

Doping Ag Terhadap Sintesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Metode Sol-Gel Untuk Meningkatkan Efisiensi Sel Surya

A.A.M.W.W.Putra¹, I.A.D.Giriantari², I.N.Setiawan³

[Submission: 29-08-2024, Accepted: 09-10-2024]

Abstract— Energy availability is decreasing along with the increasing demand for energy, so renewable energy sources are needed that are environmentally friendly and easily accessible. Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) is one of the environmentally friendly technologies that can be relied on to convert solar energy into electrical energy. In this study, ZnO nanoparticles are being synthesized by adding Ag doping using the sol-gel method. The synthesis process is being carried out by calcination at 600° C for 3 hours and sintering at 850° C for 10 hours. The results of the synthesis are being characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). Characterization of X-Ray Diffraction (XRD) shows a decrease in the value of the volume fraction due to the addition of Ag doping, where the volume fraction obtained is 71.9%. The particle size obtained is 576.2 nm. The addition of Ag doping does not affect the parameters of the sample grid much, because the magnitude of the values is almost the same, namely $a = 3.234083 \text{ \AA}$, $b = 3.234083 \text{ \AA}$, $c = 5.194726 \text{ \AA}$. In the analysis of the results of Scanning Electron Microscopy (SEM) characterization, the average particle size obtained is 1706.55254 nm. Current and voltage measurements from DSSC with ZnO semiconductors show a current of 14 mA and the voltage produced is 0.22 V. From this data, the efficiency of DSSC with ZnO semiconductors is obtained by 0.29%

Intisari— Ketersediaan energi semakin menurun seiring dengan meningkatnya permintaan energi, sehingga diperlukan sumber energi terbarukan yang bersahabat dengan lingkungan dan mudah diakses. *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah salah satu teknologi ramah lingkungan yang dapat diandalkan untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis nanopartikel ZnO dengan penambahan doping Ag menggunakan metode sol-gel. Proses sintesis dilakukan dengan kalsinasi pada suhu 600° C selama 3 jam dan sintering pada suhu 850° C selama 10 jam. Hasil sintesis yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Karakterisasi dari *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan adanya penurunan nilai fraksi volume karena penambahan doping Ag, dimana fraksi volume yang diperoleh yaitu 71,9 %. Ukuran partikel yang diperoleh 576,2 nm. Penambahan doping Ag tidak terlalu

mempengaruhi parameter kisi sampel, karena besar nilainya hampir sama yaitu $a = 3,234083 \text{ \AA}$, $b = 3,234083 \text{ \AA}$, $c = 5,194726 \text{ \AA}$. Analisis hasil karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM), ukuran partikel rata-rata yang didapat adalah 1706,55254 nm. Pengukuran arus dan voltase dari DSSC dengan semikonduktor ZnO menunjukkan arus sebesar 14 mA dan voltase yang dihasilkan yaitu 0,22 V. Dari data tersebut didapat efisiensi DSSC dengan semikonduktor ZnO sebesar 0,29 %.

Kata Kunci – DSSC; ZnO; doping Ag; metode sol-gel; XRD; SEM.

I. PENDAHULUAN

Salah satu alternatif energi terbarukan yang sedang berkembang adalah pemanfaatan energi matahari melalui sel surya yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Saat ini, berbagai tipe sel surya telah dikembangkan dan dipasarkan dengan memanfaatkan berbagai material sebagai lapisan aktif, termasuk silikon, galium arsenida, kadmium telurida, silikon amorf, sel surya berbasis pewarna, sel surya organik/polimer, serta sel surya hibrid organik-inorganik. Namun penggunaannya secara massal sebagai sumber energi listrik saat ini masih terkendala biaya produksi yang tinggi.

Sel surya adalah sumber energi listrik yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan cahaya matahari. Di Indonesia, pengembangan pembangkit listrik tenaga surya sangat ideal karena kondisi geografisnya, sehingga rata-rata daya yang dapat dihasilkan oleh sel surya mencapai 4 kWh/m². Dalam perkembangannya, sel surya telah mencapai generasi terbaru yaitu sel surya berbahan TiO₂ dan ZnO. Versi baru dari sel surya, seperti DSSC, PSC, dan sel surya perovskite, juga dikenal sebagai sel surya generasi ketiga. Di samping tiga jenis sel surya yang tersedia, terdapat juga sel surya yang dibuat hanya dengan TiO₂ atau ZnO dan dilapisi dengan logam seperti Ag, Au, Cu, dan logam lainnya. [1].

Salah satu material yang diteliti pada awal perkembangan sel surya adalah seng oksida (ZnO). Material ini memiliki sifat elektronik seperti energi celah (*band gap energy*) dan pita konduksi (*conduction band*) yang serupa dengan material TiO₂ (ZnO mudah bereaksi dengan asam maupun basa), ZnO memiliki karakteristik yang menarik, salah satunya adalah mobilitas elektron yang lebih tinggi dibandingkan dengan TiO₂. Walaupun terdapat perbedaan dalam sifat-sifat ini, namun sifat transportasi elektron dari kedua material tersebut ternyata sangat mirip. Hal yang juga penting adalah adanya kemudahan untuk memperoleh struktur nano ZnO dengan berbagai metode [2].

Peneliti telah berupaya untuk meningkatkan efisiensi konversi sel surya dengan mengintegrasikan struktur nano

¹Mahasiswa, Magister Teknik Elektro Universitas Udayana, Jl. PB Sudirman Denpasar-Bali, 80232; 0361-223797; e-mail: wisnu.wijaya2347@gmail.com

^{2, 3}Dosen, Magister Teknik Elektro Universitas Udayana, Jl. PB Sudirman Denpasar-Bali, 80232; 0361-555225; e-mail: dayu.giriantari@unud.ac.id, setiawan@unud.ac.id



plasmonik ke dalam bahan aktif. Sampel dengan performa terbaik dari penelitian saat ini mencapai efisiensi sebesar 1,0%. Walau begitu, masih ada peluang untuk meningkatkan lebih lanjut melalui berbagai usaha modifikasi. Dengan menempatkan bahan katalis ke dalam posisi yang tepat dan menggunakan material nanostruktur ZnO yang dilapisi Ag adalah salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi.

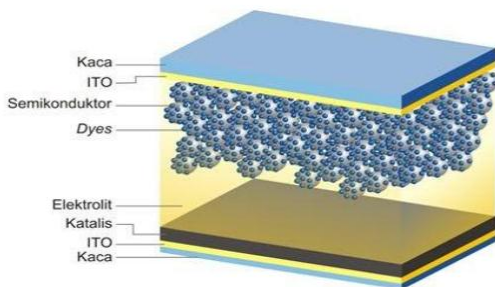
Doping perak (Ag) dalam sel surya *dye-sensitized solar cells* (DSSC) memiliki beberapa fungsi penting yang dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja sel surya tersebut. Fungsi doping Ag pada DSSC yaitu bisa meningkatkan konduktivitas listrik, meningkatkan penyerapan cahaya dan meningkatkan efisiensi konversi energi. Meskipun Ag dapat meningkatkan performa DSSC, tetapi harga untuk Ag masih terbilang mahal daripada bahan material lainnya.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis nanopartikel ZnO dengan penambahan doping Ag untuk sampel pembuatan DSSC. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan akan diukur arus dan voltase menggunakan multimeter untuk mengetahui efisiensi DSSC dari sampel nanorod ZnO. Doping perak (Ag) dalam sel surya *dye-sensitized solar cells* (DSSC) memiliki beberapa fungsi penting yang dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja sel surya tersebut. Fungsi doping Ag pada DSSC yaitu bisa meningkatkan konduktivitas listrik, meningkatkan penyerapan cahaya dan meningkatkan efisiensi konversi energi. Penggunaan doping Ag dalam DSSC merupakan area penelitian yang aktif, dan berbagai studi menunjukkan potensi peningkatan efisiensi yang signifikan dengan pengoptimalan konsentrasi dan teknik doping yang tepat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

DSSC merupakan sel surya yang menggunakan fotoelektrokimia sebagai dasar, merupakan inovasi baru sel surya ketiga yang efisien dan ekonomis. DSSC muncul bersama dengan perkembangan nanoteknologi yang diprediksi akan menjadi sangat penting untuk kehidupan manusia dalam waktu dekat. Ditemukan pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan, sel surya ini dikenal dengan sebutan Sel Gratzel. Di dalam teknologi DSSC, efisiensinya masih lebih rendah jika dibandingkan dengan efisiensi sel surya silikon yang mencapai 17-25%.



Gambar 1 Struktur *Dye sensitized solar cell* (DSSC) [3]

DSSC memiliki struktur *sandwich* yang terdiri dari beberapa komponen, yaitu bahan pewarna organik, semikonduktor oksida, elektrolit dan substrat yang terbuat dari kaca konduktif. Dalam DSSC, pewarna alami berperan sebagai *sensitizer* yang berperan penting dalam menyerap foton dari sinar matahari atau cahaya dan mengubahnya menjadi arus listrik. Molekul pewarna yang menyerap sinar matahari menjadi tereksitasi secara elektronik.

Elektron yang tereksitasi segera disuntikkan ke nanokristal semikonduktor anorganik celah pita lebar [3].

B. Senyawa ZnO sebagai semikonduktor pada DSSC

Semikonduktor dalam rangkaian DSSC memainkan peran yang sangat krusial sebagai medium untuk aliran elektron yang berasal dari lapisan pewarna. Proses transfer elektron dari lapisan *dye* ke semikonduktor inilah yang menghasilkan energi listrik yang dapat disimpan dalam baterai isi ulang, kapasitor, atau perangkat listrik lainnya. Semikonduktor yang digunakan dalam DSSC harus memiliki *band gap* yang lebar, karena semakin besar luas penampangya, semakin banyak muatan elektron yang dapat ditampung dan dialirkan, sehingga lebih banyak energi listrik dapat dihasilkan.

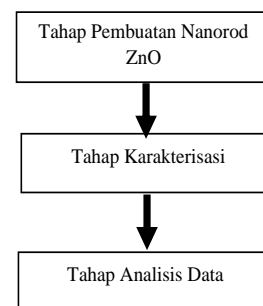
Seng oksida (ZnO) adalah semikonduktor dengan band gap yang lebar yakni 3.3 eV pada suhu kamar. ZnO juga mempunyai keunggulan yaitu tahan terhadap kerusakan dan kejenuhan sehingga cocok digunakan untuk penelitian pada suhu tinggi dan tegangan tinggi. Selain itu, ZnO memiliki struktur kristal wurtzite yang lebih padat dan datar, sehingga membuat luas penampang ZnO semakin lebar dan padat. Untuk itu ZnO memiliki banyak manfaat lain selain dijadikan sebagai semikonduktor pada DSSC [4].

C. Metode Sol Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu teknik yang paling efektif untuk memproduksi bahan oksida logam dengan skala nano. Sol adalah suspensi koloid yang terdiri dari padatan yang terdispersi dalam cairan. Suspensi ini terbentuk dari partikel padat atau molekul koloid yang terlarut, yang dibuat menggunakan metal alkoxi dan kemudian dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan melalui reaksi hidrolisis. Gelasi adalah pembentukan jaringan partikel atau molekul, baik dari padatan maupun cairan, di mana polimer yang terbentuk dalam larutan bertindak sebagai media untuk pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan zat anorganik ini terjadi pada titik gel yang memiliki energi ikatan rendah. Proses ini melibatkan reaksi kondensasi alkohol atau air, yang membentuk jembatan oksigen dan menghasilkan oksida logam [5].

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat 3 tahapan yaitu tahap pembuatan nanorod ZnO, tahap karakterisasi, tahap analisis data.



Gambar 2 Konsep penelitian

A. Pembuatan nanorod ZnO

1. Penimbangan serbuk ZnO dan AgNO₃ menggunakan neraca elektronik. Penimbangan ini menggunakan konsep mol untuk

mendapatkan berat senyawa pembentuk nanorod ZnO didoping dengan Argentinum (Ag):

$$\text{ZnO} = 0,02 \text{ mol} \times (1/1) \times 81,38 \text{ gram/mol} = 1,6276 \text{ gram}$$

$$\text{AgNO}_3 = 0,02 \text{ mol} \times (0,5/1) \times 169,875 \text{ gram/mol} = 1,6987 \text{ gram}$$

- Masing-masing serbuk yang telah ditambahkan dengan HNO₃ kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* sampai menghasilkan larutan yang tak berwarna.
- Masing-masing larutan yang telah berwarna bening dicampurkan menjadi satu dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama kurang lebih 3 hari. Selanjutnya dilakukan pemanasan pada larutan hingga larutan mengendap. Pemanasan pada larutan ini menggunakan suhu $\leq 100^\circ \text{C}$.
- Setelah bahan nanorod ZnO dengan doping Ag ini mengendap, selanjutnya dilakukan kalsinasi dengan menggunakan *furnace* yang diatur pada suhu 600°C selama 3 jam.
- Bahan yang telah dikalsinasi kemudian dilakukan penggerusan dengan menggunakan mortal sehingga bahan menjadi serbuk halus dan tercampur rata.
- Setelah selesai penggerusan, sampel dilanjutkan dengan sintering pada *furnace* yang diatur pada suhu 850°C selama 10 jam. Bahan yang telah disintering kemudian digerus hingga sampel menjadi serbuk halus.

B. Karakterisasi

Sampel yang telah dihaluskan kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan SEM. Sisa dari sampel akan dibuatkan DSSC menggunakan pelat kaca.

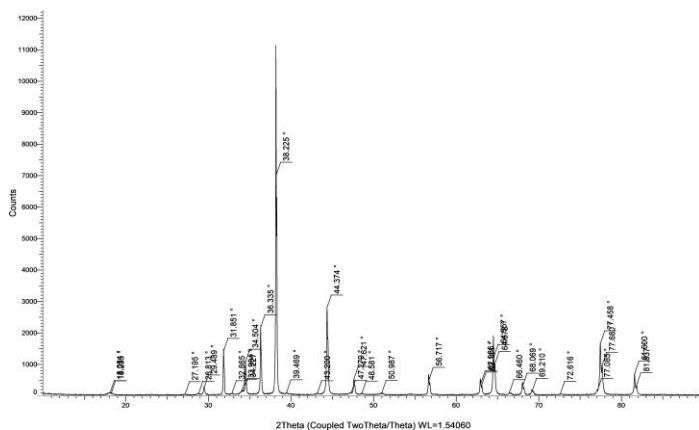
C. Analisis Data

Setelah memperoleh data dari hasil karakterisasi maka dilakukan analisis data Penelitian ini menggunakan software *Match*, *Rietica*, dan *Image-J*. *Software Match* dan *Rietica* digunakan untuk menganalisis perhitungan parameter kisi dan ukuran kristal sampel uji XRD. Hasil intensitas dan sudut dari analisis menggunakan *Match* bertujuan untuk dapat menghitung fraksi volume. Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan *software Match* dan *Rietica* dilanjutkan dengan penggambaran kembali struktur yang terbentuk dengan menggunakan *software Diamond* untuk melihat stuktur kristal yang terbentuk. Hasil dari karakterisasi SEM bertujuan untuk menentukan morfologi permukaan bahan. Selanjutnya dibuat rangkaian DSSC dari sampel nanorod ZnO. Dilakukan perhitungan data yang diperoleh dari pengukuran arus dan voltase menggunakan multimeter untuk menentukan efisiensi DSSC ZnO.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Hasil Karakterisasi XRD nanorod ZnO

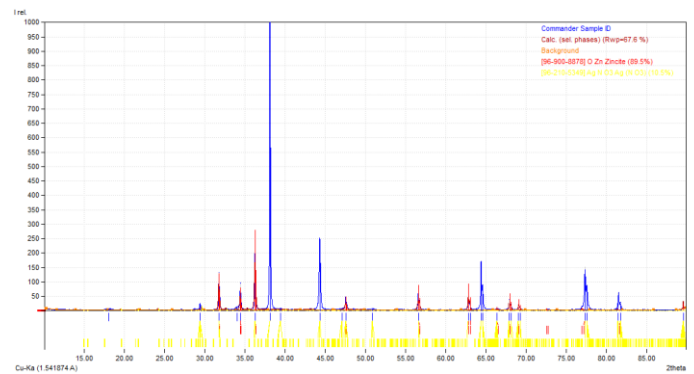


Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) nanorod ZnO dilakukan pada sudut 2θ 0° - 90° . Pola difraksi hasil karakterisasi XRD dari nanorod ZnO yang didoping AgNO₃ dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 Pola XRD nanorod ZnO dengan doping AgNO₃

2. Hasil analisis sampel ZnO menggunakan *software Match!*

Hasil karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan analisis dengan menggunakan *software Match!*. Proses pencocokan (*search match*) bertujuan untuk mengamati fasa-fasa yang terkandung didalam sampel superkonduktor dengan mengacu pada referensi database berupa PDF (Powder Diffraction File) menggunakan *software Match!*. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa hasil spektrum yang berwarna biru tua merupakan spektrum hasil *X-Ray Diffraction* (XRD) dari sampel nanorod ZnO doping AgNO₃. Gambar spektrum berwarna merah merupakan fasa sampel yang dilakukan dengan mengacu pada PDF (Powder Diffraction File) dengan nomor 96-900-8878 yaitu senyawa dengan komposisi kimia ZnO. Gambar spektrum berwarna kuning merupakan fasa sampel yang dilakukan dengan mengacu pada PDF dengan nomor 96-210-5349 yaitu senyawa dengan komposisi kimia AgNO₃.



Gambar 4 Pola XRD nanorod ZnO dengan doping AgNO₃

Berdasarkan analisis dengan menggunakan *software Match!* diketahui bahwa fasa ZnO sudah terbentuk akan tetapi masih ada fasa-fasa lain juga ikut terbentuk, ini berarti menandakan bahwa masih ada impuritas pada sampel.

3. Fraksi volume nanorod ZnO

Dari hasil karakterisasi pola spektrum *X-Ray Diffraction* (XRD) maka dapat diketahui presentase pembentukan senyawa (Fraksi Volume) sampel ZnO yang didapat dari hasil pencocokan (*search match*). Besar nilai fraksi volume untuk sampel ZnO yaitu 71,9 %.

4. Ukuran partikel nanorod ZnO

Software Match! selain untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel, juga dapat digunakan untuk mencari ukuran partikel pada sampel. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan data yang match (cocok) pada sudut 2θ dan besar *Full Width Half Maximum* (FWHM) sampel ZnO dengan mengacu pada referensi yang digunakan. Perhitungan ukuran partikel pada *software Match!* ini menggunakan persamaan Scherrer yaitu:

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

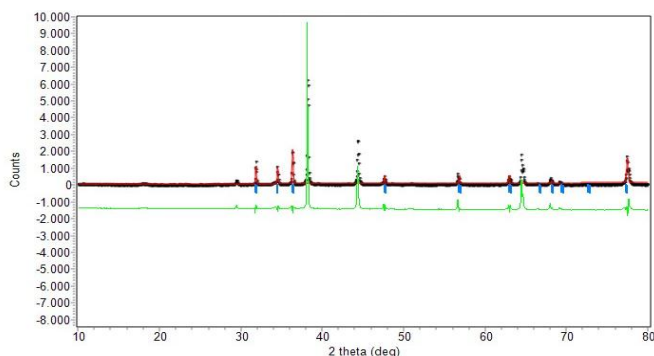


Dimana D merupakan ukuran partikel (nm), λ merupakan panjang gelombang sinar-X (dengan nilai 1,54184) dan K merupakan nilai konstanta (0.94). FWHM hasil analisis *Match* dapat dilihat pada Lampiran II. Hasil perhitungan ukuran partikel untuk sampel dengan menggunakan *software Match!* yaitu 576,2 nm.

5. Hasil analisis *Rietica* nanorod ZnO

Software Rietica digunakan untuk refinement data yang dihasilkan dari karakterisasi *X-Ray Diffraction (XRD)*. *Refinement* adalah proses membandingkan data yang terukur dari hasil XRD dengan data yang dihitung dari *Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)*. *Refinement* ini dilakukan dengan menggunakan referensi ICSD yaitu ZnO dengan kode ICSD 1011258 yang mempunyai struktur kristal heksagonal dan *space group* P 63 m c dengan nilai parameter kisi $a = 3,22 \text{ \AA}$, $b = 3,22 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2 \text{ \AA}$.

Data hasil *refinement* dapat dilihat pada Lampiran III. Dimana garis yang berwarna hitam merupakan spektrum sampel nanorod ZnO doping Ag, garis yang berwarna merah merupakan spektrum referensi, garis yang berwarna hijau menunjukkan selisih harga intensitas hasil pengamatan dan hasil perhitungan, sedangkan garis pendek vertikal yang berwarna biru menandakan posisi sudut puncak Bragg. Hasil *refinement* dari sampel nanorod ZnO ditunjukkan pada Gambar 5.

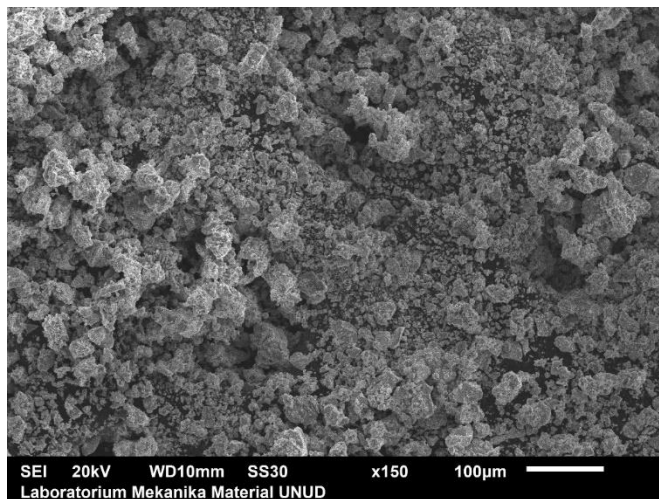


Gambar 5 Hasil *refinement* sampel nanorod ZnO.

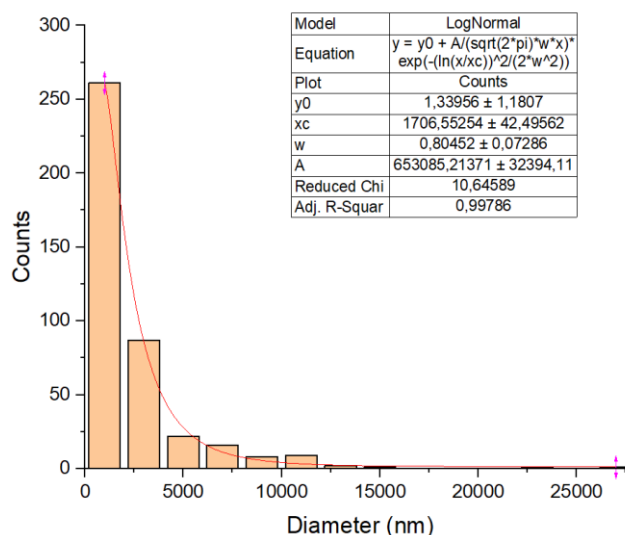
Berdasarkan hasil karakterisasi pola spektrum XRD yang dianalisis menggunakan *software rietica* maka diketahui parameter kisi (Å) dan GoF (*Goodness of Fit*), untuk sampel nanorod ZnO. Hasil analisis parameter kisi yaitu $a = 3,234083 \text{ \AA}$, $b = 3,234083 \text{ \AA}$, $c = 5,194726 \text{ \AA}$. Berdasarkan hasil refinement diperoleh nilai *goodness-of-fit* (GoF) atau χ^2 yaitu sebesar 1,09. Secara umum, nilai GoF sudah sangat kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel mengandung fase impuritas dengan intensitas cukup kecil.

6. Hasil Karakterisasi SEM nanorod ZnO

Hasil karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* adalah berupa gambar yang memperlihatkan ukuran kristal yang terbentuk. Dari hasil tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan *software Image-J* dan *software OriginPro*. Gambar hasil karakterisasi menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil karakterisasi SEM nanorod ZnO



Gambar 7 Grafik hubungan diameter dengan *counts* untuk nanorod ZnO.

Berdasarkan Gambar 6, kemudian dilakukan analisis dengan *Image-J* dan *OriginPro*. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 7. Parameter fungsi distribusi hasil *fitting Gaussian* terlihat pada gambar, dimana x_c merupakan ukuran partikel rata-rata dan w merupakan standar deviasi.

7. Pengukuran Kinerja DSSC

Pelapisan ZnO pada kaca dilakukan menggunakan metode *Doctor Blade*, di mana pasta ZnO dilapiskan di atas pelat kaca dengan menggunakan batang pipet tetes. Untuk membuat pasta ZnO, asam asetat ditambahkan sedikit-sedikit ke dalam serbuk ZnO hingga tercipta pasta berwarna putih. Pembuatan pasta ini bertujuan agar ZnO yang diaplikasikan pada pelat kaca dapat menempel dengan baik dan menghasilkan lapisan yang tebal. Hasil pelapisan pasta ZnO pada pelat kaca ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Pelat kaca yang sudah dilapisi dengan nanorod ZnO.

Perakitan DSSC dilakukan dengan menempatkan elektroda kerja berhadapan dengan elektroda pembanding yang terbuat dari lapisan karbon, kemudian ditambahkan larutan I₂. Rangkaian DSSC ini dikadikikan satu menggunakan klip penjepit, lalu diukur arus dan tegangan dengan multimeter.

B. Pembahasan

1. Fraksi volume dan ukuran partikel nanorod ZnO

Untuk memastikan fasa-fasa yang terbentuk dari sampel nanorod ZnO, dilakukan pencocokan fasa (*search match*) menggunakan software *Match!*. Dari hasil *search match*, hasil fraksi volume yaitu 71,9%. Pada sampel nanorod ZnO yang didoping Ag ini memiliki fasa impuritas juga, yang dimana akan mempengaruhi besarnya fraksi volume terhadap sampel tersebut.

Untuk mengetahui ukuran partikel sampel nanorod ZnO digunakan *crystallite size estimation* pada software *Match!*. Besar ukuran partikel yang didapat yaitu 576,2 nm. Nilai ukuran partikel dipengaruhi oleh lebar spektrum XRD yaitu nilai FWHM. Jika nilai FWHM semakin kecil, maka ukuran partikel semakin besar dan sebaliknya, jika nilai FWHM semakin besar maka ukuran partikel menjadi semakin kecil.

2. Morfologi karakterisasi SEM nanorod ZnO

Hasil karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah berupa gambar yang memperlihatkan ukuran kristal yang terbentuk. Dimana karakterisasi SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan nanorod ZnO. Hasil karakterisasi SEM seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.7, kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan software *Image-J* dan *OriginPro*. Setelah dilakukan analisis dengan software tersebut maka diperoleh ukuran partikel rata-rata pada sampel ZnO yaitu $1706,55254 \pm 42,49562$ nm.

3. Pengukuran I-V DSSC

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus dan tegangan selama 14 hari berturut-turut. Hasil pengukuran arus-voltase (I-V) yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1
 Data hasil pengukuran arus-voltase (I-V)

I _{sc} (mA)	I _{mpp} (mA)	V _{mpp} (Volt)	V _{oc} (Volt)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF	Lux
14	3,1	0,21	0,22	3,5	0,211364	689

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran arus-tegangan (I-V) pada nanorod ZnO. Tujuan dari pengukuran I-V ini adalah untuk menentukan efisiensi dari DSSC yang diteliti. Diperoleh

A.A.M.W.W.Putra: Doping Ag Terhadap Sintesis Nanopartikel...

nilai arus jangka pendek (I_{sc}) sebesar 14 mA. Selain itu, nilai arus terbuka (V_{oc}) yang diperoleh adalah 0,22. Berdasarkan data yang diperoleh, efisiensi ZnO dapat ditentukan sebesar 0,29%. Perbandingan efisiensi ZnO hasil sintesis dengan penelitian lainnya pada DSSC dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2
 Perbandingan efisiensi ZnO pada DSSC dari hasil penelitian sebelumnya

Semikonduktor	Efisiensi	Referensi
ZnO (Cu)	0,27 %	Siagian dkk, 2021
ZnO (Mg)	0,30 %	Motlan dkk, 2021
ZnO (Al-Ga)	0,18 %	Iwantono, 2015
ZnO (Ag)	0,29 %	Hasil penelitian ini

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa sel surya dengan semikonduktor ZnO doping Mg cukup tinggi dibandingkan penelitian lain yang telah dilakukan sebelumnya. Keunggulan dari penelitian Motlan dkk yaitu menggunakan suhu pemanasan tinggi sebesar 2500 °C selama 5 jam. Suhu pemanasan dapat mempengaruhi pergeseran tingkat penyerapan, jadi *band gap* yang dihasilkan juga berpengaruh.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian karakterisasi dan analisis sampel nanorod ZnO, maka dapat diketahui: Penambahan doping Ag pada sampel ZnO mengakibatkan ukuran kristal rata-rata yang diperoleh yaitu 576,2 nm, kemudian nilai fraksi volume ZnO yang diperoleh sebesar 71,9 % dan untuk nilai parameter kisi tidak terlalu ada perubahan yaitu $a = 3,234083 \text{ \AA}$, $b = 3,234083 \text{ \AA}$, $c = 5,194726 \text{ \AA}$. Efisiensi DSSC yang diperoleh dari sampel ZnO doping Ag yaitu dengan arus maksimum sebesar 14 mA dan tegangan maksimum sebesar 0,22 V, jadi efisiensi yang didapat sebesar 0,29%.

REFERENSI

- Choiry, G.A., Davi, P.H., Annisa, Aprilia., Lusi, Safriani., Ayi, Bahtiar., "Studi Proses Sintesis Serbuk Nano Zno Beserta Karakterisasi", *JlIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, Vol. 3, 2019
- Kasuma, W.N.S., Bahrizal., Edi, N., Yanna, R., "Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Co²⁺ doped ZnO dengan Menggunakan Metode Sol-Gel", *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2020
- Hardeli, Suwardani, Riky, T. F., Maulidis, Ridwan S., "Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari berbagai Sumber Alami", *Jurnal Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, Hal 155-161, 2013
- Virrisya., Astuti., "Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel ZnO didoping Mn Menggunakan Metode Sol-Gel", *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 8, 2019
- Fadila, A.A., Krisdiyanto, D., "Sintesis dan Karakterisasi ZnO:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut serta Uji Kinerjanya untuk Dye Sensitized Solar Cell", *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, Vol. 2 (2), Hal 61-66, 2019
- Angraini, N., Yanti, F., "Penggunaan spektrofotometer Uv-
 p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



- Vis untuk analisis nutrisi fosfat pada sedimen dalam rangka pengembangan modul praktikum oseanografi kimia”, *Jurnal Penelitian Sains*, Vol. 23 (2), Hal 78-83, 2021
- [7] Ningsih, S.K.W., Bahrizal., Nasra, E., Rahayu, Y., “Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol-Gel”, *Indonesian Journal of Chemical Science*, Vol. 9 (1), 2020
- [8] Pinem, S.K., Siregar, N., “Pengaruh Waktu Tahan Kalsinasi Film Tipis ZnO Terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Yang Menggunakan Dye Dari Buah Naga Merah”, *Jurnal Einstein*, Vol. 5 (3), 2018
- [9] Yuliananda, S., Sarya, G., Hastijanti, R., “Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya”, *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, Vol. 1 (2), Hal 193-202, 2015
- [10] Zakaria, H., “Pengaruh Pemanasan Terhadap Struktur dan Sifat Optik Kristal ZnO”, *Jurnal Ilmiah*, Universitas Hasanuddin, 2015
- [11] Della, R.O., Iwantono, “Pengaruh Penambahan Perak Pada Molekul Dye terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell”, *Komunikasi Fisika Indonesia*, Universitas Riau, 2021
- [12] Yuwono, H.A., Dharma, H., “Fabrikasi Nanorod Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Konsentrasi Polyethylene Glycol dan Waktu Tunda Evaporasi Amonia”, *Majalah Metalurgi*, Vol. 26 (2), Hal 101-108, 2011
- [13] Motlan, Siregar, N., “The Effect of Post-Heating Time of ZnO Thin Film on the Efficiency of ZnO/Hylocereus polyrhizus DSSC”, *Edelweiss Applied Science and Technology*, Vol. 3 (1), Hal 70-74, 2019
- [14] Maulid, F.E., “Pembuatan Lapisan Tipis ZnO Doping Silver dengan Metode Dip Coating untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)”, Universitas Negeri Padang, 2021
- [15] Ekarani, P., Prima, E.C., Rusdiana, D., “Pengaruh Ketebalan Lapisan Tipis ZnO terhadap Kinerja Sel Surya Perovskit Fleksibel”, *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah*, Vol. 7 (2), Hal 46-55, 2023
- [16] Ekmeci, M., Ela, C., Erten-Ela, S., Yavuz, C., “Synthesis Of Ag-Doped ZnO Nanomaterials For Dye Sensitized Solar Cells And Investigation Of The Optimum Ag Doping Rate”, *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 4 (2), Hal 104-123, 2021
- [17] Rahman, M.F., Nasikhudin, Hidayat, A., Diantoro, M., “The influence of TiO₂ film thickness in Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) performance based on TiO₂/Ag@TiO₂-ZnO”, *Journal of Physics: Conference Series*, 2020
- [18] Fadhil, E.S., Ahmed, L.M., Mohammed, A.F., “Effect of Silver Doping on Structural and Photocatalytic Circumstances of ZnO Nanoparticles”, *Iraqi Journal of Nanotechnology*, Vol. 1, Hal 13-22, 2020
- [19] Umar, M.I.A., Faizil, N., Saad, S.K.M., “Synthesis and Characterization of TiO₂ Semiconductor Doped by AgNO₃ and Their Application as Photoanode in Dye-sensitized Solar Cells”, *Lensa : Jurnal Kependidikan Fisika*, Vol. 8 (1), Hal 1-8, 2020
- [20] Malumi, S.O., Osiele, M.O., Ekpeko, A., Ikhioya, I.L., “Enhance and Performance Evolution of Silver-Doped Titanium Dioxide Dye-Sensitized Solar Cells Using Different Dyes”, *Journal of Engineering in Industrial Research*, Vol. 4 (4), Hal 189-200, 2023
- [21] Siagian, S.M., Chrisna HS, S., “Analisis Semikonduktor zn:cu terhadap efisiensi dye Sensitized Solar cell menggunakan ekstrak alami”, *Jurnal Politeknik Caltex Riau*, Vol. 7 (2), Hal 51-57, 2021
- [22] Motlan, Ferdinand, D., Siregar, N., “Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Film Tipis ZnO:Mg Dengan Dye Ekstrak Kulit Manggis”, *EINSTEIN (e-Journal)*, Vol. 9 (2), Hal 51-54, 2021
- [23] Iwantono, Damayanti, N., Anggelina, F., Naumar, F.Y., Umar, A.A., “Efek Co-Doping Al-Ga Pada Nanorods ZnO Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)”, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, Vol. 5 (2), Hal 8-16, 2015