JIIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)
Vol. 01, No. 02 (2017) 140 – 150
© Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran

SINTESIS DAN KARAKTERISASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) DENGAN SENSITIZER ANTOSIANIN DARI BUNGA ROSELLA (HIBISCUS SABDARIFFA)

RAFIKA ANDARI *

[1] *Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, 35365, Lampung Selatan, Lampung*

* *email : rafika.andari09@gmail.com*

Abstrak. Telah dilakukan penelitian tentang kemampuan Dye Sensitized Solar Cell pada kaca konduktif ITO dengan sensitizer dari bunga rosela (Hibiscus sabdariffa). Konstruksi sel surya yang digunakan adalah sistem sandwich. Elektroda lawan-grafit diletakkan di atas lapisan TiO_2–pewarna bunga rosela dengan elektrolit terletak di antara kedua elektroda tersebut. Karakterisasi sel surya dilakukan dengan analisis serapan elektronik pada bunga rosella, Scanning Electron Microscopy (SEM), difraksi sinar X, serapan inframerah, dan pengukuran potensial sel surya. Panjang gelombang maksimum pada bunga rosela sebesar 553 nm. Hasil analisis menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) menunjukkan morfologi permukaan lapis tipis TiO_2 pada perbesaran 20.000x. Pada difraktrogram lapis tipis TiO_2 menunjukkan intensitas pola difraksi cukup tinggi dengan puncak utama pada 2θ yaitu 25,26° (100); 47,82° (200); 37,56° (004); 53,66° (105) dan 54,84° (211) sebagai kristal anatase dengan ukuran kristal sebesar 43,76 nm. Sel-sel ini diuji dengan penyinaran menggunakan cahaya matahari dan lampu halogen 150 Watt pada jarak 30 cm masing-masing menghasilkan harga efisiensi sebesar 0,52% dengan arus 0,28 mA, tegangan 238,2 mV serta 0,49 % dengan 0,09 mA dan tegangan 171,5 mV.

Kata kunci : Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), TiO_2, antocyanin, rosella

Abstract. Research on the performance of Dye Sensitized Solar Cell using ITO glass with a sensitizer of rosella flower (Hibiscus sabdariffa) has been done. The solar cell is constructed in sandwich system. A Counter electrode, graphite is placed on the layer of TiO_2-rosella flower dye with the electrolyte is located between the both electrode. The characterization of solar cell has been evaluated with UV-Vis spectrometer to rosella flower, Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray diffraction, infrared spectroscopy, and the measurement of solar cells potential and current. Research obtained maximum wavelength of dye in the rosella flower is 553 nm. Result of analysis used the Scanning Electron Microscopy (SEM) to show the Morphology of surface of lamella TiO_2 at magnification 20.000x. Diffractogram shows the high enough intensity with main peak at 2θ is 25,26° (100); 47,82° (200); 37,56° (004); 53,66° (105) and 54,84° (211) as anatase crystals. The cells were tested by irradiation with sunlight dan halogen lamp of 150 Watt at a distance 30 cm for each, produces the efficiency result of 0,52% and 0,49 % for currents and voltages of 0,28 mA, 238,2 mV and 0,09 mA, 171,5 mV respectively.

Keywords : Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), TiO_2, antocyanin, rosella

1. Pendahuluan

Perkembangan sistem konversi energi matahari menjadi energi listrik berlangsung melalui sistem yang disebut sebagai sel fotovoltaik. Sel surya merupakan suatu mekanisme yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaik dimana foton dari radiasi matahari diserap kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik

sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik di dalam bahan sebagai akibat penyerapan cahaya dari bahan tersebut.

Sel surya yang banyak digunakan sekarang ini adalah sel surya berbasis teknologi silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor elektronik. Walaupun sel surya sekarang didominasi oleh bahan silikon, namun mahalnya biaya produksi silikon membuat biaya konsumsinya lebih mahal daripada sumber energi fosil. Selain itu kekurangan dari sel surya silikon adalah penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya.

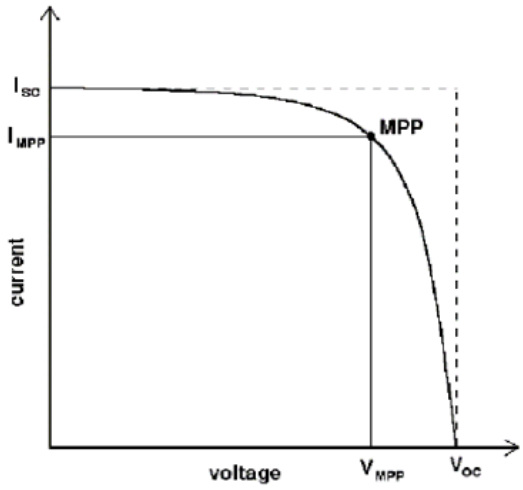
Seiring dengan perkembangan teknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah salah satu teknologi sel surya non-konvensional yang berkembang sejalan dengan perkembangan nanoteknologi. Keunggulan dari DSSC adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah. Sejauh ini, *dye* yang digunakan sebagai sensitizer dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. Walaupun DSSC komersial dengan menggunakan *dye* sintesis yaitu jenis *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi 9,2 %, namun ketersediaan dan harganya yang mahal membuat adanya alternatif lain pengganti *dye* jenis ini yaitu *dye* alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga, atau buah. *Dye-sensitizer* alami terbukti mampu memberikan efek fotovoltaik walaupun efisiensi yang dihasilkan masih jauh lebih kecil dibandingkan zat warna sintetis. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian menggunakan bunga rosella yang mengandung zat warna alami sebagai sumber *dye*.

Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor sambungan p-n. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang membentuk sambungan p-n, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (*hole*).

Ketika sambungan disinari, foton yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari tipe-n akan kembali ke tipe-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) (Gambar 1.).

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) (Gambar 1.).



Gambar 1. Karakteristik kurva I-V pada sel surya

Ketika sel dalam kondisi short circuit, arus maksimum atau arus short circuit (ISC) dihasilkan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan open-circuit (VOC). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP).

Konversi energi matahari menjadi energi listrik menghasilkan arus listrik dan tegangan. Nilai arus listrik dan tegangan dapat diukur dengan menggunakan multimeter digital. Besarnya efisiensi sel surya yang dihasilkan dapat dihitung menurut hubungan:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} x100\% \quad (1)$$

P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya, dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan. P_{in} dapat bersumber dari sinar matahari dengan intensitas sekitar 1000 W/m^2. Intensitas matahari dapat diukur menggunakan alat yang disebut *luxmeter*. Daya maksimum diberikan oleh hubungan:

$$P_{max} = V_{max} \,.\, I_{max} = V_{OC} \,.\, I_{SC} \,.\, FF \quad (2)$$

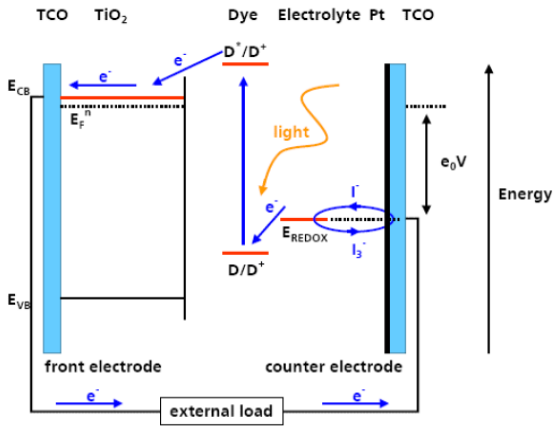
dengan *fill factor* (FF) diberikan hubungan:

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (3)$$

dengan V_{max} adalah tegangan maksimum yang dihasilkan sel surya dan I_{max} merupakan arus maksimum yang dihasilkan [1]. Dari nilai efisiensi inilah yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya.

Skema kerja dari DSSC ditunjukkan pada Gambar 1. Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Proeses kedua terjadi pada elektroda negatif (anoda), yaitu pada lapisan TiO_2 dimana elektron tereksitasi (D*) kemudian terinjeksi menuju pita konduksi (E_{CB}) TiO_2 sehingga dye

teroksidasi (D^+). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul dye kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi. Proses ketiga, setelah mencapai elektroda ITO, elektron mengalir menuju *counter-elektrode* yang berperan sebagai elektroda positif (katoda) melalui rangkaian eksternal. Proses selanjutnya, dengan adanya katalis pada *counter-elektrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodida (I^-). Proses terakhir, iodida ini digunakan untuk mendonor elektron kepada dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.



Gambar 2. Skema kerja dari DSSC [6].

2. Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia, gelas ukur, pipet tetes, kaca konduktif (TCO) jenis ITO, *magnetic stirrer*, cawan petri, mortar, pensil grafit 2B, lilin bakar, pinset, oven, batang pengaduk, kertas saring, *scotch tape*, neraca digital, multimeter digital, potentiometer, lampu Halogen 150 watt serta luxmeter. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bubuk TiO_2, aquades, kalium iodida (KI), iodin (I_2), etanol 95%, asetonitril, PVA (Polivinil Alkohol), asam asetat dan kelopak bunga rosella.

Material TiO_2 dideposisikan dengan teknik lapisan tebal, pada tahap awal dibuat TiO_2 dalam bentuk pasta, yaitu dengan prosedur pembuatan sebagai berikut:

1. Polivinil Alkohol (PVA) ditambahkan sebanyak 3,07 gram kedalam 30 ml aquades, kemudian diaduk hingga merata menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 40°C selama 30 menit.

2. Bubuk TiO_2 ditambahkan sebanyak 3,10 gram kepada suspensi tersebut sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 40^{0}C sampai terbentuk pasta yang baik untuk dilapiskan.

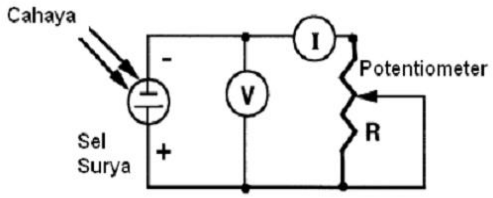
Derajat viskositas dari pasta untuk mendapatkan pasta yang optimal didapatkan dengan mengatur banyaknya binder dan juga bila diperlukan ditambahkan juga air pada campuran binder dan bubuk TiO_2.

Kelopak bunga rosella segar sebanyak 10,2 gram digerus dengan mortar hingga halus, selanjutnya ditambahkan 25 ml etanol 95%, 4 ml asam asetat, dan 21 ml aquades (25:4:21 perbandingan volume), kemudian direndam selama 24 jam. Setelah direndam selama 24 jam, selanjutnya ekstrak *dye* antosianin disaring menggunakan kertas saring Whatman dan disimpan dalam botol berwarna gelap.

Sebagai sumber karbon digunakan grafit dari pensil 2B. Pensil 2B diarsir pada bagian konduktif ITO hingga merata. Kemudian kaca dibakar di atas nyala lilin dengan posisi arsiran menghadap api. Pembakaran dilakukan hingga jelaga api menutupi permukaan konduktif ITO.

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat kemudian dilakukan fabrikasi untuk membentuk sel surya dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pada ITO yang telah dipotong menjadi ukuran 1 x 2 cm dibentuk area tempat TiO_2 dideposisikan dengan bantuan Scotch tape pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 x 1. *Scotch tape* juga berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO_2.
2. Pasta TiO_2 dideposisikan diatas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan metoda *doctor blade*, yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan selama kurang lebih 15 menit dan dibakar dalam oven listrik pada temperatur 150°C selama 30 menit.
3. Lapisan TiO_2 kemudian direndam dalam larutan *dye* selama 30 menit kemudian lapisan TiO_2 akan menjadi berwarna ungu. Kaca ITO kemudian dibilas dengan aquades, kemudian dibilas dengan etanol dan dikeringkan. Pada proses ini terjadi adsorpsi sianin ke permukaan TiO_2, menggantikan OH^- dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup antosianin [3].
4. *Counter-elektroda* karbon kemudian diletakkan diatas lapisan TiO_2 dengan struktur *sandwich* dimana di masing-masing ujung diberi offset sebesar 0,5 cm untuk kontak elektrik. Kemudian agar struktur selnya mantap dijepit dengan klip pada kedua sisi.
5. Larutan elektrolit kemudian diteteskan kira-kira sebanyak 2 tetes kepada ruang antara kedua elektroda. Dan sel surya siap untuk diuji.



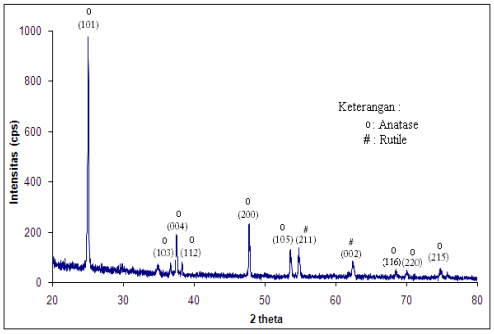
Gambar 3. Skema rangkaian listrik pengujian sel surya

Sel surya yang telah dirangkai dilakukan pengujian tegangan dan arus yang terukur dari sel surya dengan menggunakan potentiometer sebagai hambatan yang divariasikan dan dilihat perubahannya. Skema rangkaian listriknya ditunjukkan pada Gambar 3. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari secara langsung dan cahaya lampu halogen 150 Watt. Jarak antara sumber cahaya lampu

dengan sel surya adalah 30 cm diarahkan tegak lurus terhadap permukaan sel surya. Sedangkan karakterisasi dengan sumber cahaya matahari dilakukan pada sekitar pukul 11.00 –13.00 siang dan pada saat iluminasi cahaya matahari cerah yang diukur menggunakan luxmeter.

3. Hasil dan Pembahasan

asil karakterisasi elektroda TiO_2 pada kaca ITO diperoleh berupa pola difraksi (difraktogram) yang terdiri dari puncak-puncak karakteristik TiO_2, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Puncak-puncak karakteristik TiO_2 sangat jelas muncul pada difraktogram dengan orientasi pada sudut $2\theta = 25{,}26^0$ dengan persentase 100% yang bersesuaian dengan bidang kristal (101). Puncak-puncak karakteristik berikutnya muncul berturut-turut pada sudut (2θ) dan bidang kristal $47{,}82^0$ (200); $37{,}56^0$ (004); $53{,}66^0$ (105) ; $54{,}84^0$ (211); dan seterusnya.



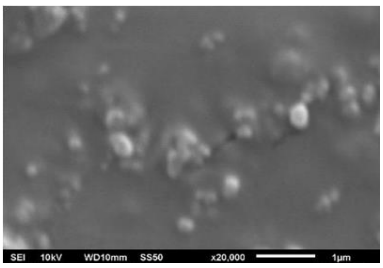
Gambar 4. Pola XRD Elektroda TiO_2

Puncak-puncak TiO_2 ini dominan dengan persentase terbanyak fasa kristal anatase. Dengan membandingkan hasil pengukuran dan kartu interpretasi data dapat diketahui bahwa kristal yang terbentuk adalah anatase sesuai dengan JCPDS No. 21-1272 dan rutile sesuai dengan JCPDS No. 21-1276. Terlihat juga bahwa intensitas pola difraksi sampel cukup tinggi menandakan mempunyai derajat kristalinitas yang baik.

Pola difraktogram yang diperoleh juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal TiO_2 berdasarkan nilai FWHM *(Full Width At Half-Maximum)* pada berbagai puncak dengan menggunakan persamaan Scherrer. Dengan menggunakan persamaan Scherrer pada indeks bidang miller (101), ukuran kristal yang terhitung yaitu 43,76 nm. Ukuran kristal TiO_2 sebesar 43,76 nm ini cukup jauh berbeda bila dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Marwati (2007) memperoleh ukuran kristal TiO_2 masing-masing sebesar 17,36 nm dan 20,33 nm [2]. Dalam aplikasi sel surya TiO_2 tersensitasi *dye*, ukuran partikel TiO_2 berskala nanometer ini dapat menampung jumlah molekul *dye* lebih banyak karena terdapat pori yang lebih besar.

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa TiO_2 yang disintesis sesuai untuk diaplikasikan dalam DSSC karena mempunyai fasa kristal anatase yang memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi. Selain itu derajat kristalinitas sampel ini cukup baik dilihat dari intensitas puncak difraksi yang tinggi dan tegas, dengan derajat kristalinitas yang baik maka proses difusi elektron di TiO_2 akan lebih cepat sehingga proses transfer elektron untuk DSSC secara keseluruhan akan lebih tinggi dan dapat menigkatkan efisiensi sel surya.

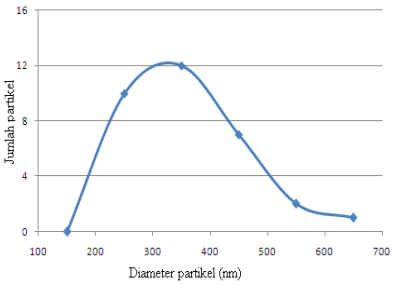
Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur lapisan TiO_2 pada substrat kaca ITO seperti pada Gambar 5. berupa morfologi permukaan lapisan TiO_2. Hasil permukaan lapisan yang diperoleh memiliki struktur berpori namun partikel TiO_2 belum tersebar merata di seluruh permukaan. Struktur pori yang terlihat umumnya adalah struktur pori antarpartikel sedangkan struktur pori dalam partikel tidak terlihat karena keterbatasan resolusi alat. Profil permukaan dapat diketahui namun ketebalan lapisan TiO_2 tidak dapat diketahui karena keterbatasan data yang diperoleh.



Gambar 5. Hasil SEM Sampel TiO_2

Ukuran pori dalam skala nanometer tempat terserapnya molekul *dye* dapat terlihat meskipun tidak terlalu jelas. Hal ini disebabkan karena resolusi alat SEM yang digunakan pada penelitian ini adalah perbesaran 20.000 kali, sedangkan alat SEM yang digunakan pada penelitian Septina (2007) mempunyai resolusi yang lebih tinggi hingga 80.000 kali [3].

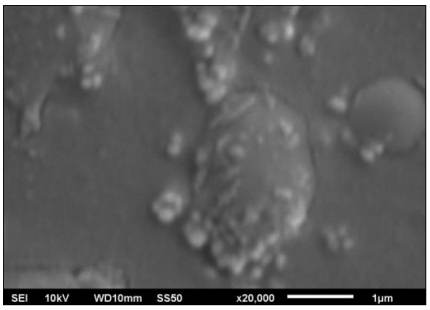
Hasil pengukuran diperoleh jumlah parikel elektroda TiO_2 terdapat banyak pada jangkauan diameter 200-350 nm masih lebih besar dibandingkan hasil penelitian Septina (2007) yang dapat dilihat dengan ukuran pori sebesar 100 nm [3]. Berdasarkan hasil tabulasi di atas dibuatkan diagram sebaran ukuran partikel seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram sebaran ukuran partikel elektroda TiO_2

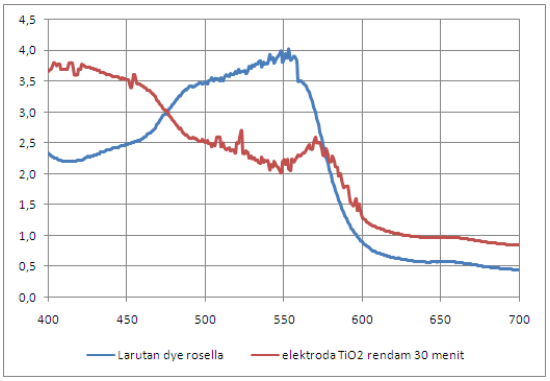
Struktur nanopori dari lapisan TiO_2 merupakan karakteristik penting DSSC, karena posisi *dye* akan berada dalam pori-pori tersebut. Morfologi lapisan berpori yang lebih banyak dapat meningkatkan jumlah molekul *dye* yang terserap pada permukaan partikel-partikel TiO_2. Semakin banyak volume pori yang terbentuk, maka semakin luas ruang yang dapat ditempati oleh molekul *dye*. Hal ini menyebabkan penyerapan foton lebih mudah sehingga meningkatkan jumlah elektron terinjeksi ke permukaan TiO_2 yang pada akhirnya dapat meningkatkan kemampuan sel surya.

Setelah perendaman dalam larutan *dye*, lapisan TiO_2 yang telah berwarna juga dilakukan pengujian karakteristik morfologinya menggunakan SEM. Hasil karakteristik lapisan ini seperti terlihat pada Gambar 7. Hasil permukaan lapisan yang diperoleh memiliki struktur berpori namun partikel TiO_2 belum tersebar merata di seluruh permukaan tempat molekul *dye*. Untuk perendaman 30 menit memperlihatkan struktur pori yang lebih rapat. Hal ini menunjukkan bahwa dengan lama perendaman yang lebih lama ekstrak *dye* terserap lebih banyak daripada lama perendaman yang lebih singkat.



Gambar 7. Hasil SEM lapisan TiO_2 setelah perendaman dalam larutan *dye* 30 menit

Sebelum digunakan sebagai sensitizer, ekstrak bunga rosella terlebih dahulu diuji spektrum absorpsinya dengan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-VIS Lambda 25 Perkin Elmer dengan panjang gelombang cahaya yang digunakan antara 400-700 nm. Spektrum absorpsi masing-masing diuji untuk *dye* antosianin dalam bentuk larutan sebelum dan sesudah perendaman elektroda TiO_2. Hasil karakterisasi spektrum absorpsi seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil spektrum absorpsi bunga rosella

Pada Gambar 8. memperlihatkan bahawa spektrum absorpsi ekstrak antosianin bunga rosella cukup lebar yaitu 450-600 nm dengan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) sekitar 553 nm. Hasil ini tidak jauh berbeda dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wongcharee (2006) yang memperoleh panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) 520 nm [5]. Dengan demikian ekstrak bunga rosella sangat signifikan dan dominan menyerap cahaya tampak pada spektrum hijau (500-550 nm), hal ini bersesuaian dengan warna ekstrak yang kemerahan [4].

Pada Gambar 8. terlihat bahwa spektrum absorpsi elektroda TiO_2 tersensitisasi antosianin menunjukkan pergeseran ke arah panjang gelombang lebih panjang 550-600 nm dengan puncak pada sekitar 570 nm (spektrum kuning) namun intensitasnya

menurun. Pergeseran ini terjadi akibat perubahan warna *dye* setelah diserap oleh lapisan TiO_2, yaitu dari warna kemerahan menjadi keunguan. Perubahan warna ini sebagai akibat terjadinya ikatan antara kromofor *dye* dari antosianin dengan Ti (IV) dari TiO_2, dimana sebuah ion OH^- dari Ti (IV) berikatan dengan sebuah ion H^+ dari *dye* antosianin membentuk satu molekul H_2O. Selain itu, muncul pula pita absorbansi pada daerah spektrum ungu (400-430 nm), yang merupakan karakteristik serapan TiO_2.

Pada Gambar 8. terlihat bahwa perendaman dengan waktu 30 menit menghasilkan intensitas absorbans yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena dengan adanya waktu perendaman konsentrasi molekul antosianin yang terserap pada permukaan elektroda TiO_2. Nilai absorbans ini dipengaruhi oleh kandungan antosianin pada permukaan elektroda TiO_2, karena kandungan antosianin sebanding dengan cahaya yang diserap oleh sel surya.

Sel surya yang telah dikerjakan dilakukan pengujian konversi energi dengan dua sumber cahaya, yaitu cahaya matahari langsung dan cahaya lampu Halogen 150 watt. Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan yang telah dibuat dalam bentuk kurva I-V, diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter sel surya yang diperoleh dengan sumber cahaya matahari

Karakterisasi I-V	Sampel A (0,5 M)	Sampel B (0,3 M)	Sampel C (0,1 M)
Vmax (mV)	238,2	227,3	217,3
Imax (mA)	0,28	0,28	0,20
Pmax (mW)	66,69	63,644	43,46
Isc (mA)	0,3	0,31	0,27
Voc (mV)	234	225,6	217,5
Fill Factor	0,95	0,91	0,74
Efisiensi (%)	0,52	0,50	0,34

Nilai tegangan maksimum diperoleh sebesar 238,2 mV dan arus maksimum sebesar 0,28 mA yang dihasilkan pada sampel A dengan konsentrasi elektrolit 0,5 M. Hal ini menunjukkan nilai tegangan dan arus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentasi elektrolit. Dengan konsentrasi elektrolit yang besar pada penelitian ini mempercepat transfer elektron didalam elektroda TiO_2 menuju elektroda karbon sehingga siklus di dalam sel berjalan baik yang akan menigkatkan kemampuan sel surya.

Hasil dalam penelitian ini cukup baik untuk sel surya skala laboratorium jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Septina (2007) sebesar 162,4 mV. Untuk nilai arus maksimum yang diperoleh sebesar 0,28 mA pada penelitian ini masih cukup bagus bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Maddu (2007) menggunakan ekstrak kol merah yang memperoleh arus sebesar 5,6 µA dan Septina (2007) menggunakan ekstrak buah delima sebesar 0,07 mA [3].

Nilai arus keluaran sel surya (disebut juga arus fotonik) yang kecil disebabkan oleh resistansi lapisan elektroda semikonduktor TiO_2 dan elektrolit yang digunakan. Nilai resistansi yang besar ini mengakibatkan transfer elektron dari *dye* teroksidasi di dalam lapisan TiO_2 belum berjalan baik sehingga jumlah elektron yang mengalir ke rangkaian luar menjadi kecil, akibatnya arus yang dihasilkan juga kecil. Selain itu dapat diakibatkan oleh belum optimalnya fungsi *dye* dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda TiO_2.

Berdasarkan nilai tegangan maksimum dan arus maksimum dapat diketahui efisiensi sel surya, yaitu 0,52 %. Penggunaan jenis *dye* yang sama ternyata menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda. Ini dipengaruhi oleh karakteristik yang berbeda dari bunga rosella baik dari daerah tempat tumbuhnya maupun cara ekstrak bunga rosella tersebut. Selain itu, terdapat perbedaan pada substrat yang digunakan sebagai komponen pendukung DSSC dimana pada penelitian Marwati (2007) substrat yang digunakan adalah LCD [2], sedangkan penelitian ini menggunakan substrat kaca konduktif jenis ITO.

Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan yang telah dibuat dalam bentuk kurva I-V, diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil pengukuran menunjukkan dengan lama perendaman 30 menit, nilai efisiensi sel surya menggunakan cahaya lampu halogen 150 watt menunjukkan nilai tertinggi pada konsentrasi elektrolit 0,3 M. Hal ini menyatakan bahwa konsentrasi larutan elektrolit yang lebih besar (0,5 M) menghasilkan efisiensi yang lebih rendah. Ini dapat terjadi kemungkinan disebabkan oleh larutan yang kurang terjaga kemurniannya akibat penggunaan untuk pengujian sampel yang bervariasi.

Tabel 2. Parameter sel surya yang diperoleh dengan sumber cahaya lampu halogen 150 watt

Karakterisasi I-V	**Sampel A (0,5 M)**	**Sampel B (0,3 M)**	**Sampel C (0,1 M)**
Vmax (mV)	124,5	171,5	101,5
Imax (mA)	0,08	0,09	0,07
Pmax (mW)	11,205	15,435	7,105
Isc (mA)	0,12	0,10	0,11
Voc (mV)	125	174,6	102,3
Fill Factor	0,74	0,78	0,63
Efisiensi (%)	0,32	0,49	0,22

Nilai tegangan maksimum dengan sumber cahaya lampu halogen 150 watt yang dihasilkan adalah sebesar 171,5 mV dan untuk nilai arus maksimum sebesar 0,09 mA. Berdasarkan nilai tegangan maksimum dan arus maksimum dapat diketahui efisiensi sel surya, yaitu 0,49 %. Hasil ini ternyata lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian Maddu (2007) yang menggunakan lampu halogen 24 watt, yaitu sebesar 0,034% [1]. Hal ini disebabkan perbedaan intensitas lampu halogen yang digunakan lebih besar sehingga cahaya yang diserap oleh molekul *dye* lebih banyak dan mempercepat transfer elektron pada elektroda TiO_2 yang pada akhirnya akan meningkatkan kinerja sel surya.

Hasil pengujian menggunakan sumber cahaya lampu ini lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan cahaya matahari. Nilai tegangan yang lebih besar dari sumber cahaya matahari disebabkan cahaya matahari mempunyai intensitas cahaya yang lebih tinggi selain itu spektrum cahaya yang dipancarkan lebih lebar. Oleh karena itu cahaya matahari merupakan sumber iluminansi yang paling efektif untuk pengujian.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengn menggunakan kombinasi bahan anorganik TiO_2 dengan bahan organik *dye* dari ekstraksi bunga rosella. Nilai efisiensi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit dan semakin lamanya perendaman sel dalam ekstrak *dye* bunga rosella, yaitu pada lama perendaman 30 menit. Untuk sumber cahaya matahari nilai efisiensi tertinggi dengan konsentrasi elektrolit 0,5 M sebesar 0,52%. Sedangkan untuk sumber cahaya lampu halogen 150 watt nilai efisiensi tertinggi pada konsentrasi elektrolit 0,3 M sebesar 0,49 %. Karakteristik-karakteristik yang menentukan performansi sel surya diantaranya struktur, jenis *dye* (karakteristik absorpsi cahaya), konsentrasi larutan elektrolit dan sumber cahaya yang digunakan.

Daftar Pustaka

1. A. Maddu, Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosentizer Pada Sel Surya TiO_2 Nanokristal Tersentisasi Dye, Departemen Fisika FMIPA, Institut Pertanian Bogor: Bogor (2007).
2. Marwati, A. Retno, Penggunaan Bunga Rosela (Hibiscus sabdariffa) sebagai Zat Warna pada Dye sensitized Solar Cell (DSSC). Jurusan Kimia FMIPA ITB :Bandung.
3. W. Septina, Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell), Laporan Penelitian Bidang Energi, Institut Teknologi Bandung, Bandung (2007).
4. Sukardjo, Kimia Koordinasi, PT. Rineka Cipta : Jakarta (1992).
5. K. Wongcharee et al, Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted From Rosella and Blue Pea Flowers, Department of Chemical Engineering, Mahanakorn University of Technology, Nong Chok, Bangkok 10530, Thailand (2006).
6. R. Sastrawan, Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells, Disertasi University of Freiburg (2006).