



## Pengaruh Pasta ZnO dengan Penambahan *Dish Detergent* dan PVA pada Kaca Konduktif terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* dari Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Sri Handayani<sup>a</sup>, Gunawan<sup>a\*</sup>, Abdul Haris<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Analytical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

\* Corresponding author: [gunawan@live.undip.ac.id](mailto:gunawan@live.undip.ac.id)

Article Info	Abstract
<p>Keywords: <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC), ZnO pasta, anthocyanin of rosella flower</p>	<p>A study concerning the making of ZnO pasta with the addition of dish detergent and PVA on conductive glass and the efficiency of dye-sensitized solar cell (DSSC) of rosella flower extract (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) had been conducted. This research aims to produce ZnO layer nanoporous and to determine the effect of pasta ZnO with the addition of dish detergent and PVA on the efficiency of dye-sensitized solar cell (DSSC). Working electrode was made of ZnO thin film adsorbed anthocyanin from rosella flower extract, counter electrode was made of carbon and <math>I^-/I_3^-</math> electrolyte as couple redox. Characterization of DSSC included absorption wavelength dyes of rosella flowers, the crystallinity of ZnO, ZnO layer morphology structure and bonding characteristics between ZnO with anthocyanin compounds. DSSC efficiency value was determined by the current and voltage curves. The results were obtained ZnO layers nanoporous size of 71.43 nm, and the efficiency of DSSC for ZnO with dish detergent was <math>2.964 \times 10^{-4}\%</math> and ZnO with PVA obtained an efficiency of <math>0.712 \times 10^{-4}\%</math>.</p>
<p>Kata Kunci: Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), pasta ZnO, antosianin bunga rosella</p>	<p>Abstrak</p> <p>Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan pasta ZnO dengan penambahan <i>dish detergent</i> dan PVA pada kaca konduktif terhadap efisiensi <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC) dari ekstrak bunga rosela (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan lapisan ZnO nanopori dan untuk mengetahui pengaruh pembuatan pasta ZnO dengan penambahan <i>dish detergent</i> dan PVA terhadap efisiensi <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC). Penelitian dilakukan dengan pembuatan elektroda kerja (<i>working electrode</i>) dari lapis tipis ZnO yang mengadsorb antosianin bunga rosela, elektroda perlawanan (<i>counter electrode</i>) dari karbon dan elektrolit <math>I^-/I_3^-</math> sebagai pasangan redoks. Karakterisasi DSSC meliputi serapan panjang gelombang zat pewarna bunga rosella, kristalinitas ZnO, struktur morfologi lapis ZnO dan karakteristik ikatan antara ZnO dengan senyawa antosianin. Nilai efisiensi DSSC ditentukan dengan metode kurva arus dan tegangan. Hasil penelitian dapat diperoleh lapisan ZnO berukuran nanopori sebesar 71,43 nm, dan efisiensi DSSC yang diperoleh untuk ZnO dengan dish detergent sebesar <math>2,964 \times 10^{-4}\%</math> sedangkan ZnO dengan PVA diperoleh efisiensi sebesar <math>0,712 \times 10^{-4}\%</math>.</p>

### 1. Pendahuluan

Sel surya atau sel fotovolta merupakan alat yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya yang banyak digunakan sekarang ini

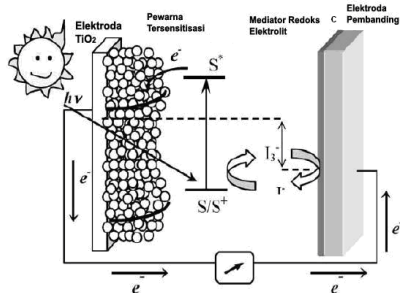
adalah sel surya generasi terbaru, yaitu *dye-sensitized solar cell* (DSSC) [1]. DSSC ini terdiri dari tiga komponen utama, diantaranya adalah penyerap zat warna lapisan  $TiO_2$  nanokristalin pada substrat TCO, disebut dengan

foto-anoda, pasangan redoks  $I^-/I_3^-$  pada pelarut organik, dan *counter electrode* atau katoda [2].

Sejauh ini semikonduktor yang banyak digunakan adalah semikonduktor  $TiO_2$ , namun semikonduktor ini masih memberikan efisiensi yang kecil pada DSSC, sehingga perlu dikembangkan jenis semikonduktor baru. Beberapa penelitian mengenai penggunaan  $ZnO$  sebagai semikonduktor diantaranya dilakukan oleh Itagaki *dkk.* [3] dapat menghasilkan efisiensi sebesar 1,9 %. Penelitian lain dilakukan oleh Yin *dkk.* [4] diperoleh efisiensi sebesar 4,17%.

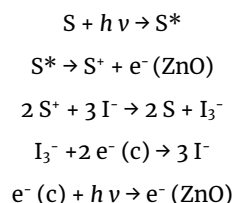
Seng oksida ( $ZnO$ ) hadir sebagai alternatif semikonduktor karena  $ZnO$  memiliki mobilitas elektron yang lebih tinggi dibandingkan dengan  $TiO_2$ , pita konduksi  $ZnO$  memiliki tingkat yang berdekatan dengan  $TiO_2$  dan bentuknya sangat fleksibel sehingga dapat digunakan sebagai semikonduktor [3]. Selain itu,  $ZnO$  digunakan sebagai alternatif fotoelektroda karena memiliki celah pita (*bandgap*), afinitas elektron, dan efisiensi injeksi elektron mirip dengan  $TiO_2$ . Disamping memiliki sifat yang menarik,  $ZnO$  adalah bahan yang mudah disintesis dalam berbagai variasi struktur nano, ini semua untuk mengoptimisasi sifat bahan nano dalam aplikasi DSSC [5]. Tujuan lain penggunaan  $ZnO$  sebagai elektroda kerja (anoda) dalam DSSC adalah untuk meningkatkan kemampuan dalam memindahkan elektron [6].

*Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) tersusun atas 2 jenis elektroda dan elektrolit. Pertama, fotoelektroda yang terdiri atas semikonduktor dengan zat warna yang teradsorpsi dan substrat kaca FTO, yang kedua adalah elektrolit yang mengandung pasangan redoks  $I^-/I_3^-$  dan *counter electrode* Pt atau karbon [3]. Komponen penyusun DSSC tersebut mempunyai fungsi masing-masing. Kaca konduktif berfungsi sebagai penghantar arus dari elektroda kerja ke elektroda perlawanan sehingga terjadi aliran arus. Elektroda kolektor atau elektroda kerja dalam sel tersebut terbentuk dari sebuah film semikonduktor nanokristal bercelah pita lebar contohnya  $TiO_2$  yang dilapiskan pada kaca konduktor oksida transparan. Lapisan *dye* (zat warna) berfungsi sebagai sensitasi yang berfungsi untuk menyerap foton dari cahaya matahari. Zat warna akan terserap secara kimia pada film semikonduktor tersebut. Pada elektroda perlawanan dilapiskan katalis (biasanya platinum atau karbon) untuk mempercepat reaksi fotokimia. Larutan elektrolit terdiri atas pasangan redoks iodida ( $I^-$ ) dan triiodida ( $I_3^-$ ) yang berfungsi sebagai donor elektron [7].



Gambar 1. Skema prinsip sel surya fotoelektrokimia tersensitisasi dye

Prinsip kerja sel surya pewarna tersensitisasi dimulai ketika cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel, diserap oleh larutan pewarna (*dye*) yang sensitif terhadap cahaya matahari (disebut pula dengan *photosensitizer*). Akibat terserapnya energi cahaya matahari ini, elektron dari pewarna dapat tereksitasi dan menuju ke lapisan  $ZnO$  yang terus kemudian dialirkan ke kabel melalui lapisan tipis kaca konduktor (elektroda). Sedangkan, kehilangan elektron pada larutan pewarna digantikan oleh adanya donor elektron dari larutan elektrolit iodin melalui reaksi reduksi-oksidasi dengan lapisan tipis karbon sebagai katoda. Berikut reaksi yang berlangsung dalam DSSC:



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya tersensitisasi zat warna berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor  $ZnO$  dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks ( $I^-/I_3^-$ ). Arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan intensitas penyinaran dan kinerja zat warna yang digunakan. Arus yang terbaca menunjukkan adanya sensitasi lapis  $ZnO$  oleh zat warna yang mendorong terjadinya injeksi elektron dari keadaan tereksitasi menuju pita konduksi  $ZnO$ . Hal ini menunjukkan terjadinya aliran elektron dari elektroda kerja sebagai kutub negatif menuju elektroda lawan sebagai kutub positif.

Dalam penelitian ini sel surya yang dikembangkan menggunakan elektroda nanokristal  $ZnO$  yang dibuat dari bubuk  $ZnO$  (*merck*, p.a) yang dilakukan pemvariasian pembuatan pasta  $ZnO$ , yaitu dengan penambahan *dish detergent* dan PVA (*polyvinyl alcohol*). Zat warna (*dye*) yang digunakan adalah antosianin yang diekstrak dari bunga rosela. Sedangkan untuk mengurangi degradasi elektrolit digunakan elektrolit padat berbasis gel polimer PEG (*polyethylene glycol*) yang mengandung pasangan redoks ( $I^-/I_3^-$ ) sebagai penjerat elektrolit cair.

## 2. Metode Penelitian

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya bubuk  $ZnO$  (p.a, Merck), PEG 4000 (p.a, Merck Germany), kloroform (p.a, Merck), KI (p.a, Merck),  $I_2$  (p.a, Merck), asetil aseton (p.a), karbon dari battery, bunga rosela, asetonitril, akuades, *dish detergent*, scotch tape, dan kaca TCO. Peralatan yang digunakan adalah multimeter digital (Krisbow), furnace (Naberthem), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu), Scanning Electron Microscopy (SEM) (JSM-35C), Difraksi Sinar-X (XRD) (Crystal Impact, Bonn, Germany), Spektrofotometer FT-IR (Shimadzu), gelas ukur, gelas beker, hot plate, mortar, neraca analitik (Ohaus), klip kertas.

### Pembuatan Pasta ZnO

Serbuk ZnO yang digunakan dalam pembuatan pasta ZnO sebelumnya telah digerus dengan menggunakan mortar. Pasta ZnO yang pertama (A) dibuat dengan menggunakan *dish detergent*, bubuk ZnO sebanyak 2 gram dicampur dengan 6 tetes asetil aseton yang telah dilarutkan dalam akuades 10 %, kemudian dilakukan penambahan 6 mL akuades, ke dalam pasta ditambahkan 2 tetes *dish detergent* untuk mengurangi tegangan permukaan dan memudahkan untuk penyebaran pasta (Giannouli dan Spiliopoulou, 2011). Pembuatan pasta ZnO yang kedua (B) dianalogikan dengan pembuatan pasta pada TiO<sub>2</sub>, yaitu dengan menambahkan 0,5 gram PVA dicampur dengan 4,5 mL akuades kemudian dipanaskan pada suhu 80°C diaduk secara teratur, kemudian dimasukkan serbuk ZnO sebanyak 4,5 gram. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta ZnO dan dilakukan pengadukan sampai campuran tercampur sempurna. Pasta yang telah dibuat kemudian dilapiskan pada kaca TCO kemudian di furnace pada suhu 450°C selama 30 menit.

### Pembuatan Zat Warna (*Dye*) Dari Ekstrak Rosela

Bunga rosela kering sebanyak 2 gram digerus dengan mortar ditambahkan metanol 20 mL. Larutan *dye* didiamkan selama 24 jam. Larutan kemudian disaring dengan kertas saring [8]. Kemudian larutan ekstrak *dye* antosianin diukur pH-nya menggunakan pH paper. Setelah itu larutan ekstrak *dye* antosianin diuji spektrum serapan optiknya dengan spektrofotometer UV-Vis.

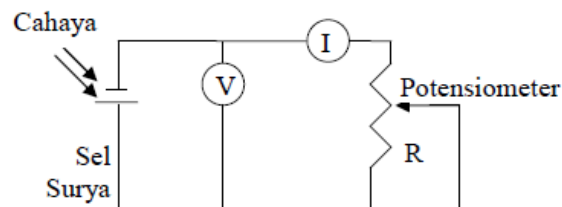
### Pembuatan Elektrolit

Elektrolit padat yang digunakan berbasis polimer PEG (*polyethylene glycol*) dengan berat molekul (*BM*) 4000. Sebanyak 7 gram PEG dilarutkan dengan 25 mL kloroform hingga membentuk gel, selanjutnya dimasukkan beberapa tetes larutan KI/I<sub>2</sub> yang dibuat dengan mencampurkan 0,8 gram KI kedalam 10 mL asetonitril kemudian diaduk dan ditambahkan 0,127 gram iod (I<sub>2</sub>) ke dalam larutan tersebut. Campuran tersebut diaduk dengan pengaduk magnet sambil dipanaskan pada suhu 80°C selama satu jam hingga homogen dan membentuk gel [9].

### Pembuatan dan Karakterisasi Sel Surya

Elektroda ZnO A (*dish detergent*) dan ZnO B (PVA) pada substrat kaca TCO yang telah difurnace, kemudian direndam dalam zat warna antosianin dari bunga rosela selama 30 menit. Lapisan ZnO yang telah direndam di dalam larutan ekstrak antosianin disebut ZnO tersensitisasi *dye*. Kemudian elektroda ZnO tersensitisasi dengan ekstrak antosianin dikarakterisasi dengan menggunakan FT-IR untuk mengetahui terjadinya ikatan antara ZnO dengan *dye*, serta dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui kristalografi untuk masing-masing ZnO. Serta dilakukan karakterisasi dengan SEM untuk hasil pasta dengan efisiensi terbaik. Setelah itu larutan elektrolit polimer ditetaskan di atas ZnO tersensitisasi *dye*, lalu ditutup dengan elektroda lawan (*counter electrode*) berupa lapisan karbon.

Sel surya yang dihasilkan diukur karakteristik arus dan tegangan (*I-V*) dengan merangkainya dengan sebuah voltmeter (*V*) dan sebuah amperemeter (*A*) serta sebuah beban atau potensiometer untuk mengatur arus di dalam rangkaian (Gambar 2). Sumber cahaya berasal dari matahari dengan intensitas 0,1113 W/cm<sup>2</sup> diarahkan tegak lurus terhadap permukaan sel surya.



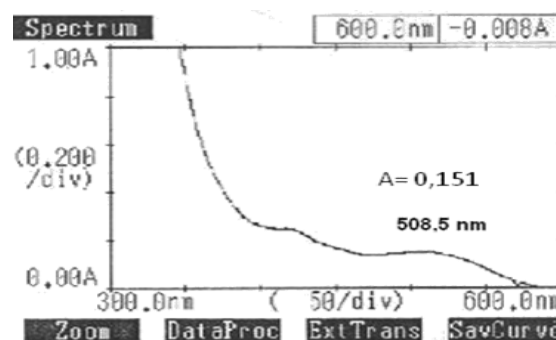
Gambar 2. Skema rangkaian listrik pengujian sel surya

Nilai arus dan tegangan sel surya diukur pada setiap posisi potensiostat yang divariasikan mula-mula pada resistansi maksimum hingga nilai minimumnya. Hasil pengukuran yang diperoleh dibuat kurva *I-V* untuk menentukan performa energi sel surya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Analisis Larutan Zat Warna (*dye*) menggunakan UV-Vis

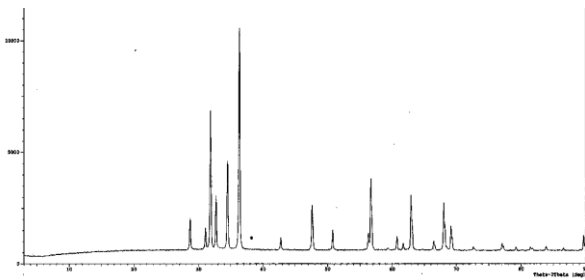
Sebelum digunakan sebagai sensitizer, ekstrak antosianin terlebih dahulu diuji spektrum absorpsinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Spektrum absorbansi diukur pada rentang panjang gelombang 400 nm – 700 nm. Dari data dapat diketahui bahwa puncak panjang gelombang maksimum ekstrak bunga rosela pada 508,5 nm yang merupakan transisi elektronik dengan absorbansi 0,151. Menurut Ali dan Matthew [10] panjang gelombang senyawa antosianin berkisar antara 400-550 nm, sedangkan menurut Wongcharee *dkk.* [8] sebesar 420 nm.



Gambar 3. Spektra UV-Vis ekstrak bunga rosela

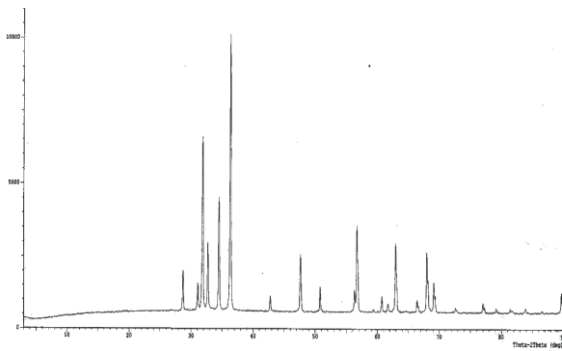
### Karakteristik Lapis Tipis ZnO dengan metode XRD

Metode analisis difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui fase kristal ZnO, jumlah komposisi fase kristal ZnO dan ukuran kristal penyusun lapis tipis ZnO. Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat XRD dengan sumber Cu pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Hasil karakterisasi XRD berupa pola difraksi (difraktogram) yang terdiri dari puncak-puncak karakteristik ZnO seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Difraktogram Lapis Tipis ZnO A (dish detergent) pada substrat kaca

Dari gambar 4 dapat diketahui bahwa derajat kristalisasi lapis tipis ZnO cukup tinggi dengan puncak yang tajam dan intensitas cukup besar. Data difraktogram lapis tipis ZnO terdapat 3 puncak pada 2θ yaitu 36,3022; 31,8132; dan 34,4684 serta jarak antar bidang (d) sebesar 2,47268 Å, 2,81060 Å, dan 2,59992 Å. Sedangkan difraktogram lapis tipis ZnO B ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Difraktogram Lapis Tipis ZnO B (PVA) pada substrat kaca

Dari data gambar 5 dapat dilihat bahwa derajat kristalisasi lapis tipis ZnO cukup tinggi dan puncak yang diperoleh cukup tajam dengan intensitas yang besar. Data difraktogram lapis tipis ZnO menunjukkan ada 3 puncak pada 2θ yaitu 36,2938; 31,8080; dan 34,4619 serta jarak antar bidang (d) sebesar 2,47324; 2,81104; dan 2,60040.

Dari data pola difraktogram dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal ZnO berdasarkan nilai FWHM (*Full Width and Half Maximum*) pada berbagai puncak dengan menggunakan persamaan Scherrer,

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cos \theta}$$

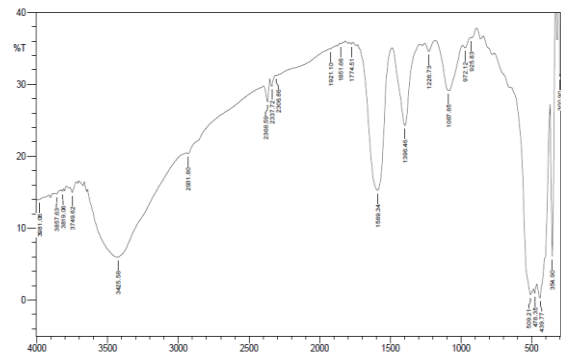
dengan D adalah ukuran kristal,  $\lambda = 0,154060$  nm adalah panjang gelombang sinar X yang menggunakan Cu sebagai sumber lampunya,  $\beta$  adalah nilai FWHM masing-masing puncak karekterisasi,  $\theta$  adalah sudut difraksi, dan  $k = 0,94$  yang merupakan suatu konstanta. Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan Scherrer diatas dapat diperoleh ukuran kristal ZnO. Dari hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan diatas diperoleh ukuran kristal ZnO wurtzite untuk ZnO A sebesar 50,9 nm sedangkan ZnO B sebesar 50,6 nm.

Dalam aplikasinya pada sistem sel surya ZnO tersensitisasi dye, semakin kristal ZnO berukuran

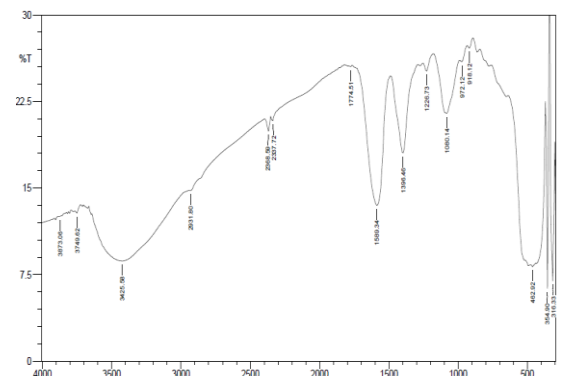
nanopartikel, maka diharapkan semakin banyak dye yang teradsorb pada lapisan nanopartikel ZnO sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari DSSC.

**Karakteristik Serapan Inframerah Zat Warna Bunga Rosela dengan Lapis Tipis ZnO**

Analisa dengan menggunakan spektroskopi inframerah bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam zat warna ekstrak bunga rosela. Ikatan yang terjadi antara zat warna dengan ZnO merupakan jembatan penghubung untuk terjadinya proses injeksi elektron dari zat warna menuju pita konduksi ZnO. Analisis spektometri inframerah untuk lapis tipis ZnO yang telah tersensitisasi zat warna dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.

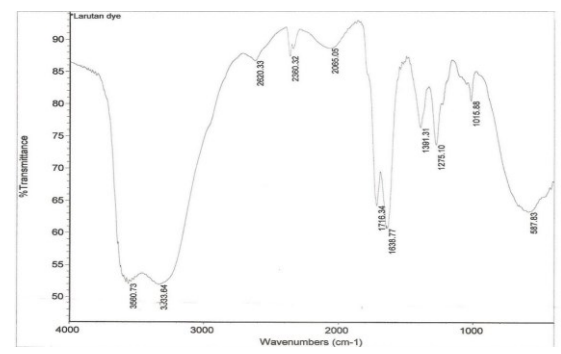


Gambar 6. Spektra inframerah lapis tipis ZnO A – zat warna



Gambar 7. Spektra inframerah lapis tipis ZnO B dengan zat warna

Kedua gambar tersebut kemudian dibandingkan dengan spektra pada zat warna sehingga dapat diketahui pergeseran yang telah terjadi. Spektra pada zat warna dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Spektra inframerah zat warna



Dari ketiga spektra FTIR tersebut dapat diketahui perbedaan dan persamaan maupun pergeseran pita serapan yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1: Pergeseran dan hilangnya pita serapan antara zat warna dengan lapis tipis ZnO-zat warna

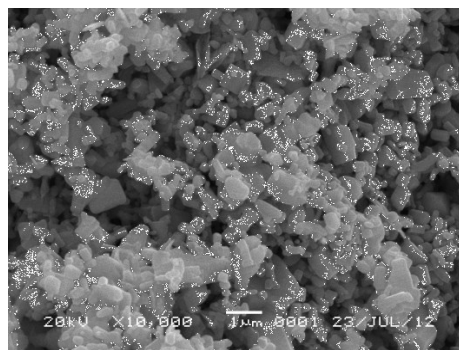
Bilangan gelombang (cm <sup>-1</sup> )			Jenis vibrasi
Dye	ZnO A	ZnO B	
3560,73	3425,62	3425,58	OH
1275,34	1396,46	1396,46	CH <sub>3</sub> bending
1716,34	1774,51	1774,51	C=O
1638,77	-	-	C=C
1015,88	1087,85	1080,14	C-O
587,83	509,21	-	Subtitusi benzena posisi meta
-	925,83	918,12	Subtitusi benzena posisi para
-	478,35	462,92	Vibrasi stretching ZnO (v Zn-O )

Dari tabel terlihat bahwa spektra zat warna ekstrak bunga rosela dengan lapis tipis ZnO- dye beberapa mengalami pergeseran pita serapan. Serta dapat diketahui kerangka kerja ZnO pada spektra sekitar 478, 35 cm<sup>-1</sup> dan 462,92 cm<sup>-1</sup>. Ikatan yang terjadi ditunjukkan dengan adanya pergeseran bilangan gelombang.

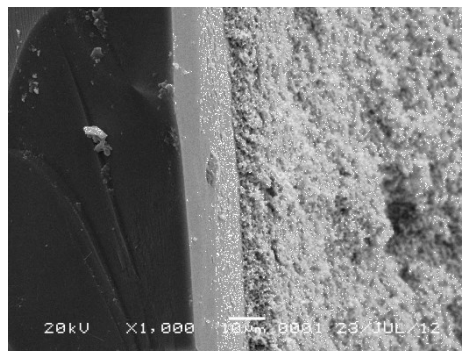
**Karakteristik Morfologi Lapis Tipis ZnO dengan SEM**

Karakteristik dengan menggunakan SEM dilakukan hanya pada pasta ZnO yang menghasilkan efisiensi terbaik, yaitu pada ZnO A (dengan *dish detergent*).

Dari hasil SEM lapis tipis ZnO A pada gambar 9 diperoleh hasil bahwa ukuran rata-rata rongga terkecil lapis tipis ZnO dengan *dish detergent* pada perbesaran 10000x diperoleh ukuran pori sebesar 71,43 nm. Ukuran yang dihasilkan cukup optimal sebagai suatu bahan semikonduktor kristal nano. Penelitian oleh Giannouli dan Spiliopoulou [11], menghasilkan ukuran pori yang beragam tergantung dari waktu penyimpanan pasta ZnO yaitu sebesar 50 dan 80 nm. Pada penampang lintang lapis tipis ZnO telah diperoleh bentuk lapisan homogen dengan ketebalan sekitar 12,86 μm dapat dilihat pada gambar 10. Ukuran dan ketebalan pori tidak terlalu berpengaruh dalam kemampuannya menyerap cahaya. Menurut Pérez-Hernández *dkk.* [5], keadaan lapis tipis ZnO yang padat dan bahkan dengan ketebalan 300 nm tidak terlalu berpengaruh dalam jumlah cahaya tampak yang dapat diserap oleh sisi aktif sel surya, lapisan ini mungkin hanya bertindak sebagai filter cahaya tempak.



Gambar 9. Morfologi permukaan lapis tipis ZnO A dan metode *doctor blade* dengan perbesaran 10.000 x



Gambar 10. Penampang lintang lapis tipis ZnO A dan metode *doctor blade* dengan perbesaran 1000 x

**Penentuan Efisiensi DSSC**

Kinerja sel surya dilakukan dengan pengukuran karakteristik arus dan tegangan (I-V) pada kondisi tersinari dengan menggunakan alat pengukur intensitas dengan intensitas sebesar 0,1113 W/cm<sup>2</sup>. Gambar 11 dan 12 merupakan hasil pengukuran untuk masing-masing pasta ZnO. Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa pasta ZnO A menghasilkan arus dan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan pasta ZnO B dikarenakan kemudahan dalam proses pelapisan pada substrat kaca TCO. Hal ini didukung dengan hasil karakteristik dengan spektroskopi FT- IR dari spektra menunjukkan bahwa ZnO A menghasilkan spektra Zn-O yang lebih luas dibandingkan dengan Zn-O B. Sehingga ikatan antara Zn<sup>2+</sup>- dye semakin mudah terbentuk dan dye yang teradsorp pada permukaan semikonduktor semakin banyak maka semakin mudah transfer elektron dari dye ke semikonduktor. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi DSSC.

Dari kurva arus-tegangan (I-V) yang diperoleh dapat ditentukan parameter-parameter keluaran dari sel surya, yaitu arus rangkaian pendek (I<sub>sc</sub>), tegangan rangkaianbuka (V<sub>oc</sub>), arus maksimum (I<sub>max</sub>), tegangan maksimum (V<sub>max</sub>), daya maksimum (P<sub>max</sub>), *fill factor* (FF) dan efisiensi konversi (η). Efisiensi konversi sel surya dihitung menurut hubungan

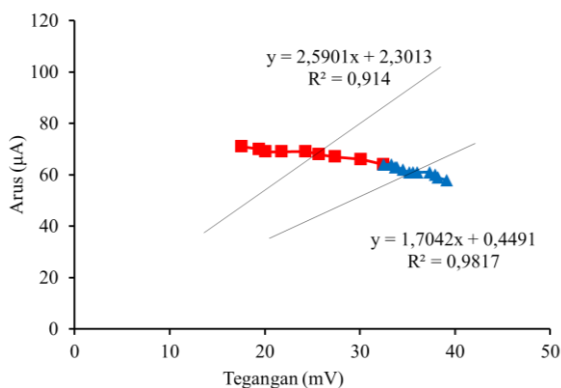
$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{CAHAYA}}$$

Daya maksimum diberikan oleh hubungan :

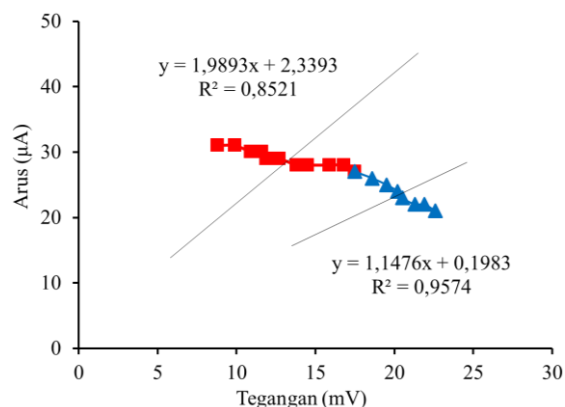
$$P = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF$$

dengan fill factor (FF) diberikan oleh :

$$FF = \frac{V_{MAX} \cdot I_{MAX}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$



Gambar 11. Kurva I-V Sel Surya pada ZnO A (dengan dish detergent)



Gambar 12. Kurva I-V Sel Surya pada ZnO B (dengan PVA)

Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan yang telah dibuat dalam bentuk kurva arus-tegangan (IV), diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya seperti dirangkum di dalam Tabel 2.

Tabel 2: Hasil pengukuran arus-tegangan sel surya dengan variasi pembuatan pasta ZnO

Hasil Pengukuran	Pasta ZnO	
	A	B
V <sub>OC</sub> (mV)	39,1	22,6
I <sub>SC</sub> (mA x 10 <sup>-3</sup> )	71	31
V <sub>MPP</sub> (mV)	29,874	17,649
I <sub>MPP</sub> (mA x 10 <sup>-3</sup> )	66,282	26,973
FF	0,713	0,677
P <sub>MAX</sub> (W)	1,979 x 10 <sup>-6</sup>	0,474 x 10 <sup>-6</sup>
η (%)	2,964 x 10 <sup>-4</sup>	0,712 x 10 <sup>-4</sup>

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sel surya yang telah dibuat dapat menghasilkan arus listrik, karena di dalam sistem sel surya terjadi aliran elektron secara terus menerus. Aliran elektron terjadi ketika cahaya mengenai permukaan semikonduktor yang telah menyerap zat warna, molekul zat warna tereksitasi dari keadaan dasar menuju keadaan tereksitasi dan elektron mempunyai energi yang cukup untuk menginjeksi ke pita konduksi

dari semikonduktor. Injeksi elektron dapat terjadi akibat adanya interaksi antara zat warna dengan ZnO melalui ikatan yang terjadi [11].

Efisiensi yang dihasilkan pada penelitian ini masih kecil, yaitu pasta ZnO A sebesar 2,934 x 10<sup>-4</sup>% sedangkan pasta ZnO B sebesar 0,712 x 10<sup>-4</sup>%. Ada beberapa hal yang menyebabkan rendahnya efisiensi yang diperoleh diantaranya adalah besarnya hambatan dari kaca TCO yang digunakan yaitu sebesar 100-200 Ω/cm<sup>2</sup>. Hal ini sesuai dengan Hukum Ohm yang menyatakan hambatan berbanding terbalik dengan arus dan berbanding lurus dengan tegangan. Selain itu, elektrolit yang digunakan yaitu iod mudah teroksidasi oleh udara. Proses oksidasi ini dipercepat dengan adanya panas. Rekombinasi muatan menjadi salah satu faktor rendahnya efisiensi yang diperoleh. Hal ini dikarenakan ion triiodida (I<sub>3</sub><sup>-</sup>) menyerap lapisan oksida semikonduktor di mana zat warna tidak menyerap karena ukuran ion I<sub>3</sub><sup>-</sup> yang terlalu kecil dibandingkan dengan molekul zat warna. Ion triiodida (I<sub>3</sub><sup>-</sup>) kemudian bereaksi dengan elektron yang terinjeksi pada oksida semikonduktor [3]. Menurut Köchl dkk. [12] faktor lain yang cukup berpengaruh dalam rendahnya efisiensi sel surya adalah adanya kerusakan pada dye yang sifatnya kurang stabil. Dye tersebut mengalami degradasi.

#### 4. Kesimpulan

Telah dihasilkan lapisan ZnO berukuran nanopori yaitu sebesar 71,43 nm. Serta dapat diketahui adanya pengaruh pembuatan pasta ZnO dengan menggunakan metode *doctor blade* memberikan nilai efisiensi masing-masing untuk ZnO A (dish detergent) sebesar 2,964 x 10<sup>-4</sup>% dan untuk ZnO B (PVA) diperoleh efisiensi sebesar 0,712 x 10<sup>-4</sup>%.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Michael Grätzel, James R Durrant, Dye-Sensitised Mesoscopic Solar Cells, in: *Nanostructured and photoelectrochemical systems for solar photon conversion*, World Scientific, 2008, pp. 503-536.
- [2] Chun-Chen Yang, Huan Qing Zhang, Yu Rong Zheng, DSSC with a novel Pt counter electrodes using pulsed electroplating techniques, *Current Applied Physics*, 11, 1, Supplement, (2011) S147-S153 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cap.2010.11.012>
- [3] Masayuki Itagaki, Yuya Nakano, Isao Shitanda, Kunihiro Watanabe, Faradaic impedance to analyze charge recombination in photoelectrode of dye-sensitized solar cell, *Electrochimica Acta*, 56, 23, (2011) 7975-7983 <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2011.01.087>
- [4] Xiong Yin, Xizhe Liu, Long Wang, Bin Liu, Electrophoretic deposition of ZnO photoanode for plastic dye-sensitized solar cells, *Electrochemistry Communications*, 12, 9, (2010) 1241-1244 <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2010.06.02>
- [5] G Pérez-Hernández, A Vega-Poot, I Pérez-Juárez, JM Camacho, O Arés, V Rejón, JL Pena, G Oskam, Effect of a Compact ZnO Interlayer on The Performance of ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 100,

- (2012) 21-26  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2011.05.012>
- [6] Lee Shih-Fong, Lee Li-Ying, A Nanostructural Zinc Oxide Electrode Prepared by a Hydrothermal Method for Dye-Sensitized Solar-Cell Application, *Journal of Science and Engineering Technology*, 5, 3, (2009) 13-20
- [7] Tate Brammer, Nanostructured Titania Dye Sensitized Solar Cells: Study of the effects of variations in the TiO<sub>2</sub> Film Thickness and Dyeing Times, (2004)
- [8] Khwanchit Wongcharee, Vissanu Meeyoo, Sumaeth Chavadej, Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 7, (2007) 566-571  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2006.11.005>
- [9] Akhiruddin Maddu, Mahfuddin Zuhri, Irmansyah Irmansyah, Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal Tersensitisasi Dye, *Makara*, 11, 2, (2009) 78-84
- [10] Samina Ali, JE Matthew, Biomimicry in Solar Energy Conversion with Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Photovoltaic Cells, *Department of Chemistry and Biochemistry Obelin College, Ohio*, (2007) 1-22
- [11] M. Giannouli, F. Spiliopoulou, Effects of the morphology of nanostructured ZnO films on the efficiency of dye-sensitized solar cells, *Renewable Energy*, 41, (2012) 115-122  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.010>
- [12] Jürgen Köchl, Andreas Wagner, Wolf Peter Stöckl, Research on the usability of low-cost materials in dye sensitized solar cells, HTL Braunau am Inn, Austria, 2010.