

## PREPARASI EKSTRAK BAYAM MERAH (*AMARANTHUS GANGETICUS*) UNTUK APLIKASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

Farradina Choria Suci<sup>1,\*</sup>, Arnisa Stefanie<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang,  
Jl. H.S. Ronggowaluyo Telukjambe Timur – Karawang, 41361

\*Email: farradina.cs@staff.unsika.ac.id

Diterima: 10 Juli 2021

Direvisi: 6 November 2021

Disetujui: 27 Januari 2022

### ABSTRAK

*Energi matahari merupakan energi terbarukan yang paling menguntungkan, sebab tidak terbatas, tidak dibatasi oleh lokasi geografis, dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan Solar Cell. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) menjadi suatu bentuk energi terbarukan dengan beberapa keuntungan, seperti biaya fabrikasi rendah dan efisiensi konversi fotoelektrik yang tinggi. Struktur perangkat DSSC terdiri dari lima komponen, yaitu substrat konduktif, film tipis semikonduktor, sensitiser, pasangan redoks berupa elektrolit dan elektroda lawan. Penggunaan bahan semikonduktor dan fotosensitizer yang tepat mampu menghasilkan efisiensi fotoelektrik yang tinggi. Adapun dalam aplikasi DSSC, lapisan dye merupakan komponen yang memiliki peranan penting. Dalam penelitian ini, telah dilakukan ekstraksi dye menggunakan daun bayam merah (*Amaranthus gangeticus*) dengan teknik maserasi. Bayam merah merupakan salah satu potensi yang dapat dikembangkan menjadi zat warna alami karena warna merah dari bayam mengandung pigmen alami. Ekstrak bayam merah menggunakan teknik maserasi karena pengerjaan yang tidak rumit dan memerlukan peralatan yang sederhana. Hasil dari ekstrak bayam merah kemudian dilakukan uji menggunakan UV-Vis, FTIR, dan voltametri siklik.*

**Kata kunci:** Ekstrak Bayam Merah, Larutan Dye, Aplikasi DSSC

### ABSTRACT

*Solar energy is the most beneficial renewable energy, because it is not limited, not called by geographical location, and not environmental pollution. Solar energy can be converted into electrical energy using Solar Cells. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a form of renewable energy with several advantages, such as low fabrication costs and high photoelectric efficiency. The structure of the DSSC device consists of five components, namely conductive substrate, semiconductor filmization, sensors, redox in the form of electrolytes and opposing electrodes. The proper use of semiconductor materials and photosensitizers can produce high photoelectric power. Included in the DSSC application, dyestuff is a component that has an important role. In this study, dye extraction was done using red spinach leaves (*Amaranthus gangeticus*) with maceration techniques. Red spinach is one potential that can be developed into dyes because the red color of spinach contains natural pigments. Red spinach extract uses maceration techniques because of simple and sophisticated workmanship that is simple. The results of the red spinach extract were then tested using UV-Vis, FTIR, and cyclic voltammetry.*

**Keywords:** Red amaranth, Dye, DSSC application

## PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup manusia. Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong pencarian sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui, murah dan ramah lingkungan. Untuk mencukupi kebutuhan akan energi perlu dilakukan pemanfaatan energi terbarukan seperti energi matahari, energi air, biomassa, panas bumi, energi angin dan energi samudera (Maulina, 2014). Berdasarkan data dari World Energy Council Tahun 2016, penggunaan energi ramah lingkungan di seluruh dunia masih berada dibawah 10% (World Energy Council 2016). Sedangkan di Indonesia menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, pembangkit listrik yang menggunakan energi ramah lingkungan sebagai sumber utamanya hanya menghasilkan daya dibawah 50 MW dari total daya yang dihasilkan seluruh pembangkit listrik sebesar 38.314 MW, kecuali untuk PLTP (geothermal) yang mampu menghasilkan daya hingga 575 MW dan PLTA sebesar 3.511 MW (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015). Berdasarkan data tersebut, pemanfaatan energi ramah lingkungan di Indonesia masih sangat tidak optimal, karena Indonesia memiliki sumber energi yang berlimpah untuk dimanfaatkan seperti matahari. Energi matahari merupakan energi terbarukan yang paling menguntungkan, sebab tidak terbatas, tidak dibatasi oleh lokasi geografis, dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan (Tsai, 2018).

Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya (*Solar Cell*). Sel surya terbagi menjadi tiga generasi, generasi pertama adalah sel surya berbasis material silikon dengan efisiensi sebesar 15-20%, generasi kedua adalah sel surya berupa lapisan tipis, amorphous silicon, CIGS dan CdTe dengan efisiensi sebesar 10-15%, dan sel surya generasi ketiga berupa sel surya berbasis zat pewarna yang disebut *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan efisiensi tertinggi yang didapatkan sebesar 20%. *Dye Sensitized Solar Cell* menjadi suatu bentuk energi terbarukan dengan beberapa keuntungan, seperti biaya fabrikasi rendah dan efisiensi konversi fotoelektrik yang tinggi (Parisi, *et al.*, 2014 dan Hagfeldt *et al.*, 2010).

Struktur perangkat DSSC terdiri dari lima komponen utama, yaitu substrat konduktif, film tipis semikonduktor (fotoanoda), sensitiser atau zat warna, pasangan redoks (reduksi oksidasi) berupa elektrolit dan elektroda lawan (*counter*) (Obotowo *et al.*, 2016). Bahan semikonduktor yang dapat digunakan untuk DSSC antara lain titanium oksida, seng oksida, timah oksida, magnesium oksida, dan aluminium oksida. Penggunaan  $\text{TiO}_2$  sebagai semikonduktor memiliki kelebihan yaitu ramah lingkungan, memiliki sifat inert dan fotoaktif, mudah diproduksi, banyak dijumpai, relatif murah dan tidak beracun. (Park *et al.*, 2000, Grätzel, 2003, Ludin *et al.*, 2014). Dalam hal ini bahan *dye* yang digunakan harus mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan celah pita energi  $\text{TiO}_2$  sebesar 3,2 eV. Pada DSSC,  $\text{TiO}_2$  harus memiliki permukaan yang luas sehingga *dye* yang terserap lebih banyak dan dapat meningkatkan arus keluaran sel surya. Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  yang digunakan dalam aplikasi DSSC merupakan jenis anatase, hal ini karena  $\text{TiO}_2$  anatase mempunyai kemampuan fotokatalitik yang tinggi. Selain itu, struktur nanokristal dan luas permukaan yang tinggi dari  $\text{TiO}_2$  dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja sistem DSSC terutama dalam meningkatkan densitas dan transfer elektron (Zhang, 2000).

Selain itu, lapisan *dye* merupakan komponen yang memiliki peranan penting dalam DSSC. Ruthenium kompleks merupakan *dye* sintesis komersial yang sering digunakan, namun memiliki harga cukup mahal. Sehingga muncul alternatif pengganti yaitu *dye* alami hasil ekstraksi dari bagian-bagian tumbuhan. seperti daun, kulit buah atau bunga yang tentu saja lebih murah walaupun memiliki kekurangan berupa efisiensi yang kurang dari DSSC dengan *dye* ruthenium kompleks (Sidiq, 2015). Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosentizer pada sistem DSSC, *dye*-sensitizer alami yang pernah digunakan diantaranya bunga mawar, buah manggis, bunga lili, bunga rosella, *blue pea*, *black rice*, buah naga, *blackberry*, *blueberry*, *murberry*, *cranberry* (Zhou *et al.*, 2011; Wongcharee, 2007; Ariyanto, 2013; Kumara *et al.*, 2017). Zat warna alami terbukti mampu memberikan efek fotovoltaiik walaupun efisiensinya masih jauh lebih kecil dibandingkan zat warna sintetis (Artono,

2013). Bila diklasifikasikan menurut warnanya, zat warna dalam tanaman yang sering digunakan dalam DSSC yaitu klorofil, karotenoid, antosianin, dan betalain (Kumara *et al.*, 2017). Terdapat penelitian yang membandingkan efisiensi zat warna antosianin, betalain, dan klorofil dari berbagai tanaman (Zhou, *et al.*, 2011; Woncharee *et al.*, 2005; Ananth *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2015 dan Kumara *et al.*, 2018). Berdasarkan kajian yang dilakukan, ekstraksi betalain dan klorofil dari satu daun masih jarang diteliti dan dilaporkan. Penelitian sebelumnya oleh Uddin *et al.*, (2012) tentang bayam merah sebagai sensitizer alami pada DSSC, telah memisahkan berbagai komponen menggunakan kromatografi tetapi efisiensi yang dilaporkan rendah dan pigmen warna individu tidak diklasifikasikan.

Dalam penelitian ini, telah dilakukan ekstraksi dye menggunakan daun bayam merah (*Amaranthus gangeticus*) dengan teknik maserasi. Bayam merah merupakan salah satu potensi yang dapat dikembangkan menjadi zat warna alami karena warna merah dari bayam mengandung pigmen alami (Ikasari, 2013). Ekstrak bayam merah menggunakan teknik maserasi karena pengerjaan yang tidak rumit dan memerlukan peralatan yang sederhana (Fatayati, 2014).

Berdasarkan uraian diatas, telah berhasil dilakukan ekstrak bayam merah menggunakan teknik maserasi. Hal yang telah dilakukan lebih lanjut adalah karakterisasi optik menggunakan spektrometer UV Vis dan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari ekstrak bayam merah.

## METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilaksanakan dalam 3 tahap, yaitu :

### a. Tahap persiapan

Tahap persiapan yaitu studi pustaka serta persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan.

### b. Tahap Sintesis Material dye bayam merah (*Amaranthus gangeticus*)

Daun bayam merah yang telah dipisahkan dari tangkainya dipotong kecil-kecil dan ditimbang sebanyak 5 gram. Kemudian bayam tersebut di blender dan dilakukan variasi larutan menggunakan aquades, etanol, metanol dan aseton. Masing-masing larutan sebanyak 40

ml. Setelah itu disimpan di tempat gelap selama 24 jam. Ekstrak yang telah dimaserasi kemudian disaring dengan kertas saring. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi. Metode maserasi bertujuan untuk mengambil zat atau senyawa aktif yang terdekat pada suatu bahan menggunakan pelarut tertentu. Mengekstrak zat warna diperlukan metode yang sesuai dengan sifat bahan agar dihasilkan stabilitas pigmen yang tinggi (Hermawan dkk, 2010).

### c. Tahap Karakterisasi dan Analisis Material dye bayam merah (*Amaranthus gangeticus*)

Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui karakteristik material yang diuji dengan berbagai alat uji sesuai dengan karakteristik yang ingin diketahui. Dalam penelitian ini, untuk menganalisa dan memecahkan permasalahan yang ada dibutuhkan karakterisasi intensitas cahaya dengan menggunakan Uv-Vis Spektrofotometer untuk mengetahui tingkat penyerapan cahaya (absorpsi), Cyclic Voltammetry untuk mengetahui tingkat level energi HOMO dan LUMO pada dye dan FTIR yang digunakan untuk melihat interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik, serta mengidentifikasi senyawa, khususnya senyawa organik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sintesis Dye Bayam Merah (*Amaranthus gangeticus*)

Pada penelitian ini telah dilakukan ekstraksi dari daun bayam merah (*Amaranthus gangeticus*) menggunakan variasi pelarut yaitu aquades, asam asetat, aseton, metanol dan etanol. Daun bayam merah dipisahkan dari tangkainya kemudian dipotong kecil-kecil dan ditimbang sebanyak 5 gram. Selanjutnya daun bayam dihancurkan dan dihaluskan menggunakan mortar. Daun bayam yang telah halus dicampurkan dengan berbagai variasi larutan, masing-masing sebanyak 40 ml. Campuran tersebut kemudian dihomogenkan dan disimpan di tempat yang gelap selama 24 jam. Ekstrak yang telah dimaserasi kemudian di saring menggunakan kertas saring untuk memisahkan filtratnya.

Proses ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi (ekstraksi dingin) dimana daun bayam merah direndam dalam variasi

pelarut. Metode maserasi ini bertujuan untuk menarik senyawa aktif yang terdapat pada suatu sampel menggunakan pelarut tertentu, dimana dalam mengekstrak zat warna diperlukan metode yang sesuai dengan sifat bahan (sumber pigmen) agar dihasilkan stabilitas pigmen yang tinggi (Hermawan,dkk., 2010). Prinsip penarikan zat atau senyawa aktif dari sampel yaitu dengan adanya gerak kinetik dari pelarut, dimana pelarut akan selalu bergerak pada suhu kamar walaupun dilakukan tanpa pengadukan. Akan tetapi pengadukan dapat dilakukan secara berkala atau sesekali untuk mempercepat proses ekstraksi.

Pada saat dilakukan proses maserasi akan terjadi pemecahan dinding sel tempat pigmen seperti antosianoplas dan kloroplas akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel tumbuhan, sehingga pigmen yang keluar dari sel kemudian larut dalam pelarut. Pigmen yang diekstrak berkaitan dengan panjang gelombang sinar matahari yang diserap. Sensitizer yang efektif harus menyerap cahaya melebihi rentang dari cahaya tampak hingga infra merah. Hasil ekstraksi dengan metode maserasi didapatkan sebanyak lima *dye* bayam merah dengan variasi pelarut seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

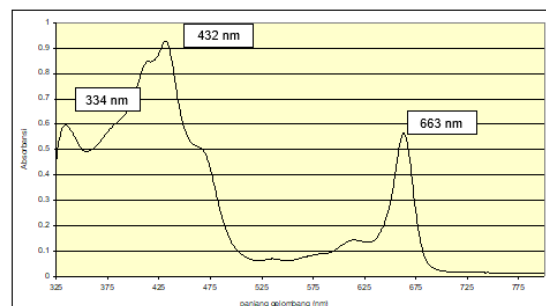


**Gambar 1.** Hasil ekstraksi daun bayam merah dengan berbagai pelarut

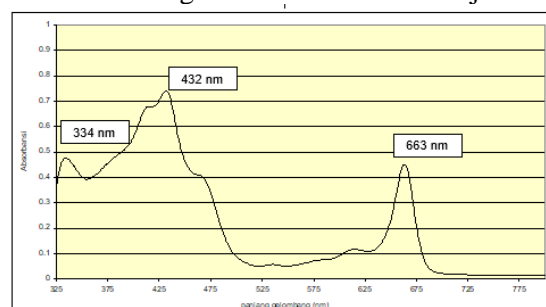
### Karakterisasi dan Analisis Material *dye* bayam merah (*Amaranthus gangeticus*)

Sifat optik material berkaitan dengan respon suatu material terhadap radiasi elektromagnetik dan secara khusus pada rentang cahaya tampak. Beberapa sifat optik material adalah absorsi, refleksi dan transmisi. Pada penelitian ini sifat optik dibatasi pada absorbansi *dye* bayam merah. Absorbansi merupakan kuantitas yang menyatakan kemampuan bahan dalam menyerap (mengabsorpsi) cahaya. Absorbansi cahaya terjadi ketika eksitasi elektron dari pita valensi melewati *bandgap* menuju pita konduksi, sehingga tercipta sebuah elektron bebas dalam pita konduksi dan *hole* di pita valensi.

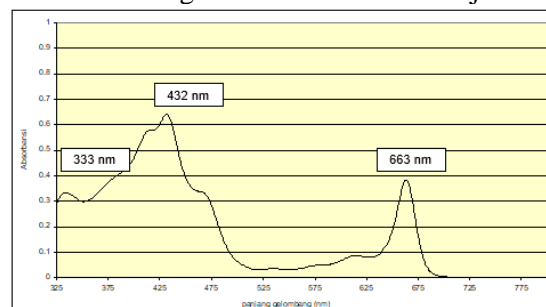
Proses pengujian absorbansi *dye* bayam merah diawali dengan proses *baseline* pada spektrofotometer. Proses ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh air, etanol, methanol dan aseton sebagai pelarut pada ekstraksi bayam merah. Selanjutnya setelah proses *baseline*, dilakukan pengujian absorbansi *dye*. Karakterisasi optik variasi pelarut *dye* bayam merah menggunakan UV-Vis spektrofotometer pada rentang panjang gelombang 190-1100 nm yang merupakan spectrum sinar tampak. Pada rentang panjang gelombang tersebut, *dye* organik secara alami efektif menyerap cahaya pada cahaya tampak saat berlangsungnya proses fotosintesis. Berikut merupakan hasil dari spektrum UV Vis BM Acetone dengan maserasi 24 jam, 48 jam dan 72 jam ditunjukkan pada Gambar 2-4 berikut.



**Gambar 2.** Spektrum serapan ekstrak bayam merah dengan Aceton Maserasi 24 jam

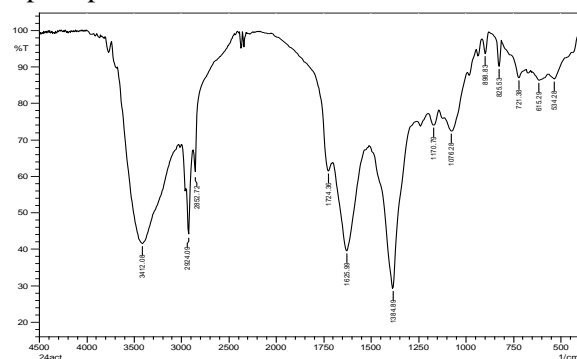


**Gambar 3.** Spektrum serapan ekstrak bayam merah dengan Aceton Maserasi 48 jam



**Gambar 4.** Spektrum serapan ekstrak bayam merah dengan Aceton Maserasi 72 jam

Untuk mengetahui kandungan gugus organik dalam dye bayam merah yang dimaserasi dalam aseton, dilakukan karakterisasi dengan spektroskopi Fourier Transform Infra Red (FTIR) pada bilangan gelombang  $4500\text{cm}^{-1} - 400\text{ cm}^{-1}$  (mid-infrared spectrum). Spektra inframerah dibandingkan terjadi reduksi ikatan dan perubahan penyerapan tranmitansi pada setiap daerah spektrum infra merah. Berdasarkan data hasil pengukuran, diperoleh grafik spektrum FTIR seperti pada Gambar 5.



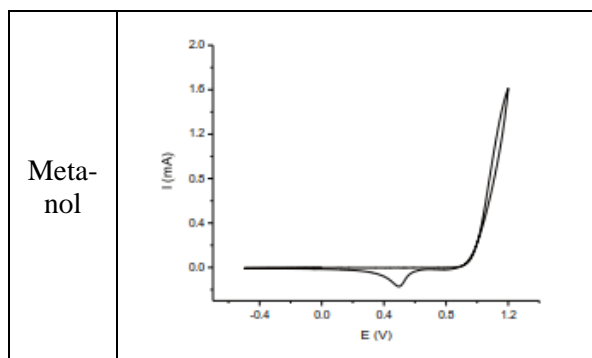
**Gambar 5.** Spektrum IR ekstrak bayam merah dengan Aceton

Hasil FTIR menunjukkan bahwa dye bayam merah adanya serapan pada bilangan gelombang yang berbeda-beda. Terdapat serapan yang lebar dengan intensitas yang kuat yang menunjukkan adanya gugus OH pada bilangan gelombang  $3412.08\text{ cm}^{-1}$ . Hasil spektrum juga menunjukkan adanya serapan yang tajam dengan intensitas sedang pada bilangan gelombang  $1384.89\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan ikatan C-H. Secara keseluruhan, gugus-gugus fungsi tersebut bersesuaian dengan gugus fungsi yang terdapat pada kerangka dasar antosianin.

Karakterisasi Voltametri siklik pada dye bayam merah dengan variasi larutan. Voltametri siklik bertujuan untuk mengetahui level energy HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dan LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) dari dye bayam merah yang dimaserasi dalam variasi pelarut (aquades, asam asetat, aseton, metanol dan etanol). Volatmmetri siklik dilakukan pada larutan sampel bayam merah dalam NaCl 1 M dengan *scan rate* 20 mV/s menggunakan elektroda kerja emas cakram, elektroda pendukung kawat platina dan

elektroda pembanding Ag/AgCl menggunakan Potensiostat/Galvanostat eDAQ 410.

| Pelarut     | Grafik Volatmmetri siklik |
|-------------|---------------------------|
| Aqua-des    |                           |
| Asam asetat |                           |
| Ase-ton     |                           |
| Etanol      |                           |



**Gambar 6.** Karakterisasi Voltametri siklik pada berbagai pelarut

Prototip instrumen elektrokimia merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk menyelidiki proses reaksi elektrokimia dalam suatu larutan. Proses ini terjadi berdasarkan reaksi reduksi dan oksidasi. Elektroda kerja dibuat semakin negatif ataupun positif sehingga terjadi proses transfer elektron dari atau ke dalam larutan dengan permukaan elektroda kerja. Instrumen ini bertujuan untuk mengukur arus hasil reaksi elektrokimia kemudian memvisualisasikan profil arus fungsi tegangan dengan kurva voltamogram. Namun dari hasil pengukuran yang dilakukan untuk menghasilkan suatu profil arus dengan tegangan ini ternyata tidak dapat mendeteksi puncak anoda seperti yang dihasilkan dari alat komersial.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh dua kesimpulan dalam penelitian ini.

1. Pembuatan *dye* bayam merah dengan berbagai variasi larutan telah dilakukan dengan proses maserasi, dimana ditemukan gugus fungsi yang sesuai dengan antosianin.
2. Karakterisasi material *dye* bayam merah dengan berbagai variasi larutan telah dilakukan dengan proses maserasi, dengan uji menggunakan UV-Vis, FTIR, dan Voltanmetri Siklik.

## DAFTAR PUSTAKA

A. Lim, N. T. R. N. Kumara, A. L. Tan, A. M. Mirza, R. L. N. Chandrakanthi, M. J. Petra, L. C. Ming, G. K. R. Senadeera, P. Ekanayake, (2015). Potential natural sensitizers extracted from the skin of *Canarium odontophyllum* fruits for dye-

sensitized solar cells, *Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc.* 138, pp.596-602.

Agarry, S.E., dan Jimoda, L.A. (2013). *Application of Carbon-Nitrogen Supplementation from Plant and Animal Sources in In-situ Soil Bioremediation of Diesel Oil: Experimental Analysis and Kinetic Modelling.* *Journal of Environmental and Earth Science.*

Ananth S, Vivek P, Arumanayagam T, Murugakoothan P. (2014). Natural dye extract of lawsonia inermis seed as photo sensitizer for titanium dioxide based dye sensitized solar cells. *Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectros;*128:420–6.

Ariyanto, T., (2013), Analisis Efisiensi Dye sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Kulit Buah Naga Merah dan Kulit Buah Naga Merah, Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITB, Bandung.

Artono, M., (2013), Fabrikasi Dye sensitized Solar Cell Menggunakan Natural Dye sebagai Alternatif Dye Ruthenium, Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITB, Bandung.

B. Caratao, E. Carneiro, P. Sa, B. Almeida, S. Carvalho, J. Nanotecnol. (2014) 472132 (pp. 5)

Bhardwaj, N. & Kundu, S.C. (2010). Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique. *Biotechnology Advances.* 28: 325-347.

Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiya, R., Koide, N., & Han, L.Y. (2006). Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%. *Jpn. J. Appl. Phys.* 45 L638-L640.

G. Calogero, J.-H. Yum, A. Sinopoli, G. Di Marco, M. Grätzel, M.K. Nazeeruddin, (2012). Anthocyanins and betalains as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells, *Sol. Energy* 86 (5), pp. 1563–1575.

H. Zhou, W. Liqiong, G. Yurong, M. Tingli, (2011). Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* 219, pp.188–194.



- Hagfeldt, G. Boschloo, L. Sun, L. Kloo, H. Pettersson, (2010). Dye-sensitized solar cells, *Chem. Rev.* 110, pp.6595–6663.
- Huang, Z.M., Zhang, Y.Z., Kotaki, M., & Ramakhrisna, S. (2003). A Review On Polymer Nanofiber by Electrospinning and Their Application In Nanocomposites. *Composites Science and Technology.* 63(15). 2222-2253.
- J. Uddin, J. M. M. Islam, E. Karim, S. M. M. Khan, S. Akhter, E. Hoque, M. A. Khan, (2015). Preparation and characterization of dye sensitized solar cell using natural dye extract from *Amaranthus gangeticus* (*Amaranthus* sp) as sensitizer, *Int. J. Thin Fil. Sci. Tech.* 4, pp.141-146.
- K. Woncharee, V. Meeyoo, S. Chavadej, (2005). Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers, *Sol. Energ. Mat. Sol. Cells* 91, pp.566-571.
- K. Wongcharee, V. Meeyoo, S. Chavadej, (2007). Dye sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 91, pp. 566–571.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2015). *Statistik Ketenagalistrikan*. Jakarta.
- L. K. Singh, T. Karlo, A. Pandey, (2014). Performance of fruit extract of *Melastoma malabathricum* L.as sensitizer in DSSCs, *Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc.* 118. 938-943.
- Lai, W.H., Sub, Y.H., Teoh, L.G., dan Hon, M.H. (2007). Commercial and Natural Dyes as Photosensitizers for a Water-Based Dye-Sensitized Solar Cell Loaded with Gold Nanoparticles, *Elsevier Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195, 307–313.
- Lee, D.Y., Kim, B.Y., Lee, S.J., Lee, M.H., Song, Y.S., Lee, J.Y., (2006). Titania Nanofiber Prepared by Electrospinning. *J. Korean Phys Soc.* 48: 1686-1690.
- Lim A, et al. (2015). Potential natural sensitizers extracted from the skin of *Canarium odontophyllum* fruits for dye-sensitized solar cells. *Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectrosc* 138(0):596–602.
- Lim A, Pg Damit DNFB, Ekanayake P. (2015). Tailoring of extraction solvent of *Ixora coccinea* flower to enhance charge transport properties in dye-sensitized solar cells. *Ionics* 21(10):2897–904.
- M. Gratzel, Dye-sensitized solar cells, *J Photochem Photobiol C: Photochem Rev* 4 (2003) 145–153.
- M.L. Parisi, S. Maranghi, R. Basosi, (2014). The evolution of the dye sensitized solar cells from Gratzel prototype to up-scaled solar applications: a life cycle assessment approach, *Renew Sustain Energy Rev.* 39, pp.124-138.
- Maulina, Anna., Hardeli., Bahrizal., (2014), “Preparasi Dye Sensitized Solar Cel Menggunakan Ekstrak Antosianin Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana* L)” *Jurnal Sainstek* Vol. VI No. 2: 158-167
- Muhaimin, M., Astuti, W.D., Sosiati, H., & Triyana, K. (2014). Fabrikasi Nanofiber Komposit Nanoselulosa/ PVA dengan Metode Elektrospining. *Fisika, FMIPA UGM: Yogyakarta*.
- N.A. Ludin, M.A.M. Al-Alwani, A.B. Mohamad, A.A.H. Kadhum, K. Sopian, N.S. Abdul Karim, (2014). Review on the development of natural dye photosensitizer for dye-sensitized solar cells, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31, pp.386–396.
- Park NG, Van De Lagemaat J, Frank AJ. (2000). Comparison of dye-sensitized rutile- anatase-based TiO<sub>2</sub> solar cells. *J Phys Chem B.* 104(38):8989–94.
- Patrocínio, A.O.T., Mizoguchi, S.K., Paterno, L.G., Garcia, C.G., dan N.Y. Murakami, N.Y. (2009). Efficient and Low Cost Devices for Solar Energy Conversion: Efficiency and Stability of Some Natural-Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Synthetic Metals*, 159, 2342–2344.
- S. Chuangcote, T. Sagawa, S. Yoshikawa, *Applied Physics Letters* 93 (2008) 033310.
- Sidik, Moch L., Risanti, D D., Sawitri., D., (2015), “Sintesis Zat Warna Komposit Berbasis Anthocyanin dari Ekstrak Kulit Manggis, Wortel, dan Kunyit sebagai Fotosensitiser pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)” *Paper And Presentation of*

Physics Engineering RSF 621.312 44 Sid  
S.

- Tsai, C.H., Chuang, P.Y., dan Hsu, H.L. (2018). Adding graphene nanosheets in liquid electrolytes to improve the efficiency of dye-sensitized solar cells, *Materials Chemistry and Physics* 207, pp.154-160.
- Wallace, G. G., Innis, P.C., & Mauuire, L.A.P.K. (2004). In *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*. American Scientific Publisher. Los Angeles.
- World Energy Council. (2016). *World Energy Resources*. World Energy Council Report, London.
- Y. Chiba, A. Islam, Y. Watanabe, R. Komiya, N. Koide, L.Y. Han, (2006). Dye sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%, *Jpn. J. Appl. Phys.* 45, pp.638–640.
- Zhang, H., & Banfield, J.F. (2000). Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates Insights from TiO<sub>2</sub>. *J. Phys Chem B*, vol. 104, pp. 3481.