

**MINI-REVIEW: PEMBUATAN *DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC)
MENGUNAKAN SEMIKONDUKTOR TiO_2 DENGAN BANTUAN ZAT PEWARNA
ALAMI**

**A MINI-REVIEW: FABRICATION OF *DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC) USING
 TiO_2 SEMICONDUCTOR WITH THE HELP OF NATURAL DYES**

Muhammad Irvan Mulya Pratama^{*}, Veliyana London Allo, Noor Hindryawati
Laboratorium Kimia Anorganik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Mulawarman, Jl. Barong Tongkok, Samarinda, Indonesia
^{*}Corresponding Author : m.ir.van.m.pratama@gmail.com

Diterbitkan: 30 Oktober 2022

ABSTRACT

The availability of energy sources such as coal and oil is getting thinner every year. Sunlight is one of the most abundant sources of energy on earth. Solar cells can convert this energy into electricity and over time, dye-Sensitized solar cells (DSSC) have the potential to be developed because they have good efficiency. However, the use of synthetic dyes is difficult to obtain and is toxic because it contains heavy metals. Therefore, natural dyes are used as alternative materials in the fabrication of DSSC. The purpose of this article is to review the results of research on DSSC using natural dyes. The method used in this research is the literature review method. The results of the literature review show that the DSSC made with TiO_2 semiconductor and natural dyes has a good efficiency of about 0,592 %. Natural dyes can be obtained by extracting plants containing anthocyanins, curcumin and chlorophyll such as red cabbage, turmeric and pandan leaves, what's interesting is that using 2 different types of natural dyes will produce higher efficiency than 1 type of dye. In addition, treatment factors such as dye extraction, the amount of TiO_2 used and the length of immersion into the dye also affect the efficiency of the DSSC.

Keywords: *DSSC, natural dyes and efficiency*

ABSTRAK

Ketersediaan sumber energi seperti batu bara dan minyak bumi menjadi semakin menipis setiap tahunnya. Sinar matahari menjadi salah satu sumber energi yang berlimpah di bumi. Sel surya dapat mengkonversi energi tersebut menjadi listrik dan seiring berjalannya waktu, sel surya berbasis zat pewarna atau *dye-Sensitized solar cells* (DSSC) memiliki potensi dikembangkan karena memiliki efisiensi yang baik. Namun, penggunaan pewarna sintesis sulit didapatkan dan bersifat racun karena mengandung logam berat. Oleh karena itu, digunakan pewarna alami sebagai bahan alternatif dalam pembuatan DSSC. Tujuan dari artikel ini untuk meninjau hasil penelitian tentang DSSC yang menggunakan zat pewarna alami. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kajian literatur. Hasil dari kajian literatur menunjukkan bahwa DSSC yang dibuat dengan semikonduktor TiO_2 dan zat warna alami memiliki efisiensi yang baik yaitu sekitar 0,592 %. Zat warna alami dapat diperoleh dengan mengekstrak tanaman yang mengandung antosianin, kurkumin dan klorofil seperti kubis merah, kunyit dan daun pandan, yang menariknya lagi bahwa dengan menggunakan 2 jenis pewarna alami yang berbeda akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan 1 jenis pewarna. Selain itu, faktor perlakuan seperti ekstraksi pewarna, jumlah TiO_2 yang digunakan, serta lama perendaman ke dalam zat warna juga mempengaruhi efisiensi dari DSSC.

Kata kunci: *DSSC, zat pewarna alami dan efisiensi*

PENDAHULUAN

Bahan bakar seperti batu bara dan minyak bumi menjadi sumber energi yang umum dan banyak digunakan di seluruh dunia. Penggunaannya bermacam-macam seperti pada pembangkit listrik (PLN), pada kendaraan dan lain-lain. Namun, kedua sumber tersebut bersifat terbatas. Diperkirakan 15 tahun ke depan, kenaikan produksi batu bara dan minyak bumi tidak akan sama dengan kebutuhan dunia pada batu bara dan minyak bumi yang semakin meningkat [14].

Sumber energi yang tak terhingga seperti sinar matahari menjadi sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan kedua bahan bakar tersebut. Sinar matahari yang mengenai permukaan bumi menghasilkan energi sekitar 1000 watt/m^2 [6]. Sinar matahari tersebut datang ke bumi dalam bentuk foton sehingga diperlukan suatu alat yang dapat mengkonversi energi tersebut menjadi energi listrik. Salah satunya dengan menggunakan sel surya.

Sel surya menggunakan prinsip fotovoltaik untuk menghasilkan energi listrik. Sel surya menggunakan kristal silikon menghasilkan efisiensi sebesar 29 % [3]. Namun, pembuatan sel surya berbasis silikon ini tidak mudah dan membutuhkan suhu yang tinggi dan penggunaan bahan kimia yang berbahaya. Kemudian pada tahun 1991, Gretzel dan Brian O'Regan mengembangkan sel surya generasi ketiga yaitu *dye-sensitized solar cells* (DSSC) atau sel surya berbasis pewarna dengan efisiensi sebesar 11-12% [7]. Pembuatan sel surya ini menggunakan bahan yang mudah didapatkan, harga yang terjangkau dan proses penyusunan sel yang sederhana. Sel surya ini juga memiliki kekurangan. Faktor utama yaitu pada pewarna yang digunakan. Gretzel dan O'Regan menggunakan pewarna sintetik rutenium kompleks yang sulit didapatkan dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, para peneliti mencoba menggunakan pewarna alami sebagai pengganti dari pewarna sintetik.

Artikel ini bertujuan untuk meninjau atau *review* terhadap artikel-artikel tentang DSSC menggunakan pewarna yang berbeda-beda dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Selain itu, artikel ini bertujuan mengetahui efisiensi yang dihasilkan setiap DSSC serta mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensinya.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kajian literatur terhadap artikel-artikel yang berkaitan dengan DSSC menggunakan zat pewarna alami. Artikel yang di *review* sebanyak 10 artikel (7 artikel menggunakan 1 jenis pewarna dan 3 artikel menggunakan 2 atau lebih jenis pewarna). 10 artikel tersebut menggunakan semikonduktor TiO_2 , pewarna alami dan memiliki nilai efisiensi (η %). Semikonduktor yang digunakan harus sama jenisnya karena penggunaan semikonduktor yang berbeda akan mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel 1, Maulina *et al.* [11] menggunakan pewarna dari ekstrak kulit manggis dimana warna ungu berasal dari senyawa antosianin. Pada artikel ini menggunakan polietilen glikol (PEG) 2000 dengan variasi konsentrasi dan variasi perendaman pewarna. PEG digunakan agar elektrolit menjadi semi-padat dan penulis mengatakan bahwa tujuan digunakan PEG agar elektrolit tidak mudah menguap. Didapatkan DSSC yang menggunakan PEG dengan konsentrasi 0,1 M dan maserasi pewarna selama 24 jam menghasilkan efisiensi tertinggi sebanyak 0,592 %.

Andari *et al.* [1] menggunakan pewarna dari ekstrak bunga Rosella dimana warna ungu berasal dari senyawa antosianin. Pada artikel ini, terdapat variasi elektrolit dan menggunakan 2 jenis sumber cahaya yaitu cahaya matahari dan cahaya lampu halogen 150 watt. Didapatkan DSSC yang menggunakan larutan elektrolit dengan konsentrasi 0,5 M dan menggunakan sumber cahaya matahari menghasilkan efisiensi sebesar 0,52 %. Pada artikel ini mengatakan bahwa, cahaya matahari memiliki intensitas cahaya yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan lampu dan penggunaan konsentrasi elektrolit yang tinggi juga mempengaruhi efisiensi DSSC.

Cari *et al.* [4] menggunakan 8 variasi pewarna (bayam, daun cincau, brokoli, kulit melinjo, bunga sepatu, bunga telang, ubi jalar kuning dan ubi jalar ungu) dengan berbagai perlakuan pada saat ekstraksi. Selain itu, sumber cahaya yang digunakan adalah 1000 W *illumination lamp* karena cahaya tersebut hampir setara dengan 1360 W/m^2 radiasi matahari. Didapatkan DSSC yang menggunakan ekstrak bayam yang mengandung klorofil dengan

maserasi selama 24 jam menghasilkan efisiensi sebesar 0,072 %.

Hardani *et al.* [8] menggunakan 3 variasi pewarna (daun binahong, bunga euphorbia dan daun *rhoeo discolor*) dan ketiga pewarna tersebut mengandung senyawa klorofil. Sumber cahaya yang digunakan hanya digunakan lampu halogen 100 mW/cm² dan energi intensitas 680,3 W/m². Didapatkan DSSC yang menggunakan ekstrak Daun *Rhoeo Discolor* dengan maserasi selama 24 jam menghasilkan efisiensi sebesar 0,024 %. Nilai tersebut lebih kecil dari nilai efisiensi nomor 3 yang disebabkan karena penggunaan sumber cahaya yang digunakan memiliki intensitas yang berbeda.

Lestari *et al.* [10] menggunakan ekstrak pewarna umbi bit dimana umbi bit mengandung senyawa betalain. Pada artikel ini memiliki keunikan penelitian dibandingkan dengan artikel lain, yaitu melakukan analisis elektrokimia dengan variasi perlakuan seperti variasi pH pewarna, waktu deposisi terbaik dan laju pindai terbaik. Hasil dari DSSC yang menggunakan ekstrak umbi bit dengan maserasi selama 24 jam menghasilkan efisiensi sebesar 0,004 %.

Basuki *et al.* [2] menggunakan pewarna dari ekstrak kunyit yang mengandung senyawa kurkumin. Ekstraksi kunyit dilakukan selama 7 jam dengan suhu 70°C. Metode yang digunakan pada saat deposisi TiO₂ ke kaca konduktif adalah metode sintering dengan suhu 450°C dan dilakukan variasi waktu sintering. Didapatkan DSSC yang menggunakan ekstrak kunyit dengan proses sintering TiO₂ selama 150 menit menghasilkan efisiensi sebesar 0,2 %. Artikel ini mengatakan bahwa proses sintering selama 150 menit adalah waktu yang optimum untuk meningkatkan porositas TiO₂ namun waktu sintering selama 180 menit dapat menurunkan porositas TiO₂ sebesar 3,36 % dan penurunan tersebut juga mempengaruhi proses penyerapan pewarna dan efisiensi DSSC.

Hossein *et al.* [9] menggunakan pewarna dari ekstrak kunyit yang mengandung senyawa kurkumin. Maserasi dilakukan selama 12 jam. Metode yang digunakan pada saat deposisi TiO₂ ke kaca konduktif adalah metode *doctor blade*. Variasi yang dilakukan adalah variasi pelarut, variasi waktu penyerapan pewarna dan variasi perlakuan sampel kunyit sebelum dimaserasi. Didapatkan DSSC yang menggunakan sampel kunyit kering yang dimaserasi dengan pelarut etanol dan proses penyerapan pewarna selama 2 jam menghasilkan efisiensi sebesar 0,33 %.

Dahlan *et al.* [5] menggunakan 6 variasi pewarna (daun pandan, kunyit, biji beras merah, campuran biji beras merah + pandan, campuran kunyit + pandan dan campuran biji beras merah + kunyit) dimana 3 pewarna menggunakan 1 jenis pewarna dan 3 pewarna yang lain menggunakan pewarna campuran dengan perbandingan 1:1. Maserasi dilakukan selama 12 jam menggunakan pelarut etanol. Metode yang digunakan pada saat deposisi TiO₂ ke kaca konduktif adalah metode *doctor blade*. Didapatkan DSSC yang menggunakan sampel campuran biji beras merah + kunyit menghasilkan efisiensi sebesar 0,207 %. Nilai tersebut lebih tinggi dari DSSC yang menggunakan 1 jenis pewarna (0,056%). Namun, nilai tersebut lebih kecil dari pada nilai dari artikel lain yang disebabkan karena penggunaan sumber sinar yang digunakan.

Puspitasari *et al.* [12] menggunakan 7 variasi pewarna (Buah Manggis, alfalfa klorofil, kunyit, campuran buah Manggis + klorofil, campuran kunyit + buah Manggis, campuran kunyit + klorofil dan campuran buah Manggis + klorofil + kunyit dengan perbandingan 1:1:1). dengan 3 pewarna menggunakan 1 jenis pewarna dan 4 pewarna campuran. Metode yang digunakan pada saat deposisi TiO₂ ke kaca konduktif adalah metode *doctor blade*. Pada artikel ini, tidak menggunakan bubuk TiO₂ yang dijual melainkan mensintesis bubuk TiO₂ dalam ukuran nanometer. Selain itu, variasi yang digunakan adalah variasi elektrolit dimana elektrolit pertama menggunakan aquades, padatan KI dan larutan I₂ sedangkan elektrolit kedua menggunakan asetonitril, padatan KI dan larutan I₂ lebih banyak dari sebelumnya. Didapatkan DSSC yang menggunakan pewarna campuran buah Manggis + klorofil + kunyit dengan menggunakan elektrolit kedua menghasilkan efisiensi sebesar 0,0566 %. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan pewarna campuran yang lain dengan penggunaan elektrolit pertama. Artikel ini mengatakan bahwa penggunaan asetonitril pada elektrolit lebih bagus dibandingkan menggunakan aquades. Selain itu, dengan mencampurkan 3 jenis pewarna yang berbeda akan memperluas penyerapan panjang gelombang sehingga elektron yang dihasilkan lebih tinggi dan meningkatkan efisiensi DSSC.

Tahir *et al.* [13] menggunakan 3 variasi pewarna (daun *Jatropha*, bunga krisan ungu dan campuran daun *Jatropha* dan bunga krisan ungu dengan perbandingan 1:1). Metode yang digunakan pada saat deposisi TiO₂ ke kaca

konduktif adalah metode *spin coating*. Pada artikel ini, terdapat penambahan pelarut dalam ekstrak sampel yaitu asam sitrat dan air (perbandingan etanol, asam sitrat dan air 5:1:4). Didapatkan DSSC yang menggunakan campuran daun *Jatropha* dan bunga krisan ungu menghasilkan efisiensi sebesar $1,91 \times 10^{-3}$ % dan nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan 1 jenis pewarna (yang tertinggi sebesar $5,53 \times 10^{-6}$ %).

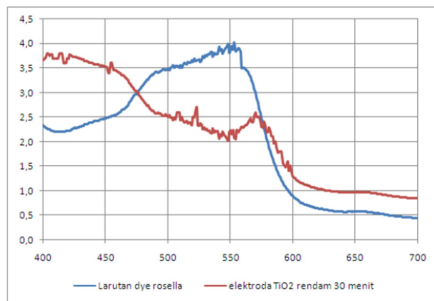
Dari hasil peninjauan artikel pada tabel 1, semua semikonduktor TiO_2 yang digunakan adalah semikonduktor yang berukuran nanometer (umumnya bermerek P-25 Degusa) atau bisa juga dilakukan sintesis nano partikel TiO_2 seperti pada artikel nomor 9. Pembuatan pasta TiO_2 biasa mencampurkan bubuk TiO_2 dengan etanol. Tetapi bisa juga digunakan asam nitrat, asam asetat, Triton X-100 dan PEG. Metode yang digunakan saat melakukan deposisi TiO_2 ke permukaan kaca konduktif ada 3 metode. Metode *doctor blade* digunakan pada artikel nomor 1, 2, 7, 8 dan 9, metode *spin coating* pada artikel nomor 3, 4 dan 10 dan metode sintering

digunakan pada artikel nomor 6. Untuk artikel nomor 5 tidak disebutkan metode yang digunakan. Pada bagian arus (ampere), tegangan (voltase) dan hasil efisiensi, nilai setiap artikel berbeda-beda. Yang menyebabkan nilai-nilai tersebut berbeda-beda yaitu pewarna yang digunakan, lama perendaman pewarna, konsentrasi elektrolit, sumber cahaya dan lain-lain. Pada proses perendaman elektroda kerja dengan pewarna, lama perendaman yang paling bagus dilakukan selama 24 jam dimana semakin lama proses perendaman maka semakin banyak pewarna yang diserap oleh TiO_2 yang terdapat pada elektroda kerja dan elektron yang dihasilkan juga semakin banyak. Sumber cahaya yang berbeda menghasilkan efisiensi yang berbeda. Cahaya lampu menghasilkan intensitas yang lebih kecil dibandingkan dengan cahaya matahari. Intensitas cahaya yang kecil akan menghasilkan efisiensi kecil. Umumnya para peneliti menggunakan lampu karena sinar matahari bisa berubah kapan saja dan setiap tempat mendapatkan intensitas cahaya yang berbeda-beda.

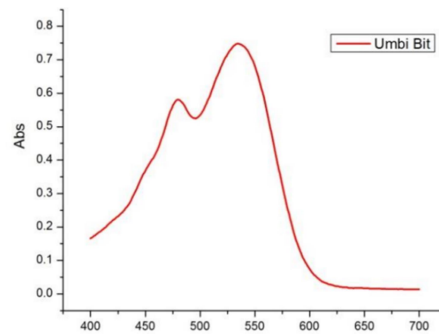
Tabel 1. Pembuatan DSSC Menggunakan Semikonduktor TiO_2 Dengan Bantuan Zat Pewarna Alami

| No. | Zat Pewarna alami | Sumber | Kondisi optimum | Metode | Ukuran TiO_2 | V (mV) | I (10^{-6} A) | Hasil Efisiensi | Penulis |
|-----|-------------------|----------------------------|---|---------------------|-----------------------------|--------|------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | Antosianin | Kulit Manggis | - Waktu maserasi: 24 jam - Konsentrasi PEG pada elektrolit: 0,1 M | <i>Doctor Blade</i> | Nano dalam bentuk bubuk | 293,1 | 2021,37 | 0,592 % | Maulina, <i>et al</i> , 2014 [11] |
| 2 | Antosianin | Bunga Rosella | - Konsentrasi elektrolit: 0,5 M - Lama maserasi: 24 jam - Sumber Cahaya: Matahari | <i>Doctor Blade</i> | Nano dalam bentuk bubuk | 124,5 | 80 | 0,52 % | Andari, 2017 [1] |
| 3 | Klorofil | Bayam | - Waktu maserasi: 24 jam - Sumber cahaya: 1000 W <i>illumination lamp</i> | <i>Spin Coating</i> | Nano dalam bentuk bubuk | 0,3334 | 14 | 0,072 % | Cari, <i>et al</i> , 2018 [4] |
| 4 | Klorofil | Daun <i>Rhoeo Discolor</i> | - Waktu perendaman: 24 jam - Sumber cahaya: Lampu Halogen | <i>Spin Coating</i> | Nano dalam bentuk bubuk | 370 | 350 | 0,024 % | Hardani, <i>et al</i> , 2014 [8] |
| 5 | Betalain | Umbi Bit | - pH pewarna : 4 - Waktu deposisi TiO_2 : 15 detik - Laju pindai: 0,5 V/s | - | Anatase dalam bentuk serbuk | 210 | 6,2 | 0,004 % | Lestari dan Setiarso, 2021 [10] |
| 6 | Kurkumin | Kunyit | - Waktu ekstraksi: 7 jam dengan suhu 70°C - Waktu sintering TiO_2 : 150 menit | Sintering | Nano dalam bentuk bubuk | 640 | 470 | 0,2 % | Basuki, <i>et al</i> , 2017 [2] |

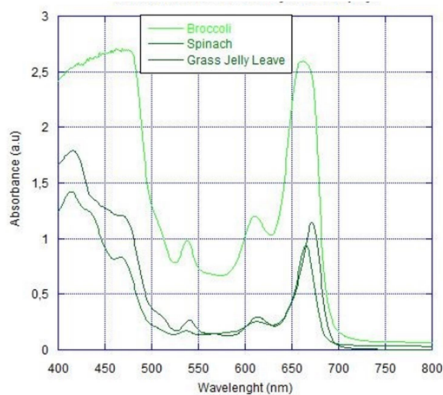
| | | | | | | | | | |
|----|----------------------------------|---|--|---------------------|--------------------------|------|------|-----------|---------------------------------------|
| 7 | Kurkumin | Kunyit | <ul style="list-style-type: none"> - Variasi pelarut: etanol - Waktu penyerapan pewarna: 2 jam - Waktu maserasi: 12 jam | <i>Docter Blade</i> | Nano dalam bentuk bubuk | 540 | 1020 | 0,33 % | Hossein, <i>et al</i> , 2017 [9] |
| 8 | Antosianin + kurkumin | Biji <i>Black rice</i> dan kunyit | <ul style="list-style-type: none"> - Perbandingan konsentrasi pewarna: 1:1 - Waktu maserasi: 2 jam | <i>Docter Blade</i> | Nano dalam bentuk serbuk | 595 | 150 | 0,207 % | Dahlan, <i>et al</i> , 2016 [5] |
| 9 | Antosianin + Klorofil + kurkumin | Buah Manggis, alfalfa klorofil dan kunyit | <ul style="list-style-type: none"> - Perbandingan Konsentrasi pewarna: 1:1:1 - Elektrolit: 3 gram KI, 10 mL asetonitril dan 3 mL iodine | <i>Docter Blade</i> | Nano dalam bentuk bubuk | 496 | 60 | 0,0566 % | Puspitasari, <i>et al</i> , 2017 [12] |
| 10 | Antosianin + Klorofil | Krisan ungu dan Daun <i>Jatropha</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Waktu maserasi: 24 jam - Waktu penyerapan pewarna: 2 jam - Perbandingan konsentrasi pewarna: 1:1 | <i>Spin Coating</i> | Nano dalam bentuk bubuk | 22,5 | 22,5 | 0,00191 % | Tahir, <i>et al</i> , 2018 [13] |



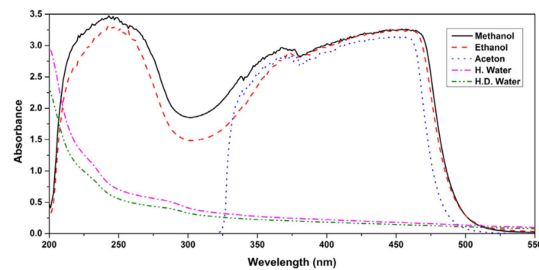
Gambar 1. Spektra UV-Vis antosianin dari pewarna Rosella [6]



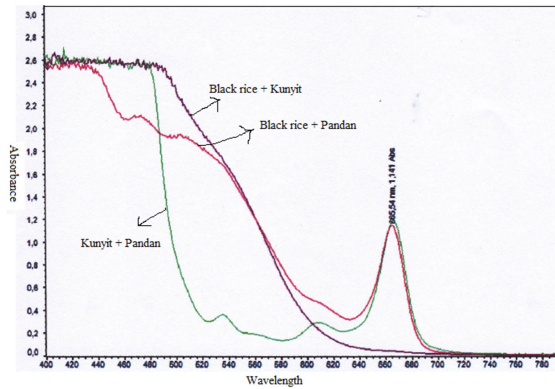
Gambar 3. Spektra UV-Vis betalain dari ekstrak umbi bit [9]



Gambar 2. Spektra UV-Vis klorofil dari ekstrak brokoli, bayam dan daun cincau [7]



Gambar 4. Spektra UV-Vis kurkumin dari ekstrak kunyit dalam variasi pelarut [11]

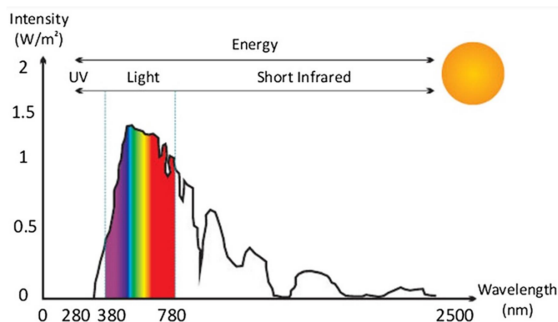


Gambar 5. Spektra UV-Vis pewarna campuran [12]

Hubungan Efisiensi DSSC Dengan Adsorbansi Panjang Gelombang

Berdasarkan gambar spektrum yang terdapat pada gambar 1 sampai 5, menunjukkan bahwa pewarna yang mengadsorbansi panjang gelombang dari 400 hingga 550 nm seperti antosianin dan kurkumin menghasilkan efisiensi yang lebih banyak. Pewarna klorofil yang mengadsorpsi panjang gelombang di sekitar 400-500 dan sekitar 650 nm tidak cukup menghasilkan efisiensi yang tinggi. Pewarna betalain memiliki adsorbansi di sekitar 550 nm namun mengalami penurunan adsorpsi dikiri 475 nm.

Hal ini disebabkan karena intensitas semua panjang gelombang yang datang ke permukaan bumi berbeda-beda. Berdasarkan gambar 6, menunjukkan bahwa panjang gelombang disekitar 500 memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan panjang gelombang disekitar 700 nm. Menurunnya intensitas pada panjang gelombang disekitar 700 nm akan menurunkan proses eksitasi elektron pada pewarna yang membutuhkan panjang gelombang disekitar 700 nm. Akibatnya, elektron yang dihasilkan berkurang dan efisiensi yang dihasilkan kecil.



Gambar 6. Spektra radiasi sinar matahari [15]

Pada artikel nomor 8, 9 dan 10 pada tabel 1, penggunaan pewarna campuran pada DSSC akan memperluas adsorpsi panjang gelombang *visible* sehingga proses eksitasi elektron semakin banyak dan elektron yang dihasilkan juga semakin banyak. Perluasan adsorpsi panjang gelombang paling bagus disekitar 550 nm dibandingkan pada panjang gelombang disekitar 670 nm [15].

KESIMPULAN

DSSC yang dibuat dengan semikonduktor TiO_2 dan zat warna alami memiliki efisiensi yang baik yaitu sekitar 0,592 %. Zat warna alami dapat diperoleh dengan mengekstrak tanaman yang mengandung antosianin, kurkumin dan klorofil seperti kubis merah, kunyit dan daun pandan, yang menariknya lagi bahwa dengan menggunakan 2 jenis pewarna alami yang berbeda akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan 1 jenis pewarna. Selain itu, faktor perlakuan seperti ekstraksi pewarna, jumlah TiO_2 yang digunakan, serta lama perendaman ke dalam zat warna juga mempengaruhi efisiensi dari DSSC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andari, R. (2017). Sintesis dan karakterisasi dye sensitized solar cell (dssc) dengan sensitizer antosianindari bunga rosella (*Hibiscus Sabdariffa*). *JIIF*, 1(2), 140–150. ISSN: 2549-0516.
- [2] Basuki, Lambang, R., L., Suyitno dan Kristiawan, B. (2017). Stabilitas dan kinerja pewarna kunyit dan indigofera sebagai sensitizer pada dye-sensitized solar cells (dsscs). *AIP Conference Proceedings* 1788(1), 409–416. DOI:10.1063/1.4968263
- [3] Blaker, A., Zin, N., McIntosh, K. R., dan Fong, K. (2012). High efficiency silicon solar cells. *Energy Procedia*, 33, 1–10. DOI:10.1016/j.egypro.2013.05.033
- [4] Cari, C., Septiawan, T. Y., Suciatioko, P. M., dan Khairuddin (2018). The preparation of natural dye for dye-sensitized solar cell (DSSC). *AIP Conference Proceedings* 2014, 1. DOI:10.1063/1.5054510
- [5] Dahlan, D., Leng, T. S., dan Aziz, H. (2016). Dye Sensitized solar cells (dssc) dengan sensitiser dye alami daun pandan, akar kunyit dan biji beras merah (black rice). *JIF*, 8(1), 1–8. ISSN: 1979-4657

- [6] Fuada, S., Hananta, P. F. Kusumawardhana A. dan Suharmanto, P. (2015). A study in developing a charger helmet as power bank of mobile phone for motorcyclists. *KnE Energy*, 146-152. ISSN: 2413-5453.
- [7] Gratzel, M. (2005). Dye-sensitized solid-state heterojunction solar cells. *MRS Bull.*, 30 (1), 23-27.
- [8] Hardani, Hendra, Darmawan, M. I., Cari, dan Supriyanto, A. (2014). Penggunaan ekstrak daun binahong (*Bassella Rubra* Linn) sebagai zat peka cahaya TiO₂-nano partikel dalam dye-sensitized solar cell (dssc). *Prosiding Seminar Nasional Fisikadan Terapan IV*. A4-A8. ISSN: 2407-2281.
- [9] Hossein, Md. K., Pervez, M. F., Mia, M. N. H., Mortuza, A. A., Rahaman, M. S., Karim M. R., Islam, J. M. M. Ahmed, F., dan Khan, M. A (2017). Effect of dye extracting solvents and sensitization time on photovoltaic performance of natural dye sensitized solar cells. *Results in Physics*, 7, 1516-1523. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.04.011>
- [10] Lestari, E. A. I. dan Setiarso, P. (2021). Studi elektrokimia ekstrak betalain umbi bit sebagai pewarna alami dssc (dye sensitized solar cell). *UNESA Journal of Chemistry*, 10(3), 318-325. DOI: <https://doi.org/10.26740/ujc.v10n3.p318-325>
- [11] Maulina, A. Hardeli dan Bahrizal (2014). Preparasi dye sensitized solar cel menggunakan ekstrak antosianin kulit buah manggis (*Garcinia Mangostana* L). *Jurnal Sainstek*, 6(2), 158-167. ISSN: 2085-8019.
- [12] Puspitasari, N., Silviyanti, N. A., Yudoyono, G. dan Endarko (2017). Effect of mixing dyes and solvent in electrolyte toward characterization of dye sensitized solar cell using natural dyes as the sensitizer. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 214. 1-6. doi:10.1088/1757-899X/214/1/012022
- [13] Tahir, D., Satriani, W., Gareso, P. L. dan Abdullah, B. (2018). Dye sensitized solar cell (DSSC) with natural dyes extracted from *Jatropha* leaves and purple *Chrysanthemum* flowers as sensitizer. *Journal of Physics: Conference Series* 979. 1-7. doi :10.1088/1742-6596/979/1/012056
- [14] Şahin, S. dan Veziroğlu, T. N. (2008). 21st Century's energy: hydrogen energy system. *Energy Conversion and Management*, 49, 1820-1831. doi:10.1016/j.enconman.2007.08.015
- [15] Sudhakar, K., Srivastava, T., Satpathy, G. dan Premalatha, M. (2013). Modelling and estimation of photosynthetically active incident radiation based on global irradiance in Indian latitudes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 21(4), 1-8.