



## PENENTUAN EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) MENGGUNAKAN EKSTRAK BUAH KAKTUS (*Opuntia elatior* Mill.)

[Determination of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Efficiency Used Cactus Fruit Extract (*Opuntia elatior* Mill.)]

Christianto Pasunu<sup>1\*</sup>, Ruslan<sup>1</sup>, Hardi Ys.<sup>1</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tadulako, Palu  
Jl. Soekarno Hatta Km.9, Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu, Telp. 0451- 422611

\*)Corresponding author: christianto.pasunu@gmail.com

Diterima 6 Agustus 2017, Disetujui 20 Oktober 2017

### ABSTRACT

Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) research by using cactus fruit extract (*Opuntia elatior* Mill.) has been done. The objectives of the research are to determine the highest efficiency of submersion time and Dye pH treatments of cactus fruit extract (*Opuntia elatior* Mill.). This research was used a Complete Random Design (CRD) method whereas the submersion time of the worked electrode on five extents of treatments are 6,12,18, 24, 30 hours and Dye pH on four extents of treatments are 1, 3, 5, and 7. The result showed that the optimum time at 12 hours with the Dye pH at 3 has resulted in the highest efficiency of 0.105.

**Keywords:** Cactus fruit extract, *Opuntia elatior* Mill, efficiency, DSSC.

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang penentuan efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan ekstrak buah kaktus (*Opuntia elatior* Mill.). Tujuan penelitian ini untuk menentukan waktu perendaman dan pH pewarna dari ekstrak buah kaktus (*Opuntia elatior* Mill.) yang menghasilkan efisiensi tertinggi. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas 2 perlakuan yaitu waktu perendaman elektroda kerja pada lima taraf perlakuan yaitu 6, 12, 18, 24, 30 jam dan pH pewarna pada empat taraf perlakuan yaitu 1, 3, 5, 7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu perendaman elektroda kerja selama 12 jam pada larutan pewarna dengan pH 3 menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 0,1052.

**Kata kunci:** Ekstrak Buah Kaktus, *Opuntia elatior* Mill, efisiensi, DSSC.

## LATAR BELAKANG

Energi di dunia dari masa ke masa memiliki ketersediaan yang semakin menipis, termasuk pada ketersediaan energi listrik yang berasal dari sumber energi konvensional, seperti bahan bakar minyak (Prasetyowati, 2012). Pemanfaatan energi terbarukan melalui *solar cell* atau sel surya merupakan alternatif yang paling potensial. Energi surya dapat dikonversi menjadi energi listrik. Teknologi ini telah dikembangkan oleh Gratzel dan dikenal dengan sebuta *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Kumara dan Gontjang, 2012).

DSSC dibuat dalam bentuk planar (flat) dan memiliki struktur seperti *sandwich*, yang bagian-bagiannya terdiri dari substrat gelas dengan lapisan *Transparent Conductive Oxide* (TCO), lapisan titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ) nanopori, pewarna (*dye*), larutan elektrolit, mediator redoks dan elektroda lawan (*counter electrode*) (Handoyo, 2013).

Cara kerja DSSC mirip dengan proses fotosintesis yang terjadi pada klorofil daun. Proses pada DSSC dimulai ketika pewarna (*dye sensitizer*) (S) terkena paparan cahaya tampak (berupa foton) yang mengakibatkan elektron pewarna tereksitasi dari kondisi ground state, S ke posisi excited state  $S^*$ . Elektron yang tereksitasi diinjeksikan kedalam pita konduksi (CB) titanium dioksida sehingga elektron pewarna mengalami oksidasi ( $S^+$ ). Elektron yang diinjeksikan akan mengalir melalui rangkaian partikel  $\text{TiO}_2$  menuju lapisan konduktif transparan (TCO),

selanjutnya elektron ditransfer menuju *counter electrode* (elektroda lawan melewati) rangkaian luar. Pewarna yang teroksidasi segera direduksi kembali ke keadaan semula (*ground state*) dengan adanya donor elektron dari larutan elektrolit iodida. Bila tidak ada mediator redoks yang mencegah dan dengan cepat mereduksi pewarna yang teroksidasi ( $S^+$ ), rekombinasi dengan elektron dari lapisan  $\text{TiO}_2$  akan terjadi, tanpa ada *photocurrent* yang terukur. Elektron yang mencapai elektrode lawan melalui sirkuit luar mereduksi iodide yang teroksidasi ( $I^+$ ), sehingga terbentuk siklus transport elektron dari pewarna dan mediator redoks (Handoyo, 2013).

Jumlah molekul pewarna yang dapat diserap oleh lapisan  $\text{TiO}_2$  juga menjadi salah satu aspek yang berpengaruh pada performa DSSC. Semakin banyak molekul pewarna yang terserap maka semakin besar pula penyerapan foton yang dapat dilakukan oleh DSSC. Banyaknya molekul pewarna yang terserap pada lapisan  $\text{TiO}_2$  dipengaruhi oleh *dipping time* atau waktu perendaman lapisan  $\text{TiO}_2$  pada elektroda kerja dalam larutan pewarna (Maulina dkk., 2014).

Kaktus menghasilkan buah berwarna kuning, merah dan putih berdasarkan kombinasi dari dua pigmen betalain, Betanin ungu-merah dan betaxantin kuning-oranye. Senyawa betalain mengandung gugus karboksilat ( $\text{COOH}^-$ ) yang mana gugus tersebut berpotensi untuk berikatan dengan logam. Gugus karboksilat yang melekat pada permukaan amfoter oksida

TiO<sub>2</sub> dapat menjadikan pewarna lebih efisien. Pewarna yang mengandung senyawa betalain cenderung menggunakan pH yang bersifat asam, sebab keadaan basa akan menyebabkan kerusakan senyawa betalain.

Variasi waktu perendaman elektroda kerja pada pewarna alami antosianin dari kulit buah manggis menunjukkan waktu perendaman optimum adalah 24 jam, dengan variasi 6, 12, 18, 24 jam diperoleh efisiensi berturut-turut 0,147, 0,204, 0,010 dan 0,592 (Maulina dkk. 2014). DSSC menggunakan ekstrak betalain dari bunga bugenfil merah sebagai sensitizer pewarna alami pada skala pH 1,23, 3,0 dan 5,7 dengan air sebagai pelarut dalam ekstraksi pewarna. DSSC dari ekstrak pewarna dengan pH 3,0 memiliki densitas arus cahaya tertinggi (Isah *et al.*, 2014). DSSC menggunakan ekstrak betalain dari akar bit merah sebagai sensitizer pewarna alami dengan menggunakan 3 variasi pelarut yaitu air, metanol dan etanol. Efisiensi yang di peroleh dengan menggunakan pelarut air pada pH 2, 3 dan 6 berturut-turut adalah 0,070, 0,010 dan 0,008. pH optimum penelitian ini adalah 2 (Dumbravă *et al.*, 2012).

Pemanfaatan *solar cell* atau sel surya sebagai energi terbarukan merupakan alternatif yang paling potensial. Konfigurasi DSSC dibuat dalam bentuk planar (flat) dan memiliki struktur seperti *sandwich*, yang bagian-bagiannya terdiri dari substrat gelas dengan lapisan *Transparent Conductive Oxide* (TCO), lapisan titanium oksida (TiO<sub>2</sub>)

nanopori, pewarna (*dye*), larutan elektrolit, mediator redoks dan elektroda lawan (*counter electrode*) (Handoyo, 2013).

Jumlah molekul pewarna yang dapat diserap oleh lapisan TiO<sub>2</sub> juga menjadi salah satu aspek yang berpengaruh pada performa DSSC. Semakin banyak molekul pewarna yang terserap maka semakin besar pula penyerapan foton yang dapat dilakukan oleh DSSC. Banyaknya molekul dye yang terserap pada lapisan TiO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh *dipping time* atau waktu perendaman lapisan TiO<sub>2</sub> pada elektroda kerja dalam larutan pewarna (Maulina dkk. 2014).

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah kaktus (*Opuntia elatior* Mill.), Etanol 96%, Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), akuades, HCl 1 M, Kalium Iodida, Iodine, asetonitril, Polietilen glikol (PEG), kaca TCO, aluminium foil dan pensil 2 B.

Peralatan yang digunakan berupa pompa vakum, blender, Spektrofotometer UV-Vis, neraca analitik, FTIR dan alat-alat gelas yang umum digunakan dalam laboratorium kimia.

### Prosedur Kerja

#### Preparasi Zat Warna

Buah kaktus (*Opuntia elatior* Mill.) yang matang dibersihkan dari duri dan kotoran yang melekat pada buah dengan cara dicuci dengan air mengalir. Buah yang telah bersih dikupas lalu daging buah dihancurkan dengan menggunakan blender

selama 10 menit sampai diperoleh jus buah kaktus. Filtrat dan residu dipisahkan menggunakan penyaring vacum. Filtrat yang diperoleh digunakan sebagai pewarna untuk penelitian DSSC.

**Perakitan DSSC (Penentuan Waktu Perendaman Terbaik)**

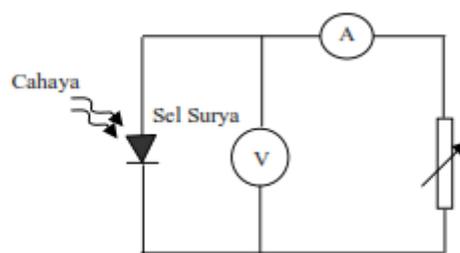
Semua komponen DSSC berhasil dibuat kemudian dilakukan perakitan, dengan langkah-langkah sebagai berikut: Pada kaca TCO yang telah dipotong menjadi ukuran 2,0 x 2,0 cm dibentuk area tempat TiO<sub>2</sub> dideposisikan dengan bantuan selotif yang juga berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO<sub>2</sub> sehingga terbentuk ukuran 1 x 1 cm. Pasta TiO<sub>2</sub> dideposisikan diatas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan selama kurang lebih 15 menit lalu ditanur pada temperatur 450°C selama 30 menit kemudian suhu tanur diturunkan secara perlahan hingga mencapai suhu 70°C. Kaca berlapis TiO<sub>2</sub> dikeluarkan dari tanur, lalu didinginkan pada suhu kamar.. Lapisan TiO<sub>2</sub> kemudian direndam dalam zat warna ekstrak kaktus dengan variasi waktu perendaman 6, 12, 18, 24 dan 30 jam, pada proses ini terjadi adsorpsi betalain ke permukaan TiO<sub>2</sub>. Zat warna yang berlebih dicuci dengan etanol 95% dan dikeringkan pada udara terbuka. Sebanyak 3 tetes elektrolit diteteskan pada elektroda kerja kemudian elektroda karbon diletakkan di atas lapisan TiO<sub>2</sub> dengan masing-masing

ujung elektroda diklip menggunakan penjepit kertas.

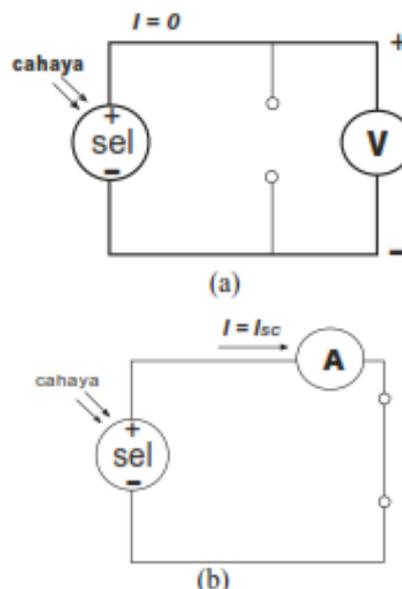
**Perakitan DSSC (Penentuan pH Pewarna Optimum)**

DSSC dibuat dengan variasi pH zat warna pada pH 1, 3, 5 dan 7 dengan menggunakan waktu perendaman terbaik dari hasil pengukuran efisiensi DSSC dengan variasi waktu perendaman.

**Pengujian Arus dan Tegangan DSSC**



Gambar 1 Rangkaian Pengukuran Karakteristik I-V



Gambar 2 Rangkaian Pengukuran Voc dan Isc

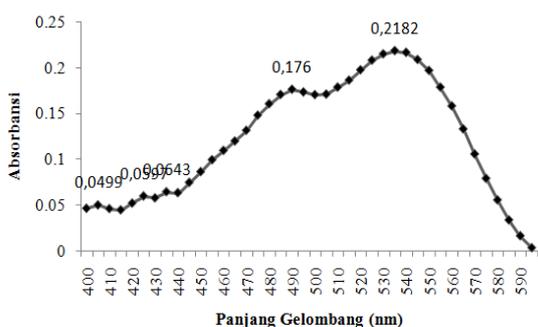
Sel surya yang dihasilkan diukur karakteristik arus tegangan (I-V) dengan merangkaian sebuah voltmeter (V), amperemeter (A) dan potensiometer untuk mengatur hambatan di dalam rangkaian

(Gambar 1 dan 2). Sumber cahaya yang digunakan berasal dari lampu proyektor 400 W dengan intensitas 135.000 lux atau 20,196 mW/cm<sup>2</sup> (1 lux = 0,0001496 mW/cm<sup>2</sup>).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakteristik Zat Warna**

Hasil analisis spektrofotometer UV-Vis sebagaimana Gambar 3 menunjukkan spektrum serapan ekstrak buah kaktus (*Opuntia elatior* Mill) cukup lebar dari 400-590 nm dengan panjang gelombang maksimum 535 nm. Pada panjang gelombang 535 nm warna yang terlihat adalah warna ungu kemerahan (Kumara dan Gontjang, 2012), yang mengandung senyawa betalain (Dumbravă *et al*, 2012). Berdasarkan indentifikasi warna dan selang serapan UV-Vis tersebut diduga bahwa ekstrak buah kaktus (*Opuntia elatior* Mill) mengandung senyawa betalain.



Gambar 3 Rangkaian Pengukuran

Serapan pada panjang gelombang 400-590 nm diharapkan dapat menyerap sebagian besar cahaya tampak dari sinar matahari. Ekstrak buah kaktus dapat menyerap spektrum cahaya tampak sehingga dapat digunakan sebagai

pewarna terfotosensitisasi (*dye photosensitizer*) pada DSSC.

**Efisiensi DSSC pada variasi waktu perendaman**

Perendaman selama 12 jam menghasilkan Voc sebesar 258 mV dan Isc sebesar 0,0284 mV (Tabel 1). Hasil tersebut lebih baik daripada penelitian Choirul M (2013) yang menggunakan tinta sotong dan ekstrak teh hitam sebagai pewarna, waktu perendaman terbaik tinta sotong adalah 1 jam dengan Voc sebesar 96,4 mV dan Isc sebesar 0,00243 mA.

Tabel 1 Hasil pengujian DSSC dengan variasi waktu perendaman

Waktu Perendaman (Jam)	Voc (mV)	Isc (mA)	Vmax (mV)	Imax (mA)	FF	Efisiensi (η)
6	249	0,0222	88	0,0115	0,1826	0,0501
12	258	0,0284	130,5	0,0133	0,2368	0,0859
18	227,5	0,0232	99	0,0091	0,1703	0,0445
24	149,5	0,1595	75	0,0074	0,2327	0,0274
30	149,5	0,1095	75	0,0046	0,2584	0,0212

Ekstrak teh hitam memiliki waktu perendaman terbaik selama 24 jam dengan Voc sebesar 107,3 mV dan Isc sebesar 0,0008 mA. Perendaman selama 18,24 dan 30 jam secara bertahap terjadi penurunan arus dan tegangan yang dihasilkan. Hal ini karena pewarna yang mampu diabsorpsi oleh TiO<sub>2</sub> memiliki batas maksimal untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat pada TiO<sub>2</sub>. Ekstrak zat warna yang yang berlebihan dapat menghambat elektron menuju elektroda. Penurunan keluaran arus dan tegangan seiring lamanya perendaman juga disebabkan karena sebagian besar lapisan TiO<sub>2</sub> terdegradasi oleh larutan pewarna, sehingga TiO<sub>2</sub> yang berfungsi untuk menampung elektron dari pewarna

kurang optimal karena kemampuan  $\text{TiO}_2$  untuk mengikat pewarna kurang maksimal.

### **Efisiensi DSSC pada variasi pH pewarna ekstrak kaktus**

Pewarna dengan pH 1 diperoleh  $I_{sc}$  sebesar 251,5 mV dan  $I_{sc}$  sebesar 0,0246 mA. Pada pH 3 terjadi peningkatan  $V_{oc}$  yang diperoleh sebesar 277,5 mV dengan  $I_{sc}$  sebesar 0,0327 mA. Pewarna dengan pH 5 mengalami penurunan tegangan dan arus yang dihasilkan dengan  $V_{oc}$  sebesar 217,5 mV dan  $I_{sc}$  sebesar 0,0138 mA. Pewarna dengan pH 7 menghasilkan tegangan dan arus yang sangat kecil dengan  $V_{oc}$  sebesar 201 mV dan  $I_{sc}$  sebesar 0,0073 mA. Pewarna dengan pH 3 memiliki warna ekstrak kaktus yang sama dengan warna awal ekstrak kaktus sebelum ditambahkan buffer untuk menggeser pH pewarna. Intensitas warna pada pH 1 lebih tinggi dari pada warna pada pH 5 maupun pH 7. Intensitas warna dapat berpengaruh pada penyerapan foton dari cahaya matahari sehingga mempengaruhi proses eksitasi elektron dari pewarna.

Tabel 2 Hasil pengujian DSSC dengan variasi pH

pH Ekstrak Buah Kaktus	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ (mA)	$V_{max}$ (mV)	$I_{max}$ (mA)	FF	Efisiensi ( $\eta$ )
1	251,5	0,0246	66,5	0,014	0,1504	0,0460
3	277,5	0,0327	121,5	0,0176	0,2273	0,1022
5	217,5	0,0138	79	0,0073	0,1934	0,0287
7	201	0,0073	121	0,0029	0,2432	0,0176

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Waktu perendaman terbaik DSSC yang menggunakan pewarna ekstrak buah kaktus

(*Opuntia elatior* Mill) adalah selama 12 jam dengan efisiensi sebesar 0,0862. Waktu perendaman 12 jam pH larutan pewarna ekstrak buah kaktus (*Opuntia elatior* Mill) yang menghasilkan efisiensi tertinggi adalah pH 3 dengan efisiensi sebesar 0,1052.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Choirul, U. M., Hastuti, E. 2013. Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Efisiensi Sel Surya Tersensitisasi Dye Dari Tinta Sotong Dan Ekstrak Teh Hitam. *Jurnal Neutrino*. 5 (2). 73-79.
- Dumbravă A, Enache C I, Oprea, A, Georgescu I., M. A. Gîrțu. 2012. Toward A More Efficient Utilisation Of Betalains As Pigments For Dye-Sensitized Solar Cells. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 7(1):339 – 351.
- Handoyo, H. 2013. Sel Surya Tersensitisasi Zat Warna Berbasis  $\text{TiO}_2$  Yang Dimodifikasi Dalam Konfigurasi Tabung. (Tesis). Depok: Universitas Indonesia.
- Isah Kasim Uthman, Umar Ahmadu, Adamu Idris. 2014. Betalain Pigments As Natural Photosensitizers For Dye-Sensitized Solar Cells: The Effect Of Dye Ph On The Photoelectric Parameters. *Mater Renew Sustain Energy*. DOI10.1007/s40243-014-0039-0. 1-5.
- Kumara M.S.W., Gontjang. P. 2012. Studi awal fabrikasi dye sensitized solar cell (DSSC) dengan menggunakan ekstraksi daun bayam (*Amaranthus hybridus* L.) sebagai dye sensitizer dengan variasi jarak sumber cahaya pada DSSC. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya November.
- Maulina A, Hardeli, Bahrizal. 2014. Preparasi Dye Sensitized Solar Cel

Menggunakan Ekstrak Antosianin Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana* L). *Jurnal Sainstek*. VI (2): 158-167.

Prasetyowati, Rita. 2012. Sel Surya Berbasis Titania Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA Universitas Negeri Yogyakarta*. Yogyakarta, 2 Juni 2012. Hlm 1-6.