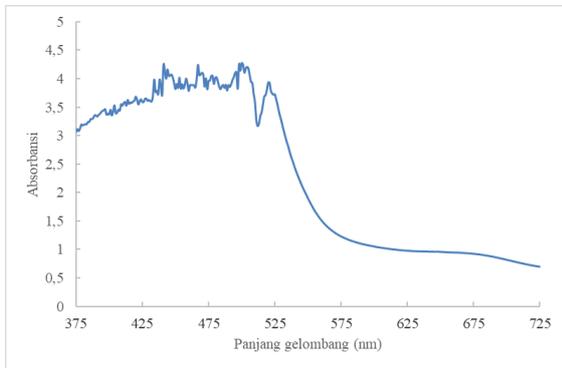


Gambar 1. Skema Struktur Sel Surya DSSC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Uv-Vis

Tingkat absorbansi cahaya nampak pada pencampuran indigo/kunyit dengan formula molaritas indigo/kunyit 0,32M/0,23M ditunjukkan dengan pengujian UV-Vis *Spectrophotometry* sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.

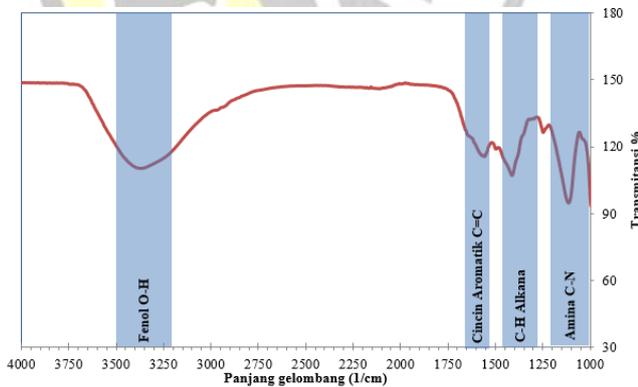


Gambar 2. Hasil Uji Uv-Vis Pewarna Indigo/Kunyit 0,32M/0,23M

Pencampuran pewarna indigo/kunyit dengan molaritas 0,32M/0,23M mempunyai spektrum serapan dari 375 nm sampai 575 nm.

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Analisis uji FTIR pada pewarna dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui gugus-gugus pada masing-masing pewarna yang digunakan pada DSSC. Hasil pengujian FTIR untuk pewarna DSSC dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji FTIR Pewarna Indigo/Kunyit 0,32M/0,23M

Gambar 3 menunjukkan spektrum FTIR (*Fourier transform infra-red*) dari dua pewarna yaitu indigo dan kunyit yang telah dicampur dengan molaritas indigo/kunyit 0,32M/0,23M. Pada pencampuran pewarna indigo/kunyit tersebut diatas terdapat gugus -OH, cincin aromatik C=C, C-H alkana dan amina C-N dimana puncak

serapan terjadi pada daerah 3200-3600 cm^{-1} , 1550-1650 cm^{-1} , 1300-1450 cm^{-1} dan 1000-1200 cm^{-1} .

Pengujian CV (*Cyclic Voltammetry*)

Cyclic voltammetry digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi energi level HOMO-LUMO pada pewarna yang digunakan untuk mewarnai semikonduktor pada DSSC (dye sensitized solar cell). Dari pengujian CV (cyclic voltammetry) tersebut akan dihasilkan data energi potensial oksidasi (E_{oks}) dan energi potensial reduksi (E_{red}) (Sreekala, Jinchu et al. 2012).

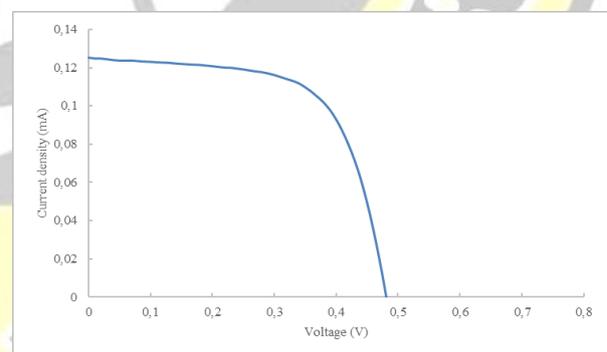
Tabel 1. Hasil Uji *Cyclic Voltammetry* pada Pewarna

| Pewarna | $E_{\text{(oks)}}$ | $E_{\text{(red)}}$ | $E_{\text{(HOMO)}}$ | $E_{\text{(LUMO)}}$ | Band gap |
|-------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------|
| 0,32M/0,23M | 0,43 V | 0,305 V | -4,83 | -4,095 | 0,735 |

Dari tabel 1 menunjukkan bahwa pewarna campuran indigo/kunyit dengan molaritas 0,32M/0,23M memiliki $E_{\text{HOMO}} = -4,83 \text{ eV}$, $E_{\text{LUMO}} = -4,095 \text{ eV}$ dan energi band gap = 0,735eV. Tingkat energi LUMO dapat mempengaruhi injeksi elektron ke conductive band (CB) pada TiO_2 (Ooyama and Harima 2012).

Pengujian DSSC

Gambar 4 menunjukkan kurva I-V hasil pengukuran DSSC. Pengukuran kurva I-V dilakukan dengan bantuan alat solar simulator dengan intensitas cahaya sebesar 1000 W/m^2 . Dari pengukuran tersebut didapatkan nilai V_{oc} , I_{sc} , *fill factor* (FF), R_s , dan *efisiensi* pada sebuah solar cell. Hasil pengujian solar cell dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 4. Kurva I-V DSSC Pewarna Indigo/Kunyit 0,32M/0,23M

Tabel 2. Hasil Uji Sel Surya

| Pewarna Indigo/Kunyit | V_{oc} (mV) | I_{sc} (mA/cm^2) | FF | R_s (ohm) | Efisiensi (%) |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-------|-------------|---------------|
| 0,32M/0,23M | 480 | 0,125 | 0,645 | 525 | 0,038 |

Tabel 2 menunjukkan arus yang dihasilkan DSSC dengan campuran pewarna indigo/kunyit 0,125 mA/cm², nilai tegangan 480 mV dan efisiensi DSSC sebesar 0,038%. Secara umum, efisiensi DSSC dipengaruhi oleh arus, tegangan, dan *FF* dari DSSC itu sendiri (Ooyama and Harima 2012; Suyitno, Saputra et al. 2015).

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil beberapa pengujian dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pencampuran pewarna indigo/kunyit dengan molaritas 0,32M/0,23M mempunyai spektrum serapan dari 375 nm sampai 575 nm.
2. Pencampuran pewarna indigo/kunyit dengan molaritas 0,32M/0,23M terdapat gugus -OH, cincin aromatik C=C, C-H alkana dan amina C-N.
3. Pencampuran pewarna indigo/kunyit dengan molaritas 0,32M/0,23M mempunyai band gap 0,735 eV.
4. Sel surya dengan pencampuran pewarna indigo/kunyit dengan molaritas 0,32M/0,23M mempunyai V_{oc} , J_{sc} , dan efisiensi sel surya sebesar 480 mV, 0,125 mA/cm², dan 0,038%.

Saran

Dari studi ini terlihat jelas bahwa efisiensi sel surya pada pencampuran pewarna indigo/kunyit dengan molaritas 0,32M/0,23M lebih rendah dibandingkan efisiensi sel surya pada penelitian sebelumnya. Hal ini disebabkan karena rendahnya arus dan tegangan sel surya yang menggunakan campuran pewarna indigo/kunyit. Oleh karena itu disarankan pada penelitian berikutnya menggunakan ligand anchor sebagai pendonor untuk meningkatkan efisiensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustia, Y. V., Suyitno, et al. (2016). "Effect of acidity on the energy level of curcumin dye extracted from *Curcuma longa* L." AIP Conference Proceedings **1717**(1): 040005.
- Arifin, Z., S. Soeparman, et al. (2017). "Performance Enhancement of Dye-Sensitized Solar Cells Using a Natural Sensitizer." International Journal of Photoenergy **2017**: 5.
- Basuki, R. L. L. G. Hidajat, et al. (2017). "Effect of sintering time on the performance of turmeric dye-sensitized solar cells." AIP Conference Proceedings **1788**(1): 030010.
- Chang, H. and Y.-J. Lo (2010). "Pomegranate leaves and mulberry fruit as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells." Solar Energy **84**(10): 1833-1837.
- Chang, H., H. M. Wu, et al. (2010). "Dye - sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoe." Journal of Alloys and Compounds **495**: 606-610.
- Gang, W., T. Haijun, et al. (2014). "Series of D- π -A system based on isoindigo dyes for DSSC: Synthesis, electrochemical and photovoltaic properties." Synthetic Metals **187**: 17-23.
- Irimia-Vladu, M., E. D. Głowacki, et al. (2012). "Indigo-A Natural Pigment for High Performance Ambipolar Organic Field Effect Transistors and Circuits." Advanced Materials **24**(3): 375-380.
- Kim, H.-J., D.-J. Kim, et al. (2013). "Curcumin dye extracted from *Curcuma longa* L. used as sensitizers for efficient dye-sensitized solar cells." International Journal of Electrochemical Science **8**(6): 8320-8328.
- Mozaffari, S. A. Saeidi, et al. (2015). "Photoelectric characterization of fabricated dye-sensitized solar cell using dye extracted from red Siahkooti fruit as natural sensitizer." Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **142**: 226-231.
- Mulyanto, S., Suyitno, et al. (2016). "Synthesis and characterization of natural red dye from *Caesalpinia sappan* linn." AIP Conference Proceedings **1717**(1): 040032.
- Ooyama, Y. and Y. Harima (2012). "Photophysical and Electrochemical Properties, and Molecular Structures of Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells." ChemPhysChem **13**(18): 4032-4080.
- Sreekala, C., I. Jinchu, et al. (2012). "Influence of solvents and surface treatment on photovoltaic response of DSSC based on natural curcumin dye." IEEE Journal of Photovoltaics **2**(3): 312-319.
- Suyitno, D. N. Rachmad, et al. (2014). "Effect of Natural and Synthetic Dyes on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cells Based on ZnO Nanorods Semiconductor." Applied Mechanics and Materials **699**: 577-582.
- Suyitno, S., T. J. Saputra, et al. (2015). "Stability and Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Papaya-Leaf Dye." Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **148**(5 September 2015): 99-104.
- Wongcharee, K., V. Meeyoo, et al. (2007). "Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers." Solar Energy Materials and Solar Cells **91**(7): 566-571.