



Sintesis dan Karakterisasi ZnO:Zr Melalui Metode Sol-Gel dengan Variasi Pelarut serta Uji Kinerjanya untuk Dye Sensitized Solar Cell

Afia Ana Fadila*, Didik Krisdiyanto

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-540971
Email: ifaazizahh@gmail.com*

Abstrak. Nanopartikel ZnO:Zr untuk semikonduktor DSSC telah disintesis melalui metode sol-gel dengan prekursor berupa $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ dan $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$. Doping Zr pada ZnO adalah sebesar 1%. Sintesis tersebut menggunakan pelarut berbeda, yaitu H_2O , metanol, etanol dan isopropanol. Selanjutnya dilakukan studi terhadap struktur kristal berdasarkan karakterisasi menggunakan x-ray diffraction (XRD), energi celah pita (E_g) berdasarkan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Visibel dengan metode absorption spektrum fitting (ASF) dan morfologi ZnO:Zr dengan scanning electron microscopy (SEM) serta uji kinerja DSSC yang menggunakan ZnO:Zr hasil sintesis sebagai semikonduktor berdasarkan nilai tegangan yang dihasilkan. Berdasarkan analisis dengan XRD, difraktogram yang diperoleh sesuai dengan difraktogram standar ZnO heksagonal dengan pergeseran nilai 2θ menjadi lebih kecil sehingga nilai parameter kisi kristal heksagonal (a , c , dan L) material lebih besar dari parameter kisi kristal standar ZnO. Hal tersebut mengindikasikan terjadinya penyisipan Zr^{4+} yang jari-jari ioniknya lebih besar dari Zn^{2+} sehingga jarak antar atom dalam kisi kristal semakin besar tanpa mengubah struktur heksagonal ZnO. Nilai rata-rata parameter kisi kristal ZnO:Zr heksagonal yang berupa a , c dan L berturut-urut adalah 3,30 Å, 5,19 Å dan 10,04 Å. Berdasarkan data dari karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Visibel yang diolah dengan metode ASF diketahui E_g ZnO:Zr yang dihasilkan dari penggunaan pelarut H_2O , metanol, etanol dan isopropanol berturut-urut adalah 3,267 eV, 3,162 eV, 3,100 eV dan 3,176 eV. E_g tersebut mengkonfirmasi terjadinya penyisipan Zr^{4+} dalam kisi kristal karena nilainya lebih kecil dari E_g ZnO tanpa doping (3,34 eV). Citra SEM ZnO:Zr hasil sintesis menunjukkan bahwa penggunaan pelarut yang semakin tidak polar menghasilkan partikel dengan ukuran yang lebih kecil. Adapun urutan kinerja DSSC dari yang terbaik berdasarkan nilai tegangannya adalah DSSC yang menggunakan ZnO:Zr hasil sintesis dengan pelarut etanol (44,96 mV), air (42,41 mV), metanol (42,05 mV) dan isopropanol (35,89 mV).

Kata kunci: DSSC, ZnO:Zr, nanopartikel, doping, pelarut berbeda, sol-gel.

This publication is licensed under a



Pendahuluan

ZnO merupakan semikonduktor yang cukup menarik untuk diaplikasikan pada berbagai hal seperti dye sensitized solar cell (DSSC) karena dapat menjadi konduktor listrik yang baik jika didoping dengan atom yang sesuai (Moezzi et al., 2012). ZnO memiliki energi celah pita sebesar 3,37 eV dan energi eksitasi sebesar 60 meV pada temperatur ruang. Mobilitas elektron ZnO cukup tinggi dan struktur pita elektroniknya sama dengan TiO_2 (Marimuthu et al., 2016). Selain itu, ZnO dapat diperoleh dalam berbagai morfologi berukuran nano melalui sintesis dengan metode rendah biaya seperti metode berbasis larutan dan metode sol-gel. Morfologi tersebut seperti nanosheet, anowire, nanoflower, nanotube dan nanobelt yang memiliki karakteristik berbeda sehingga memberi pengaruh berbeda terhadap kinerja DSSC (Apostolopoulou et al., 2015; Saurdi et al., 2014).

Metode Penelitian

Sintesis dan deposisi ZnO:Zr

$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ dan $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ dilarutkan dalam pelarut lalu diaduk selama 2 jam pada 60°C. Selama pengadukan tersebut larutan ditambah monoetanolamin lalu didiamkan hingga mencapai temperatur ruang kemudian dideposisikan pada kaca ITO. Sebelum deposisi, kaca ITO terlebih dahulu dibersihkan secara ultrasonik dengan etanol lalu dibilas dengan etanol serta akuades kemudian dikeringkan. Larutan yang telah

disiapkan dilapiskan pada kaca ITO secara spin coating lalu dipanaskan pada 150°C selama 10 menit. Pelapisan dan pemanasan tersebut diulang hingga diperoleh lapis tipis dengan ketebalan yang cukup. Lapis tipis dikalsinasi pada 500°C selama 1 jam

Karakterisasi ZnO:Zr

ZnO:Zr hasil sintesis yang terdeposisi pada substrat kaca ITO dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui struktur kristalnya, spektrofotometer ultraviolet-visible reflektansi untuk mengetahui energi celah pita dan SEM untuk mengetahui morfologinya.

Ekstraksi zat warna

Serbuk daun kelor direndam dalam pelarut aseton yang ditambahkan HCl 5% (dalam akuades) dengan perbandingan 1:10 (bahan/pelarut). Perendaman dilakukan selama 24 jam pada temperatur 4°C dalam botol gelap. Campuran kemudian disaring dengan kertas Whatman No. 42 dan filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm.

Pembuatan elektroda kerja

ZnO:Zr dipanaskan pada 80°C kemudian segera direndam dalam larutan zat warna selama 24 jam. Setelah direndam, elektroda kerja dibilas dengan akuades dan aseton untuk

menghilangkan zat warna yang berlebih. Elektroda kerja kemudian dikeringkan untuk menguapkan sisa pelarut.

Pembuatan elektroda lawan

Bagian konduktif kaca ITO dilapisi dengan karbon yang berasal dari jelaga pembakaran kertas hingga merata.

Pembuatan elektrolit

Sebanyak 0,127 g I2 dilarutkan dalam akudes hingga homogen lalu ditambah 0,83 g KI dan diaduk hingga larut. Larutan kemudian dituang dalam labu ukur 10 mL dan diencerkan dengan akuades hingga tanda batas lalu digojog hingga homogen. Larutan elektrolit yang telah disiapkan disimpan dalam botol gelap.

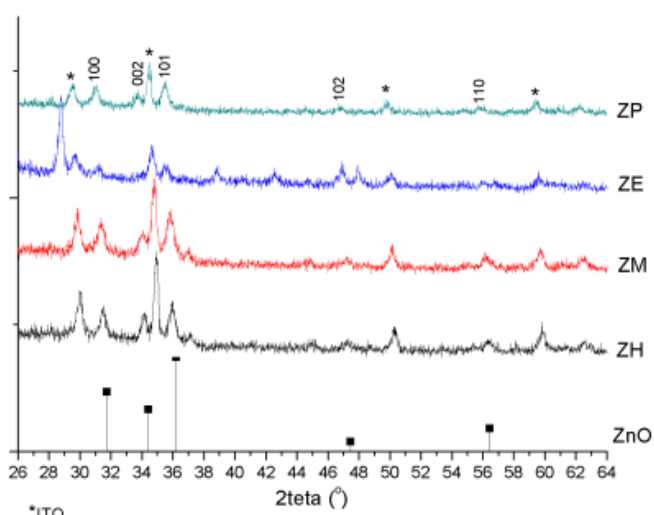
Perangkaian DSSC

Elektrolit tetesan merata pada elektroda kerja kemudian elektroda lawan diletakkan secara berhadapan. Kedua elektroda tersebut dijepit dengan penjepit kertas hingga terbentuk DSSC. DSSC tersebut diukur tegangannya menggunakan multimeter digital dengan sumber sinar lampu halogen 50 watt.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Struktur ZnO:Zr dengan XRD

Difraktogram ZnO:Zr hasil sintesis menggunakan pelarut berbeda ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 1 menunjukkan pola difraksi sinar X ZnO:Zr yang disintesis menggunakan pelarut air (ZH), metanol (ZM), etanol (ZE) dan isopropanol (ZP) secara lebih jelas. Pola tersebut menyerupai pola difraksi sinar X standar untuk ZnO heksagonal (Swanson dan Fuyat, 1953; Talam et al., 2012). Meski ZnO yang disintesis didoping dengan Zr, namun doping tersebut diharapkan mampu menggantikan Zn dalam kisi kristal tanpa mengubah struktur heksagonal kristal ZnO maupun membentuk fase lain sehingga analisis kristalinitas ZnO:Zr hasil sintesis didasarkan pada data standar kristal ZnO.



Gambar 1. Difraktogram ZnO:Zr

Difraksi pada kisaran 2θ 30°; 35°; 50,5°; dan 60° merupakan pola difraksi ITO (Thirumoorthi dan Prakash, 2016). Pola

difraksi tersebut menunjukkan keberadaan kristal dengan struktur kubik penyusun kaca ITO yang digunakan sebagai substrat lapis tipis ZnO:Zr dalam penelitian. Adapun difraksi pada 2θ 28,82° dalam difraktogram ZE mengindikasikan keberadaan ZrO2 yang berstruktur monoklinik (Murtaza et al., 2014).

Tabel 1. Pola difraksi sinar X ZnO:Zr

ZH		ZM		ZE		ZP		Indeks Miller
2θ	d _{hkl}	2θ	d _{hkl}	2θ	d _{hkl}	2θ	d _{hkl}	
31,58	2,830	31,43	2,843	31,45	2,841	31,07	2,875	100
34,13	2,624	34,07	2,263	33,75	2,653	33,73	2,654	002
35,96	2,494	35,76	2,508	35,60	2,519	35,48	2,527	101
47,29	1,920	47,17	1,924	46,91	1,935	46,75	1,941	102
56,28	1,633	56,11	1,637	56,04	1,639	55,81	1,645	110

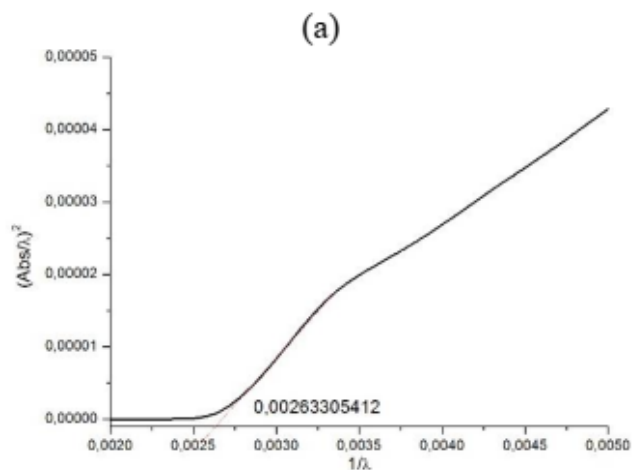
Nilai parameter kisi kristal ZnO:Zr yang berupa a, c, volume dan panjang ikatan Zn-O (L) (Tabel 2) mengalami peningkatan. Hal tersebut karena Zr⁴⁺ memiliki jari-jari sebesar 7,5 nm (Nielsen dan Wilfing, 2012), lebih besar dari jari-jari Zn²⁺ (7,4 nm) sehingga doping Zr terhadap ZnO mengubah jarak antar atom dalam bidang kisi kristal. Akan tetapi, rasio parameter kisi kristal dan volume satu unit sel ZnO:Zr tidak berbeda signifikan dengan data standar kristal ZnO. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis ZnO:Zr menggunakan pelarut berbeda telah berhasil tanpa mengubah struktur asli kristal ZnO

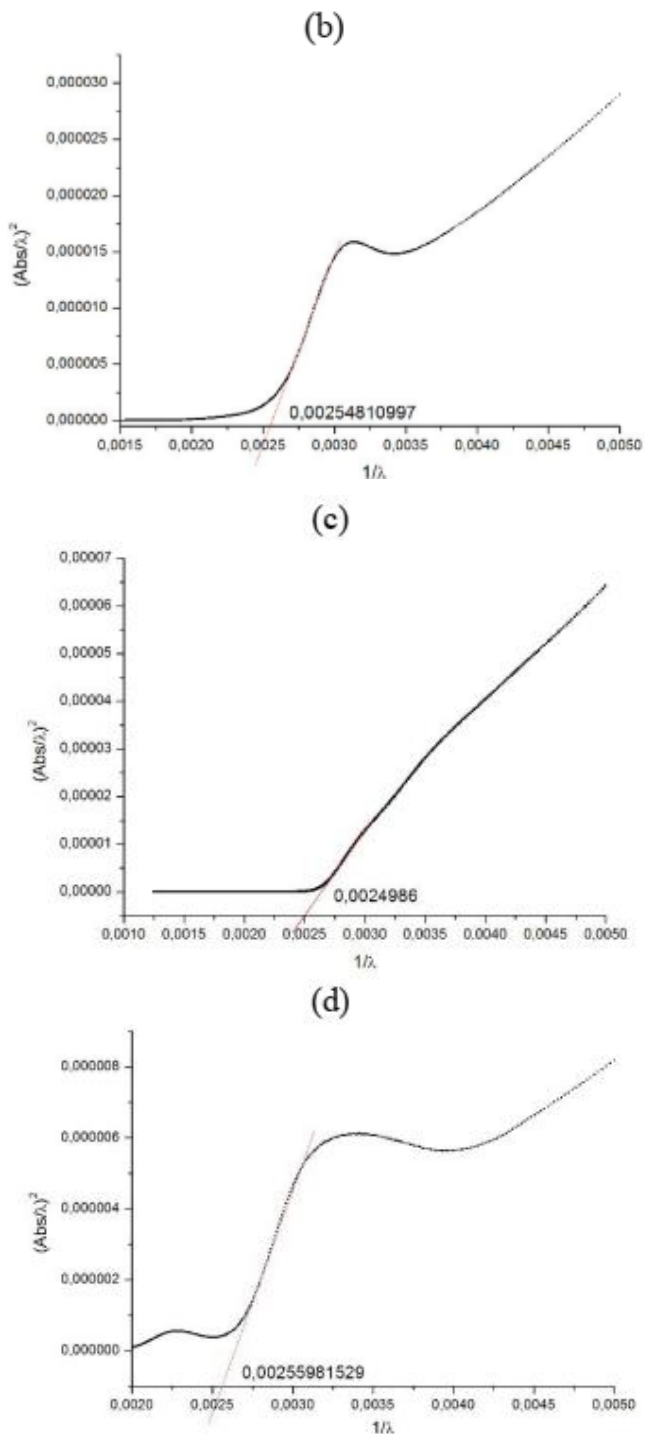
Tabel 2. Nilai parameter kisi kristal ZnO:Zr

	ZH	ZM	ZE	ZP	ZnO (Swanson dan Fuyat, 1953)
a (Å)	3,269	3,284	3,280	3,320	3,249
c (Å)	5,250	5,256	5,306	5,308	5,205
c/a	1,606	1,600	1,618	1,599	1,557
V (Å ³)	48,59	48,09	49,09	50,66	47,62
L (Å)	9,929	9,985	10,07	10,19	9,784

Energi Celah Pita ZnO:Zr

Penentuan Eg ZnO:Zr dilakukan menggunakan metode ASF dengan membuat plot antara 1/λ dan (Abs/λ)1/m (Gobadi, 2013). Gambar 2 menunjukkan grafik penentuan Eg ZnO:Zr dan Tabel 4 menunjukkan data secara lebih jelas.





Gambar 2. Penentuan energi celah pita (a) ZH, (b) ZM, (c) ZE dan (d) ZP

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa ZH, ZM, ZE maupun ZP memiliki $E_g < 3,34$ eV yang semakin menguatkan keberhasilan doping Zr pada ZnO. Berdasarkan data tersebut, E_g ZnO:Zr semakin kecil seiring penggunaan pelarut yang semakin tidak polar. Akan tetapi, pada penggunaan pelarut paling tidak polar yang dalam hal ini adalah isopropanol, E_g ZnO:Zr mengalami kenaikan lagi. Hal tersebut mengindikasikan

kemungkinan bahwa perbedaan pelarut berpengaruh terhadap tingkat cacat kristal ZnO akibat penambahan Zr sebagai dopan. Semakin besar selisih E_g ZnO:Zr dengan E_g ZnO sebenarnya menunjukkan bahwa cacat kristal yang terjadi semakin besar. Peningkatan cacat kristal tersebut sebanding dengan tingkat keberhasilan doping Zr pada ZnO.

Tabel 4. Energi celah pita ZnO:Zr

	$1/\lambda$	$E_g (10^{-19} \text{ J})$	$E_g (\text{eV})$
ZH	0,002633	5,23404	3,267
ZM	0,002548	5,06513	3,162
ZE	0,002499	4,96677	3,100
ZP	0,002560	5,08840	3,176

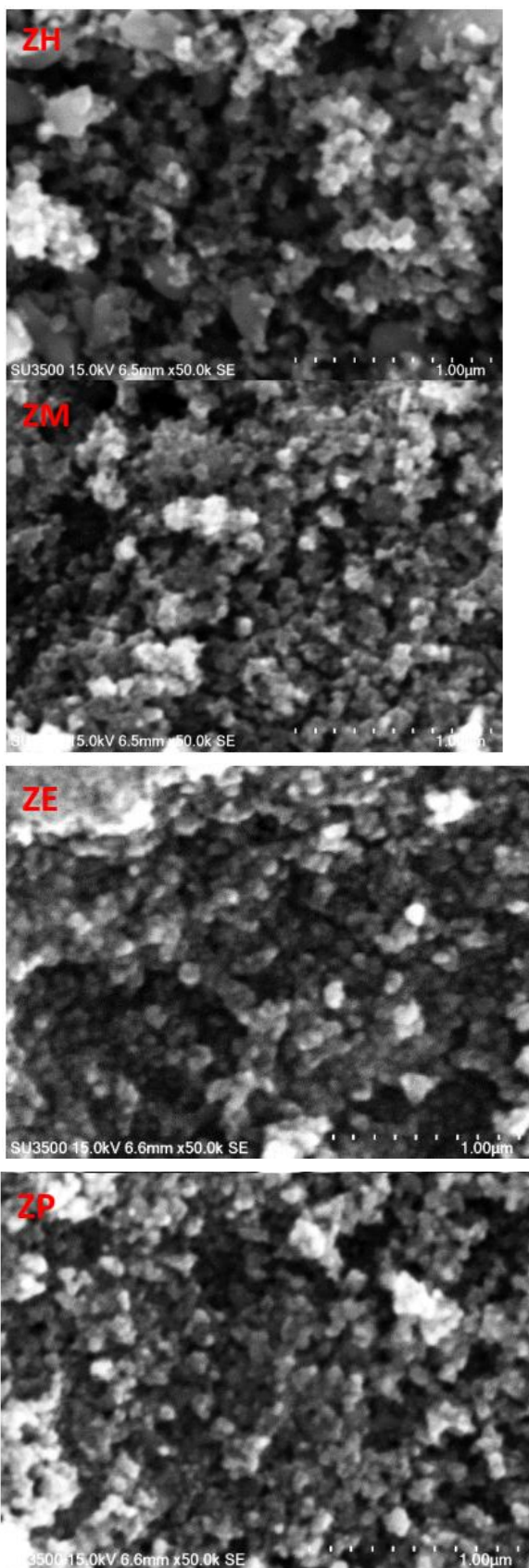
Morfologi ZnO:Zr

Morfologi ZnO:Zr hasil sintesis diamati menggunakan SEM dengan perbesaran 50.000 kali. Berdasarkan pengamatan tersebut, diketahui bahwa bentuk semua senyawa sama, yaitu nanopartikel dengan ukuran yang berkisar antara 45 – 126 nm. Masing-masing senyawa memiliki kecenderungan ukuran yang berbeda. Senyawa yang disintesis dengan pelarut paling polar memiliki ukuran yang besar sedangkan senyawa yang disintesis menggunakan pelarut kurang polar memiliki ukuran terkecil. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tingkat kepolaran pelarut yang digunakan untuk sintesis mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan. Kepolaran tersebut berpengaruh terhadap laju nukleasi dan pertumbuhan kristal. Semakin polar suatu pelarut, maka laju nukleasi dan pertumbuhan kristal semakin cepat akibat laju ionisasi dan deposisi semakin cepat sehingga ukuran partikel semakin besar (Ungula dan Dejene, 2015). Akan tetapi, jika pelarut semakin tidak polar, maka laju nukleasi dan pertumbuhan kristal semakin lambat sehingga ukuran partikel semakin kecil.

Tabel 5 Ukuran partikel ZnO:Zr

	Ukuran partikel (nm)
ZH	92 - 126
ZM	79 - 100
ZE	53 - 111
ZP	45 - 68

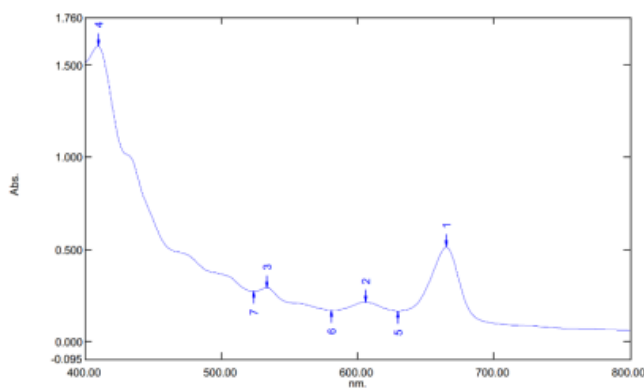
Urutan kepolaran pelarut yang digunakan dalam penelitian ini dari pelarut paling polar adalah H₂O metanol-etanol-isopropanol. Oleh karena itu, partikel yang disintesis menggunakan pelarut H₂O memiliki ukuran terbesar, sedangkan partikel yang disintesis menggunakan pelarut isopropanol memiliki ukuran terkecil. Kisaran ukuran masing-masing partikel disajikan pada Tabel IV.3, sedangkan morfologi partikel tersebut ditunjukkan pada Gambar IV.3. Akan tetapi, kecenderungan ukuran partikel berdasarkan citra SEM tersebut tidak dapat dihubungkan dengan ukuran kristal berdasarkan analisis dengan XRD karena keduanya merupakan hal berbeda yang hingga saat ini belum dapat dikorelasikan (Murtaza et al., 2014).



Gambar 3 Citra SEM ZnO:Zr

Ekstraksi Daun Kelor

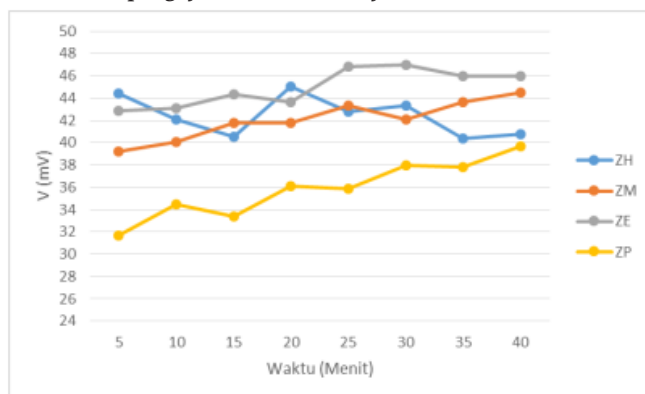
Zat warna DSSC yang digunakan dalam penelitian berasal dari daun kelor. Zat warna yang diharapkan dari ekstraksi daun kelor tersebut adalah antosianin. Berdasarkan hasil analisis dengan spektroskopi UV-Vis (Gambar IV.4), diketahui terdapat serapan pada 533 nm yang merupakan panjang gelombang maksimum untuk antosianin. Akan tetapi, terdapat pula serapan pada panjang gelombang lain dan serapan tertinggi justru terjadi pada 409,5 nm yang menunjukkan bahwa senyawa yang terekstrak bukan hanya antosianin, namun juga terdapat senyawa-senyawa lain yang larut dalam aseton dalam jumlah banyak. Ketika hasil ekstraksi digunakan sebagai zat warna DSSC, senyawa-senyawa selain antosianin yang ikut terekstrak dapat memengaruhi kinerja DSSC. Jika senyawa selain antosianin sesuai dengan karakteristik semikonduktor yang digunakan, maka kinerja DSSC akan semakin baik, begitu pula sebaliknya.



Gambar 4. Pola serapan hasil ekstraksi daun kelor

Perangkaian Dye Sensitized Solar Cell

ZnO:Zr yang telah disintesis dalam penelitian ini digunakan sebagai elektroda dalam DSSC menggunakan ekstrak daun kelor sebagai zat warna. Pengujian kinerja DSSC dilakukan dengan mengukur tegangannya pada rangkaian terbuka dalam waktu 40 menit. Data pengujian tersebut ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu dan tegangan DSSC

Berdasarkan data yang diperoleh, tegangan DSSC baik yang menggunakan ZH, ZM, ZE maupun ZP tergolong kecil jika dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan ZnO maupun ZnO:Zr pada penelitian sebelumnya. Hal tersebut diduga disebabkan oleh kandungan hasil ekstraksi daun kelor yang mengandung senyawa-senyawa selain antosianin yang tidak sesuai dengan karakteristik ZnO:Zr dalam sistem DSSC. Meski senyawa selain antosianin yang terekstrak juga menyerap radiasi sinar tampak, namun tingkat energinya tidak sesuai dengan tingkat energi semikonduktor ZnO:Zr yang digunakan sebagai elektrode sehingga proses transfer elektron dalam sistem DSSC tidak berjalan secara maksimal dan energi listrik yang dihasilkan cukup rendah.

Urutan nilai tegangan rata-rata DSSC dari yang tertinggi adalah DSSC yang menggunakan ZE, ZH, ZM dan ZP. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh nilai E_g dan ukuran masing-masing partikel berdasarkan citra SEM. Nilai tinggi tegangan DSSC yang menggunakan ZE dapat disebabkan karena nilai E_g -nya merupakan yang paling kecil dan ukuran partikelnya juga tergolong kecil sehingga proses transfer elektron dalam sistem DSSC lebih mudah terjadi. Jika ditinjau dari nilai E_g dan ukuran partikel, maka nilai tegangan DSSC yang menggunakan ZM seharusnya lebih tinggi dari ZH. Akan tetapi, dalam penelitian ini justru terjadi hal sebaliknya. Meski demikian, nilai tegangan DSSC yang menggunakan ZM lebih stabil dibandingkan dengan ZH. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ukuran ZH yang terlalu besar dan bentuk partikelnya yang kurang homogen. DSSC yang menggunakan ZP menghasilkan tegangan yang paling rendah meski ukuran partikelnya paling kecil. Hal tersebut disebabkan karena partikel ZP kurang stabil dan cenderung mengalami aglomerasi akibat penggunaan pelarut yang kurang polar (Ungula dan Dejene, 2015) dan nilai E_g ZP yang lebih tinggi dari E_g ZM dan ZE.

Kesimpulan

Struktur kristal ZnO:Zr yang disintesis menggunakan pelarut berbeda (H₂O, metanol, etanol dan isopropanol) melalui metode sol-gel tidak jauh berbeda yang dibuktikan dengan perolehan nilai parameter kisi kristal yang cenderung sama. Energi celah pitanya (E_g) secara kualitatif mengalami penurunan seiring penggunaan pelarut yang semakin kurang polar meski pada penggunaan pelarut paling kurang polar (isopropanol) mengalami kenaikan. Perbedaan nilai E_g tersebut diduga tidak dipengaruhi oleh perbedaan pelarut secara langsung, tapi karena pengaruh pelarut terhadap keberhasilan doping Zr pada ZnO yang dilakukan. Berdasarkan citra SEM, diketahui bahwa semua partikel yang diperoleh berbentuk nanopartikel yang ukurannya secara kualitatif cenderung semakin kecil seiring penggunaan pelarut yang semakin kurang polar. Hal tersebut terjadi karena semakin kurang polar pelarut yang digunakan, maka laju nukleasi dan pertumbuhan kristal semakin lambat. Urutan kinerja DSSC dari yang terbaik berdasarkan nilai tegangan rata-ratanya adalah DSSC yang menggunakan ZE, ZH, ZM dan ZP. Perbedaan nilai tegangan tersebut dapat dipengaruhi oleh nilai E_g masing-masing partikel, ukuran ruang partikel dan ketabilannya.

Daftar Pustaka

- Ali, A., Ambreen, S., Javed, R., Tabassum, S., ul Haq, I., Zia, M., 2017. ZnO Nanostructure Fabrication in Different Solvents Transforms Physio-Chemical, Biological and Photodegradable Properties. *Mater. Sci. Eng. C* 74, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.01.004>
- Apostolopoulou, A., Karageorgopoulos, D., Rapsomanikis, A., Stathatos, E., 2015. DyeSensitized Solar Cells with Zinc Oxide Nanostructured Films Made with Amine Oligomers as Organic Templates and Gel Electrolytes. *J. Clean Energy Technol.* 4, 311–315. <https://doi.org/10.18178/JOCET.2016.4.5.303>
- Boudjouan, F., Chelouche, A., Touam, T., Djouadi, D., Ouerdane, Y., 2016. Influence of Pb Doping on The Structural, Morphological and Optical Properties of Sol-gel ZnO Films. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 41, 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.10.007>
- Boukaous, C., Telia, A., Horwat, D., Ghanem, S., Miska, P., 2014. Effect of Solvents on the Properties of ZnO Thin Layers Obtained by Sol Gel Dip Coating Process. *J. New Technol. Mater.* 4, 94–98.
- Cavallo, C., Di Pascasio, F., Latini, A., Bonomo, M., Dini, D., 2017. Nanostructured Semiconductor Materials for Dye-Sensitized Solar Cells. *J. Nanomater.* 2017, e5323164. <https://doi.org/10.1155/2017/5323164>
- Chergui, Y., Nehaoua, N., Mekki, D.E., 2011. Comparative Study of Dye-Sensitized Solar Cell Based on ZnO and TiO₂ Nanostructures. *Sol. Cells - Dye-Sensitized Devices.* <https://doi.org/10.5772/21452>
- Cherifi, Y., Chaouchi, A., Lorgoilloux, Y., Rguitu, M., Kadri, A., Courtois, C., 2016. Electrical, Dielectric and Photocatalytic Properties of Fedoped ZnO Nanomaterials Synthesized by Sol Gel Method. *Process. Appl. Ceram.* 10, 125–135.
- Coleman, V., Jagadish, C., 2006. Basic Properties and Applications of ZnO. Elsevier Zinc Oxide Bulk Thin Films Nanostructures. Enderlein, R., Horing, N.J., 1997. *Fundamentals of Semiconductor Physics and Devices.* World Scientific Publishing, Singapore.
- Foo, K., Kashif, M., Hashim, U., Liu, W.-W., 2014. Effect of Different Solvents on the Structural and Optical Properties of Zinc Oxide Thin Films for Optoelectronic Applications. *Ceram. Int.* 40, 753–761. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.06.065>
- Ghobadi, N., 2013. Band gap determination using absorption spectrum fitting procedure. *Int. Nano Lett.* 3, 2.
- Hu, Q.R., Wang, S.L., Jiang, P., Xu, H., Zhang, Y., Tang, W.H., 2010. Synthesis of ZnO nanostructures in organic solvents and their photoluminescence properties. *J. Alloys Compd.* 496, 494–499. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.02.086>
- Kalyanasundaram, Kuppaswamy, 2010. *Dye-Sensitized Solar Cells.* EPFL press, Switzerland. Kalyanasundaram, K, 2010.

- Photochemical and Photoelectrochemical Approaches to Energy Conversion, in: Dye-Sensitized Solar Cell. EPFL Press, Switzerland.
- Khoza, P.B., Moloto, M.J., Sikhwivhilu, L.M., 2012. The Effect of Solvents, Acetone, Water, and Ethanol, on the Morphological and Optical Properties of ZnO Nanoparticles Prepared by Microwave. *J. Nanotechnol.* 2012, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2012/195106>
- Marimuthu, T., Anandhan, N., Thangmuthu, R., Surya, S., 2016. Facile Growth of ZnO Nanowire Arrays and Nanoneedle Arrays with Flower Structure on ZnO-TiO₂ Seed Layer for DSSC Applications.
- Moezzi, A., McDonagh, A.M., Cortie, M.B., 2012. Zinc Oxide Particles: Synthesis, Properties and Applications. *Chem. Eng. J.* 185–186, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.076>
- Munekawa, S., 1998. Application of X-Ray Diffraction Techniques to the Semiconductor Field. *Rigaku J.* 5, 31–34.
- Murtaza, G., Ahmad, R., Rashid, M.S., Hassan, M., Hussnain, A., Khan, M.A., Ehsan ul Haq, M., Shafique, M.A., Riaz, S., 2014. Structural and Magnetic Studies on Zr Doped ZnO Diluted Magnetic Semiconductor. *Curr. Appl. Phys.* 14, 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2013.11.002>
- Narayan, M.R., 2011. Review: Dye sensitized Solar Cells Based on Natural Photosensitizers. *Renew.Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.148>
- Nielsen, R.H., Wilfing, G., 2012. Zirconium and Zirconium Compounds. *Ullmanns Encyclopaedia Ind. Chem.* 39, 754–778. https://doi.org/10.1002/14356007.a28_543.pub2
- Nugroho, D., Akwalia, P., Rahman, T., Nofrizal, Ikono, R., Widayanto, W., Sukarto, A., Siswanto, Rochman, N., 2012. Pengaruh Variasi pH pada Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode SolGel, in: *Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Bahan. BATAN, Serpong.*
- Reddy, P.J., 2012. *Solar Power Generation: Technology, New Concepts & Policy.* Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Saleh, S.M., Soliman, A.M., Sharaf, M.A., Kale, V., Gadgil, B., 2017. Influence of Solvent in The Synthesis of Nanostructured ZnO by Hydrothermal Method and Their Application in Solar-still. *J. Environ. Chem. Eng.* 5, 1219–1226. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.02.004>
- Saragi, T., Purba, Y., Auffa, S.D., Oktaviani, M., Susilawati, T., Bahtiar, A., 2016. Karakteristik Nanopartikel ZnO: Studi Efek Pelarut pada Proses Hidrotermal. *J. Mater. Dan Energi Indones.* 6, 31–35.
- Saurdi, I., Mamat, M., Malek, M., Rusop, M., 2014. Preparation of Aligned ZnO Nanorod Arrays on Sn-Doped ZnO Thin Films by Sonicated Sol-Gel Immersion Fabricated for Dye-Sensitized Solar Cell. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/636725>
- Sharma, D., Jha, R., 2017. Analysis of Structural, Optical and Magnetic Properties of Fe/Co codoped ZnO Nanocrystals. *Ceram. Int.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.03.201>
- Slamet, D., 2016. Sintesis Nanopartikel ZnO Doping Zirkonium Oksiklorida Produksi PSTA Batan Yogyakarta sebagai Semikonduktor Photo Anoda untuk Sel Surya Tersensitisasi Zat Warna (DSSC) (skripsi). UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Sugiyarto, K.H., Suyanti, R.D., 2010. *Kimia Anorganik Logam. Graha Ilmu, Yogyakarta.*
- Swanson, H.E., Fuyat, R.K., 1953. *Standard X-ray Diffraction Powder Patterns.* National Bureau of Standard.
- Talam, S., Karumuri, S.R., Gunnam, N., 2012. Synthesis, Characterization, and Spectroscopic Properties of ZnO Nanoparticles. *Int. Sch. Res. Netw. Nanotechnol.* <https://doi.org/10.5402/2012/372505>
- Thirumoorthi, M., Prakash, J.T.J., 2016. Structure, Optical and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Ultra Thin Films Prepared by Jet Nebulizer Spray Pyrolysis Technique. *J. Asian Ceram. Soc.* 4, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.jascr.2016.01.001>
- Tsay, C.-Y., Fan, K.-S., 2008. Optimization of Zr-Doped ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Method. *Mater. Trans.* 49. <https://doi.org/10.2320/matertrans.MER2008111>
- Tsay, C.-Y., Lee, W.-C., 2013. Effect of Dopants on The Structural, Optical and Electrical Properties of Sol-gel Derived ZnO Semiconductor Thin Films. *Curr. Appl. Phys.* 13, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2012.06.010>
- Ungula, J., Dejene, B., 2015. Effect of Solvent Medium on the Structural, Morphological and Optical Properties of ZnO Nanoparticles Synthesized by Sol-Gel Method. *Phys. B Phys. Condens. Matter.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2015.10.007>
- William, A.V.L., Cesar, A.Q.S., Johann, A.H.S., 2011. The Chemistry and Physics of Dye-Sensitized Solar Cells, in: *Solar Cells – Dye-Sensitized Devices.* IntechOpen, pp. 399–418.
- Yuwono, A.H., 2015. Fabrikasi Nanorod Seng Oksida (Zno) Menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Konsentrasi Polyethylene Glycol dan Waktu Tunda Evaporasi Amonia. *Metalurgi* 26, 101–108. <https://doi.org/10.14203/mtl.v26i2.14>