

PENGARUH LAMA PERENDAMAN TERHADAP EFISIENSI SEL SURYA TERSENSITISASI *DYE* DARI TINTA SOTONG DAN EKSTRAK TEH HITAM

Oleh:

M. Choirul Umam¹, Erna Hastuti²

ABSTRAK: Sel surya merupakan energy alternatif yang sangat berpotensi untuk dikembangkan. Salah satu jenis sel surya adalah sel surya organic yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan dan dye sebagai penyerap sinar matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi lama perendaman dalam *dye* hasil ekstraksi teh hitam dan tinta sotong terhadap efisiensi sel surya dan mengetahui efisiensi sel surya tersensitisasi *dye* dengan menggunakan kaca TCO.

Pembuatan *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) diawali dengan menyiapkan elektroda yang dibuat dari nanokristal TiO₂ yang dilapiskan pada substrat kaca konduktif, yang kemudian direndam dalam *dye*. Sedangkan elektroda lawan dibuat dengan cara melapiskan grafit pensil pada kaca konduktif. Sel surya dibentuk dengan struktur sandwich dimana dua substrat kaca konduktif mengapit komponen-komponen dari DSSC.

Lama perendaman sel surya dalam dye mempengaruhi voltase dan arus keluaran. Daya dan efisiensi maksimum yang dihasilkan menggunakan *dye* teh hitam sebesar $8,85 \times 10^{-8}$ W dan $8,5 \times 10^{-3}$ %. Sedangkan daya dan efisiensi maksimum yang dihasilkan menggunakan *dye* tinta sotong sebesar $23,4 \times 10^{-8}$ W dan $23,19 \times 10^{-3}$ %.

Kata Kunci: Sel Surya, *Dye*, Tinta sotong, Teh hitam

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di dunia semakin meningkat seiring perkembangan industri dan penambahan populasi. Energi yang digunakan saat ini bersumber dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Oleh karena itu diperlukan berbagai upaya untuk mencari alternatif sumber energi yang tidak terbatas, murah serta ramah lingkungan. Salah satunya dengan memanfaatkan energi matahari menggunakan sistem sel surya.

Berdasarkan perkembangan teknologi, sel surya dibedakan menjadi tiga, yaitu pertama, sel surya dari silikon kristal tunggal dan silikon multi kristal. Kedua, sel surya tipe lapis tipis (*thin film solar cell*) dan yang ketiga, sel surya tersensitisasi zat warna atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Pada DSSC, absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal [5].

¹ Mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maliki Malang

² Staf pengajar pada Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maliki Malang

Material semikonduktor yang digunakan dalam teknologi DSSC ini adalah nanokristal titanium dioksida (TiO_2). Lapisan TiO_2 ini mampu menghasilkan efisiensi 11 % dengan harga lebih murah dibandingkan sel surya yang dibuat dari material kristalin [7]. Untuk transport muatan digunakan elektrolit yang mengandung kopel redoks (I^-/I_3^-). Selain itu, penggunaan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan pita energi TiO_2 merupakan karakteristik yang penting. Menurut [4], *sensitizer* yang ideal untuk sel fotovoltaik adalah harus menyerap semua cahaya dibawah panjang gelombang sekitar 920 nm.

Pada sel surya tersensitisasi *dye*, cahaya foton diserap oleh *dye* yang melekat pada permukaan partikel TiO_2 yang bertindak sebagai donor elektron dan berperan sebagai pompa fotoelektrokimia. Elektron-elektron dari level HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) ketika molekul *dye* menyerap foton dengan energi yang sesuai, mirip dengan fungsi klorofil pada proses fotosintesis tumbuhan. Sedangkan lapisan TiO_2 bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer dari *dye* yang teroksidasi. Elektrolit redoks, biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I^-/I_3^-) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel [12].

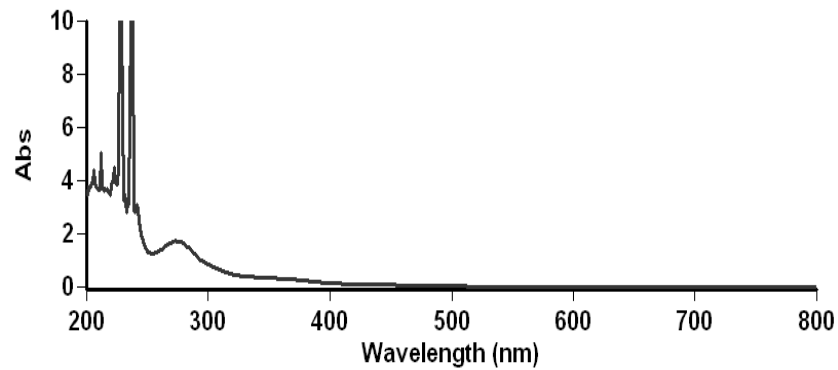
Zat warna dalam DSSC merupakan hal yang sangat penting karena cara kerja DSSC dimulai ketika cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel, diserap oleh *dye* yang sensitif terhadap cahaya matahari. Teh hitam dan tinta sotong secara fisik memiliki warna gelap sehingga dapat menyerap mayoritas spektrum warna cahaya tampak dan dapat dipergunakan sebagai fotosensitizer.

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan dan karakterisasi sel surya TiO_2 tersensitisasi *dye* menggunakan tinta sotong (*Loligo sp*) dan ekstrak teh hitam (*Camellia sinensis*).

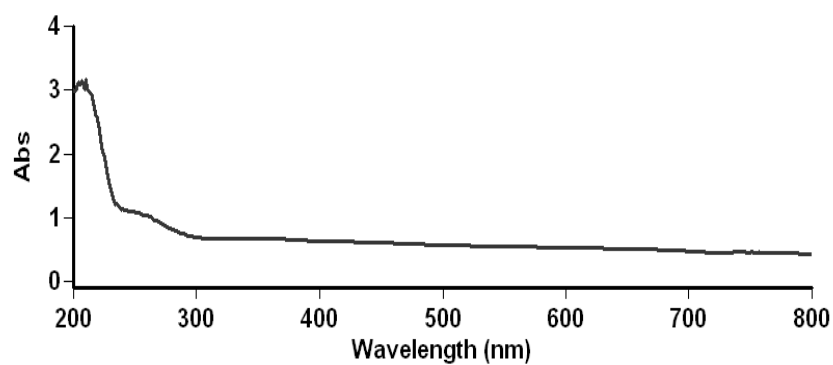
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Absorbansi Dye Teh Hitam dan Tinta Sotong Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Uji karakterisasi absorbansi *dye* ekstrak teh hitam dan tinta sotong dilakukan di Laboratorium UV-Vis Jurusan Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis tipe *Varian Cary50* pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.



Gambar 1. Hasil Uji UV-Vis *dye* Teh Hitam



Gambar 2. Hasil Uji UV-Vis *dye* Tinta Sotong

Hasil karakterisasi absorbansi pada gambar 1 memperlihatkan bahwa spektrum serapan ekstrak teh hitam terdapat pada daerah 202-273 nm dan mencapai maksimum pada panjang gelombang 223 nm dengan nilai absorbansi sebesar 4,482. Pada gambar 2 menunjukkan bahwa spektrum serapan tinta sotong terdapat pada daerah 203-240 nm dan mencapai maksimum pada panjang gelombang 210 nm dengan nilai absorbansi sebesar 3,161. Pada panjang gelombang tersebut menunjukkan bahwa *dye* teh hitam dan tinta sotong dapat mengabsorpsi cahaya dalam area radiasi ultraviolet.

Hasil pengujian absorbansi dye ekstrak teh hitam dan tinta sotong menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa penggunaan dye dari ekstrak teh hitam dan tinta sotong masih kurang baik karena daerah serapannya yang tidak lebar sehingga cahaya tidak dapat diserap secara maksimal. Dengan kurang luasnya daerah serapan menyebabkan foton yang diserap semakin kecil sehingga arus yang dihasilkan juga kecil.

B. Hasil Pembuatan dan Pengujian DSSC dengan menggunakan *Dye* dari Teh Hitam dan Tinta Sotong

Pengujian DSSC dilakukan di Laboratorium Optik Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Sumber cahaya yang digunakan berasal dari lampu halogen dengan intensitas cahaya sebesar 3000 lux atau setara dengan $4,488 \text{ Watt/m}^2$, sedangkan DSSC yang diuji memiliki luasan $2,25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, sehingga daya yang digunakan dalam pengujian DSSC ini adalah sebesar $1,0098 \times 10^{-3} \text{ Watt}$. Hasil keluaran diukur dengan multimeter digital yang dihubungkan secara seri dengan DSSC. Dari hasil pengukuran didapatkan data voltase (V) dan arus (I).

Tabel 1. Daya dan efisiensi DSSC kaca TCO menggunakan *dye* teh hitam

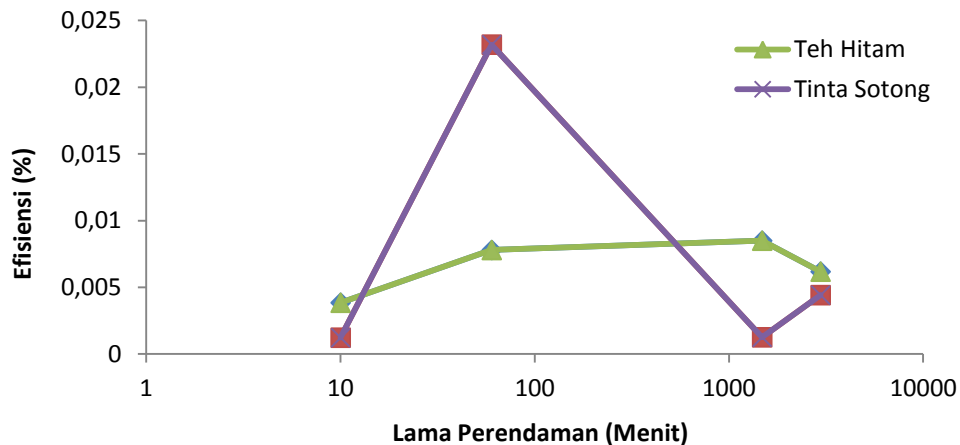
Dye	Lama Perendaman	V (mV)	I (μA)	P (W)	η (%)
Teh Hitam	Tanpa Perendaman	146,3	0,4	$5,85 \times 10^{-8}$	$5,79 \times 10^{-3}$
	10 menit	28,4	1,37	$3,89 \times 10^{-8}$	$3,85 \times 10^{-3}$
	1 Jam	37	2,13	$7,88 \times 10^{-8}$	$7,8 \times 10^{-3}$
	24 Jam	107,3	0,8	$8,85 \times 10^{-8}$	$8,5 \times 10^{-3}$
	48 Jam	89,2	0,7	$6,24 \times 10^{-8}$	$6,18 \times 10^{-3}$

Tabel 2. Daya dan efisiensi DSSC kaca TCO menggunakan *dye* tinta sotong

Dye	Lama Perendaman	V (mV)	I (μA)	P (W)	η (%)
Tinta Sotong	Tanpa Perendaman	146,3	0,4	$5,85 \times 10^{-8}$	$5,79 \times 10^{-3}$
	10 menit	16,4	0,76	$1,24 \times 10^{-8}$	$1,23 \times 10^{-3}$
	1 Jam	96,4	2,43	$23,4 \times 10^{-8}$	$23,19 \times 10^{-3}$
	24 Jam	127,3	1,0	$12,7 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-3}$
	48 Jam	28,6	1,56	$4,46 \times 10^{-8}$	$4,42 \times 10^{-3}$

Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa DSSC yang diuji tanpa direndam dalam *dye* dapat menghasilkan voltase dan arus, dengan daya dan efisiensi sebesar $5,85 \times 10^{-8} \text{ W}$ dan $5,79 \times 10^{-3} \%$ untuk DSSC menggunakan *dye* teh hitam, sedangkan untuk DSSC menggunakan *dye* tinta sotong menghasilkan daya dan efisiensi sebesar $5,85 \times 10^{-8} \text{ W}$ dan $5,79 \times 10^{-3} \%$. Pada kedua tabel, nilai daya dan efisiensi paling besar terletak pada lama waktu

perendaman yang berbeda. Pada tabel 1 daya dan efisiensi paling besar dihasilkan pada lama perendaman 24 jam, yaitu sebesar $8,85 \times 10^{-8}$ W dan $8,5 \times 10^{-3}$ %, sedangkan pada tabel 2 daya dan efisiensi paling besar dihasilkan pada lama perendaman 1 jam dengan nilai $23,4 \times 10^{-8}$ W dan $23,19 \times 10^{-3}$ %.



Grafik 1. Hubungan antara Lama Perendaman dengan Efisiensi yang dihasilkan DSSC

Dari hasil yang didapatkan, terlihat bahwa lama perendaman dalam *dye* mempengaruhi voltase dan arus yang dihasilkan. Voltase dan arus maksimum dihasilkan lama waktu perendaman 24 jam untuk *dye* teh hitam dan mengalami penurunan pada perendaman 48 jam. Sedangkan pada *dye* tinta sotong, voltase dan arus maksimum dihasilkan lama waktu perendaman 1 jam untuk *dye* teh hitam dan mengalami penurunan pada perendaman 24 dan 48 jam. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa karakteristik DSSC yang direndam lebih lama rata-rata menghasilkan keluaran yang lebih kecil. Hal ini karena *dye* yang mampu diabsorpsi oleh TiO_2 memiliki batas maksimal untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat pada TiO_2 . Semakin banyaknya *dye* yang menempel pada TiO_2 akan menyebabkan lapisan TiO_2 tertutup oleh *dye*, sehingga menghambat laju dari elektron yang tereksitasi oleh *dye* menuju elektroda. Penurunan keluaran arus dan tegangan seiring lamanya perendaman juga disebabkan karena sebagian besar lapisan TiO_2 terdegradasi oleh larutan *dye*, sehingga TiO_2 yang berfungsi untuk menampung elektron dari *dye* kurang optimal karena kemampuan TiO_2 untuk mengikat *dye* kurang maksimal.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa absorbansi dari *dye* mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan. Sel surya tersensitasi *dye* dari klorofil bayam yang memiliki absorbansi cahaya pada panjang gelombang 400-700 nm memberikan

performansi beda potensial 0,1 V dan arus sekitar 149 μA dengan intensitas penyinaran 1050 lux [14]. Buah delima sebagai sensitizer dengan absorbansi panjang gelombang maksimum 562 nm memberikan tegangan 162,4 mV dan arus sebesar 0,07 mA pada penyinaran sinar matahari [11]. Ekstrak rosela (berwarna merah) dengan puncak serapan 520 nm dan ekstrak kapri biru dengan puncak serapan 580 dan 620 nm, masing-masing memberikan efisiensi sebesar 0,37% dan 0,05% pada pencahayaan matahari [13]. DSSC dari *dye* ekstrak buah naga dengan serapan maksimum pada 535 nm menghasilkan daya sebesar 13 μW , dan efisiensi 0,22% (Ali dan Nayan, 2010). Buah jambang (*Eugenia jambolana*) menghasilkan voltase sebesar 711 mV dan arus 2,3 mA, ekstrak tersebut memiliki serapan maksimum pada daerah 550 nm [3].

Secara keseluruhan, kinerja dari DSSC belum cukup baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai arus dan voltase yang dihasilkan sangat kecil, sehingga nilai efisiensi konversi (η) yang dihasilkan juga sangat rendah. Nilai keluaran yang rendah disebabkan oleh *dye* yang kurang maksimal dalam menyerap cahaya dan hambatan kaca TCO yang besar yakni 2-5 $\text{k}\Omega/\text{cm}^2$ sedangkan pada penelitian Gratzel (2003) menggunakan hambatan kaca yang berkisar 2-5 Ω/cm^2 . Selain itu, nilai keluaran DSSC juga ditentukan oleh mekanisme transfer dan transport elektron. Transfer elektron dari *dye* teroksidasi ke dalam TiO_2 diperkirakan belum optimal, demikian juga transfer elektron di dalam lapisan TiO_2 belum berjalan baik dikarenakan hambatan lapisan yang sangat besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan bahwa lama perendaman dalam *dye* mempengaruhi voltase dan arus yang dihasilkan. Karakteristik DSSC yang direndam lebih lama rata-rata menghasilkan keluaran yang lebih kecil. Daya dan efisiensi maksimum DSSC kaca TCO, pada lama perendaman 24 jam dengan nilai sebesar $8,85 \times 10^{-8}$ W dan $8,5 \times 10^{-3}$ %. Daya dan efisiensi maksimum menggunakan *dye* tinta sotong dihasilkan pada lama perendaman 1 jam dengan nilai sebesar $23,4 \times 10^{-8}$ W dan $23,19 \times 10^{-3}$ %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali. R., dan Nayan. N., 2010, *Fabrication and Analysis Of Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dye Extracted From Dragon Fruit*. International Journal of Integrated Engineering (Issue on Electrical and Electronic Engineering), Hal. 55-62
- [2] Castaner L., Silvestre. 2002. *Modelling Photovoltaic Systems Using Pspice*. John Wiley & Sons Ltd: Inggris

- [3] Garsia, C.G. 2003. *Photoelectrochemical Solar Cell Using Extract of Eugenia Jambolana Lam as a Natural Sensitiser*. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, Vol. 75. Hal. 163-165
- [4] Gratzel. 2003. *Review:Dye-sensitized solar cells*, Journal of Photochemistry and Photobiology, Vol. 4, Hal 145–153
- [5] Hardian, A., et. al. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Kristal Cair Ionik berbasis Garam Fatty Imidazolium sebagai Elektrolit Redoks pada Sel Surya Tersensitisasi Zat Warna*. Vol 1. No.1 ISSN 2087-7412, 7-16
- [6] Hartini. 2004. *Daya Antibakteri Campuran Ekstrak Etanol Buah Adas (Foeniculum Vulgare Mill) dan Kulit Batang Pulasari (Alyxia Reinwardii BL)*. Jurnal Penelitian Fakultas Farmasi UGM
- [7] Jansen and Wienk. 2010. *Organic and Polymer Solar Cells*. Department of Chemical Engineering and Chemistry and Department of Applied Physics. TU/e Sping
- [8] Kong F.T, Dai S.Y, Wang K.J. 2007. *Review Article Review of Recent Progress in Dye-Sensitized Solar Cells*. Hindawi OptoElectronics Vol Article ID 75384, No. 13
- [9] Pancaningtyas dan Akhlus. 2009. *Peranan Elektrolit pada Performa Sel Surya Tersensitisasi*. Laboratorium Kimia Fisik FMIPA ITS. Surabaya.
- [10] Ripna, Habib. 2007. *Sintesis dan Karakterisasi Cairan Ionik Berbasis Garam Benzotriazolium sebagai Elektrolit Redoks pada Sel Surya Tersensitisasi Zat Warna*. FPMIPA UPI: Jakarta
- [11] Septina, W., Fajarisandi, D., Aditia, M. 2007. *Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi Penghargaan PT. Rekayasa Industri: Laporan Penelitian Bidang Energi Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-Sensitized Solar Cell)*. ITB Press: Bandung
- [12] Smestad dan Gratzel. 1998. *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology : A natural Dye-sensitized Nanocrystalline Energy Converter*. J. Chem. Educ, 75, 752-756
- [13] Wongcharee, K., Meeyoo, V. Chavadej, S., 2007, *Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted From Rosella and Blue Pea Flowers*, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 91, Hal. 566-571
- [14] Wijayanti S., 2010. *Fabrikasi Prototipe DSSC (dye sensitized solar cell) menggunakan klorofil bayam (amaranthus hybridus l.) Sebagai dye alami*, Universitas Sebelas Maret Surakarta press. Surakarta