

EKSTRAK KULIT BUAH MANGGIS (*Garcinia mangostana L.*) SEBAGAI DYE SENSITISER ALAMI PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELL

Faqih Abdul Bashir*, Ade Febri, Aulia Tri Hidayah, Niken Rizky Amalia Nuraini, Novi Wulandari

Prodi Pendidikan Fisika,
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta 57126
faqihab12@gmail.com

Abstrak. DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip kerja *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah saat terjadi proses transfer elektron pada rangkaian luar DSSC menuju elektroda lawan, aliran listrik akan dihasilkan. Pada sisi elektroda lawan akan mempunyai potensial positif. Sedangkan pada sisi substrat yang terlapis TiO₂ atau elektroda kerja akan mempunyai potensial negatif. Beda potensial antara kedua elektroda tersebut menimbulkan terjadinya aliran listrik ketika kedua elektroda tersebut diberi beban. Semikonduktor TiO₂ tidak menyerap cahaya tampak, namun mengabsorpsi cahaya UV. Penggunaan bahan pewarna (sensitizer) merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat semikonduktor dengan meningkatkan absorbansi pada panjang gelombang cahaya tampak dari semikonduktor TiO₂. Spektrum absorbansi cahaya yang paling lebar dimiliki oleh *dye* kulit buah manggis sebesar 312,1-556,05 nm, *dye* rosella sebesar 308,12 -543,09 nm dan *dye* terung belanda sebesar 305,09-530,02 nm. Efisiensi berturut turut pada konsentrasi *dye* kulit manggis 10%, 20% dan 30% adalah $3,79 \times 10^{-4}\%$, $7,31 \times 10^{-4}\%$, dan $8,72 \times 10^{-4}\%$. Efisiensi sel surya menggunakan *dye* kulit manggis meningkat seiring bertambahnya konsentrasi *dye*. Besarnya konsentrasi *dye* mempengaruhi ketebalan lapisan *dye* di atas TiO₂ yang sangat berpengaruh terhadap proses penyerapan cahaya oleh lapisan *dye* dan dapat meningkatkan konduktivitas listrik dalam lapisan tersebut. Efisiensi berturut-turut dari *dye* kulit manggis, *dye* wortel, *dye* kulit melinjo dan *dye* daun binahong adalah 0,09%; 0,03%; 0,03%; 0,01%. Beberapa parameter meliputi pelarut pengekstrak, sifat *dye*, pori dan ketebalan lapisan TiO₂, sifat garam elektrolit dan elektroda lawan.

Kata kunci: kulit manggis, DSSC, *dye*, absorbansi, efisiensi

1. PENDAHULUAN

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Pada DSSC, *dye* merupakan komponen yang sangat penting karena berfungsi sebagai sensitizer untuk menyerap cahaya tampak. Senyawa-senyawa turunan dari *Rhutenium kompleks* merupakan *dye* sintesis dengan efisiensi sel surya hingga di atas 11%. Namun *dye* sintesis harganya cukup mahal dan proses pembuatannya cukup sulit. Oleh karena itu muncul alternatif penggunaan *dye* dari bahan alami yang umumnya bahan yang mengandung senyawa antosianin, klorofil, dan karoten (Hao dkk, 2006). Walaupun, belum bisa diperoleh hasil yang menyamai nilai efisiensi ketika menggunakan *dye* sintesis, sejauh ini telah dilaporkan nilai efisiensi yang didapatkan adalah sekitar 2% dan biaya produksinya lebih murah.

Senyawa yang terkandung di dalam bahan-bahan alami tersebut yang berfungsi sebagai *sensitizer* adalah antosianin (Wongcharee, 2007), klorofil (Sasaki dkk, 2008) dan karoten. Zat warna alami tersebut telah terbukti mampu memberikan efek *photovoltaic* walaupun efisiensi yang dihasilkan masih jauh lebih kecil dibandingkan zat warna sintesis. Penggunaan *dye* alami untuk fabrikasi DSSC sudah banyak digunakan salah satunya kelompok studi di Jepang telah mencoba lebih dari dua puluh jenis *dye* alami dari ekstrak tumbuhan diantaranya adalah kol merah, kunyit, teh hijau, *mangoosten pericap* dengan efisiensi tertinggi dihasilkan 1,17% (Zhou dkk, 2011).

Salah satu sumber *dye* alami adalah ekstrak antosianin dari kulit buah manggis (*Garcinia mangostana L.*) yang dapat dimanfaatkan sebagai *dye sensitizer* pada sel surya jenis DSSC (Suryadi, 2009).

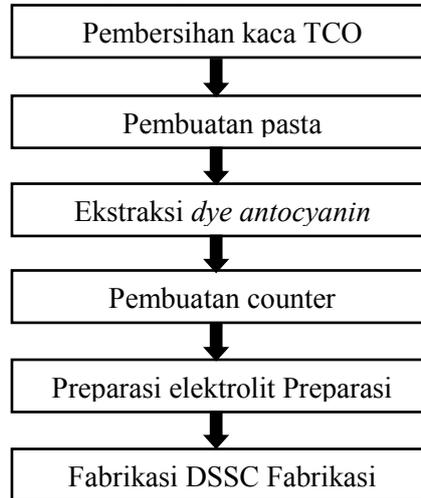
Berdasarkan pemaparan di atas, dapat diketahui tujuan penelitian yaitu dapat menjelaskan prinsip kerja DSSC menggunakan *dye sensitizer* alami ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana L.*), karakteristik

absorbansi *dye* antosianin pada ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana L.*) sebagai *dye sensitizer* alami pada DSSC, efisiensi DSSC menggunakan *dye sensitizer* alami ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana L.*)

Selain itu, dapat diketahui manfaat penelitian yaitu menambah pengetahuan bagi penulis maupun pembaca mengenai pemanfaatan energi dari sinar matahari sebagai energi yang terbarukan, Mengetahui pembuatan sel surya tersensitisasi zat pewarna dengan memanfaatkan bahan-bahan organik yang mudah diperoleh di lingkungan sekitar, sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

Cara Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)



Gambar 1 Alur Pembuatan DSSC

Sumber : Khoiruddin (2012)

a. Pembersihan kaca TCO

Pembersihan kaca konduktif dengan methanol menggunakan *ultrasonic cleaner*. Pembersihan kaca konduktif menggunakan *ultrasonic cleaner* agar kaca terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan air saja. Kaca konduktif yang bersih mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan pada kaca konduktif.

b. Pembuatan pasta TiO_2

Melarutkan bubuk TiO_2 ke dalam ethanol hingga terbentuk pasta yang siap digunakan untuk pembuatan lapisan tipis TiO_2 .

c. Ekstraksi *Dye*

Dye antosianin diekstrak dari kulit buah manggis yang telah dipotong kecil-kecil digerus dengan sebuah mortar hingga halus, selanjutnya direndam di dalam pelarut yang terdiri dari metanol, asam asetat, dan aquadest selama 24 jam. Kemudian ekstrak *dye* antosianin disaring menggunakan kertas saring.

d. Pembuatan *counter* Elektroda

Cara pendeposisian *counter* elektroda adalah dengan mendeposisikan karbon dari jelaga lilin pada kaca TCO yang memiliki hambatan

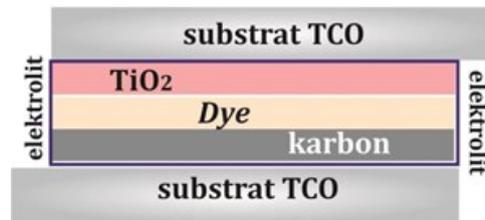
e. Preparasi elektrolit

Pembuatan elektrolit dengan cara mencampurkan potassium iodide (KI) polyethylene glycol kemudian diaduk, selanjutnya kedalam larutan tersebut ditambahkan Iodine (I_2). Larutan elektrolit yang sudah jadi, disimpan dalam botol tertutup (Wilman, dkk., 2007).

f. Fabrikasi DSSC

Fabrikasi DSSC menggunakan struktur *sandwich*, di mana dua elektroda yaitu elektroda kerja dan elektroda lawan mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia. Fabrikasi DSSC sebagai berikut, kaca FTO diletakkan pada permukaan yang bersih dan rata dengan sisi konduktif berada di atas. Sisi yang konduktif dicek dengan menggunakan ohmmeter dengan menjepitkan *probe*-nya pada permukaan kaca. Setelah itu pasta TiO_2 mulai dideposisikan di atas FTO secukupnya. Pasta TiO_2 diratakan ke seluruh permukaan FTO. Setelah pasta TiO_2 dideposisikan, FTO didiamkan sesaat agar lapisan TiO_2 kering. Lapisan tipis TiO_2 yang telah dibuat

direndam dalam *dye*. Counter elektroda yang sudah dideposisikan dengan karbon disiapkan. Kaca FTO dengan elektroda kerja dan *counter* elektroda *carbon* disusun seperti gambar 2.5. Susunan pada gambar dijepit dengan penjepit kertas. Larutan elektrolit ditetaskan setelah DSSC tersusun. Tepi elektroda lawan dan elektroda kerja dijepit dengan penjepit buaya



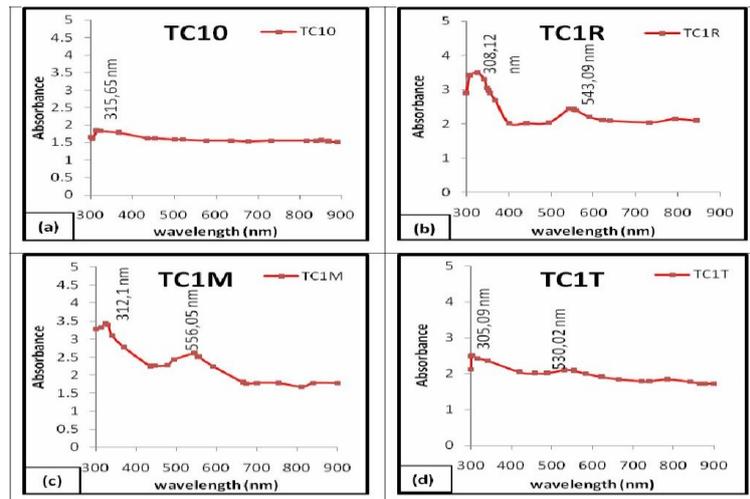
Gambar 2. Fabrikasi DSSC
Sumber: Khoiruddin (2012)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh larutan *dye* yang melekat pada permukaan partikel TiO₂, sehingga elektron dari *dye* mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi. Elektron yang tereksitasi dari molekul *dye* tersebut akan diinjeksikan ke TiO₂. Molekul *dye* yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi.

Elektron menuju TCO selanjutnya mengalir menuju *counter elektrode* melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada *counter elektrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I₃⁻) akibat donor elektron pada proses sebelumnya berekombinasi dengan elektron membentuk iodide (I⁻). Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi. Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*), sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik. Saat terjadi proses transfer elektron pada rangkaian luar DSSC menuju elektroda lawan, aliran listrik akan dihasilkan. Hal ini disebabkan karena adanya beda potensial antara kedua elektroda tersebut.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Dahyunir Dahlan (2012) karakterisasi absorbansi *dye* ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Spektrum absorpsi (a) lapisan TiO₂ tanpa *dye*, (b) lapisan TiO₂ dengan *dye* rosella, (c) manggis, (d) terung belanda.

Sumber : Dahyunir Dahlan (2012)

Pada gambar 3.(a) terlihat spektrum absorpsi dari lapisan TiO₂ tanpa diberi *dye* yang hanya menyerap pada rentang gelombang UV (300-380 nm), sedangkan lapisan TiO₂ setelah diberi *dye* (Gambar 3.(b), (c), dan (d)), spektrum absorpsi cahayanya terlihat dari rentang UV sampai rentang cahaya tampak. Dapat dilihat bahwa spektrum absorpsi cahaya yang paling lebar dimiliki oleh *dye* kulit buah manggis.

Perbandingan performansi antara satu sel surya dengan sel surya lainnya umumnya dilihat dari efisiensinya. Efisiensi sel surya didefinisikan sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan dihitung sebagai *irradiance* yang diterima oleh permukaan sel surya. Nilai efisiensi ini selalu dihitung pada kondisi standar (*irradiance* = 1000 W/m², AM 1,5 dan temperatur 25°C). Rumus umum efisiensi adalah:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{light}}} \times 100\%$$

di mana,

P_{\max} = daya maksimum yang dihasilkan sel surya (Watt)

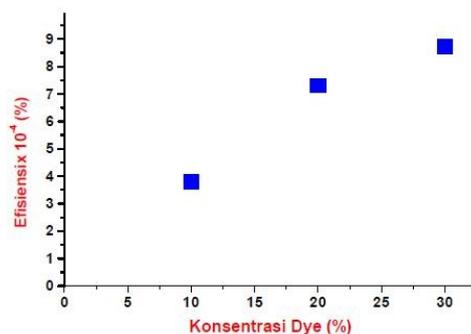
$P_{\text{light}} = P_{\text{input}}$ = daya dari sinar yang mengenai sel surya (Watt).

Efisiensi sel surya dapat ditentukan dari daya yang dihasilkan dari sel surya (P_{\max}) dibagi dengan luas penampang sel surya A (m²) dan intensitas penyinaran I (W/m²).

$$\eta = \frac{P_{\max}}{AI} \times 100\%$$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dadi Rusdiana (2014) diperoleh efisiensi sel surya terhadap variasi konsentrasi *dye* kulit buah manggis seperti diperlihatkan dalam gambar 4 sebagai berikut :

No	Konsentrasi <i>Dye</i>	Efisiensi (%)
1	10%	3,79 x 10 ⁻⁴
2	20%	7,31 x 10 ⁻⁴
3	30%	8,72 x 10 ⁻⁴



Gambar 4. Efisiensi sel surya sebagai fungsi variasi konsentrasi *dye*
Sumber: Dadi Rusdiana (2014)

Dalam penelitian ini yang dilakukan oleh Dadi Rusdiana, konsentrasi *dye* yang diberikan pada setiap sampel DSSC menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda semakin tinggi konsentrasi *dye* semakin bertambah efisiensi konversi energi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena perbedaan konsentrasi *dye* yang diberikan mempengaruhi jumlah *dye* yang teradsorpsi pada pori TiO₂, sehingga terjadi perubahan jumlah elektron yang diinjeksikan ke pita konduksi TiO₂ (Chou *et al.*, 2007).

Hubungan konsentrasi *dye* terhadap efisiensi cenderung tidak bersifat linier. Hal ini sebelumnya pernah diteliti oleh Tammy P. Chou *et al.* (2007) menggunakan *dye* Ruthenium (N3) atau (2,2 bipyridyl-4,4-dicarboxylato) ruthenium II, dengan konsentrasi *dye* yang bervariasi pada lapisan TiO₂. Konsentrasi tertinggi yang diberikan menghasilkan penurunan efisiensi dikarenakan molekul-molekul *dye* mengalami *aggregation* (pengumpulan antara sesama molekul) di pori-pori TiO₂ sehingga injeksi elektron tidak efisien. Intertaksi antar molekul-molekul *dye* yang bertumbuk dan berkumpul mempengaruhi waktu hidup elektron pada permukaan TiO₂. Waktu hidup elektron adalah lamanya elektron berada dalam keadaan tereksitasi. Interaksi antar molekul *dye* ini dapat mempercepat kembalinya elektron pada keadaan dasar sehingga mempersingkat waktu hidup elektron. Struktur yang cenderung datar akan memperbesar peluang pengumpulan molekul *dye* sehingga dapat menurunkan efisiensi. Struktur yang bengkok (*bent structure*) dapat menekan efek dari pengumpulan *dye* (Nuay, 2009). Perlu studi lebih lanjut mengenai jumlah *dye* pada lapisan TiO₂ dan struktur kimia molekul *dye*.

Selain variasi konsentrasi *dye*, efisiensi DSSC juga dipengaruhi oleh berbagai macam jenis *dye*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hardani (2015) dapat diketahui efisiensi DSSC menggunakan berbagai macam jenis *dye* sebagai berikut:

No	Jenis <i>Dye</i>	Efisiensi (%)
1	Kulit Manggis	0,09
2	Wortel	0,03
3	Kulit Melinjo	0,03
4	Daun Binahong	0,01

Gambar 5. Pengaruh beberapa jenis *dye* organik terhadap efisiensi sel surya *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Selain itu, masih banyak faktor yang mempengaruhi kinerja DSSC. Beberapa parameter meliputi pelarut pengestrak, sifat *dye*, pori dan ketebalan lapisan TiO₂, sifat dari garam elektrolit dan elektroda lawan. Dengan kata lain kualitas material menentukan kinerja DSSC.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dadi Rusdiana (2014) dan Hardiana (2015) dapat disimpulkan bahwa :

- Efisiensi sel surya meningkat seiring bertambahnya konsentrasi *dye*.
- Dari ketiga variasi konsentrasi *dye* dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar dimiliki oleh DSSC dengan konsentrasi *dye* 30%, setelah itu 20% dan yang terakhir adalah 10%. Efisiensi berturut turut pada konsentrasi *dye* kulit manggis 10%, 20% dan 30% adalah $3,79 \times 10^{-4}\%$, $7,31 \times 10^{-4}\%$, dan $8,72 \times 10^{-4}\%$.

- Dari ketiga jenis *dye*, *dye* kulit manggis, *dye* wortel, *dye* kulit melinjo dan *dye* daun binahong, efisiensi berturut turut yaitu 0,09%; 0,03%; 0,03%; 0,01%
- Konsentrasi *dye* mempengaruhi ketebalan lapisan *dye* di atas TiO₂ yang sangat berpengaruh terhadap proses penyerapan cahaya oleh lapisan *dye* sehingga dapat meningkatkan konduktivitas listrik dalam lapisan tersebut.
- Beberapa parameter meliputi pelarut pengekstrak, sifat *dye*, pori dan ketebalan lapisan TiO₂, sifat dari garam elektrolit dan elektroda lawan

4. SIMPULAN, SARAN, DAN REKOMENDASI

Dari hasil pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan yaitu prinsip kerja dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah saat terjadi proses transfer elektron pada rangkaian luar DSSC menuju elektroda lawan, aliran listrik akan dihasilkan. Pada sisi elektroda lawan akan mempunyai potensial positif. Sedangkan pada sisi substrat yang terlapis TiO₂ atau elektroda kerja akan mempunyai potensial negatif. Beda potensial antara kedua elektroda tersebut menimbulkan terjadinya aliran listrik ketika kedua elektroda tersebut diberi beban. Karakterisasi absorbansi *dye* antosianin pada ekstrak kulit buah manggis (*Garcinia mangostana L.*) sebagai *dye sensitizer* alami pada DSSC, Efisiensi berturut turut pada konsentrasi *dye* kulit manggis 10%, 20% dan 30% adalah $3,79 \times 10^{-4}\%$, $7,31 \times 10^{-4}\%$, dan $8,72 \times 10^{-4}\%$. Efisiensi sel surya menggunakan *dye* kulit manggis meningkat seiring bertambahnya konsentrasi *dye*.

Adapun saran terkait dengan penelitian ini yaitu mencari referensi yang lain, baik melalui media cetak atau elektronika untuk menambah pengetahuan khususnya yang bermanfaat untuk mengembangkan pemanfaatan energi terbarukan, seperti DSSC dari berbagai macam jenis *dye* organik

5. DAFTAR PUSTAKA

- Dahlan, Dahyunir. (2014). Pengaruh Beberapa Jenis Dye Organik Terhadap Efisiensi Sel Surya Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia, Vol. 15, No. 2, Januari 2014, hal. 74-79*
- Hao, S., Wu, J., Huang, Y., Lin, J. (2006). Natural Dyes as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cell. *Science Direct, Solar Energy 80(2006)*, hal 209-214.
- Khoiruddinn. (2012). Ekstrak beta karoten wortel (*Daucus carota*) sebagai dye sensitizer pada DSSC. skripsi. jurusan Fisika. FMIPA. UNS. Surakarta.
- Rusdiana Dadi. (2014). *Pembuatan Sel Surya TiO₂ Nanokristal berbahan dasar Anthocyanin sebagai Material Dye*, hal 2
- Suryadi, Joko. (2009). *Pembuatan dan Penentuan Nilai Efisiensi Sel Surya Berpewarna Tersensitisasi (Dye-Sensitized Solar Cell) dengan Senyawa Antosianin dari Buah Manggis (Garcinia mangostana L.) Sebagai Pewarna Pensensitisasi*, Jurusan Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang. Ting dan Chao. 2010.
- Wang, X.F., Matsuda, A., Koyama, Y., Nagae H., Sasaki, S.I., Tamiaki, H., dan Wada, Y. (2006). *Chemical Physics. Lett.* Vol.423, hal 470.
- Wilman. S, Diamas. F, Mega, A. (2007). *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-Sensitized Solar Cell)*. Laporan Penelitian Bidang Energi. Bandung : ITB
- Wongcharee, K. V. Meeyoo. S. Chavadej. (2007). *Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted From Rosella and Blue Pea Flowers*, department of Chemical Engineering. Mahanakom University of Technology.
- Zhou, H. Wu, L. Gao, Y. Ma, T. (2011). *Dye Sensitized Solar Cells Using 20 Natural Dyes as Sensitizer, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 219, hal 188-194.