

Efektivitas Penggunaan Elektroda Tembaga, Seng, Alumunium, dan Kaca Indium Timah Oksida (ITO) Pada Performa *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) Pewarna Kulit Buah Naga Merah

Dilmatin Nuraeni, Wawan Kurniawan, Joko Saefan, Ernawati Saptaningrum, Affandi Faisal Kurniawan, Umami Kaltsum*

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas PGRI Semarang

*Email: ummikaltsum@upgris.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan listrik yang semakin meningkat menambah jumlah permintaan kebutuhan listrik, sehingga perlu adanya energi alternatif seperti sel surya. Sel surya berbasis fotoelektrokimia ini memanfaatkan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pada DSSC pewarna kulit buah naga merah. DSSC tersusun seperti *sandwich*, terdiri dari elektroda kerja dan elektroda lawan dari berbagai logam (tembaga, alumunium, seng dan kaca ITO). Hasil uji efektivitas performa DSSC tertinggi adalah elektroda seng (Zn) sebesar 2,32%.

Kata kunci: DSSC; kulit buah naga; pewarna; TiO₂

ABSTRACT

The increasing use of electricity increase the electricity demand, so there is a need for alternative energy such as solar cells. This solar cell based on photoelectrochemical convert sunlight energy into electrical energy. This study aims to determine the effectiveness of DSSC red dragon fruit skin dye. The DSSC structure is like a sandwich, consisting of a working electrode and a counter electrode of various metals (copper, aluminum, zinc and ITO glass). The result shows zinc electode has the highest performance effectiveness (2.32%).

Keywords: DSSC; red dragon fruit skin; dye; TiO₂

PENDAHULUAN

Sel surya merupakan salah satu energi alternatif yang berpotensi dari sumber energi matahari. Sel surya menarik untuk diteliti, karena komponennya tidak memerlukan biaya mahal dan memanfaatkan energi matahari yang tersedia melimpah. Pengembangan sel surya sudah sampai tiga generasi. Generasi pertama dan kedua adalah sel surya berbasis silikon. Pada sel surya generasi kedua, tebal lapisan semikonduktornya lebih tipis, sehingga disebut sebagai sel surya lapisan tipis. Sel surya berbasis silikon menggunakan material yang mahal dan tidak ramah lingkungan.

Penelitian sel surya semakin berkembang pesat semenjak ditemukannya sel surya organik berbasis pewarna tersintesisasi yang dikenal dengan *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC) dan disebut sebagai sel surya generasi ketiga (Mustaqim et al., 2017). O' Regan (1991) menemukan metode *pewarna-sensitizer* untuk mengekstraksi pewarna dari tumbuhan yang berperan menangkap energi matahari. Pewarna yang digunakan pada DSSC berasal dari pewarna organik yang terdapat pada daun, buah, kulit buah, bunga, kulit pohon dan akar. Pewarna dari tumbuhan dan buah-buahan yang memiliki warna mencolok seperti merah, hitam atau ungu, dan oranye mengandung antosianin (Nadeak dan Susanti, 2012). Tidak seperti pewarna sintetis, sel surya yang tersintesa pewarna organik ini bersifat ramah lingkungan (Shalini et al., 2015).

Setiap jenis pewarna memiliki efisiensi berbeda-beda, sehingga perlu dilakukan pengembangan pewarna dengan menggunakan pelarut yang berbeda. Noviyanty et al (2019) menggunakan kulit buah naga merah kering yang diekstraksi dengan berbagai jenis pelarut seperti ethanol, etil asetat, dan campuran air dengan aseton. Ekstraksi kulit buah naga yang terbaik dihasilkan dari pelarut ethanol dengan hasil rendemen sebesar 26,15% dan aktivitas antioksidan sebesar 120,53%. Kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) mengandung pigmen antosianin, memiliki ikatan rangkap terkonjugasi yang panjang dan memiliki kemampuan menyerap cahaya pada rentang cahaya tampak (Kwartiningsih et al., 2016). Serapan panjang gelombang antosianin berada pada 450-580 nm. Kulit buah naga merah yang diekstraksi dengan ethanol menghasilkan panjang gelombang serapan antosianin 532 nm (Sova dan Setiarso, 2021).

Dalam pembuatan DSSC perlu adanya bahan semikonduktor untuk memperbanyak elektron yang mengalir pada ruang reaksi dan absorbansi oleh pewarna. Absorbansi pewarna terjadi bergantung pada kekuatan elektron yang terikat dalam molekul. Ketika foton dari sinar matahari dipancarkan pada permukaan sel surya, energi foton diserap oleh elektron dari bahan

semikonduktor, sehingga elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (Eliyana et al, 2020). Salah satu bahan semikonduktor yang telah dimanfaatkan adalah Titanium dioksida, karena TiO_2 memiliki efisiensi relatif tinggi, fabrikasi mudah, toksitas rendah, dan stabilitas berjangka panjang. TiO_2 memiliki lebar pita (E_g) sebesar 3,2 eV, sehingga cocok untuk panjang gelombang ultraviolet. Berbagai upaya dilakukan untuk menurunkan lebar pita ini, salah satunya dengan mendoping serbuk grafit pada elektroda pembanding. DSSC pewarna buah naga merah yang didoping oleh serbuk grafit menghasilkan efisiensi sebesar 0,293% (Oktasendra, 2016). Pada penelitian ini akan dibuat DSSC yang terdiri dari elektroda kerja yang dilapisi TiO_2 dan elektroda lawan dari beberapa bahan (tembaga, seng, alumunium dan kaca ITO) yang dideposisi pasta karbon aktif dari arang limbah tempurung kelapa. Absorben pada arang tempurung kelapa menyebabkan terbukanya pori-pori arang untuk memperluas permukaan karbon aktif (Pambayun et al., 2013).

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah titanium dioksida (TiO_2), kalium iodide, iodine, aquades, acethon, polyvinyl alcohol (PVA), ethanol 96%, kaca indium timah oksida (ITO), kulit buah naga merah, tembaga, seng, alumunium, dan arang tempurung kelapa.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda kerja, elektroda lawan, multimeter digital, *scanning alectron microscope* (SEM), *x-ray diffractometer* (XRD), *UV-Vis spektrometer*, dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

Pembuatan DSSC

Langkah-langkah dalam penyusunan DSSC yaitu:

1. membuat larutan pewarna kulit buah naga merah

2. membuat larutan elektrolit dari kalium iodine, iodine dan akuades
3. membuat lapisan tipis dari serbuk TiO_2 dan *polyvinyl alcohol* (PVA).
4. Membuat elektroda kerja dari kaca ITO yang dilapisi pasta TiO_2
5. Membuat elektroda lawan dari bahan tembaga, seng, alumunium dan kaca ITO yang dilapisi pasta arang tempurung kelapa.
6. Menyusun elektroda kerja dengan elektroda lawan secara *sandwich* menjadi DSSC.

Pengujian DSSC

DSSC yang terbentuk diuji karakteristiknya dengan XRD, morfologi dengan SEM, *UV-Vis spektrometer* dan FTIR. Selanjutnya, DSSC diuji elektrisitasnya dengan multimeter. DSSC yang terbentuk dan pengujian elektrisitasnya ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. DSSC pewarna kulit buah naga merah (kiri) dan pengujian elektrisitas DSSC (kanan)

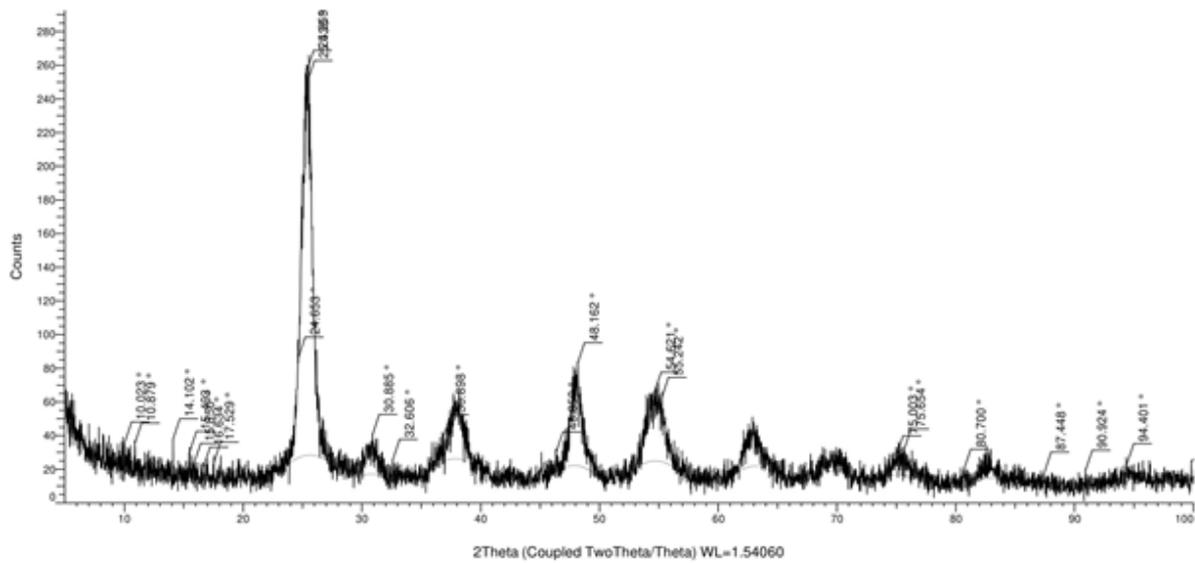
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji karakteristik

Analisa XRD

Pengukuran difraksi sinar X dilakukan pada rentang sudut 10° - 95° , panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54060 \text{ \AA}$ dan hasilnya ditampilkan pada gambar 2. Terdapat puncak-puncak pada sudut tertentu dengan puncak tertinggi pada $25,28^\circ$ yang mengindikasikan kristal TiO_2 fase

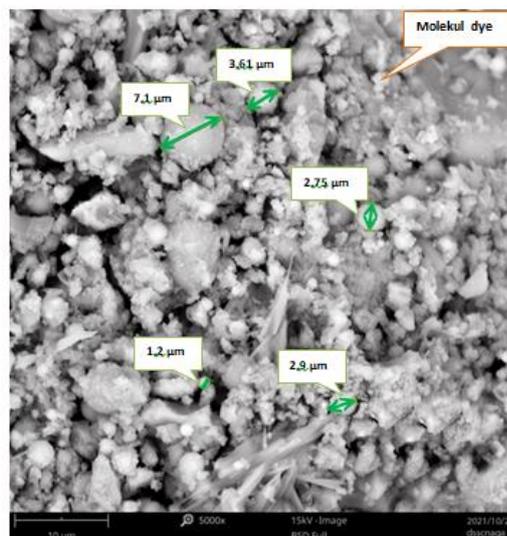
anatase. Fasa kristal anatase memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi, sehingga baik diaplikasikan pada DSSC.



Gambar 2. Hasil uji XRD

Analisa SEM

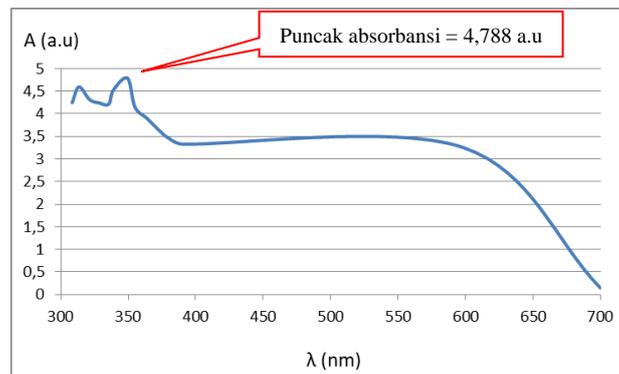
Struktur morfologi lapisan TiO₂ diuji dengan SEM dan hasilnya ditampilkan pada gambar 3. Permukaan TiO₂ teramati berupa bulir-bulir dengan ukuran rata-rata sebesar 3,512 μm . Bulir yang dihasilkan tersebar secara tidak merata pada keseluruhan lapisan, karena saat pembuatan elektroda kerja, pasta TiO₂ yang akan dideposisikan pada substrat kaca ITO masih agak encer dan suhu pendeposisian kurang tinggi (150°C).



Gambar 3. Hasil SEM lapisan TiO₂

Analisa UV-Vis

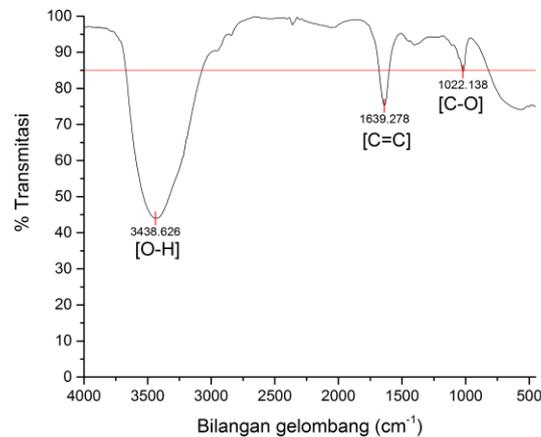
Pengujian UV Vis spektrotometer dilakukan untuk mengetahui nilai absorbansi pewarna kulit buah naga merah, diukur pada rentang 300-700 nm dan hasilnya disajikan pada gambar 4. Absorbansi pewarna terhadap cahaya pada permukaan DSSC menyebabkan bahan elektron-elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada TiO₂, sehingga mampu menghasilkan arus (Eliyana et al, 2020). Nilai absorbansi maksimum sebesar 4,788 a.u pada panjang gelombang 349,5 nm. Hal ini menunjukkan kemampuan pewarna dalam menyerap cahaya maksimum pada panjang gelombang 349,5 nm.



Gambar 4. Nilai absorbansi kaca ITO yang dilapisi TiO₂ dan pewarna kulit buah naga merah

Analisa FTIR

Pengujian FTIR untuk mengetahui senyawa dan gugus fungsi dari pewarna ekstrak kulit buah naga merah. Hasil pengujian menunjukkan terdapat puncak-puncak serapan dari spektrum infra merah pada panjang gelombang tertentu yang mengindikasikan adanya gugus fungsi O-H, C=C, dan C=O. Gugus fungsi O-H merupakan penyusun struktur antosianin (Setiawan et al, 2013). Antosianin adalah salah satu senyawa dalam kulit buah naga merah.



Gambar 4. Grafik hasil uji FTIR pada pewarna kulit buah naga merah

Uji Elektrisitas

DSSC yang telah terbentuk diuji elektrisitas untuk mengetahui tegangannya dengan multimeter. Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter, sehingga belum mengondisikan intensitas cahaya yang menyinari permukaan DSSC. Penyinaran cahaya matahari secara langsung memiliki intensitas cahaya yang berubah, sehingga pengukuran tegangan pada performa DSSC menghasilkan tegangan yang berubah-ubah.

Untuk mengetahui efektivitas performa DSSC, dilakukan perhitungan efisiensi dengan menggunakan cahaya matahari pada pukul 10.00-11.00 WIB, karena pada waktu ini memiliki intensitas lebih besar dari 100.000 lux (Asy'ari dan Jatmiko, 2012). Nilai efisiensi DSSC dengan pengukuran tegangan yang paling tinggi dari berbagai elektroda lawan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Efisiensi DSSC pada macam-macam elektroda

Jenis elektroda lawan	V (V)	Efisiensi (%)
Cu	0,305	0,73%
Al	0,486	1,85%
Zn	0,544	2,32%
Kaca ITO	0,198	0,04%

Performansi DSSC dipengaruhi oleh banyaknya pewarna yang terserap pada substrat kaca ITO yang telah terdeposisi lapisan TiO₂ dan luas penampang. Semakin banyak pewarna yang terserap, semakin baik performansi DSSCnya. Semakin luas penampang DSSC, semakin besar daerah serapan dan transfer elektron. Efisiensi tertinggi pada elektroda seng, sedangkan efisiensi terendah pada kaca ITO. Tinggi rendahnya efisiensi ditentukan oleh tegangan yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan elektroda lawan seng terbesar, sehingga efisiensinya juga terbesar.

Secara keseluruhan performa DSSC belum cukup baik yang ditinjau dari nilai efisiensi yang sangat rendah. Efisiensi yang kecil disebabkan oleh tegangan dan arus yang sangat kecil. Arus ditentukan oleh proses transfer elektron di dalam DSSC. Intensitas cahaya yang menyinari permukaan DSSC tidak stabil, sehingga nilai tegangan tidak stabil. Pada elektroda kerja DSSC, serapan pewarna kulit buah naga merah tidak tampak mencolok.

SIMPULAN DAN SARAN

Performansi DSSC elektroda (tembaga, seng, alumunium dan kaca ITO) memiliki efektivitas yang berbeda-beda. Efisiensi DSSC elektroda tembaga sebesar 0,73%, elektroda seng sebesar 2,32%, elektroda alumunium sebesar 1,85% dan elektroda kaca ITO sebesar 0,04%. DSSC dengan jenis elektroda lawan seng memiliki efektivitas paling besar, sedangkan yang memiliki efisiensi paling kecil adalah elektroda kaca ITO. Pada saat

pengukuran elektrisitas DSSC, sebaiknya intensitas cahaya yang digunakan stabil agar tegangan yang dihasilkan juga stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Asy'ari, H., Jatmiko & Angga. (2012). Intensitas Cahaya Matahari terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Prosiding Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*. Surakarta, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Eliyana, A., Puspitarum, D.L., Laksono, D. (2020). Studi Awal Pengaruh Ekstrak Buah Naga Merah sebagai Bahan Dye Pada Sel Surya. *Jurnal Ilmu Dasar*, 21(1), 49-54.
- Kwartiningsih, E., Prastika, A. & Triana, D.L. (2016). Ekstraksi dan Uji Stabilitas Antosianin dari Kulit Buah Naga Super Merah. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Yogyakarta, UPN Veteran Yogyakarta.
- Mustaqim, Haris, A. & Gunawan. (2017). Fabrikasi Pewarna-Sensitized Solar Cell Menggunakan Fotosensitizer Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus Sabdariffa L*) dan Elektrolit Padat Berbasis PEG (Polyethylene Glycol). *Kimia Sains dan Aplikasi*, 20(2), 62-67.
- Nadeak, S. M. R. & Susanti, D. (2012). Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO₂ sebagai Pewarna-Sensitizer Solar Cell (DSSC) dengan Pewarna dari Ekstrak Buah Naga Merah. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 81–86.
- Noviyanty, A., Salingkat, C.A. & Syamsiar. (2019). Pengaruh Jenis Pelarut terhadap Ekstrak dari Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Kovalen*, 5(3), 271-279.
- Oktasendra, F. (2016). Pengembangan Prototipe Sel Surya DSSC (Pewarna Sensitized Solar Cell) Lapisan TiO₂/Grafrit Menggunakan Campuran PCBM:P3HT. *Jurnal of Physics*, 2(1), 11 - 16.
- O' Regan, B.G.&M. (1991). *A Low-cast High-Efficiency Solar Cell*. 1st ed. Switzerland: Swis Federal Institute of Technology
- Pambayun, G., Yulianto, R. & Endah, R. (2013). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 116 - 120.
- Setiawan, A., Fatayati, I. & Aliah, H. (2013). Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus Costaricensis*) terhadap Efisiensi DSSC. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 11(1), 1-7.
- Shalini, Prabhu, B.R.P., Mallick, T.K. & Senthilarasu. (2015). Review on Natural Pewarna Sensitized Solar Cells: Operation, Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51(1), 1306-1325.
- Sova, R. R. & Setiarso, P. (2021). Studi Elektrokimia Klorofil dan Antosianin sebagai Fotosensitizer DSSC (Pewarna-Sensitized Solar Cell) Electrochemical Study of Chlorophyll and Anthocyanin as DSSC (Pewarna-Sensitized Solar Cell) Photosensitizer. *Jurnal of Chemistry*, 10(2), 191–199.