

## Sintesis Nanopartikel ZnO-Ag Sebagai Fotokatalis dengan Variasi Suhu Kalsinasi

Aris Supriyadi\*, Ilma Fadlilah, Theresia Evila Purwanti Sri Rahayu

Program Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap,  
Jl. Dr. Soetomo No.1, Sidakaya, Kec. Cilacap Sel., Kab. Cilacap, Jawa Tengah 53212 Indonesia  
Email: aris.soepriyadi20@gmail.com

### Abstrak

Nanopartikel adalah partikel yang memiliki ukuran 1-100 nanometer. Seng oksida dikenal sebagai bahan yang ramah lingkungan dikarenakan kompatibel dengan organisme hidup. Salah satu, cara untuk membuat partikel berukuran nano adalah dengan menggunakan metode sol-gel. Pada penelitian ini, bertujuan untuk mensintesis nanopartikel ZnO-Ag menggunakan metode sol-gel dan mengkaji pengaruh variasi suhu kalsinasi serta mengetahui karakteristik yang dihasilkan. Variabel yang digunakan yaitu variasi suhu kalsinasi yakni 400°C, 500°C dan 600°C. Nano ZnO-Ag yang dihasilkan dianalisis karakteristik morfologinya dan kandungan unsur menggunakan *Scanning Electron Microscopy Sinar-x* (SEM EDX). Hasil sintesis ZnO-Ag menunjukkan bahwa terjadi perubahan fisik yang dilihat dari segi warna yang tidak terlalu spesifik terhadap ZnO-Ag akibat dari variasi suhu kalsinasi. Hasil uji SEM-EDX menunjukkan bahwa ZnO-Ag menghasilkan morfologi permukaan yang strukturnya tidak merata dan memiliki pori terbuka. Dilihat dari segi ukuran partikel, diketahui bahwa ZnO-Ag dengan suhu kalsinasi 400°C memiliki ukuran partikel paling kecil yaitu  $92,17 \pm \text{nm}$  dengan komposisi massa unsur penyusun sebesar Zn 81,6%; O 18,1% dan Ag 0,27%.

**Kata kunci :** Nanopartikel, Sol-gel, ZnO-Ag, SEM-EDX

### Abstract

#### **Synthesis of ZnO-Ag Nanoparticles as Photocatalyst with Variation of Calcination Temperature**

Nanoparticles are particles that have a size of 1-100 nanometers. Zinc oxide is recognized as an environmentally friendly material due to its compatibility with living organisms. One method for producing nano-sized particles is the sol-gel method. In this study, the aim was to synthesize ZnO-Ag nanoparticles using the sol-gel method and to investigate the effect of variations in calcination temperature on the characteristics produced. The variables used were variations in calcination temperature, namely 400°C, 500°C and 600°C. The resulting ZnO-Ag nanoparticles were analyzed for their morphological characteristics and elemental content using *Scanning Electron Microscopy X-rays* (SEM EDX). The results of the ZnO-Ag synthesis revealed physical changes in terms of color, which were not specific to ZnO-Ag due to variations in calcination temperature. The results of the SEM-EDX test showed that ZnO-Ag produced a surface morphology with an uneven structure and open pores. In terms of particle size, it is known that ZnO-Ag with a calcination temperature of 400°C has the smallest particle size, namely  $92.17 \pm \text{nm}$  with a mass composition of constituent elements of Zn 81.6%; O 18.1% and Ag 0.27%.

**Keywords:** Nanoparticles, Sol-gel, ZnO-Ag, SEM-EDX

### PENDAHULUAN

Nanopartikel merupakan partikel dengan ukuran 1-100 nanometer (Purwanto *et al.*, 2014).

Material yang berukuran nano memiliki sifat yang berbeda dibandingkan dengan material asalnya (Nugroho *et al.*, 2012; Rosyidah *et al.*, 2013). Aplikasi material berukuran nano banyak dijumpai

\*)Corresponding author

DOI : 10.14710/metana.v21i1.71050

Diterima: 12-02-2025

Disetujui: 14-04-2025

pada penggunaan oksidator katalis, adsorben, membrane, disinfeksi, pengindraan, medis dan biologis (Choerudin, 2016), serta pada pengolahan limbah karena memiliki sifat optic, listrik, magnet, katalis dan anti bakteri yang baik (Apriandanu *et al.*, 2013). Terdapat beberapa faktor yang menjadi pengaruh dalam pembentukan nanomaterial seperti konsenyntasi dan jenis bahan baku yang digunakan, serta lama waktu kontak antara bahan baku dengan nyala api atau pemanasan (Purwanto *et al.*, 2014).

Seng nitrat ( $Zn(NO_3)_2$ ) menghasilkan nanokristal lebih tinggi daripada seng asetat (Purwanto *et al.*, 2014). Seng oksida (ZnO) adalah jenis semikonduktor tipe-n yang representatif dimana memiliki celah pita lebar 3,37 eV dan energi ikat eksitasi tinggi 60 meV dan menghasilkan pasangan lubang elektron setelah terpapar cahaya tampak atau sinar UV (Chen *et al.*, 2017). ZnO adalah bahan yang ramah lingkungan dikarenakan kompatibel dengan organisme hidup, yang cocok untuk berbagai aplikasi sehari – hari yang tidak meninggalkan risiko terhadap kesehatan manusia dan dampak lingkungan (Lee *et al.*, 2016). Nano ZnO banyak digunakan sebagai katalis, tabir surya, material elektronik (Rusli *et al.*, 2024), sel surya (Biçer *et al.*, 2022), laser UV, fotodetector (Lahewil *et al.*, 2022), sensor gas (Ananthi *et al.*, 2022), *nanogenerator* (Anggraeni *et al.*, 2017) dan fotokatalis.

Meski demmikian, sifat optic ZnO dapat ditingkatkan dengan penambahan material lain seperti logam. ZnO-logam akan menghasilkan material dengan jangkauan rentang penyerapan cahaya yang lebih luas di wilayah UV-tampak dibandingkan tanpa penambahan logam (Jadhav & Biswas, 2016). Perak (Ag) merupakan logam mulia yang memiliki sifat anti mikroba paling unggul dengan biaya bahan yang lebih rendah dibanding logam mulia lainnya, menjadikan Ag tidak terbatas pengapliannya seperti pada perangkat keras optic dan elektronik, sementara pada pengolahan air digunakan sebagai adsorben yang efisien, ko-katalis dan nanofilter membran (Koe *et al.*, 2019). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Deng *et al.*, (2012) dan Kuriakose *et al.*,(2014), disebutkan bahwa penambahan logam Ag pada ZnO akan meningkatkan kinerja fotokatalitiknya.

Pemilihan metode sintesis juga perlu diperhatikan untuk menghasilkan material

berukuran nano berdasarkan bahan baku yang digunakan. Salah satu metode sintesis nanopartikel pada senyawa anorganik yaitu metode sol – gel (Ningsih *et al.*, 2017). Metode Sol – Gel adalah metode sintesis yang melewati 2 fasa yaitu sol dan gel (Zainul, 2018) yang melalui 3 tahapan bagian yaitu Hidrolisis, Kondensasi dan *Aging* (Pematangan) dimana metode ini dapat digunakan untuk pembuatan material padat berukuran kecil terutama yang digunakan untuk fabrikasi dari oksida logam (Liza *et al.*, 2018). Metode sintesis secara sol – gel memiliki banyak keuntungan seperti dapat dilakukan pada suhu rendah sehingga ukuran partikel mudah dikontrol (Ilham & Astuti, 2016), menghasilkan partikel berukuran nano yang seragam, tidak menggumpal (Sucahya *et al.*, 2016), kemurnian yang tinggi, proses kristalinitas yang cepat, ramah lingkungan dan biaya yang lebih murah (Ningsih *et al.*, 2017).

Dalam proses sintesisnya, fasa sol yang terbentuk merupakan suspensi koloid dimana fase terdispersinya berupa zat padat yang masih mengalami *Brownian motion* (gerak Brownian) atau *diffusion Brownian* (difusi Brownian) dan pendispersinya adalah zat cair. Sementara Gel adalah zat yang memiliki pori semigrip yang terdiri dari jaringan kontinyu dalam tiga dimensi yang terbentuk dari rantai polimer (Liza *et al.*, 2018). Untuk menghasilkan hasil sintesis logam berukuran nanopartikel, umumnya ditambahkan bahan penstabil berupa polimer kimia seperti PVP (*Polivynil Pyrrolidone*), PVA (*Polivynil Alcohol*), PEG (*Polivynil Glycol*), SDBS (*Sodium Dodecyl Benzene*), dan SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*) (Salasa *et al.*, 2016)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pemanasan sintesis Nano ZnO-Ag terhadap ukuran pori dan karakteristik ZnO-Ag yang dihasilkan. Karakteristik nano ZnO-Ag dilihat berdasarkan ukuran pori dan persentase kandungan senyawa yang dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* sinar-X (SEM EDX).

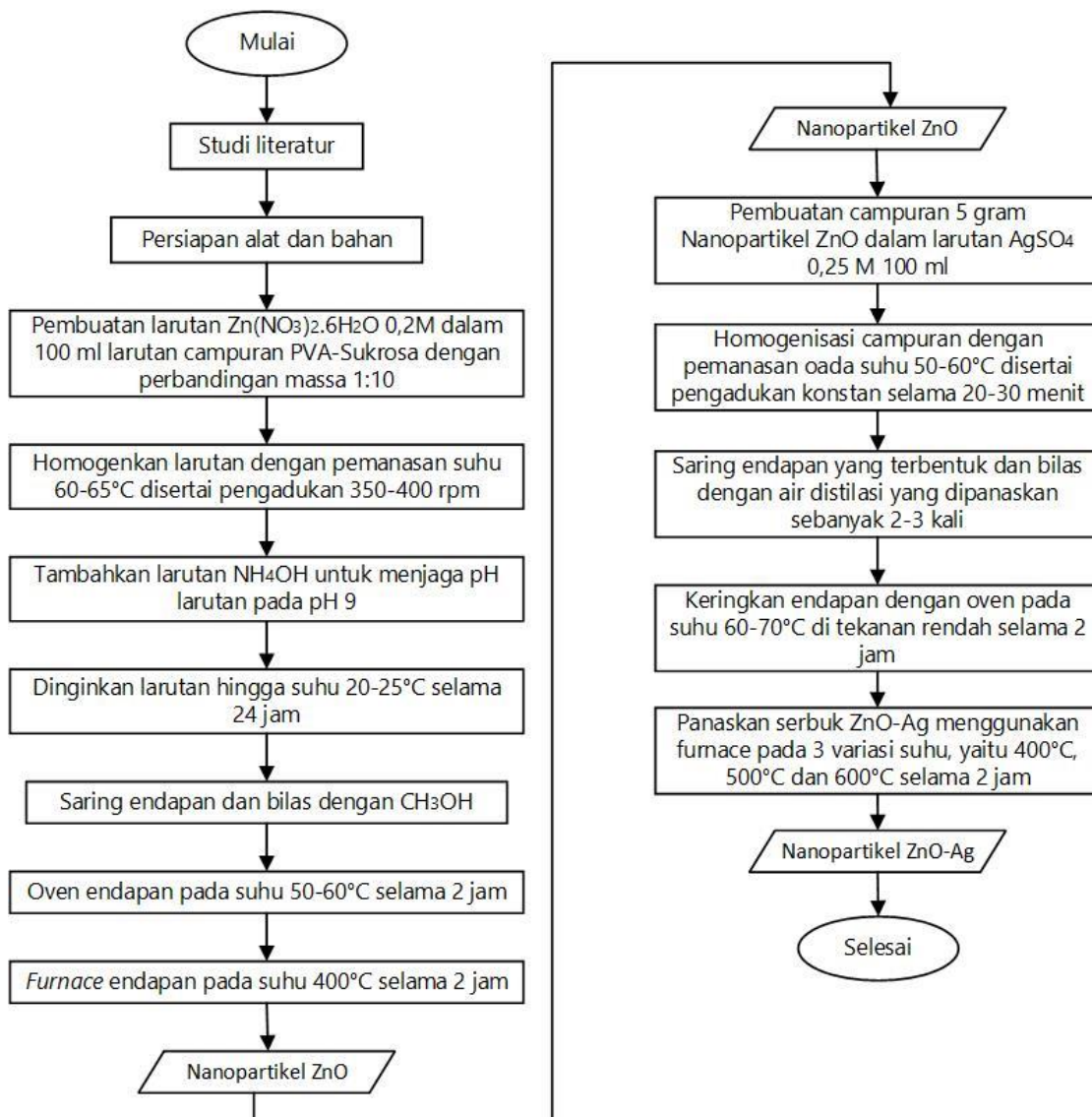
## METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap dimulai pada bulan November 2022 sampai dengan bulan Juli 2023. Metode sintesis yang digunakan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Jadhav & Biswas

(2016), yaitu Metode Sol – Gel dengan bahan – bahan yang digunakan antara lain Seng Nitrat Heksahidrat ( $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ), Perak Sulfat ( $AgSO_4$ ), *Polivynil Alcohol* (PVA), Sukrosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), Larutan Ammonia ( $NH_4OH$ ), Methanol ( $CH_3OH$ ) dan air distilasi murni. Adapun alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seperangkat peralatan gelas, *hot plate*, oven, *furnace*, dan neraca analitik. Material hasil sintesis selanjutnya dianalisis karakteristiknya menggunakan Instrumen *Scanning Electron Microscope Sinar – X* (SEM – EDX). Gambar 1. Merupakan diagram alir dari proses sintesis pada penelitian kali ini.

**Proses Sintesis Katalis Nanopartikel ZnO-Ag**

Metode sintesis ZnO-Ag merujuk pada penelitian Jadhav & Biswas (2016), sintesis nanopartikel ZnO dari prekursor  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  (Seng Nitrat Heksahidrat) dimulai dari mengambil 100 ml larutan  $Zn^{2+}$  0,2M yang didispersikan dalam campuran PVA-Sukrosa dengan perbandingan massa (1:10) pada suhu reaksi 60-65°C dengan pengadukan kontinu berkecepatan 350-400rpm. Selama proses reaksi, pH larutan dijaga pada pH 9 dengan menambahkan larutan  $NH_4OH$  dalam jumlah yang disesuaikan. Setelah reaksi, larutan didinginkan sampai suhu kamar 20-25°C selama 24



**Gambar 1.** Diagram Alir Proses Sintesis ZnO-Ag

jam. Endapan yang diperoleh dicuci menggunakan methanol dan dikeringkan pada suhu 50-60°C selama 2 jam. Nanopartikel ZnO diperoleh dengan memanaskan endapan kering pada suhu 400°C selama 2 jam.

Sintesis katalis nano ZnO-Ag dimulai dengan menyiapkan 5 gram serbuk prekursor ZnO kering kedalam 100 ml larutan AgSO<sub>4</sub> 0,25M. Kemudian, diaduk selama 20-30 menit dalam suhu 50-60°C. Larutan AgSO<sub>4</sub> dipisahkan dengan endapan, kemudian endapan dicuci dalam air panas 2-3 kali. Endapan padatan dikeringkan pada suhu 60-70°C selama 2 jam. Serbuk yang telah dikeringkan kemudian dipanaskan pada variasi suhu 400°C, 500 °C dan 600 °C selama 2 jam.

### Karakterisasi Nanopartikel ZnO-Ag

Nanopartikel ZnO-Ag dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* Sinar X (SEM EDX) jenis Tescan Vega untuk mengetahui struktur & ukuran partikel dan untuk mengetahui persentase kandungan senyawa di Laboratorium Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sintesis Nano ZnO-Ag

Proses sintesis nano ZnO-Ag dilakukan menggunakan metode sol-gel. Metode ini dipilih karena menurut penelitian yang dilakukan oleh Siswanto *et al.*, (2017), bahwa aktivitas reaksinya dapat terjadi pada suhu rendah dan metode yang relatif sederhana. Selain itu, menurut Listanti *et al.*, (2018) metode sol - gel efektif dalam sintesis partikel berukuran nano. Pada penelitian ini, prekursor didapatkan dari Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (seng nitrat heksahidrat) sebagai sumber Zn<sup>2+</sup>. Campuran PVA-Sukrosa pada tahap ini bertindak sebagai surfaktan dan sebagai media yang stabil untuk pertumbuhan nanopartikel dengan enkapsulasi dalam misel polimer, sementara penambahan larutan NH<sub>4</sub>OH dalam menjaga pH campuran diperlukan untuk mendukung hidrogenasi ion Zn<sup>2+</sup> dalam larutan reaksi (Jadhav & Biswas, 2016). Selain itu, NH<sub>4</sub>OH yang digunakan akan memberikan suasana basa pada larutan sehingga mendukung terbentuknya endapan (Verina & Aini, 2022) juga berfungsi dalam pembentukan ukuran nanopartikel (Simamora *et al.*, 2016).

Katalis nano ZnO-Ag diperoleh dari rekristalisasi serbuk nano ZnO yang telah terbentuk dengan penambahan Ag yang berasal dari perak nitrat (AgNO<sub>3</sub>). Menurut (Jadhav & Biswas, 2016), serbuk nanopartikel yang ditambahkan dalam larutan AgNO<sub>3</sub> berperan sebagai tempat nukleasi spesies Ag<sup>+</sup>, pada tahap ini terjadi pertumbuhan lapisan Ag pada permukaan partikel nano. Endapan yang diperoleh dilakukan kalsinasi pada suhu 400°C, 500°C dan 600°C. Menurut Merdekani, (2013), proses kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan produk samping yang diakibatkan penambahan NH<sub>4</sub>OH selama proses sintesis sehingga menghasilkan produk akhir yang lebih murni.

Pada Gambar 2. dapat dilihat tampilan fisik dari hasil sintesis nano ZnO-Ag dengan variasi suhu kalsinasi. Pada suhu kalsinasi 400°C bentuk fisik dari nano katalis yaitu serbuk berwarna putih susu keabuan. Kemudian, pada suhu kalsinasi 500°C serbuk yang dihasilkan berwarna lebih terang dan cerah yaitu putih susu kuning kecokelatan. Sedangkan, pada suhu kalsinasi 600°C serbuk yang dihasilkan berwarna putih susu. Menurut, Ningsih *et al* (2021) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa hasil sintesis nano ZnO yang dihasilkan serbuk berwarna putih. Pada penelitian yang dilakukan, hasil sintesis serbuk berwarna putih bervariasi. Hal tersebut, diindikasikan karena tambahan doping Ag sehingga terjadi variasi atau perubahan warna yang berbeda namun tidak signifikan.

### Pengaruh Suhu Kalsinasi terhadap Karakteristik Nano ZnO-Ag

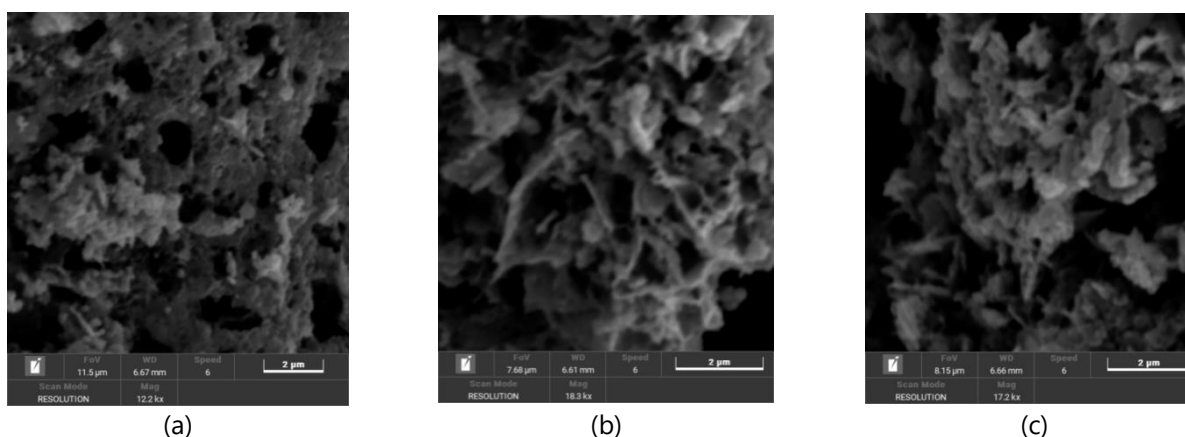
Karakteristik nano ZnO-Ag yang telah dihasilkan dari proses sintesis dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel dan persentase kandungan senyawa. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electrone Microscopy* Sinar-X (SEM EDX). Pada Gambar 3. terlihat bahwa morfologi nano ZnO-Ag yang dihasilkan strukturnya tidak merata dan pori yang dihasilkan bersifat pori terbuka. Menurut, Adzra *et al.*, (2022) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa ukuran partikel yang tidak seragam disebabkan karena terjadinya penumpukan partikel (aglomerasi) sehingga morfologi yang terbentuk belum sempurna.

**Tabel 1.** Hasil Rata-Rata Pengukuran Partikel Nano ZnO-Ag

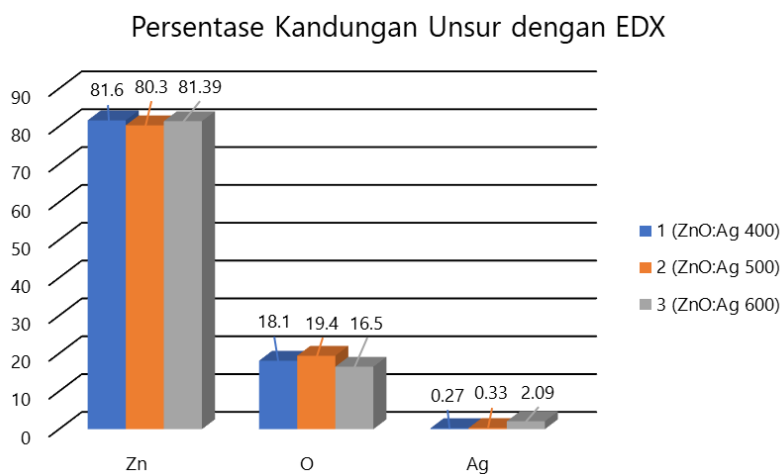
Sampel	Ukuran Rata-Rata (nm)
ZnO-Ag 400	92,17±0
ZnO-Ag 500	103,88±0
ZnO-Ag 600	468,05±0

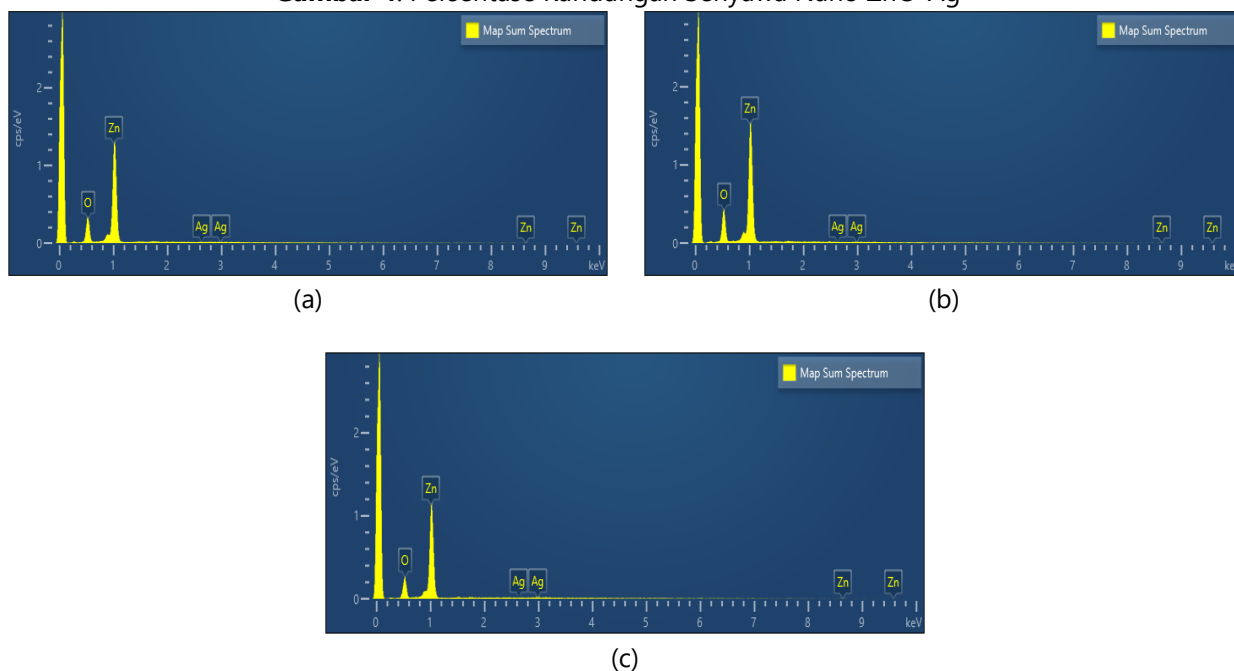


**Gambar 2.** Hasil Sintesis Nano ZnO-Ag dengan Variasi Suhu Kalsinasi (a) Suhu Kalsinasi 400°C, (b) Suhu Kalsinasi 500°C dan (c) Suhu Kalsinasi 600°C



**Gambar 3.** (a) Nano ZnO-Ag Kalsinasi 400°C, (b) Nano ZnO-Ag Kalsinasi 500°C dan (c) Nano ZnO-Ag Kalsinasi 600°C.



**Gambar 4.** Persentase Kandungan Senyawa Nano ZnO-Ag**Gambar 5.** Hasil Pengukuran Kandungan Unsur dengan SEM EDX (a) Nano ZnO-Ag 400, (b) Nano ZnO-Ag 500 dan (c) Nano ZnO-Ag 600

Ukuran rata-rata partikel dihitung menggunakan aplikasi *Image-J* dan *Origin* untuk mendapatkan hasil rata-rata. Ukuran rata-rata partikel yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1. Nano ZnO-Ag dengan variasi suhu kalsinasi memiliki ukuran partikel yang bervariasi. Secara berurutan, ukuran partikel dari variasi suhu 400°C, 500°C dan 600°C yaitu  $92,17 \pm 0$  nm;  $103,88 \pm 0$  nm dan  $468,05 \pm 0$  nm. Semakin tinggi suhu kalsinasi, maka ukuran partikel nano ZnO-Ag yang dihasilkan semakin besar.

Persentase kandungan unsur yang dihasilkan dari proses sintesis memiliki hasil persentase yang bervariasi juga seiring bertambahnya suhu kalsinasi. Pada Gambar 4 dan 5 disajikan bahwa kandungan unsur paling banyak yaitu seng (Zn) mencapai 80% dan Oksigen (O) mencapai 18-19%. Penambahan *dopping* Ag pada sintesis nano ZnO-Ag menghasilkan persentase kandungan Ag yang terkandung bervariasi. Pada suhu kalsinasi 400°C kandungan Ag sebesar 0,27%, suhu kalsinasi 500°C kandungan Ag sebesar 0,33% dan suhu kalsinasi 600°C kandungan Ag mencapai 2,09%. Berdasarkan hasil, menunjukkan bahwa meningkatnya suhu kalsinasi menyebabkan

partikel Ag yang terbentuk semakin sempurna. Sebagaimana, menurut Supu *et al.* (2022) bahwa suhu kalsinasi semakin meningkat akan membentuk partikel-partikel lebih maksimal. Dalam penelitiannya, dihasilkan persentase konsentrasi massa unsur yang dihasilkan dari suhu kalsinasi 300°C, 500°C dan 700°C berurutan untuk unsur Zn yaitu 61,38%; 93,41% dan 92,93%.

Berdasarkan hal tersebut, menunjukkan bahwa meningkatnya suhu kalsinasi menyebabkan partikel Ag yang terbentuk semakin sempurna. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Supu *et al.* (2022), dimana semakin tinggi suhu kalsinasi maka pembentukan partikel akan semakin meningkat dan lebih maksimal, dalam penelitiannya dihasilkan persentase konsentrasi massa unsur yang dihasilkan dari suhu kalsinasi 300 °C, 500 °C dan 700 °C berurutan untuk unsur Zn yaitu 61,38%; 93,41% dan 92,93%.

## KESIMPULAN

Variasi suhu kalsinasi Nano ZnO-Ag yang divariasikan menghasilkan karakteristik yang dihasilkan juga bervariasi. Ukuran partikel paling

nano didapatkan pada variasi suhu kalsinasi 400°C dengan ukuran rata-rata partikel 92,17 nm. Selain ukuran partikel, variasi suhu kalsinasi juga berpengaruh pada persentase kandungan unsur perak (Ag) yang terkandung. Semakin tinggi suhu kalsinasi, maka semakin meningkat kandungan unsur Ag yang terkandung. Kandungan unsur Ag terbesar diperoleh pada variasi suhu kalsinasi 600°C dengan persentase kandungan Ag yang terkandung mencapai 2,09%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adzra, Z., Hadisantoso, E. P., & Setiadji, S. 2022. Pengaruh Konsentrasi Prekursor, Konsentrasi Agen Pengendap, Kecepatan, dan Waktu Pengadukan pada Sintesis ZnO Nanopartikel dan Aplikasinya untuk Penanganan Metilen Biru secara Fotokatalisis. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 7: 109–117.
- Ananthi, S., Kavitha, M., Ranjith Kumar, E., Prakash, T., Vandamar Poonguzhali, R., Ranjithkumar, B., Balamurugan, A., Srinivas, C., & Sastry, D. L. 2022. Investigation of physicochemical properties of ZnO nanoparticles for gas sensor applications. *Inorganic Chemistry Communications*, 146: p.110152. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.110152>
- Anggraeni, Y., Mufti, N., & Taufiq, A. 2017. Performa Nanogenerator Zno Nanorods Dan Pla Pada Substrat Stainless Steel. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pembelajarannya*, pp. 271–278.
- Apriandanu, D., Wahyuni, S., Hadisaputro, S., & Harjono. 2013. Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Metode Poliol Dengan Agen Stabilisator Polivinilalkohol (PVA). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 36(2): 157–168. <https://doi.org/10.15294/ijmns.v36i2.2985>
- Biçer, M., Gökçen, M., & Orhan, E. 2022. Fabrication and Photoanode Performance of ZnO Nanoflowers in ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cells. *Optical Materials*, 131: p.112691. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112691>
- Chen, X., Wu, Z., Liu, D., & Gao, Z. 2017. Preparation of ZnO Photocatalyst for the Efficient and Rapid Photocatalytic Degradation of Azo Dyes. *Nanoscale Research Letters*, 12(143): 1-10. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1904-4>
- Choerudin. 2016. Peran Nanomaterial dalam Pengolahan Air dan Air Limbah Air Limbah. *Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung*, 1–11.
- Deng, Q., Duan, X., Ng, D. H. L., Tang, H., Yang, Y., Kong, M., Wu, Z., Cai, W., & Wang, G. 2012. Ag Nanoparticle Decorated Nanoporous ZnO Microrods and Their Enhanced Photocatalytic Activities. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4(11): 6030–6037. <https://doi.org/10.1021/am301682g>
- Ilham, M., & Astuti, A. 2016. Pengaruh Doping Litium terhadap Intensitas Luminisens Nanopartikel ZnO Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Fisika Unand*, 5(3): 205–208. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.3.205-208.2016>
- Jadhav, J., & Biswas, S. 2016. Surface Plasmon Enhanced near-UV Emission In Monodispersed ZnO:Ag Coreshell Type Nanoparticles Synthesized By A Wet Chemical Method. *Superlattices and Microstructures*, 91: 8-21.
- Koe, W. S., Lee, J. W., Chong, W. C., Pang, Y. L., & Sim, L.C. 2019. An Overview of Photocatalytic Degradation: Photocatalysts, Mechanisms, and Development of Photocatalytic Membrane. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 2522–2565. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07193-5>
- Kuriakose, S., Choudhary, V., Satpati, B., & Mohapatra, S. 2014. Enhanced photocatalytic activity of Ag–ZnO hybrid plasmonic nanostructures prepared by a facile wet chemical method. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 5: 639–650. <https://doi.org/10.3762/bjnano.5.75>
- Lahewil, A. S. Z., Zyoud, S. H., Ahmed, N. M., Omar, A. F., & Azman, N. Z. N. 2022. Synthesis ZnO Nanoclusters Micro Active Area Using Continues Wave Blue Laser-Assisted Chemical Bath Deposition Based on UV Photodetector. *Inorganic Chemistry Communications*, 146: p. 169099. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169099>
- Lee, K. M., Lai, C. W., Ngai, K. S., & Juan, J.C. 2016. Recent Developments of Zinc Oxide Based Photocatalyst in Water Treatment Technology: A Review. *Water Research*, 88: 428–448. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.045>

- Listanti, A., Taufiq, A., Hidayat, A., & Sunaryo, S. 2018. No Title Investigasi Struktur dan Energi Band Gap Partikel Nano TiO<sub>2</sub> Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol-Gel. *JSPE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 3(1):8–15.
- Liza, Y.M., Yasin, R.C., Maidani, S.S., & Zainul, R. 2018. *Sol Gel: Principle and Technique (a Review)*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/DNP8R>
- Merdekani, S. 2013. Sintesis Partikel Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> dengan Metode Kopresipitasi. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir 2013*, 1–6.
- Ningsih, S.K.W., Khair, M. & Veronita, S., 2021. Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles Using Sol-Gel Method. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(1): 59-67.
- Ningsih, S.K.W., Nizar, U.K., & Novitria, U. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Doped Cu<sup>2+</sup> Melalui Metoda Sol - Gel. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(2): 2588–2593.
- Nugroho, D.W., Akwalia, P.R., Rahman, T.P., Nofrizal, Ikono, R., Widayanto, W.B., Sukarto, A., Siswanto, & Rochman, N.T. 2012. Pengaruh Variasi pH pada Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Sol - Gel. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Bahan*, pp.63–66.
- Purwanto, A., Ratnasari, D., & Suryono, A.B. 2014. Pembuatan nanopartikel Seng Oksida (ZNO) Menggunakan Proses Flame Assisted Spray Pyrolysis (FASP). *Ekulibrium*, 13(1): 17–21.
- Rosyidah, N., Purwaningsih, S.Y., & Darminto. 2013. Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Teknik Pomtis*, pp.1–7.
- Rusli, R., Firmansyah, G., Rosniar, & Damayanti, R. H. 2024. Optimasi Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Hidrotermal. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 6(1): 116–124. <https://doi.org/10.25026/jsk.v6i1.1529>
- Salasa, D., Aritonang, H., & Kamu, V. 2016. Sintesis Nanopartikel Perak (Ag) Dengan Reduktor Natrium Borohidrida (NaBH<sub>4</sub>) Menggunakan Matriks Nata-De-Coco. *Chemistry Progress*, 9(2): 34–40. <https://doi.org/10.35799/cp.9.2.2016.27984>
- Simamora, J.R., Barus, D.A., Sembiring, A.D., & Simamora, P. 2016. Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Pengendap Terhadap Sifat Optik Nanopartikel Cu<sub>2</sub>O Yang Disintesis Dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Sainika*, 16(1): 11–19.
- Siswanto, Rochman, N.T., & Akwalia, P.R. 2017. Fabrication and Characterization of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticle by Sol-Gel Method. *Journal of Physics*, 853: 1–5.
- Sucahya, T. N., Permatasari, N., & Nandiyanto, A. B. D. 2016. Review: Fotokatalis Untuk Pengolahan Limbah Cair. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(1): 1–5. <https://doi.org/10.36055/jip.v6i2.430>
- Supu, I., Saputri Odde, N.N., & Hala, A. 2022. Sintesis Semikonduktor ZnO Undoped dan Doped Cu<sup>2+</sup> Dengan Variasi Temperatur Kalsinasi Menggunakan Metode Sol-Gel. *Cokroaminoto Journal Od Chemical Science*, 4(2): 9–13.
- Verina, M.W., & Aini, S. 2022. Pengaruh Asam Laurat Terhadap Ukuran Nanopartikel Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) dari Pasir Besi Sijunjung. *Natural Science*, 8(2): 111–118. <https://doi.org/10.15548/nsc.v8i2.4744>
- Zainul, R. 2018. *Teknologi Material Maju: Prinsip Dasar dan Aspek Rekayasa* (D. Kurniawati (ed.); 1st ed.). CV. Berkah Prima.