

KAJIAN PUSTAKA APLIKASI NANOPARTIKEL MELALUI METODE SOL-GEL SEBAGAI FOTOANODA PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Frendi Ihwan Syamsudin, Fitria Rahmawati, Meti Indrowati, Risa Suryana, dan Sulisty Saputro

*Program Studi S3 Pendidikan IPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir Sutami No. 36A Ketingan, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, Provinsi Jawa Tengah, Kode Pos 57126, Indonesia
E-mail: frendi290498@student.uns.ac.id*

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui 1) proses sintesis Zink Oxide (ZnO), 2) proses perakitan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan ZnO, 3) hasil analisis efektivitas DSSC dengan ZnO ketika diuji dengan Ultra Violet-Visible (UV-VIS), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), dan Transmission Electron Microscope (TEM), dan 4) efisiensi penggunaan nanopartikel ZnO pada DSSC. Metodologi penelitian adalah studi literatur melalui kajian pustaka. Hasil kajian pustaka yaitu 1) proses sintesis partikel ZnO menggunakan metode sol-gel dengan variasi material dopan $Al(NO_3)_3$ 0,5 % dan $Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$ 1%, 2) pembuatan fotoanoda dilakukan dengan teknik screen printing dengan melapiskan ZnO dan TiO_2 di atas substrat FTO, 3) fotoanoda ZnO memiliki nilai energi gap tertinggi sebesar 3,31 eV dengan intensitas difraksi tertinggi daripada fotoanoda AZO 0,5% dan AZO 0,1%, morfologi permukaan pada fotoanoda ZnO, AZO 0,5% dan AZO 0,1% berbentuk hexagonal, dan 4) terjadi peningkatan efisiensi sel surya ketika ZnO digunakan sebagai fotoanoda.

Kata kunci: *dye sensitized solar cell; fotoanoda; nanopartikel; sol-gel; zink oxide*

Abstract

The work aims to determine 1) the Zink Oxide (ZnO) synthesis process, 2) the Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) assembly process with ZnO, 3) the results of the analysis of the effectiveness of DSSC with ZnO when tested with Ultra Violet-Visible (UV-VIS), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Transmission Electron Microscope (TEM), and 4) the efficiency of using ZnO nanoparticles in DSSC. The research methodology is a literature study through literature review. The results of the literature review are 1) the process of synthesizing ZnO particles using the sol-gel method with variations in the dopant material $Al(NO_3)_3$ 0.5% and $Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$ 1%, 2) photoanodes are made using screen printing technique by layering ZnO and TiO_2 on FTO substrate, 3) ZnO photoanode has the highest gap energy value of 3.31 eV with the highest diffraction intensity than 0.5% AZO and 0.1% AZO photoanodes, surface morphology on ZnO photoanode, 0.5%AZO and 0.1%AZO in hexagonal shape, and 4) there is an increase in solar cell efficiency when ZnO is used as a photoanode.

Keywords: *dye sensitized solar cell; photoanoda; nanoparticles; sol-gel; zink oxide*

PENDAHULUAN

Kegiatan manusia dalam kehidupan yang memerlukan energi listrik semakin meningkat seiring dengan berjalannya waktu, sedangkan ketersediaan energi listrik semakin menipis [1]. Salah satu kebutuhan primer manusia adalah listrik terutama akibat adanya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi dimana semua kegiatan memerlukan sumber energi listrik, baik di daerah perkotaan maupun

pedesaan, bahkan sampai daerah pelosok [2]. Hal ini menjadi permasalahan bagi negara Indonesia karena adanya keterbatasan pembangkit energi listrik yang saat ini digunakan [3].

Salah satu solusi adalah optimalisasi potensi energi matahari yang dikenal dengan energi surya sebagai salah satu energi terbarukan [4]. Energi terbarukan merupakan energi ramah lingkungan yang dimanfaatkan secara bebas karena ketersediaannya melimpah

di alam sehingga tidak ada kekhawatiran habisnya sumber energi [4].

Matahari adalah sumber energi yang tidak akan habis selama masih terjadi reaksi nuklir antara helium dengan helium pada inti matahari yang menghasilkan cahaya [5]. Matahari adalah energi ramah lingkungan dan tidak menyebabkan pemanasan global [5].

Pemanfaatan energi matahari dilakukan melalui prinsip *fotovoltaik* dari fabrikasi energi sel surya [6]. Secara umum cahaya matahari dapat bersifat sebagai gelombang dan partikel [4]. Pemanfaatan cahaya matahari pada fabrikasi energi ini memposisikan sifat cahaya sebagai partikel [6]. Cahaya matahari mengandung partikel-partikel yang disebut dengan foton [7]. Ketika cahaya matahari merambat ke bumi dan mengenai sel surya, maka foton-foton yang ada dalam cahaya tersebut akan menumbuk atom-atom pada sel surya, sehingga mengakibatkan terpisahnya elektron. Bagian yang kehilangan elektron disebut dengan *hole*. Elektron ini akan mengalir dari pita valensi ke pita konduksi yang disebut dengan loncatan energi sebagai energi celah. Ketika elektron mengalir maka elektron akan menjauhi muatan negatif bidang dan demikian pula *hole* akan menjauhi muatan positif bidang. Maka terjadilah arus listrik yang terbentuk dalam sel surya [8].

Teknologi sel surya sebagai pembangkit listrik tenaga matahari disebut *solar cell*. *Solar cell* memiliki efisiensi 20% sehingga semua kebutuhan di bumi akan energi listrik bisa terpenuhi. Sel surya dibagi menjadi tiga generasi berdasarkan perkembangan teknologi, yaitu generasi silikon tunggal dan multisilikon, generasi lapisan tipis (*Thin Film Solar Cell*), dan generasi tersensitisasi zat warna (*Dye Synthesized Solar Cell*) [9].

Generasi sel surya silikon tunggal pada awalnya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi, namun memiliki masalah terbesar yaitu mahalnya produksi dan perawatan, sehingga kurang efisien jika dijadikan sebagai energi alternatif. Kemudian sel surya generasi *Thin Film Solar* yang dibuat dengan gas silane dan hydrogen menghasilkan silikon berlawanan arah (*amorphous silicon*) dengan efisiensi tertinggi sebesar 19,5%. Setelah itu *Dye Synthesized Solar Cell (DSSC)* ditemukan pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel. *DSSC* memiliki kelebihan dalam fleksibilitas kimia, kemudahan sintesis, dan

ramah lingkungan. Kemampuan *DSSC* dalam menghasilkan listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah jenis fotoanoda yang digunakan dalam *DSSC* [10].

Senyawa kimia metal oksida sangat berpotensi sebagai fotoanoda pada *DSSC*, diantaranya adalah *Zinc Oxide (ZnO)* [11]. Kelebihan *ZnO* adalah memiliki lebar pita yang sama dengan *TiO₂* yaitu 3,37 eV, memiliki mobilitas elektron yang lebih besar daripada *TiO₂*, merupakan semikonduktor atraktif dikarenakan rentang resistivitas antara 10⁻⁴ sampai 10¹² Ω.cm, pada temperature ruang memiliki energi ikat eksiton sebesar 60 meV, proses sintesis sederhana dan mudah, serta memiliki efisiensi 0,27% [12].

Dengan demikian pertanyaan penelitian untuk kajian pustaka pada artikel ini yaitu 1) Bagaimana proses sintesis dari *ZnO*?, 2) Bagaimana proses perakitan *DSSC* dengan *ZnO*?, 3) Bagaimana hasil analisis efektivitas *DSSC* dengan *ZnO* ketika diuji dengan UV-VIS, XRD, SEM, dan TEM?, 4) Bagaimana efisiensi penggunaan *ZnO* pada *DSSC*?

METODE PENULISAN

Metodologi penulisan artikel adalah studi literatur yang dilakukan dengan data sekunder berupa artikel-artikel yang berkaitan erat dengan aplikasi nanopartikel sebagai fotoanoda pada sel surya *DSSC*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Sintesis *ZnO (Zinc Oxide)*

Senyawa *ZnO (Zinc Oxide)* dihasilkan dari proses sintesis senyawa precursor *Zn(CH₃COOH)₂·2H₂O (Zinc Acetate Dihydrate)* dengan metode Sol-Gel [13]. Senyawa precursor merupakan senyawa yang menghasilkan senyawa lain dalam reaksi kimia [14]. Sehingga *Zinc Acetate Dihydrate* nanti akan melakukan reaksi yang menghasilkan *Zinc Oxide* [13]. Metode Sol-Gel menerapkan tahapan fasa sol dan gel dalam sintesis nanopartikel [15]. Keadaan cair larutan koloid disebut sol, sedangkan keadaan padat larutan koloid disebut gel [15].

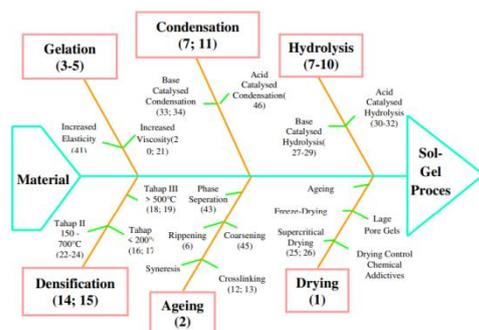
Prinsip metode Sol-Gel yaitu membuat larutan dalam pelarut organik dari precursor pada tingkat molekuler untuk meningkatkan homogenitas kimia dan mempolimerasi precursor menjadi gel [14].

Pada fasa gel masih terkandung senyawa organik. Untuk menghilangkannya

dilakukan pengeringan dan pembakaran hingga terbentuk material oksida [13]. Penggunaan metode Sol-Gel dapat membentuk partikel homogen berskala nano dengan tingkat kemurnian dan kekuatan tinggi [16]. Keramik dan gelas adalah contoh produk hasil sintesis dengan metode Sol-Gel [16].

Metode Sol-Gel berkembang seiring berjalannya waktu menghasilkan material serbuk hingga padat dimana pada tahun 1950 digunakan untuk membuat bahan bakar nuklir berupa bubuk UO_2 dan ThO_2 sebagai radioaktif, tahun 2000 untuk pembuatan keramik kordierit, tahun 2007 untuk sintesa Nanokristal Mesoporit, tahun 2011 untuk sintesis nanokomposit TiO_2 , tahun 2012 untuk sintesa Oksida BIFEVOX, tahun 2013 untuk sintesis $LiFePO_4$, tahun 2014 untuk sintesis Barium M-heksaferit, tahun 2015 untuk sintesis Zeolit, tahun 2016 untuk sintesis nanopartikel PbS , tahun 2017 untuk sintesis Zirkon, tahun 2018 untuk sintesis Lithium Mangan Oksida Spinel [16].

Metode Sol-Gel secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Metode Sol-Gel [16]

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa tahapan Sol-Gel terdiri dari Hidrolisis, Condensation, Gelation, Ageing, Drying, dan Densification. Namun tahapan metode Sol-Gel yang digunakan pada pembuatan fotoanoda ZnO ini terdiri dari tahap hidrolisis, kondensasi, ageing, dan drying berikut :

1. Tahap Hidrolisis dan Kondensasi

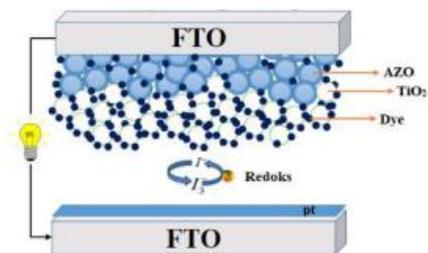
Pada tahap hidrolisis, dalam methanol dilarutkan $Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$. Kemudian pada suhu $65^\circ C$ diaduk dengan magnetic stirrer. Setelah itu untuk mempercepat reaksi ditambahkan katalis $NaOH$ yang menghasilkan $Zn(OH)_2$. Kemudian terjadi perubahan warna bening

menjadi putih keruh yang akan berubah menjadi bening kembali setelah 90 menit [13]. Warna akan semakin keruh jika semakin besar konsentrasi pendopongan. Perubahan warna menandakan terjadi pembentukan sol sebagai hasil dari tahap hidrolisis [13].

2. Tahap Ageing dan Drying

Setelah selesai tahap hidrolisis dan kondensasi, dilanjutkan dengan tahap Ageing dan Drying. Pengendapan larutan hingga diperoleh endapan putih susu dilakukan pada tahap ageing selama 48 jam. Kemudian dicuci sebanyak 3 kali menggunakan n-hexane. Setelah itu dengan teknik screen printing di atas substrat kaca dibuatlah lapisan tipis [13]. Kemudian sisa gel dikeringkan menjadi padatan selama 8 jam pada suhu $150^\circ C$. Padatan ditumbuk menjadi serbuk halus. Kemudian serbuk dicampurkan Acetylacetone, Triton-X, dan Deionized Water untuk pembuatan pasta homogen. Setelah itu dengan Teknik yang sama dibuat lapisan tipis pasta dan Fluorine Tin Oxide (FTO) [13].

Proses Perakitan DSSC dengan Fotoanoda ZnO



Gambar 2. Perakitan DSSC [13]

DSSC tersusun dari lapisan luar FTO (Fluorine Tin Oxide) sebagai elektroda. Pada FTO bagian bawah dilapisi dengan karbon yang berfungsi sebagai katalis untuk menjaga kestabilan eksitasi elektron. Diantara FTO atas dan bawah terdapat semikonduktor berupa AZO, ZnO , TiO_2 , dan Dye. Terdapat larutan elektrolit untuk mengantisipasi kehilangan elektron pada Dye ketika terjadi eksitasi elektron dari keadaan rendah ke tinggi [13].

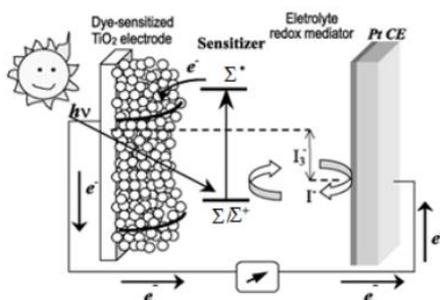
Perakitan diawali proses pelapisan FTO dengan karbon. Kemudian menambahkan

larutan elektrolit diantara FTO bawah dan atas beserta dengan penambahan ZNO/AZO dan TiO₂. Setelah itu dilakukan teknik screen printing hingga dihasilkan seperti Gambar 3. Jika kita ingin melihat perbedaan daya serap, intensitas difraksi, morfologi, dan efisiensi serapan ketika diuji dengan karakterisasi UV-Vis, XRD, SEM, dan TEM maka dapat dilakukan variasi fotoanoda dalam perakitan lapisan tipis, yaitu ZnO, AZO 0,5%, dan AZO 1% .



Gambar 3. Hasil Perakitan Sel DSSC [13]

Prinsip kerja DSSC ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prinsip Kerja DSSC [17]

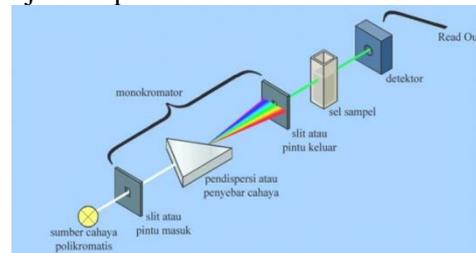
Tahapan pertama pada DSSC adalah penyerapan foton oleh Dye. Kemudian Dye tereksitasi dengan loncatan elektron menuju TiO₂ dan ZnO/AZO. Setelah itu elektron diteruskan menuju FTO bagian atas. Kemudian larutan elektrolit menangkap elektron setelah melewati elektroda pembanding sehingga tidak terjadi kehilangan elektron [13].

Hasil Analisis Efektivitas DSSC dengan Fotoanoda ZnO

Hasil Karakterisasi Ultra Violet-Visible (UV-Vis)

Korelasi antara interaksi unsur dalam molekul dengan frekuensi energi dapat diamati dari ilmu yang dinamakan spektroskopi [18]. Ketika terdapat serapan cahaya ultraviolet di daerah panjang gelombang antara 160 nm sampai 780 nm menyebabkan terjadinya transisi tingkat energi dalam molekul dari orbital dasar berenergi rendah ke orbital berenergi lebih tinggi yang akan menimbulkan

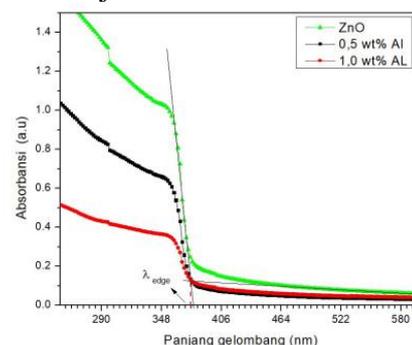
vibrasi. Hal ini disebut spektrofotometri ultraviolet (UV-Vis) [19]. Pengukuran spektrofotometri UV-Vis dilakukan dengan alat spektrofotometer UV-Vis [20]. Bagian dan prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagian dan Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis

Prinsip kerja dari Spektrofotometer UV-Vis adalah cahaya ultraviolet yang ditembakkan melalui celah diuraikan dengan cermin prisma menjadi spektrum cahaya sehingga terdapat cahaya yang diserap oleh larutan sampel, diteruskan, dan dipantulkan [19]. Penyerapan cahaya menyebabkan elektron akan tereksitasi dari orbital dasar ke orbital yang lebih tinggi. Cahaya yang diteruskan sebagai data nilai transmitansi [18]. Hasil pengukuran disajikan dalam spektra serapan dengan bentuk umum berupa parabola terbalik (bukit) jika perbedaan energi cukup besar. Namun jika perbedaan energi kecil maka spektra berbentuk garis atau bukit landai. [20].

Perbedaan serapan spektrum cahaya pada variasi fotoanoda ZnO, AZO 0,5%, dan AZO 0,1% diukur dengan spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan Gambar 6.



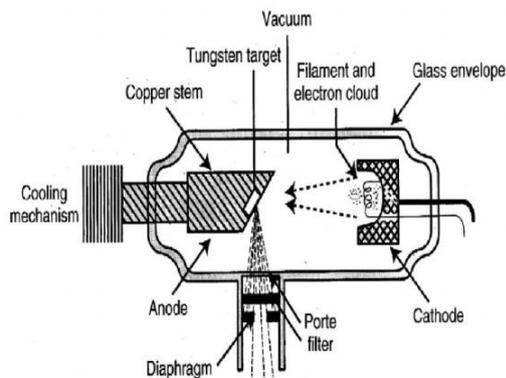
Gambar 6. Perbedaan serapan spektrum cahaya pada variasi fotoanoda ZnO, AZO 0,5%, dan AZO 0,1% [13]

Berdasarkan Gambar 6 diperoleh bahwa spektrum cahaya yang dapat diserap oleh fotoanoda ZnO berada pada rentang daerah

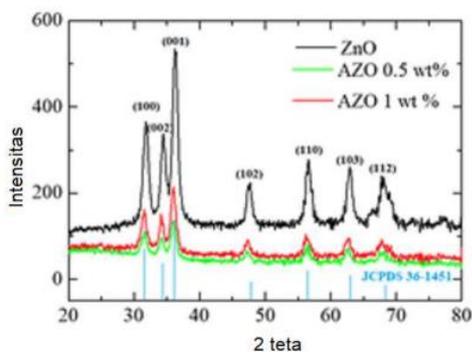
sinar ultraviolet (UV) diantara panjang gelombang 300 nm sampai 400 nm. Pada panjang gelombang 353 nm terjadi penyerapan tertinggi oleh fotoanoda ZnO dengan energi celah akibat adanya eksitasi elektron sebesar 3,31 eV. Sedangkan nilai energi celah pada partikel AZO 5% dan AZO 1% adalah 3,28 eV dan 3,29 eV [13].

Hasil Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk memberikan informasi dimensi sel dari difraksi fase bahan kristal yang berbentuk powder dengan penembakan elektron berenergi tinggi [21]. Penembakan elektron tersebut menghasilkan sinar X sebagai sumber difraksi adalah memiliki panjang gelombang 10-5 nm – 10 nm yang berfrekuensi 10¹⁷ – 10²⁰ Hz dengan tingkat energi tinggi antara 200 eV – 1 MeV [21]. Bagian dan prinsip kerja dari XRD ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bagian dan Prinsip Kerja X-Ray Diffraction [20]



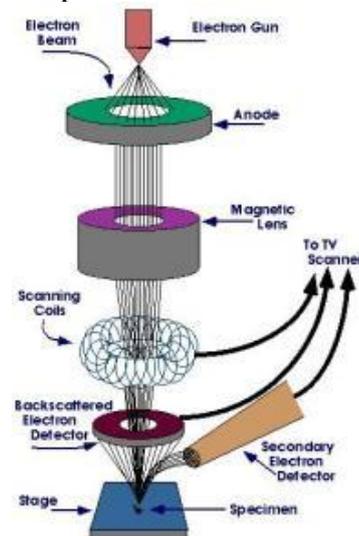
Gambar 8. Intensitas refleksi sinar X pada pengujian fotoanoda ZnO, AZO 0,5%, dan AZO 0,1% [13]

Berdasarkan Gambar 7, XRD terdiri dari tabung sinar X, tempat objek yang akan diteliti, dan detektor sinar X. Ketika filamen

katoda dipanaskan terjadi loncatan elektron dari keadaan rendah ke tinggi yang menembak objek sehingga dihasilkan pancaran sinar X. Detektor akan berputar merekam intensitas difraksi akibat pancaran sinar X dan mengolahnya hingga dihasilkan luaran berupa grafik [20]. Intensitas difraksi sinar X pada pengujian fotoanoda ZnO, AZO 0,5%, dan AZO 0,1% ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8 dengan intensitas difraksi yang berbeda dihasilkan lebar puncak yang hampir sama pada ketiga variasi fotoanoda. Intensitas difraksi tertinggi terjadi pada partikel ZnO [13].

Hasil Karakterisasi Scanning Electrone Microscopy (SEM)

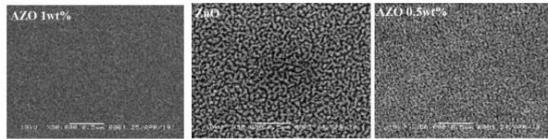
Scanning Electrone Microscopy (SEM) digunakan untuk menggambarkan informasi morfologi permukaan sampel melalui pemindaian scan raster dengan pancaran elektron monokromatik dari tingkat energi tinggi [22]. Bagian dan prinsip kerja dari SEM ditunjukkan pada Gambar 9.



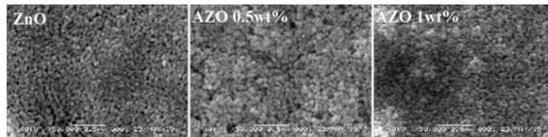
Gambar 9. Bagian Scanning Electrone Microscopy (SEM)

Prinsip kerja SEM yaitu sumber elektron yang berasal dari filamen katoda ditembakkan menuju sampel. Pancaran elektron tersebut diteruskan ke anoda untuk membatasi sudut hamburan. Kemudian diteruskan ke lenda magnetik dimana elektron difokuskan oleh lensa kondenser sebelum sampai pada permukaan sampel. Kemudian dihasilkan Backscattered Electron (BSE) dan Secondary Electron (SE) yang terhubung amplifier hingga dihasilkan morfologi pada monitor [22].

Hasil karakterisasi SEM pada Lapisan Tipis Gel dan Lapisan Tipis Pasta dengan perbesaran 50.000 kali ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Hasil Karakterisasi SEM Lapisan Tipis Gel Perbesaran 50.000 kali [13]

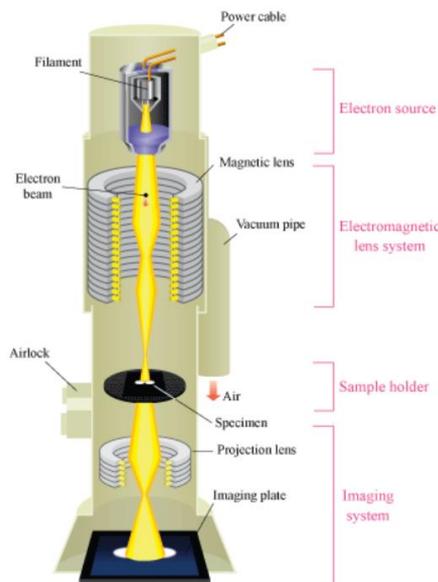


Gambar 11. Hasil Karakterisasi SEM Lapisan Tipis Pasta Perbesaran 50.000 kali [13]

Pada Gambar 10 diperoleh bahwa morfologi lapisan tipis gel semakin halus, sedangkan pada Gambar 11 diperoleh hasil bahwa morfologi lapisan tipis pasta lebih kontras membentuk butiran partikel. Dengan demikian penggunaan Triton-X dapat meningkatkan kehalusan struktur partikel [13].

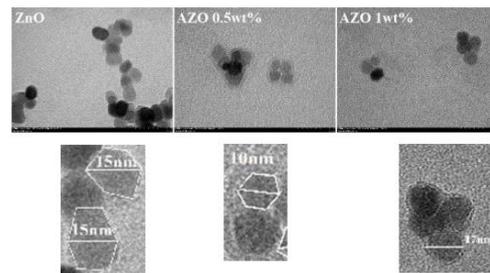
Hasil Karakterisasi Transmission Electron Microscope (TEM)

Transmission Electron Microscope (TEM) digunakan untuk melihat morfologi permukaan sampel dengan menembakkan elektron pada sampel yang sangat tipis [1]. Bagian dan prinsip kerja TEM ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Bagian dan Prinsip Kerja TEM

Hasil karakterisasi TEM ditunjukkan pada Gambar 13.

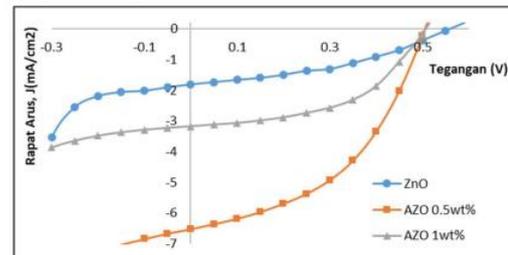


Gambar 13. Hasil Karakterisasi TEM [13]

Pada Gambar 13 dihasilkan morfologi ZnO dan AZO berbentuk hexagonal. Namun bentuk hexagonal belum sempurna karena pola sebaran partikel belum merata [13].

Efisiensi Penggunaan ZnO Pada DSSC

Analisis hubungan antara rapat arus dengan tegangan pada DSSC dengan variasi fotoanoda ZnO, AZO 0,5%, dan AZO 0,1% ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Kurva Rapat Arus Terhadap Tegangan [13]

Kemudian nilai dari V_{oc} , J_{sc} , FF, serta efisiensi untuk setiap variasi fotoanoda ZnO, AZO 0,5%, dan AZO 0,1% ditabulasikan pada Tabel 1.

Variasi	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
ZnO	0,58	1,80	37,39	0,39
AZO 0,5%	0,53	6,52	43,48	1,5
AZO 1%	0,53	3,18	48,15	0,81

Berdasarkan Gambar 14 dan Tabel 1 nilai tegangan tertinggi sebesar 0,58 Volt dihasilkan oleh fotoanoda ZnO, nilai rapat arus tertinggi sebesar 6,52 dihasilkan oleh fotoanoda AZO 0,5%, nilai FF tertinggi sebesar 48,15% dihasilkan oleh fotoanoda AZO 1%, dan efisiensi tertinggi sebesar 15% dihasilkan oleh fotoanoda AZO 0,5% [13]. Dengan demikian semakin besar tegangan maka akan semakin kecil rapat arus. Kemudian

semakin kecil rapat arus maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin kecil. Sehingga tegangan berbanding terbalik dengan rapat arus dan efisiensi, sedangkan rapat arus sebanding dengan efisiensi.

SIMPULAN

- a. Proses sintesis partikel ZnO menggunakan metode *sol-gel* dengan variasi material dopan $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 0,5 % dan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1%.
- b. Pembuatan fotoanoda dilakukan dengan teknik *screen printing* dengan melapiskan ZnO dan TiO_2 di atas substrat FTO.
- c. Fotoanoda ZnO memiliki nilai energi gap tertinggi sebesar 3,31 eV dengan intensitas difraksi tertinggi daripada fotoanoda AZO 0,5% dan AZO 0,1%. Morfologi permukaan pada fotoanoda ZnO, AZO 0,5% dan AZO 0,1% berbentuk *hexagonal*. Morfologi semakin halus dalam lapisan tipis gel dan semakin kontras dalam lapisan tipis pasta.
- d. Berdasarkan grafik hubungan rapat arus terhadap tegangan terjadi peningkatan efisiensi sel surya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Prof. Dr. Fitria Rahmawati, M.Si., Dr. Meti Indrowati, S.Si., M.Si., dan Dr. Eng. Risa Suryana, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pengampu Mata Kuliah Teknologi Nano di Program Studi S3 Pendidikan IPA FKIP UNS. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Prof. Dr. Sulistyio Saputro, M.Si., Ph.D. selaku Kaprodi S3 Pendidikan IPA dan Dosen Pengampu MK Penulisan Karya Ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Lubis A. 2007. Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Teknologi Lingkungan*. **8**(2): 155.
- 2 Sih Setyono J, Hari Mardiansjah F, Febrina Kusumo Astuti M. 2019. Potensi Pengembangan Energi Baru Dan Energi Terbarukan di Kota Semarang. *J. Riptek*. **13**(2): 177.
- 3 Diantari RA, Darmana T, Zaenal Z, Hidayat S, Jumiaty J, Soewono S, Indradjaja IM. 2019. Sosialisasi Energi Baru Terbarukan dan Lingkungan Hidup Untuk Masyarakat Desa Sukawali KAB. Tangerang, Banten. J.

- Pengabd. Pada Masy. Menerangi Negeri. **2**(1): 53.
- 4 Widodo DA, Suryono, A T. 2010. Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas. *J. Tek. Elektro*. **2**(2): 133.
- 5 Arif N, Suaedi S, Rahmadi M, Siregar FM. 2021. Potensi Energi Surya sebagai Energi Listrik Alternatif berbasis RETScreen di Kota Palopo, Indonesia. *Dewantara J. Technol*. **1**(1): 38.
- 6 Kusmantoro A, Farikhah I. 2022. Penyuluhan Identifikasi Potensi Energi Matahari Sebagai Sumber Listrik Di Sd Negeri Tambakharjo Semarang. *J-ADIMAS (Jurnal Pengabd. Kpd. Masyarakat)*. **10**(1): 63.
- 7 Pranoto B, Cendrawati DG, Hesty NW, Kusriadi E. 2018. Evaluasi Pemetaan Potensi Energi Surya Berbasis Model Wrf Di Desa Palihan Dan Desa Aikangkung. *J. Sains Dirgant*. **15**(2): 63.
- 8 Rohmah N, Sudarti. 2022. Potensi Energi Surya Sebagai Sumber Pembangkit Tenaga Listrik untuk Penerangan Rumah 450 Watt. *J-Eltrik*. **3**(1): 30.
- 9 Pangestuti DH, Gunawan, Haris A. 2008. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Sensitizer*. *J. Kim. Sains dan Apl*. **11**(3): 70.
- 10 Cahyadi CI et al. 2020. Efisiensi Recharger Baterai Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Edu Elektr. J*. **9**(2): 61.
- 11 Aryza S, Hermansyah H, Siahaan APU, Suherman S, Lubis Z. 2017. Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengereng Pupuk Petani Portabel. *It J. Res. Dev*. **2**(1): 12.
- 12 Setyawan LB. 2018. Perkembangan dan Prospek Sel Fotovoltaik Organik: Sebuah Telaah Ilmiah. *Techné J. Ilm. Elektrotek*. **17**(02): 93.
- 13 Hanavi Dp, Afrilia Cg, Safriani L, Aprilia A. 2019. Sintesis ZnO Serbuk Dan Penggunaannya Sebagai Fotoanoda Pada Sel Surya Tersensitisasi Warna. *J. Mater. dan Energi Indones*. **9**(01): 44.
- 14 Milawati S, Syahbanu I, Sasri R. 2021.

- Sintesis Komposit TiO₂-SiO₂ Menggunakan Metode Sol-Gel-Hidrotermal. *J. Ilmu Dasar.* **22**(1): 51.
- 15 Zainul R. *Teknologi Material Maju : Prinsip Dasar dan Aspek Rekayasa.* Universitas Negeri Padang. 2018.
- 16 Liza YM, Yasin RC, Maidani SS, Zainul R. SOL GEL : PRINCIPLE AND TECHNIQUE.2018.
- 17 Gratzel M. 2003. Dye-Sensitized Solar Cells. *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.* **4**(2): 145.
- 18 Angraini N, Yanti F. 2021. Penggunaan Spektrofotometer Uv-Vis Untuk Analisis Nutrien Fosfat Pada Sedimen Dalam Rangka Pengembangan Modul Praktikum Oseanografi Kimia. *J. Penelit. Sains.* **23**(2): 78.
- 19 Irawan A. 2019. Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian. *Indones. J. Lab.* **1**(2): 1.
- 20 Jamaluddin. *Fisika Material (X-Ray Diffractions) C-RD.* Kendari. 2016.
- 21 Karyasa IW. 2014. Studi X-Ray Fluoresence Dan X-Ray Diffraction Terhadap Bidang Belah Batu Pipih Asal Tejakula. *JST (Jurnal Sains dan Teknol.* **2**(2): 14.
- 22 Masta N. *Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy.* UKI, Jakarta. 2020.