

Sintesis Mg^{2+} Doped ZnO dengan Penambahan Albumen Ayam Ras Menggunakan Gabungan Metode Sol-Gel dan Sonokimia

Sherly Kasuma Warda Ningsih^{1*}, Umar Kalmar Nizar¹, Bahrizal¹, Edi Nasra¹, Siti Fatimah M. R.¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Sumatera Barat, Indonesia

Corresponding author:

Sherly Kasuma Warda Ningsih
sherly14@fmipa.unp.ac.id

Received: February 2021

Accepted: March 2021

Published: March 2021

©Sherly Kasuma Warda Ningsih et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

Mg^{2+} doped ZnO has been successfully synthesized using a combination of sol-gel and sonochemical methods. Zinc acetate dihydrate was used as a precursor, magnesium chloride hexahydrate as a source of Mg dopant, methanol as a solvent, and chicken albumen was used as an additive to replace monoethanolamine. The sol was heated at 110 °C for 1 hour. The gel formed was calcined at 600 °C for 3 hours. FTIR analysis shows that the absorbance band around 400-450 cm^{-1} indicates Mg-O stretching, the absorbance band around 500-550 cm^{-1} indicates Zn-O stretching, the absorbance band around 400-550 cm^{-1} shows Zn-O-Mg bonds. Mg. Measurements with UV-DRS, obtained the smallest ZnO band gap value doped Mg^{2+} around 2.7 eV with the addition of 10 mL albumen. The resulting crystal structure was wurtzite with crystal size with the addition of 10, 20, 30, 40 and 50 mL albumen were 25.22-55.91 nm, 32.99-75.87 nm, 45.92-83.91 nm, 45.92-75.89 nm and 46.15-71.47 nm respectively. SEM photo of Mg^{2+} doped ZnO with the addition of 10 mL of albumen has a hexagonal surface morphology.

Keywords: Mg^{2+} doped ZnO, albumen, sol-gel-sonochemical, wurtzite, hexagonal

Pendahuluan

Saat ini nanopartikel telah menjadi pusat perhatian karena keunggulan sifat fisiknya^[1]. Partikel nano adalah bagian dari nanoteknologi telah berkembang pesat sejak awal tahun 2000^[2]. Nanopartikel merupakan partikel berukuran antara 1-100 nanometer^[3]. Zink Oksida adalah nanopartikel yang banyak digunakan^[4].

Zink oksida adalah salah satu bahan semikonduktor paduan golongan II-VI dengan *band gap* 3.3 eV^[5]. Material ini merupakan semikonduktor yang memiliki struktur elektronik dan sifat optik yang baik dengan nilai *exciton binding energy* sekitar 60 MeV^[6]. ZnO termasuk dalam semikonduktor tipe-n^[7].

Sebagai salah satu bahan semikonduktor terbaik, material ini dapat diaplikasikan dalam beberapa perangkat optoelektronik seperti sel surya, operator data, LED, teknologi laser^[5], katalis^[6]. ZnO merupakan salah satu bahan yang digunakan untuk perangkat *spintronics*, dikarenakan memiliki stabilitas mekanik dan termal yang tinggi, sehingga sesuai dalam pengaplikasian *Spintronics*^[8].

ZnO memiliki kelebihan yakni memiliki aktivitas katalitik yang tinggi, proses sintesis yang sederhana, mempunyai kestabilan yang tinggi^[9] dan fotosensitivitas tinggi, tidak bersifat toksik sehingga aman bagi lingkungan. ZnO memiliki kekurangan yakni ukuran partikel yang relatif besar dan energi celah pita yang

kurang sesuai apabila diaplikasikan pada sinar tampak^[10]. Proses doping dilakukan untuk mengoptimalkan sifat ZnO agar dapat diaplikasikan pada sinar tampak^[11].

Doping merupakan salah satu teknik dengan penambahan sejumlah kecil atom pengotor kedalam struktur kristal semikonduktor^[12]. Doping ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas material ZnO karena cacat ekstrinsik saja namun juga meningkatkan stabilitas termal. Salah satu dopan yang dapat digunakan adalah magnesium (Mg). Mg dipilih sebagai dopan karena beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan adanya peningkatan band gap dari ZnO yang telah ditambahkan konsentrasi yang berbeda dari Mg^[6]. Penambahan Mg sebagai dopan menyebabkan adanya perubahan yang signifikan dalam ukuran dan bentuk dari kristal nano yang dihasilkan. Selain itu penambahan Mg pada ZnO, celah pita energi dapat diperbesar sehingga dapat diaplikasikan pada perangkat optoelektronik dan nano-elektronik terbaru^[10].

Shanmugan telah melakukan sintesis ZnO yang didoping dengan Mg dengan memvariasikan konsentrasi Mg menggunakan metode Copresipitasi dan diaplikasikan sebagai pengisi dalam epoxy untuk kinerja LED^[13]. Vijayalakshmi dkk telah melakukan penelitian tentang pengaruh doping Mg pada ZnO yang disintesis dengan metode *Microwave*^[10]. Hasil analisis XRD menunjukkan adanya fase wurtzite heksagonal ZnO semakin meningkat, hal ini menunjukkan bahwa ion magnesium telah memodifikasi kristal ZnO^[10].

Lu dkk melakukan sintesis nanopartikel zink oksida yang didoping dengan Mg untuk aplikasi fotokatalitik menggunakan zink asetat sebagai prekursor^[14]. Magnesium asetat sebagai sumber logam dopan dan etilen glikol sebagai pelarut, didapatkan ukuran partikel rata-ratanya 186 ± 19 nm dan 192 ± 19 nm, memiliki bentuk topografi bulat dengan ukuran yang hampir sama.

Untuk mendapatkan material yang bagus perlu ditambahkan zat aditif. Zat ini berperan dalam

mempengaruhi sifat suatu nanomaterial, yang dapat menghasilkan suatu material dengan kehomogenan yang tinggi. Zat aditif juga bersifat sebagai penstabil. Dengan adanya penambahan zat aditif ini dapat menyebabkan material memiliki luas permukaan per volume yang besar^[15]. Salah satu zat aditif yang biasa digunakan adalah *Monoethanolamine* (MEA). Tetapi MEA memiliki kekurangan seperti memiliki harga yang kurang ekonomis serta dalam penggunaannya dapat berdampak pada lingkungan.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka di butuhkan sebuah zat alternatif yang dapat menggantikan peran MEA dalam mensintesis suatu nanomaterial. Albumen telur ayam dapat digunakan sebagai pengganti MEA karena memiliki pH basa sekitar 7.6 sampai 8.5. Fungsi albumen (putih telur) sebagai agen pembentuk gel dan pengemulsi yang berperan dalam menjaga kestabilan dan mencegah aglomerasi^[16]. Albumen dapat mengontrol ukuran partikel yang dihasilkan, sehingga dapat digunakan dalam sintesis nanopartikel menggunakan metode sol-gel^[17]. Keuntungan dari penggunaan albumen ini adalah memiliki harga yang relatif murah dan juga aman bagi lingkungan.

Pada penelitian ini Mg²⁺ doped ZnO disintesis menggunakan gabungan metode sol-gel dan sonokimia dengan penambahan albumen ayam ras. Pemilihan metode sol-gel ini karena memiliki biaya yang ekonomis dan ramah lingkungan. Sonokimia adalah suatu metode sintesis material dengan menggunakan energi suara sehingga terjadi perubahan fisika dan kimia dalam media cair^[18]. Metode sonokimia digunakan karena menghasilkan material dengan ukuran yang lebih kecil dan luas permukaan per volume yang tinggi^[14].

Metode Penelitian

Bahan kimia

Bahan kimia yang digunakan pada sintesis Mg²⁺ doped ZnO adalah zink asetat dihidrat ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) (Merck), magnesium

klorida heksahidrat ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Merck), metanol (pa), albumen ayam ras.

Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini Fourier Transform Infra-Red (FTIR) Perkin Elmer Frontier Optica, UV Visible Diffuse Reflectance Spectrophotometer (UVDRS) Analytik Jena, X-Ray Diffraction (XRD) *X-Per^{t3} Pro material PAnalytical* dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Hitachi (Hitachi FlexSEM 100).

Prosedur penelitian

Sintesis nanopartikel Mg^{2+} doped ZnO dengan gabungan metode sol-gel dan sonokimia

Zink asetat dihidrat (0.15 M) sebanyak 2.304 g dilarutkan dengan pelarut metanol sebanyak 70 mL di dalam gelas kimia, kemudian ditutup menggunakan aluminium foil dan diaduk selama 40 menit. Selanjutnya ditambahkan magnesium klorida 5% sambil diaduk menggunakan *stirrer* selama 40 menit. Setelah itu ditambahkan albumen ayam ras dengan variasi 10, 20, 30, 40 dan 50 mL dan pengadukan dilanjutkan selama 60 menit. Proses sonokimia dilakukan pada larutan yang telah homogen ditempatkan dalam gelas kimia untuk dilakukan proses sonokimia selama 30 menit pada 50 watt. Selajutkan sampel didiamkan selama 2 malam agar membentuk sol yang stabil (proses ageing). Sol yang terbentuk dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C selama 1 jam. Gel hasil sintesis dikalsinasi dengan *furnace* pada suhu 600 °C selama 3 jam.

Karakterisasi Mg^{2+} doped ZnO

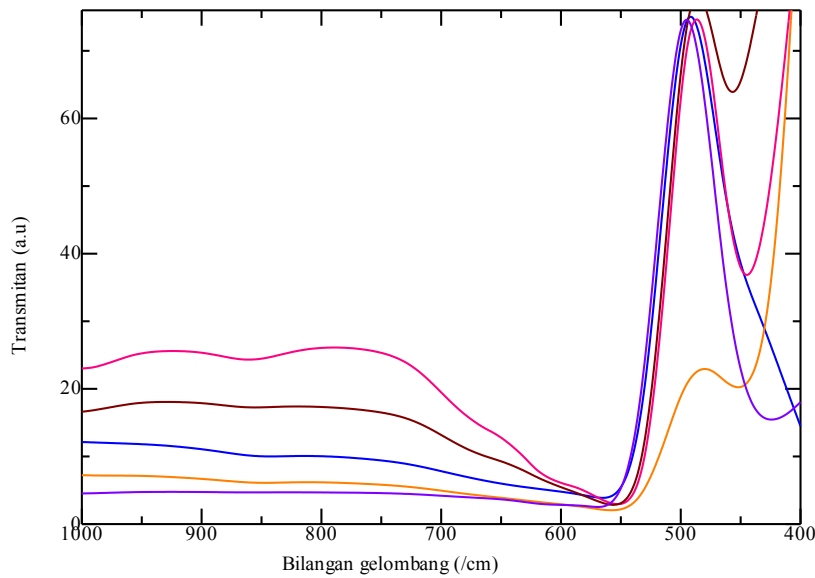
Mg^{2+} doped ZnO dianalisis menggunakan FTIR, UV-DRS, XRD dan SEM. Analisis FTIR bertujuan untuk menentukan gugus fungsi dari sampel yang dianalisis. UV-DRS digunakan untuk penentuan nilai *band gap*. Band gap dihitung dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk. XRD bertujuan untuk menentukan struktur kristal Mg^{2+} doped ZnO. SEM digunakan untuk menentukan morfologi permukaan sampel.

Hasil dan Diskusi

Mg^{2+} doped ZnO disintesis menggunakan gabungan metode sol-gel dan sonokimia. Aditif yang digunakan adalah albumen ayam ras dengan variasi penambahan (10, 20, 30, 40 dan 50 mL). Penambahan variasi albumen ini bertujuan untuk menentukan pengaruh penambahan albumen terhadap ukuran partikel dan bad gap Mg^{2+} doped ZnO yang dihasilkan. Prekursor yang digunakan adalah $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dalam 70 mL metanol dengan penambahan dopan $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Proses pembuatan Mg^{2+} doped ZnO dilanjutkan dengan pengeringan sol menggunakan oven pada suhu 110°C selama 1 jam. Pengeringan sol dilakukan ini bertujuan untuk menguapkan pelarut metanol yang digunakan. Sol yang telah terbentuk tadi selanjutnya dikalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 600 °C selama 3 jam.

Spektra FTIR Mg^{2+} doped ZnO dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat adanya serapan pada bilangan gelombang 800-400 cm^{-1} . Pita absorbansi sekitar 400-450 cm^{-1} menunjukkan adanya *stretching* Mg-O. Pita absorbansi sekitar 500-550 cm^{-1} menunjukkan adanya *stretching* Zn-O. Pita absorbansi sekitar 400-550 cm^{-1} menunjukkan ikatan Zn-O-Mg. Sedangkan Mageshwari dkk menadapatkan ikatan Mg-O pada daerah 437 cm^{-1} [19]. Xiong dkk mendapatkan ikatan Mg-O pada daerah 418 cm^{-1} dan ikatan Zn-O pada daerah 443 cm^{-1} [20].

Analisis nilai *band gap* semikonduktor Mg^{2+} doped ZnO dihitung dengan persamaan Kubelka-Munk. Pengujian menggunakan instrumen UV-DRS ini dilakukan pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Berdasarkan nilai *band gap* yang diperoleh dapat dilihat bahwa masing-masing sampel memiliki *band gap* lebih kecil dari material[21]. Penurunan band gap ini disebabkan karena adanya interaksi pita elektron dengan delokalisasi elektron dari ion transisi sehingga terjadinya substitusi ion logam. Grafik nilai band gap ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Spektra FTIR Mg^{2+} doped ZnO dengan penambahan albumen ayam ras 10 mL (blue line), 20 mL (orange line), 30 mL (pink line), 40 mL (brown line) dan 50 mL (violet line).

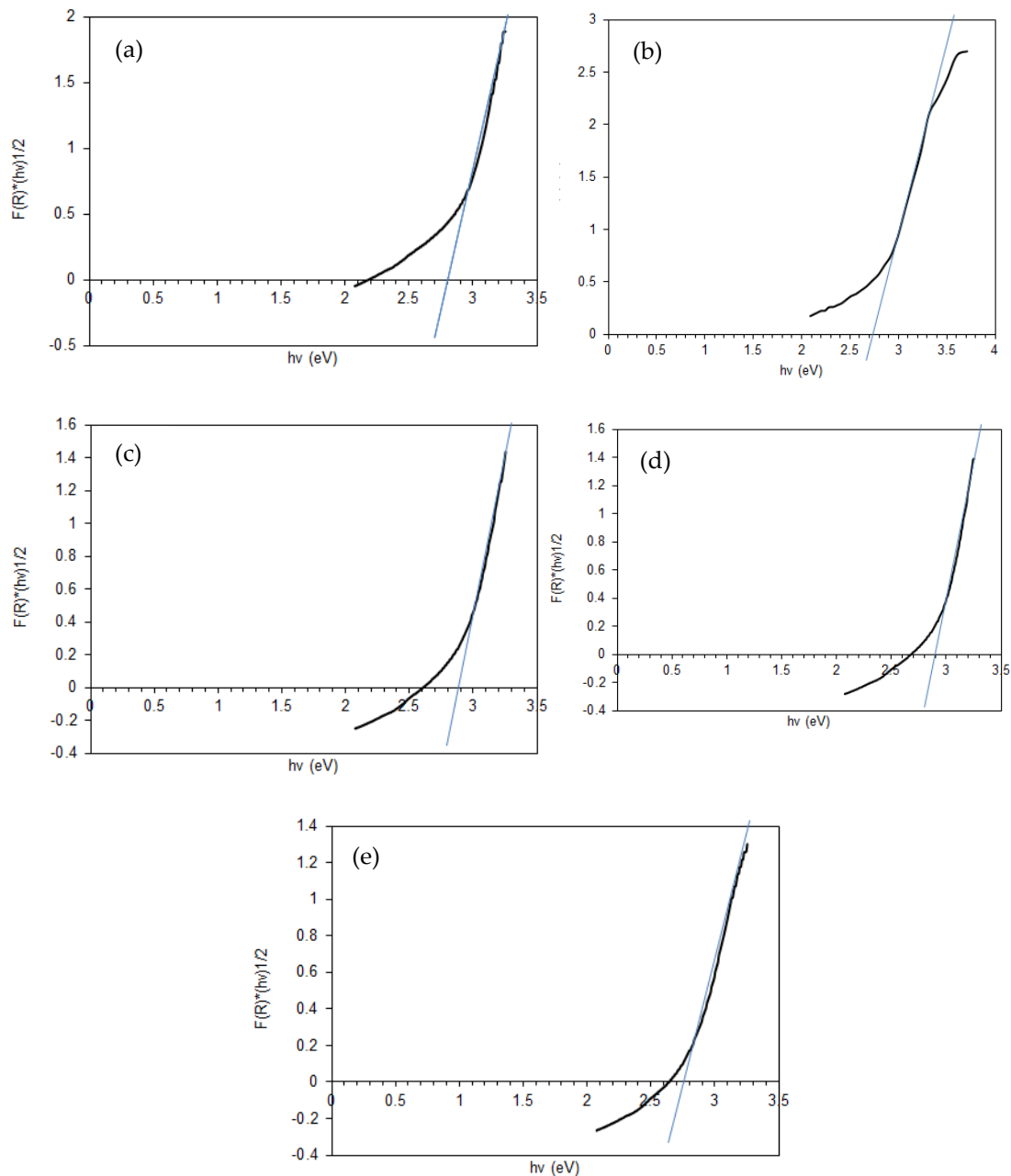
Berdasarkan grafik nilai band gap pada Gambar 2 terlihat adanya penurunan nilai *bandgap* setelah dilakukan pendopingan menggunakan Mg dan sesudah penambahan variasi albumen ayam ras. Pada Tabel 1 dapat dilihat nilai *band gap* semikonduktor yang telah dihitung menggunakan persamaan Kubelka-Munk.

Nilai *band gap* ZnO turun hingga 2.70 eV jika dibandingkan dengan band gap ZnO murni. Nilai *band gap* terkecil didapatkan dengan penambahan 10 mL albumen ayam ras. Sedangkan pada penelitian Ningsih, dkk mendapatkan nilai band gap ZnO *undoped*

sebesar 3.1 eV^[22]. Proses doping Mg pada ZnO dapat menurunkan nilai band gap dari ZnO. Selain itu penambahan albumen juga dapat menurunkan nilai band gap Mg^{2+} doped ZnO. Albumen putih telur ayam ras sebagian besar terdiri dari karbon, hidrogen dan sejumlah kecil sulfur dan fosfor. Pada proses kalsinasi terjadi penurunan tekanan lokal oksigen dan jumlah oksigen yang lebih besar sehingga terbentuk cacat tipe kekosongan. Pengotor ini akan menyebabkan status energi baru yang berakibat pada energi celah pita Mg^{2+} doped ZnO menjadi berubah^[23].

Tabel 1. Nilai band gap semikonduktor menggunakan persamaan Kubelka-Munk

Sampel	Nilai <i>band gap</i> (eV)
Penambahan 10 mL albumen ayam ras	2.70
Penambahan 20 mL albumen ayam ras	2.89
Penambahan 30 mL albumen ayam ras	2.81
Penambahan 40 mL albumen ayam ras	2.90
Penambahan 50 mL albumen ayam ras	2.75



Gambar 2. Grafik nilai band gap Mg^{2+} doped ZnO dengan variasi penambahan albumen ayam ras (a) 10 mL, (b) 20 mL, (c) 30 mL, (d) 40 mL dan (e) 50 mL.

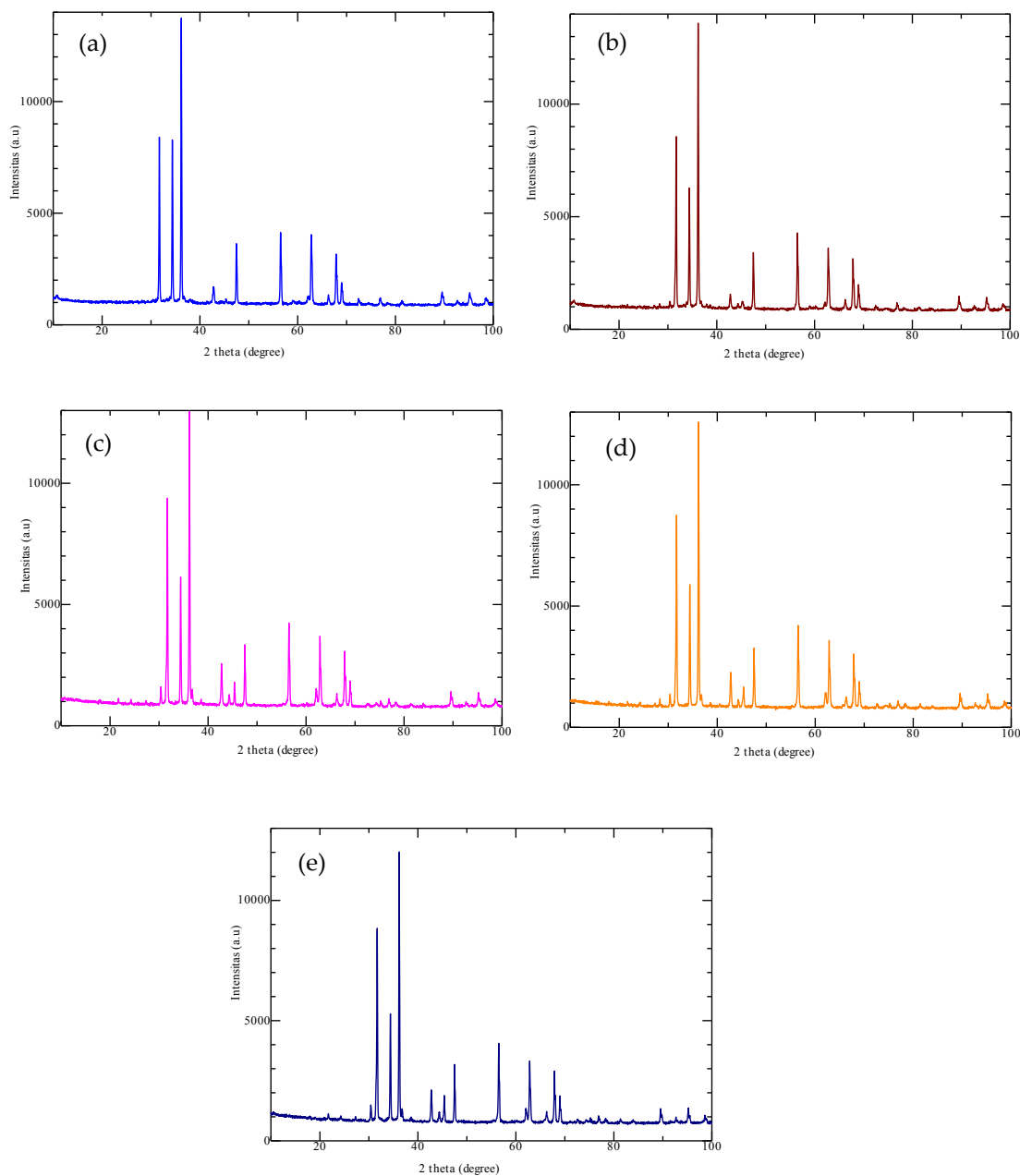
Analisis XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dan ukuran kristal Mg^{2+} doped ZnO dengan variasi penambahan aditif albumen ayam ras. Pola difraksi Nanopartikel Mg^{2+} doped ZnO dengan variasi penambahan albumen ayam ras dapat dilihat pada Gambar 3.

Difraktogram nanopartikel Mg^{2+} doped ZnO dengan variasi penambahan albumen ayam ras

sebanyak 10 mL, 20 mL, 30 mL, 40 mL, dan 50 mL dapat dilihat pada Gambar 3. Puncak-puncak yang dihasilkan menunjukkan struktur kristal *hexagonal wurtzite* sesuai dengan data ICSD-ICDD (*Inorganic Structure Database-International Center for Diffraction Data*) No. 01-079-0207. Pola difraksi nanopartikel Mg^{2+} doped ZnO dengan penambahan 10 mL albumen terdeteksi pada $2\theta = 31.70; 34.36; 36.18; 47.45;$

59.16 dan 62.75. Distribusi ukuran kristal berada pada rentang 25.22-55.91 nm. Penambahan 20 mL albumen ayam ras dengan nilai $2\theta = 31.69$; 34.36; 36.17; 42.77; 56.49 dan 67.85. Distribusi ukuran kristal berada pada rentang 32.99-75.87 nm. Pola difraksi dengan penambahan 30 mL albumen ayam ras dengan nilai $2\theta = 31.69$; 34.40; 36.18; 36.77; 47.49 dan 67.88. Distribusi ukuran

kristal berada pada rentang 45.92-83.91 nm. Penambahan 40 mL albumen ayam ras dengan memiliki $2\theta = 31.69$; 34.40; 36.18; 56.50; 62.83 dan 67.87 dengan ukuran kristal pada rentang 45.92-75.89 nm. Ukuran Kristal dengan penambahan 50 mL albumen ayam ras dengan nilai $2\theta = 31.69$; 34.38; 36.17; 47.48; 56.49 dan 67.87 adalah pada rentang 46.15-71.47 nm.



Gambar 3. Difraktogram Mg^{2+} doped ZnO dengan variasi penambahan albumen ayam ras (a) 10 mL, (b) 20 mL, (c) 30 mL, (d) 40 mL dan (e) 50 mL.

Semua sampel menunjukkan tipikal puncak XRD yang hampir sama yaitu memiliki struktur *hexagonal wurtzite* yang di doping dengan penambahan variasi albumen ayam ras sebagai aditif. Pola XRD dari sampel menunjukkan tidak adanya puncak yang menandakan perubahan struktur *hexagonal wurtzite* dengan penambahan ion Mg dan variasi volume aditif. Sriram, *et al* melaporkan bahwa penambahan dopan dapat meningkatkan kristalinitas sekaligus porositas struktur sehingga mikrostruktur meningkat^[24]. Ukuran kristal diketahui dengan menganalisis puncak-puncak yang dihasilkan dari pola XRD dari sampel menggunakan persamaan Scherrer.

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

Keterangan:

D = ukuran kristal,

k = konstanta Scherrer (0,89),

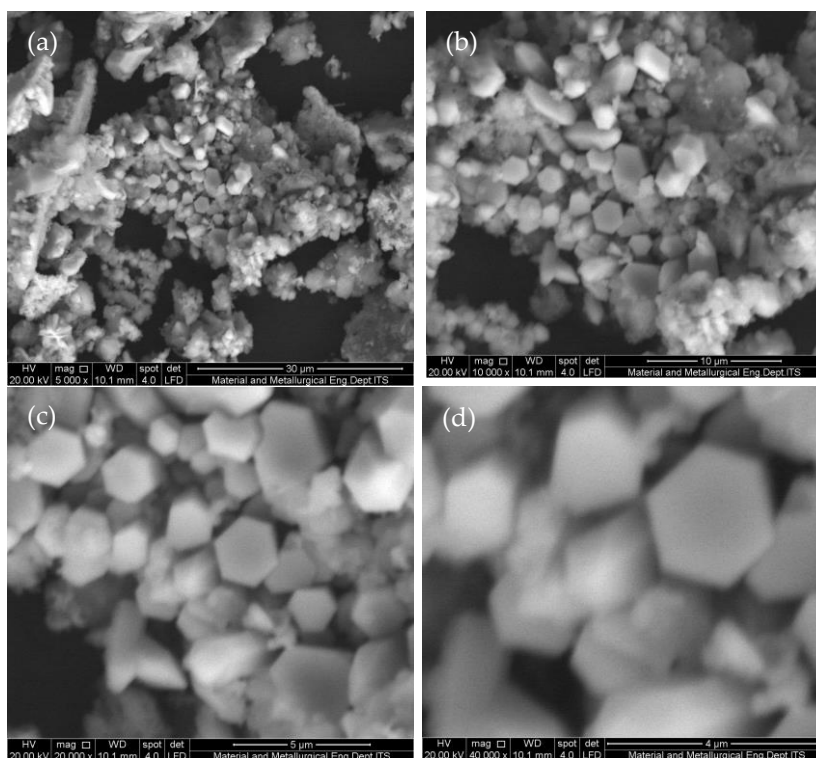
λ = panjang gelombang sinar X,

β = nilai FWHM masing-masing puncak,

θ = sudut difraksi.

Dengan menggunakan persamaan Scherrer diatas, terlihat bahwa penambahan aditif albumen ayam ras mampu mengontrol ukuran partikel dari sampel Mg^{2+} doped ZnO yang menghasilkan ukuran sampel rata-rata hampir sama. Selain itu albumen ayam ras memiliki kemampuan untuk berasosiasi dengan ion logam dalam larutan, albumen berfungsi sebagai gel pengikat untuk membentuk suatu nanopartikel^[25].

Analisis permukaan Mg^{2+} doped ZnO dengan penambahan albumen 10 mL dilakukan menggunakan SEM dengan perbesaran 5000X; 10,000X; 20,000X; dan 40,000X dapat dilihat pada Gambar 4. SEM merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan morfologi permukaan dari suatu material. Morfologi permukaan sampel dengan penambahan albumen ayam ras 10 mL memiliki bentuk *hexagonal* dengan diameter 2.1-2.8 μm .



Gambar 6. Foto SEM Nanopartikel Mg^{2+} doped ZnO dengan penambahan albumen 10 mL dengan perbesaran (a) 5000X, (b) 10,000X, (c) 20,000X dan (d) 40,000X.

Kesimpulan

Mg²⁺ doped ZnO telah sukses disintesis menggunakan gabungan metode sol-gel dan sonokimia. Pola XRD yang dihasilkan yakni struktur wurtzite dengan ukuran kristal 25.22 – 83.91 nm. Nilai band gap yang didapatkan yakni 2.7 eV; 2.89 eV; 2.81 eV; 2.90 eV dan 2.75 eV pada penambahan albumen 10 mL, 20 mL, 30 mL, 40 mL dan 50 mL berturut-turut. Analisis FTIR menunjukkan adanya stretching Zn-O pada pita absorbansi sekitar 500-550 cm⁻¹, pita absorbansi sekitar 400-550 cm⁻¹ menunjukkan ikatan Zn-O-Mg. Foto SEM Mg²⁺ doped ZnO yang dihasilkan adalah heksagonal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan finansial melalui desentralisasi penelitian, Penelitian Strategis Nasional Institusi (PSNI) 2018.

Daftar Pustaka

- Omri, K., Najeh, I., Dhahri, R., El Ghouli, J. & El Mir, L., Effects of temperature on the optical and electrical properties of ZnO nanoparticles synthesized by sol-gel method. *Microelectron. Eng.*, **128**: 53–58 (2014).
- Ningsih, S. K. W., Bahrizal, B., Nasra, E., Nizar, U. K. & Farisyah, R., Synthesis and Characterization of ZNO/Mn Nanocomposite by using Sol-Gel Method. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, **335(1)**: 012035 (2018).
- Shahmiri, M., Ibrahim, N. A., Zainuddin, N., Asim, N., Bakhtyar, B., Zaharim, A. & Sopian, K., Effect of pH on the synthesis of CuO nanosheets by quick precipitation method. *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, **9(2)**: 137–145 (2013).
- Ciciliati, M. A., Silva, M. F., Fernandes, D. M., De Melo, M. A. C., Hechenleitner, A. A. W. & Pineda, E. A. G., Fe-doped ZnO nanoparticles: Synthesis by a modified sol-gel method and characterization. *Mater. Lett.*, **159**: 84–86 (2015).
- Wojnarowicz, J., Mukhovskiy, R., Pietrzykowska, E., Kusnieruk, S., Mizeracki, J. & Lojkowski, W., Microwave solvothermal synthesis and characterization of manganese-doped ZnO nanoparticles. *Beilstein J. Nanotechnol.*, **7(1)**: 721–732 (2016).
- Cetin, S. S., Uslu, I., Aytimur, A. & Ozcelik, S., Characterization of Mg doped ZnO nanocrystallites prepared via electrospinning. *Ceram. Int.*, **38(5)**: 4201–4208 (2012).
- Suwanboon, S. & Amornpitoksuk, P., Preparation of Mg-doped ZnO nanoparticles by mechanical milling and their optical properties. *Procedia Eng.*, **32**: 821–826 (2012).
- Kalarikkal, A., Maru, A., Kamble, H., Shah, R., Bhanuse, P. & Pradhan, N., Mg doped ZnO dilute magnetic oxides prepared by chemical method. *Int. J. Chem. Phys. Sci.*, **5**: 44–49 (2015).
- Hassan, S. S. M., El Azab, W. I. M., Ali, H. R. & Mansour, M. S. M., Green synthesis and characterization of ZnO nanoparticles for photocatalytic degradation of anthracene. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, **6(4)**: 045012 (2015).
- Vijayalakshmi, K. & Karthick, K., Influence of Mg doping on the microstructure and PL emission of wurtzite ZnO synthesized by microwave processing. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, **24(6)**: 2067–2071 (2013).
- Chakma, S., Bhasarkar, J. B. & Moholkar, V. S., Preparation, characterization and application of sonochemically Doped Fe³⁺ into ZnO nanoparticles. *Int. J. Res. Eng. Technol.*, **2(8)**: 177–183 (2013).
- Wang, Y., Duan, W., Liu, B., Chen, X., Yang, F. & Guo, J., The effects of doping copper and mesoporous structure on photocatalytic properties of TiO₂. *J. Nanomater.*, **2014**: 1–7 (2014).
- S, S., A.B, M. M. & D, M., Structural Parameters Analysis of Mg Doped ZnO Nano Particles for Various Mg Concentrations. *Int. J. Eng. Trends Technol.*,

- 28(1)**: 27–36 (2015).
14. Lu, X., Liu, Z., Zhu, Y. & Jiang, L., Sonochemical synthesis and photocatalytic property of zinc oxide nanoparticles doped with magnesium(II). *Mater. Res. Bull.*, **46(10)**: 1638–1641 (2011).
 15. Ningsih, S. K. W., *Sintesis Anorganik*. UNP Press, (2016).
 16. Bhunia, A. K., Kamilya, T. & Saha, S., Synthesis, Characterization of ZnO Nanorods and its Interaction with Albumin Protein. *Mater. Today Proc.*, **3(2)**: 592–597 (2016).
 17. Thangaraj, P., Rajan, J., Durai, S., Kumar, S., Ratnaphani, A. & Neri, G., The role of albumen (egg white) in controlled particle size and electrical conductivity behavior of zinc oxide nanoparticles. *Vacuum*, **86(2)**: 140–143 (2011).
 18. Hammed, N. A., Aziz, A. A., Usman, A. I. & Qaeed, M. A., The sonochemical synthesis of vertically aligned ZnO nanorods and their UV photodetection properties: Effect of ZnO buffer layer. *Ultrason. Sonochem.*, **50**: 172–181 (2019).
 19. Mageshwari, K. & Sathyamoorthy, R., Studies on photocatalytic performance of MgO nanoparticles prepared by wet chemical method. *Trans. Indian Inst. Met.*, **65(1)**: 49–55 (2012).
 20. Xiong, H. M., Shchukin, D. G., Möhwald, H., Xu, Y. & Xia, Y. Y., Sonochemical synthesis of highly luminescent zinc oxide nanoparticles doped with magnesium(II). *Angew. Chemie - Int. Ed.*, **48(15)**: 2727–2731 (2009).
 21. N'Konou, K., Haris, M., Lare, Y., Baneto, M., Napo, K. & Torchio, P., Effect of barium doping on structural and optical properties of zinc oxide nanoparticles synthesized by microwave hydrothermal method. *Phys. Status Solidi Basic Res.*, **253(2)**: 260–266 (2016).
 22. Sherly Kasuma Warda Ningsih, Umar Kalmar Nizar, U. N., Sintesis Nanopartikel dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol-Gel. *Eksakta*, **18(2)**: 39–51 (2017).
 23. Camaratta, R., Orozco Messana, J. & Pérez Bergmann, C., Synthesis of ZnO through biomimetization of eggshell membranes using different precursors and its characterization. *Ceram. Int.*, **41(10)**: 14826–14833 (2015).
 24. Sriram, S., K.C., L. & Thayumanavan, A., Experimental and theoretical investigations of photocatalytic activity of Cu doped ZnO nanoparticles. *Optik (Stuttg.)*, **139**: 299–308 (2017).
 25. Ahmed, M. A., Okasha, N. & El-Dek, S. I., Novelty, preparation, characterization and enhancement of magnetic properties of Mn nanoferrites using safety binder (egg white). *Solid State Sci.*, **13(10)**: 1840–1843 (2011).