



## Penentuan Efisiensi DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) yang Dibuat dari Semikonduktor ZnO yang diemban $\text{Fe}^{3+}$ Melalui Metode Presipitasi

Devi Maryani<sup>a</sup>, Gunawan<sup>a\*</sup>, Khabibi<sup>b</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><b>Keywords:</b> ZnO semiconductor, <math>\text{Fe}^{3+}</math> doping, DSSC (<i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>), precipitation method, rosella, <math>(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})</math></p>	<p>A research on the determination of the efficiency of DSSC (<i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>) made from ZnO semiconductor doped with <math>\text{Fe}^{3+}</math> through precipitation method has been conducted. The purpose of this study was to determine the character of ZnO semiconductors synthesized with variations in doping concentration of <math>\text{Fe}^{3+}</math> 0; 1.0; 1.5 and 2.0% which were synthesized from <math>\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math> precursors with <math>\text{Fe}^{3+}</math> dopants and to determine the efficiency of DSSC. The synthesis of the semiconductor material was carried out by mixing zinc acetate, oxalic acid, sodium hydroxide and aquadest as a solvent with a pH of 6.2–6.4, followed by stirring with a magnetic stirrer at 500 rpm for 12 hours, washing with aquades and acetone, drying at temperature of 100°C for 30 minutes, and calcination at 450°C for 4.5 hours. The size of the ZnO semiconductor doped by <math>\text{Fe}^{3+}</math> 0 and 2.0% was around 71.43 nm and the cross sections were 12.86 and 8.57 <math>\mu\text{m}</math>. The production of ZnO-based synthesized semiconductor doped by <math>\text{Fe}^{3+}</math> provided an efficiency value of <math>0.225 \times 10^{-3}</math>, <math>0.03173 \times 10^{-3}</math>, <math>0.02810 \times 10^{-3}</math> and <math>0.0528 \times 10^{-3}\%</math>.</p>
<p><b>Kata kunci:</b> semikonduktor ZnO, doping <math>\text{Fe}^{3+}</math>, DSSC (<i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>), metode presipitasi, rosella, <math>(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})</math>.</p>	<p><b>Abstrak</b></p> <p>Telah dilakukan penelitian tentang penentuan efisiensi DSSC (<i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>) yang dibuat dari semikonduktor ZnO yang didoping dengan <math>\text{Fe}^{3+}</math> melalui metode presipitasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakter semikonduktor ZnO yang disintesis dengan variasi konsentrasi doping <math>\text{Fe}^{3+}</math> 0; 1,0; 1,5 dan 2,0% yang disintesis dari prekursor <math>\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math> dengan dopan <math>\text{Fe}^{3+}</math> dan menentukan efisiensi DSSC. Sintesis bahan semikonduktor dilakukan dengan mencampurkan seng asetat, asam oksalat, natrium hidroksida, dan akuades sebagai pelarutnya dengan pH 6,2–6,4 dilanjutkan dengan pengadukan dengan pengaduk magnetik dengan kecepatan 500 rpm selama 12 jam, pencucian dengan akuades dan aseton, pengeringan pada temperatur 100°C selama 30 menit, dan kalsinasi pada temperatur 450°C selama 4,5 jam. Ukuran semikonduktor ZnO teremban <math>\text{Fe}^{3+}</math> 0 dan 2,0% berkisar 71,43 nm dan penampang lintang 12,86 dan 8,57 <math>\mu\text{m}</math>. Pembuatan semikonduktor sintesis berbasis ZnO terdoping <math>\text{Fe}^{3+}</math> memberikan nilai efisiensi yaitu <math>0,225 \times 10^{-3}</math>, <math>0,03173 \times 10^{-3}</math>, <math>0,02810 \times 10^{-3}</math> dan <math>0,0528 \times 10^{-3}\%</math>.</p>

### 1. Pendahuluan

Meningkatnya permintaan akan bahan bakar minyak, tetap harus memikirkan efek dari

meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil pada lingkungan. Penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan polusi udara dan air. Sisa pembakarannya berupa karbon dioksida berkontribusi 9–26% terhadap

efek global rumah kaca. Kemajuan yang signifikan telah berhasil dilakukan untuk mengembangkan teknologi energi yang dapat diperbaharui, seperti sel surya bahan bakar (*fuel cells*) dan biofuel cell. Sumber energi alternatif tersebut sempat terpinggirkan di masa lalu, diharapkan dengan pengembangan teknologi baru dapat membuat sumber energi alternatif tersebut menjadi lebih mudah diaplikasikan dan dapat bersaing dengan sumber energi fosil sehingga memungkinkan untuk beralih dari energi fosil ke sumber energi alternatif sebagai sumber energi utama. Energi surya dianggap sebagai salah satu solusi terbaik untuk menghadapi masalah energi dan tantangan lingkungan sebagai sumber energi yang bebas-karbon [1].

Indonesia yang terletak di khatulistiwa memiliki potensi energi surya yang luar biasa besar, yang sayang sekali jika tidak dimanfaatkan. Efek *photovolta* pertama kali ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839. Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit [2]. Pada tahun 1954, Trio Bell laboratories, Chapin, Fuller dan Pearson, menemukan sebuah fenomena p-n *Juction* yang dapat mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik pertama kalinya dan material yang dipergunakan yaitu silikon (Si). Menurut Ma dan Kuang [3], dalam beberapa tahun belakangan ini DSSC TiO<sub>2</sub> yang dikembangkan telah menarik banyak perhatian karena biayanya yang murah dan pembuatannya mudah. DSSC TiO<sub>2</sub> terdiri dari elektroda semikonduktor dengan celah pita yang lebar seperti TiO<sub>2</sub> yang dilapiskan pada substrat kaca konduktor yang disensitasi dengan R(dcbipy)2(NCS), sebuah elektroda perlawanan, dan elektrolit redoks I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup>. Penelitian ini telah berhasil menghasilkan efisiensi konversi energi listrik besar kurang lebih 10% [2]. Kinerja dari DSSC seperti ini sangat bergantung pada *dye* dan oksida. Banyak penelitian berfokus pada oksida semikonduktor nanopartikel dikarenakan area permukaan efektif mereka yang besar untuk penyerapan molekul *dye*, sehingga akan membantu penyerapan cahaya untuk mengubah menjadi energi listrik [4]. ZnO merupakan material yang menjanjikan untuk aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) [5].

Metode preparasi elektroda semikonduktor memiliki peranan yang sangat penting pada kinerja DSSC, banyak metode dapat digunakan untuk preparasi elektroda ZnO seperti sol-gel, hidrotermal, spray pyrolysis, kopresipitasi, sonokimia dan presipitasi [6, 7]. Diantara teknik-teknik tersebut metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah presipitasi. Dibandingkan metode lainnya, metode presipitasi langsung memberikan cara yang mudah, murah, nanopartikel yang disintesis menggunakan presipitasi memiliki aktifitas fotokatalitik daripada metode lainnya.

Penelitian pembuatan bahan semikonduktor ZnO yang didoping dengan variasi konsentrasi Cu=0,0, 25 dan 50% pada DSSC yang telah dilakukan oleh Muslimin [6], ternyata memiliki kelemahan yaitu keberadaan logam Cu yang tidak melimpah di alam dan tidak diketahui nilai efisiensi DSSC, sehingga penelitian ini dilakukan dengan mengganti logam Cu dengan logam Fe

karena keberadaan logam Fe lebih melimpah di alam dibandingkan logam Cu dan dilakukan dengan variasi konsentrasi doping Fe<sup>3+</sup> =0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0%.

Pada penelitian ini dilaporkan bahan semikonduktor ZnO yang disintesis dengan variasi konsentrasi doping Fe=0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% dari bahan awal (prekursor) (Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) dan asam oksalat dihidrat dengan pelarut air yang di doping Fe<sup>3+</sup> menggunakan metode presipitasi dengan *sensitizer* dari rosela yang akan menentukan efisiensi pada DSSC.

## 2. Metode Penelitian

### Alat & Bahan

Beker glass, Pengaduk, Timbangan digital OHAUS, Pemanas stirrer, Corong, Kertas saring, termometer, penjepit, isolasi, mortar, pH meter, cawan porselin, multimeter digital (Krisbow), pipet tetes, spektrofotometri serapan ultraungu dan tampak (UV-Vis), spektroskopi inframerah (IR), Scanning Electron Microscopy (SEM), dan Difraksi Sinar-X (XRD). (Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) (proanalisis, Merc), Akuades, (FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O) (proanalisis, Merck), NaOH (proanalisis, Merck), (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) (proanalisis, Merck), PEG 4000 pro analisis dari Merck, Kloroform (proanalisis, Merck), Kalium Iodida, Iodine (I<sub>2</sub>), Asetonitril, PVA, Bunga rosella, metanol, aseton, FTO, Kabel, *scotch tape*.

### Sintesis semikonduktor ZnO terdoping Fe 0,0, 1,0, 1,5, 2,0% melalui metode presipitasi

Sintesis semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% menggunakan metode presipitasi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: Sebanyak 190 mL larutan seng(II)asetat 0,1 M ditambah 150 mL asam oksalat 0,15 M secara perlahan-lahan sambil diaduk dengan magnetic stirrer. Campuran diaduk selama 12 jam, pH larutan diatur dengan penambahan asam oksalat sampai pH= 6,2-6,4. Endapan kemudian disaring dan dicuci dengan akuades dan aseton. Garam oksalat yang diperoleh kemudian dikeringkan pada 100°C-120°C kemudian dikalsinasi pada 450°C selama 4,5 jam. Prosedur tersebut diulang kembali untuk sintesis semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 1,0, 1,5, dan 2,0%. Hanya saja, sebelum ditambahkan larutan oksalat ke dalam larutan seng, dilakukan penambahan larutan besi (III) klorida 0,1 M ke dalam larutan seng asetat sebagai dopan.

### Pembuatan pasta ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0, 1,0, 1,5, 2,0%.

Pasta dibuat dengan serbuk PVA sebanyak 0,5 gram dicampur dengan 4,5 mL akuades yang kemudian dipanaskan pada suhu 80°C diaduk secara teratur, kemudian masing-masing dimasukkan serbuk ZnO doping Fe=0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% sebanyak 4,5 gram. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta ZnO doping Fe=0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% dan dilakukan pengadukan sampai campuran tercampur sempurna.

### Teknik pelapisan

Kaca FTO diambil dan sisi tersebut kemudian dilapisi dengan pasta sampai merata dengan metode

doctor blade dikeringkan dengan hotplate pada suhu 30–400°C selama 1 jam. Setelah itu dilakukan pendinginan pada suhu kamar. Pasta ZnO doping Fe<sup>3+</sup> = 0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% tersebut kemudian direndam dalam larutan zat warna (dye) selama 30 menit.

#### Pembuatan larutan zat warna

Bunga rosela digerus dengan mortar kemudian ditambahkan metanol sebanyak 20 mL. Larutan dye didiamkan selama 24 jam. Larutan kemudian disaring dengan kertas saring.

#### Pembuatan elektroda perlawanan karbon

Sebagai sumber karbon digunakan grafit dari baterai. Grafit digerus dengan menggunakan mortar sampai halus. Sebanyak 0,5 gram serbuk PVA dicampur dengan 4,5 mL akuades yang kemudian dipanaskan pada suhu 80°C sampai tercampur sempurna. Kemudian di dalam campuran tersebut ditambahkan sebanyak 4,5 gram grafit karbon. Hasil campuran tersebut kemudian dilapiskan pada bagian konduktif kaca, setelah itu dipanaskan pada suhu 450°C selama 15 menit.

#### Pembuatan elektrolit gel

Elektrolit padat 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 g (0,5 M) KI ke dalam 10 mL asetonitril kemudian diaduk dan ditambahkan 0,127 g (0,05 M) dan 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.

#### Perakitan DSSC

Setelah masing-masing komponen DSSC telah selesai dibuat, maka langkah perakitan untuk membentuk sel surya adalah sebagai berikut:

1. Pada kaca FTO dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran yang menempel dengan menggunakan etanol, setelah itu dikeringkan selama 15 menit pada suhu 100°C. Agar struktur selnya mantap sepasang substrat ukuran 4 x 3 cm<sup>2</sup> dilakukan perekatan dengan Scotch tipe, pada sisinya sehingga tersisa 3 x 2 cm<sup>2</sup> ditengah substrat.
2. Substrat pertama diambil dan sisi tersebut kemudian dilapisi dengan pasta sampai merata dengan metode doctor blade
3. Dikeringkan dengan hotplate pada suhu 30–400°C selama 1 jam. Selanjutnya substrat yang dilapisi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO
4. Pasta ZnO doping Fe=0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% tersebut kemudian direndam dalam larutan zat warna (dye) selama 30 menit sehingga Pasta ZnO doping Fe=0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% berwarna hijau.
5. Lapisan ZnO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO kemudian ditutup dengan Elektroda perlawanan karbon (elektroda-n)

dan dijepit pada kedua sisinya dengan struktur sandwich.

6. Pelapisan elektrolit gel PEG disela-sela kedua elektroda yang telah dilapisi gel polimer PEG.

#### Pengukuran efisiensi DSSC

Kinerja sel surya lapis tipis ZnO yang tersensitasi zat warna alami dilakukan melalui pengukuran arus. Rangkaian pengukuran sel surya sistem sandwich dilakukan dengan potensiometer, multimeter dan sinar matahari sebagai sumber cahaya dengan intensitas 760 Lux (0,1113 watt/cm<sup>2</sup>).

#### Spektrofotometri serapan ultraungu dan tampak (UV-Vis)

Karakterisasi serapan larutan zat warna (dye) rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400–800 nm. Pengujian dilakukan di BPIK Semarang.

#### X-Ray Difrraction (XRD)

Karakterisasi fase kristal semikonduktor ZnO dilakukan melalui metoda analisis difraksi sinar X dengan radiasi Cu K $\alpha$  (1,54056 Å). Difraktometer yang dihasilkan dibandingkan dengan data standar sintesis ZnO. Pengujian dilakukan di laboratorium XRD, Universitas Gajah Mada (UGM).

#### Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi morfologi dan tampak lintang lapis tipis dilakukan dengan menggunakan alat SEM JSM-35C yang terdapat di PPGL Bandung. Kondisi perbesaran morfologi permukaan 10,000X serta perbesaran tampak lintang 1,000X dan untuk sampel satu lapis tipis sintesis ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0, dan 2,0%.

#### Spektroskopi Inframerah (FT-IR)

Karakterisasi inframerah dilakukan pada bunga rosella serta pewarna-lapis tipis

ZnO doping Fe= 0% dan 2% hasil adsorpsi pada bilangan gelombang 4000–400 cm<sup>-1</sup>. Pengujian dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gajah Mada (UGM) Yogyakarta.

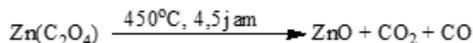
### 3. Hasil Dan Pembahasan

Sintesis bahan semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0, 1,0, 1,5, 2,0% melalui metode presipitasi.

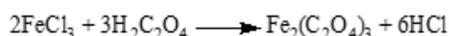
Perlakuan awal dalam penelitian ini dengan pembuatan Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 0,1 M, FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O 0,1 M, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 0,15 M, dan NaOH 1 M yang dicampur menjadi satu. Pada penelitian sebelumnya, diketahui pH optimum untuk pengendapan seng oksalat dari seng asetat adalah 6,2–6,4. Hasil yang diperoleh pada pencampuran seng asetat dihidrat, asam oksalat dan natrium hidroksida adalah larutan yang berwarna putih keruh. Setelah itu padatan seng oksalat di oven dengan suhu 100°C yang bertujuan untuk menghilangkan H<sub>2</sub>O yang masih terdapat dalam larutan sehingga meningkatkan viskositas larutan yang dihasilkan. Di mana reaksinya adalah sebagai berikut



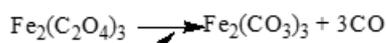
Pembentukan ZnO dari Zn-oksalat dilakukan dengan kalsinasi pada suhu 450°C selama 4,5 jam. Di mana reaksinya adalah sebagai berikut:



Sedangkan pada reaksi pembentukan ZnO setelah didoping Fe adalah sebagai berikut:



Reaksi pada saat kalsinasi :



Perbedaan warna yang dihasilkan setelah kalsinasi adalah untuk ZnO warna tetap putih. Sedangkan yang didoping dengan Fe<sup>3+</sup> mula-mula berwarna kuning kemerahan setelah dikalsinasi menjadi kuning muda.

Karakterisasi larutan zat warna (dye) menggunakan UV-Vis

Hasil bahwa puncak panjang gelombang maksimum dan rosella sebesar 508,5 nm yang merupakan transisi elektronik dengan absorbansi 0,151 panjang gelombang yang didapat berbeda dari hasil penelitian [8] yaitu 515 nm dan hasil dari Wongcharee dkk. [9] yaitu 520 nm. Larutan dye yang dianalisis mempunyai pH = 2, dalam suasana asam sianin berwarna merah dan memiliki ikatan absorpsi kuat. Antosianin yang terkandung dalam bunga rosella adalah kompleks delphinidin dan sianidin.

Pelapisan elektroda dengan teknik doctor blade

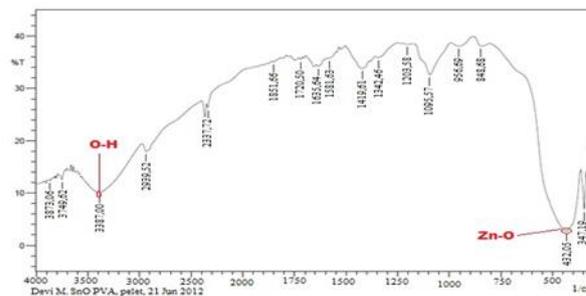
Pasta ZnO yang telah disiapkan dapat dilapiskan pada permukaan substrat kaca FTO (Fluorine doped Tin Oxide) yang nantinya berfungsi sebagai elektroda kerja. Sebelum dilapisi, kaca penghantar yang telah dibersihkan diukur hambatannya dengan menggunakan multimeter dan diperoleh hambatan untuk tiap kaca penghantar yang hendak digunakan berkisar antara 10–20 ohm/cm<sup>2</sup> dan dengan ketebalan 2x2 mm. Metode pelapisan yang dipilih dalam penelitian ini adalah teknik doctor blade yaitu teknik pelapisan dengan menyebarkan pasta pada permukaan konduktif substrat dengan menggunakan pengaduk. Pada batas tepi kaca direkatkan scotch tape yang bertujuan sebagai ukuran luasan kaca yang akan dilapisi. Selain itu, batas tepi bekas scotch tape yang tidak terlapisi suspensi ZnO tersebut dapat digunakan untuk memasang kabel yang akan dihubungkan dengan sirkuit sehingga sel dapat diukur.

Karakteristik semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0, 1,0, 1,5, 2,0%

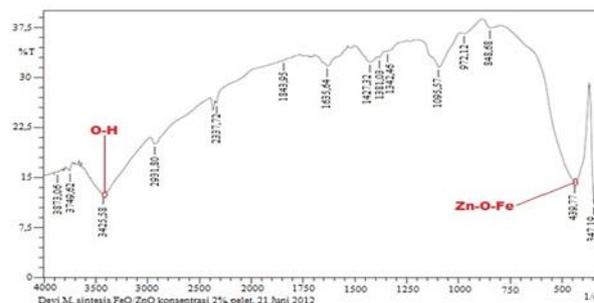
Karakterisasi spektrofotometri inframerah (FT-IR)

Hasil analisis pengukuran sampel dengan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) dapat Pada gambar IV.5 memperlihatkan spektra inframerah pada lapis tipis ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0 dan 2,0% sebelum tersensitasi oleh zat warna.

Hasil spektra inframerah semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0 dan 2,0% dapat ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2.



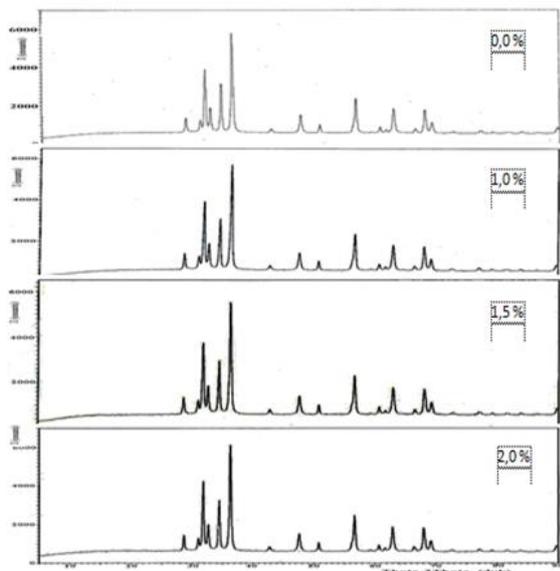
Gambar 1. ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0%



Gambar 2. ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 2,0%

Karakterisasi semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0, 1,0, 1,5, 2,0%

Spektroskopi difraksi sinar X (*X-ray diffraction* / XRD) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material. Karakterisasi dengan difraksi sinar-X ini bertujuan untuk mengetahui fase kristal ZnO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang digunakan yaitu sintesis semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0, 1,0, 1,5, 2,0%. Pola difraksi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pola XRD

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa sintesis semikonduktor ZnO pada semua pola-pola XRD yang mana mengindikasikan keberadaan ZnO (JCPDS No. 36-1451) pada fase kristal wurzite hexagonal (zincite). Puncak-puncak (peaks) yang mana mengindikasikan keberadaan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (JCPDS No. 33-0664) pada fase kristal hematite dengan penambahan konsentrasi Fe<sup>3+</sup> intensitas puncak pada fase ini bertambah dikarenakan oleh pertumbuhan kristal dan penguatan kristalisasi. Pada saat yang sama, intensitas puncak dari fase ZnO berkurang mengindikasikan bahwa beberapa kation Fe<sup>3+</sup> yaitu (0,64 Å) itu lebih kecil dari Zn<sup>2+</sup> yaitu (0,74 Å). Kelarutan Fe<sup>3+</sup> rendah, dan rendahnya kelarutan Fe<sup>3+</sup> dapat dijelaskan oleh heterovalensi ion didalam kisi-kisi ZnO. Difusi kation besi adalah laju langkah pembatas pada reaksi presipitasi dari ZnO dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Ion-ion Zn<sup>2+</sup> dari Zink reguler (ZnZn) dapat bermigrasi ke arah permukaan yang kosong, sedangkan ion-ion Fe<sup>3+</sup> dari lapisan permukaan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> difusi ke kristal ZnO. Namun karena konsentrasi Fe<sup>3+</sup> terlalu kecil sehingga tidak terlihat peak Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Keberadaan puncak Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menunjukkan bahwa komposisi fase masih merupakan gabungan dari fase-fase ZnO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ukuran rata-rata dari kristal ZnO dihitung menggunakan rumus persamaan Scherrer berdasarkan nilai FWHM (Full Width and Half Maximum)

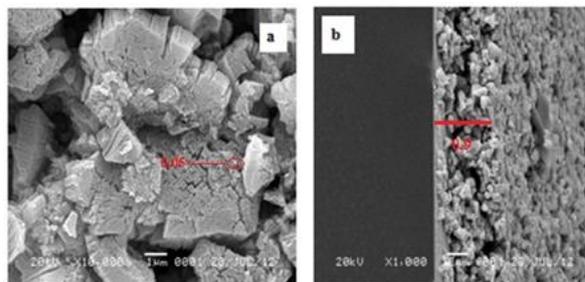
Untuk mengetahui kristal serbuk dari ZnO terdoping Fe 0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% digunakan persamaan Scherrer sebagai berikut:

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

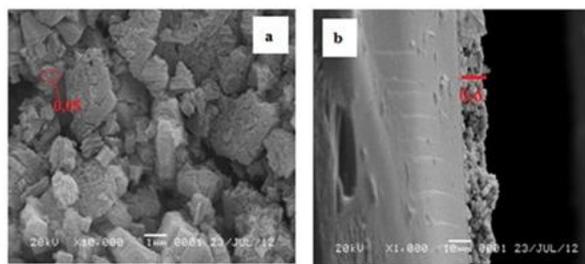
Di mana λ adalah panjang gelombang radiasi (Å), β adalah Full Widht at Half Maximum (rad) dan θ adalah sudut Bragg (o) dan D adalah jarak kisi kristal (Angstrom).

Karakterisasi morfologi lapis tipis ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0 dan 2,0%

Pengujian SEM ini digunakan untuk mensintesis untuk meneliti morfologi bentuk suatu material. Gambar 4 dan 5 akan menunjukkan hasil SEM dari sampel ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0 dan 2,0%.

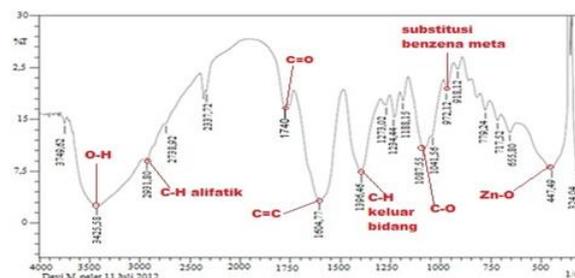


Gambar 4.. a. Morfologi permukaan lapis tipis sintesis semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0% dan *doctor blade* perbesaran 10,000X b. Penampang lintang lapis tipis sintesis semikonduktor ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0% dan *doctor blade* perbesaran 1,000X

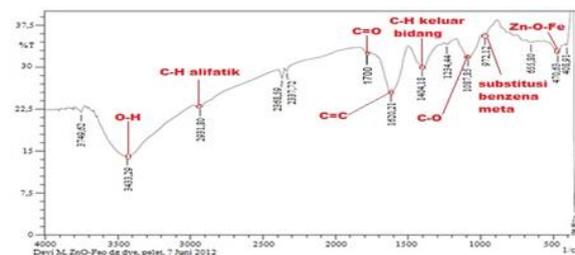


Gambar 5. a. Morfologi permukaan lapis tipis ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 2,0% dan teknik *doctor blade* perbesaran 10,000X dan b. Penampang lintang lapis tipis ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 2,0% dan teknik *doctor blade* perbesaran 1,000X

Karakterisasi FTIR ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0 dan 2,0%-Zat warna



Gambar 6. spektra FT-IR ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0%-Zat warna



Gambar 7. spektra FT-IR ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 2,0%-Zat warna

Penentuan efisiensi DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*)

Tabel 2: Hasil pengukuran arus – tegangan sel surya pada pasta ZnO dengan variasi konsentrasi doping Fe<sup>3+</sup> 0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0%

Hasil Pengukuran	Persentasi Konsentrasi Fe pada ZnO			
	0,0%	1,0%	1,5%	2,0%
V <sub>OC</sub> (mV)	29,3	13,6	10,9	20,4
I <sub>SC</sub> μA	75	38	30	30
V <sub>MPP</sub> (mV)	24,852	9,939	8,148	12,671
I <sub>MP</sub> (mA)x10 <sup>-3</sup>	60,397	21,364	23,07	27,835
FF	0,6735	0,410	0,574	0,576
P <sub>MAX</sub> (W)	14,80,01 6x10 <sup>-9</sup>	211,888 x10 <sup>-9</sup>	187,698 x10 <sup>-9</sup>	352,512 x10 <sup>-9</sup>
μ (%)	0,225x1 0 <sup>-3</sup>	0,03173 x10 <sup>-3</sup>	0,02810 x10 <sup>-3</sup>	0,0528 x10 <sup>-3</sup>

Pada penelitian ini dihasilkan ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0% atau ZnO memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan pada ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 2,0% atau Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO. Namun didapatkan VOC pada ZnO dengan konsentrasi dopan Fe = 2,0% lebih besar daripada ZnO yang didoping Fe<sup>3+</sup> 1,0, 1,5, 2,0%. Efisiensi yang relatif tinggi didapatkan pada elektroda ZnO yang disensitasi rosela disebabkan oleh tingginya transparansi film ZnO dibandingkan dengan film Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yang mana menghasilkan berkurangnya elektron yang hilang pada permukaan diantara film ZnO dan FTO. Penambahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada film dari konsentrasi Fe<sup>3+</sup> = 1,0, 1,5, dan 2,0% akan menyebabkan berkurangnya ISC, VOC dan efisiensi sel berbasis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Rendahnya nilai dari efisiensi konversi energi yang didapatkan dari sel berbasis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat disebabkan oleh tingginya hambatan internal pada sel yang mana dapat mengurangi pergerakan kontinu dari aktual reduksi I<sub>3</sub>- pada permukaan elektroda selain itu energi celah pita (band gap) kemungkinan memiliki peran yang sangat penting pada peningkatan VOC pada sel berbasis ZnO sementara itu bertambahnya energi band gap pada semikonduktor yang digunakan pada DSSC dapat memberikan kelebihan untuk menekan rekombinasi charge diantara elektrolit yang tereduksi dan exited hole. Energi celah pita pada ZnO, sebagai mana yang dihitung dari pengukuran optikal, kurang lebih 3,2 eV lebih tinggi dibandingkan pada Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,2 eV yang mana dapat meningkatkan dan dapat membawa pada peningkatan VOC dari DSSC [4].

#### 4. Kesimpulan

Karakterisasi menggunakan XRD dihasilkan fase wurzite hexagonal dan Hematite dengan ukuran kira-kira 20–30 nm, SEM didapatkan ukuran rata-rata pori ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 0,0% 71,43 nm dan penampang lintang lapis tipisnya 12,86 μm sedangkan ukuran rata-rata pori ZnO terdoping Fe<sup>3+</sup> 2,0% 71,43 nm dan penampang lintang lapis tipisnya sekitar 8,57 μm. Pengaruh pembuatan sintesis ZnO yang didoping dengan variasi konsentrasi Fe<sup>3+</sup> = 0,0, 1,0, 1,5, dan 2,0% dengan metode presipitasi dengan teknik doctor blade

dapat memberikan efisiensi yaitu 0,225x10<sup>-3</sup>, 0,03173x10<sup>-3</sup>, 0,02810x10<sup>-3</sup> dan 0,0528x10<sup>-3</sup>..

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Qifeng Zhang, Christopher S Dandeneau, Xiaoyuan Zhou, Guozhong Cao, ZnO Nanostructures for Dye-Sensitized Solar Cells, *Advanced Materials*, 21, 41, (2009) 4087–4108  
<http://dx.doi.org/10.1002/adma.200803827>
- [2] M Grätzel, AJ McEvoy, Principles and applications of dye sensitized nanocrystalline solar cells (DSC), *Asian J. Energ. Env*, 5, (2004) 197–210
- [3] Ding Ma, Zhiming Kuang, Modulation of radiative heating by the Madden-Julian Oscillation and convectively coupled Kelvin waves as observed by CloudSat, *Geophysical Research Letters*, 38, 21, (2011)
- [4] SM Reda, Synthesis of ZnO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles by Sol–Gel Method and Their Application in Dye-Sensitized Solar Cells, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 13, 5, (2010) 417–425  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2011.09.007>
- [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] Muslimin, Sintesis Nanosized CuO/ZnO dan Pemanfaatannya sebagai Sumber Energi Alternatif Solar Cell, Skripsi, Kimia, Universitas Negeri Semarang, Semarang
- [7] Seema Rani, Poonam Suri, PK Shishodia, RM Mehra, Synthesis of nanocrystalline ZnO powder via sol–gel route for dye-sensitized solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92, 12, (2008) 1639–1645  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2008.07.015>
- [8] R.A. Marwati, Penggunaan Bunga Rosella (*Hibiscus sabdariffa L.*) Sebagai Dye-Sensitized dalam Proses Pembuatan Solar Cell dengan TiO<sub>2</sub> dan Carbon, Skripsi Departemen Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang
- [9] 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>