

## **GREEN SYNTHESIS NANOPARTIKEL ZnO MENGGUNAKAN MEDIA EKSTRAK DAUN TIN (*Ficus carica* Linn)**

Iwan Syahjoko Saputra<sup>1</sup>, Siti Suhartati<sup>1</sup>, Yoki Yulizar<sup>2</sup>, Sudirman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Akademi Kimia Analis Caraka Nusantara  
Jl. Tugu Raya Komplek Timah, Cimanggis, Depok

<sup>2</sup>Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI, Depok

<sup>3</sup>Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Kawasan Puspitek, Serpong, Tangerang Selatan

E-mail: iwan28chemistry@gmail.com

3 September 2019; 20 September 2019; 19 Februari 2020

### **ABSTRAK**

**GREEN SYNTHESIS NANOPARTIKEL ZnO MENGGUNAKAN MEDIA EKSTRAK DAUN TIN (*Ficus carica* Linn).** Tujuan penelitian ini adalah sintesis nanopartikel ZnO menggunakan metode *green synthesis* dengan memanfaatkan ekstrak daun tin (*Ficus carica* Linn) sebagai media. Gugus aktif yang terkandung dalam ekstrak daun tin berperan sebagai media sekaligus sumber basa alami dalam sintesis nanopartikel ZnO dan berpengaruh terhadap sifat optik, bentuk morfologi serta karakteristik nanopartikel ZnO. Hasil karakterisasi nanopartikel ZnO menggunakan Spektrofotometer UV-Vis menunjukkan puncak serapan pada panjang gelombang 260 nm dengan nilai absorpsi 0,6. Hasil UV-Vis DRS menunjukkan nilai *bandgap* nanopartikel ZnO sebesar 3,32 eV dan hasil karakterisasi XRD menunjukkan tiga puncak spesifik kristalinitas nanopartikel ZnO yaitu pada 2 teta: 30.71°, 33.36°, dan 37.20° dengan ukuran kristal 15,9 nm. FTIR menunjukkan adanya vibrasi ZnO pada bilangan gelombang 492 cm<sup>-1</sup> dan puncak serapan gugus fungsi -OH pada bilangan gelombang 3501 cm<sup>-1</sup>, -C=O pada bilangan gelombang 2490 cm<sup>-1</sup>, C-O-H pada 1397 cm<sup>-1</sup>, dan gugus fungsi amina pada 913 cm<sup>-1</sup>. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam ekstrak daun tin terdapat metabolit sekunder yang dapat berperan sebagai media dalam pembentukan nanopartikel ZnO. Hasil SEM-EDS menunjukkan bentuk morfologi nanopartikel ZnO berbentuk seperti kapas dengan perbandingan massa unsur Zn dan O adalah 30,24 % dan 69,76%. Hasil PSA dan PZC menunjukkan nanopartikel ZnO memiliki nilai PDI sebesar 0,739 dan distribusi rata-rata ukuran partikel sebesar 49,62 dengan nilai zeta potensial -23 mV.

Kata Kunci: *Green synthesis*, Nanopartikel ZnO, *Ficus carica* Linn

### **ABSTRACT**

**GREEN SYNTHESIS OF ZnO NANOPARTICLES USING FICUS CARICA L LEAF EXTRACT.** The purpose of this study is to synthesize ZnO nanoparticles using green synthesis method by utilizing *Ficus carica* Linn leaf extract. The functional group contained in *Ficus carica* Linn leaf extract acts as a medium as well as a natural base source in the synthesis of ZnO nanoparticles. It will also affect the optical properties, morphological shape and characteristics of ZnO nanoparticles. The results of ZnO nanoparticles using UV-Vis spectrophotometer showed the absorption peak at a wavelength of 260 nm with an absorbance value of 0.6. The UV-Vis DRS showed the ZnO nanoparticle bandgap value of 3.32 eV and the XRD characterization results showed three specific peaks of ZnO nanoparticles at 30.71°, 33.36°, and 37.20° with a crystallite size of 15.9 nm. FTIR shows the existence of ZnO vibrations at 492 cm<sup>-1</sup> and the absorption peak of the -OH function group at 3501 cm<sup>-1</sup>, -C=O at 2490 cm<sup>-1</sup>, C-O-H at 1397 cm<sup>-1</sup>, and amine functional groups at 913 cm<sup>-1</sup>. This indicates that in the *Ficus carica* Linn leaf extract there are secondary metabolites that can act as a medium in the formation of ZnO nanoparticles. The results of SEM-EDS showed the morphology of ZnO nanoparticles with cotton-like shape and a composition of 30.24% and 69.76% for Zn and O, respectively. Results of PSA and PZC showed that ZnO nanoparticles have a PDI value of 0.739 and an average particle size distribution of 49.62 with a potential zeta value of -23 mV.

Keywords: *Green Synthesis*, ZnO Nanoparticles, *Ficus carica* Linn

## PENDAHULUAN

Seng oksida (ZnO) merupakan material anorganik berwujud bubuk yang sukar larut dalam air. Pada berbagai produk dan material, ZnO banyak digunakan sebagai bahan aditif. ZnO merupakan material semikonduktor tipe II dan VI yang memiliki celah pita (*band gap*) lebar yaitu 3,37 eV dan energi ikatan sebesar 60 MeV (Parra dan Haque, 2014). Padatan ZnO memiliki tiga bentuk kristal yaitu *hexagonal wurtzite*, *cubic zincblende*, dan *cubic rocksalt* (jarang teramati). Bentuk *wurtzite* pada ZnO merupakan struktur kristal yang paling stabil pada suhu kamar. ZnO memiliki sifat yang unggul dan dapat diaplikasikan dalam bidang optik, optoelektronik. Serbuk ZnO juga dapat digunakan sebagai bahan aditif dalam pembuatan keramik, plastik, semen, kaca, karet dan pelumas. Meski ZnO terdapat pada kerak bumi dalam bentuk mineral yang dinamakan *zincite*, namun pada umumnya produksi ZnO secara komersial dilakukan secara sintesis. ZnO memiliki tiga bentuk kristal berdimensi satu (1D) seperti *rod*, *tube*, *wire*, dan *nail*; berdimensi dua seperti *sheet*, *hexagon*, *tower*, dan *comb*, berdimensi tiga (3 D) seperti *flower*. Kelebihan ZnO adalah salah satu senyawa oksida yang memiliki celah pita lebar dibanding oksida-oksida logam yang lain (Zheng *et al.*, 2001). Adanya nilai celah pita yang lebar pada senyawa ZnO, maka ZnO dapat disintesis, dimodifikasi dan banyak diaplikasikan oleh para peneliti dalam bidang semikonduktor.

ZnO dengan ukuran skala nanometer dapat diaplikasikan sebagai fotodegradasi metamitron (Xu *et al.*, 2016), sebagai fotodegradasi senyawa metilen biru (Sanna *et al.*, 2016) dan sebagai antibakteri jenis bakteri gram positif dan negatif (Zarrindokht dan Pegah, 2012). Keberhasilan dalam pembuatan nanopartikel ZnO yaitu harus mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya adalah sumber basa, *capping agent* dan metode sintesis yang digunakan.

Sintesis nanopartikel ZnO dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode kimia dan menghasilkan berbagai bentuk seperti *nanobelts* (Zheng *et al.*, 2001), *nanopagoda* (Chang *et al.*, 2009), *tetrapods* (Rackauskas *et al.*, 2015). Selain itu, metode yang biasa digunakan dalam sintesis nanopartikel logam oksida adalah metode mekanik dengan menghasilkan ukuran partikel berukuran nano (Ahmad dan Zhu, 2011), metode *spray pyrolysis* dengan hasil SEM menunjukkan bentuk bulat dari bismut oksida (Chu *et al.*, 2013), metode *sonochemical* juga berhasil digunakan dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yang berfrekuensi > 20 kHz (Samanta *et al.*, 2015), metode *hydrothermal* dengan memanfaatkan suhu rendah dibawah 150 °C (Umar *et al.*,

2012), dan metode sol-gel pada sintesis nanopartikel CdO menggunakan ekstrak biji *Parkia speciosa Hassk* (Permana dan Yulizar, 2016).

Selain metode, sintesis nanopartikel ZnO membutuhkan bahan kimia sebagai oksidator. Pernah dilakukan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan sumber basa dan *capping agent* seperti heksamin (Maryanti *et al.*, 2012) dan NaOH (Saragi *et al.*, 2015). Heksamin dan NaOH merupakan zat yang berbahaya dan tidak ramah lingkungan. Untuk mengurangi bahan yang berbahaya tersebut, penelitian terbaru melaporkan bahwa sintesis nanopartikel ZnO dapat menggunakan pendekatan metode hijau (*green synthesis*) dengan memanfaatkan bahan-bahan yang ramah lingkungan sebagai sumber basa dan *capping agent* alami seperti ekstrak daun *Imperata cylindrica L* (Saputra dan Yulizar, 2016), *Sapindus rarak DC* (Maryanti *et al.*, 2014), *Lemon juice* (Hoan *et al.*, 2019), *Moringa oleifera* (Elumalai *et al.*, 2015), *Aspalathus linearis* (Diallo *et al.*, 2015). Dari berbagai metode yang pernah dilakukan dalam sintesis nanopartikel ZnO, metode *green synthesis* lebih menjajikan karena ramah lingkungan, proses sederhana dan bahan-bahannya mudah didapat. Salah satu penggunaan metode *green synthesis* yaitu melibatkan bahan-bahan alami seperti ekstrak pada tumbuhan.

Tin atau Ara (*Ficus carica Linn*) merupakan tumbuhan yang berasal dari asia barat. Tumbuhan ini menghasilkan buah yang dapat dimakan. Selain menghasilkan buah, daun tin juga memiliki manfaat sebagai obat tradisional yang dapat digunakan dalam penyembuhan penyakit. Beberapa senyawa kimia yang terkandung di dalam ekstrak daun tin yaitu *rutin*, *taraxsterol ester*, *bergapten*, dan *tyrosine moisture*. Selain itu, ekstrak daun tin juga mengandung beberapa metabolit sekunder seperti Alkaloid, Flavonoid, Tannin, dan Steroid (Ahmad *et al.*, 2012).

Kelebihan daun tin juga sangat mudah didapat dan hasil uji fitokimia ekstrak daun tin menghasilkan kadar antioksidan yang bagus pada pelarut air dengan nilai IC<sub>50</sub> sebesar 33005 µg/mL (Agustina, 2017). Salah satu senyawa antioksidan yang terdapat pada ekstrak daun tin adalah alkaloid. Senyawa alkaloid memiliki gugus fungsi amina yang dapat berfungsi sebagai sumber basa (alkali) dalam pembentukan nanopartikel ZnO (Sari *et al.*, 2017).

Keterbaruan pada penelitian ini yaitu belum pernah dilakukan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan media ekstrak daun tin. Dengan adanya gugus fungsi amina pada ekstrak daun tin diharapkan dapat menjadi

sumber basa sekaligus *capping agent* alami dalam sintesis nanopartikel ZnO. Pemanfaatan fraksi air ekstrak kasar daun tin dapat difungsikan sebagai media sekaligus metode *green synthesis* nanopartikel ZnO.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Sampel daun Tin (*Ficus carica Linn*) di dapat dari daerah Cimanggis, Depok. Prekursor yang digunakan adalah  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  (merck), Akuades.

### Metode

#### a. Preparasi sampel ekstrak daun tin (*Ficus carica L*)

Sebanyak 5 g serbuk daun tin segar yang sudah dikeringkan ditambahkan dengan 100 mL akuades. Campuran distirrer selama 1 jam pada suhu 70 °C sampai ekstrak berwarna coklat. Setelah itu, ekstrak yang didapat disaring dengan kertas Whatman No. 1.

#### b. *Green synthesis* nanopartikel ZnO

Sebanyak 30 mL ekstrak daun tin ditambahkan dengan 5 g  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  dan distirrer selama 24 jam pada suhu 85 °C. Pasta yang didapatkan difurnace pada suhu 500 °C selama 4 jam.

### Karakterisasi

Serbuk nanopartikel ZnO dikarakterisasi menggunakan instrumen UV-Vis (Shimadzu 2600) dan UV-Vis (Shimadzu 2450) pada panjang gelombang 200-800 nm. XRD (Shimadzu 610) pada sudut difraksi 20-80° dengan kecepatan goniometer sebesar 0,6°/menit pada interval 0,01° digunakan untuk mengetahui kristalinitas yang terbentuk, FTIR (Shimadzu Prestige 21) berfungsi untuk analisis gugus fungsi pada ekstrak dan nanopartikel hasil sintesis pada bilangan gelombang 4000-400  $cm^{-1}$ , dan SEM-EDX (AMETEK) dengan voltage 20 kV, spot size 50, work distance 10 mm untuk melihat bentuk morfologi nanopartikel ZnO. PSA dan PZC dengan sistem *dynamic light scattering* (DLS) untuk melihat distribusi ukuran partikel dan muatan partikel.

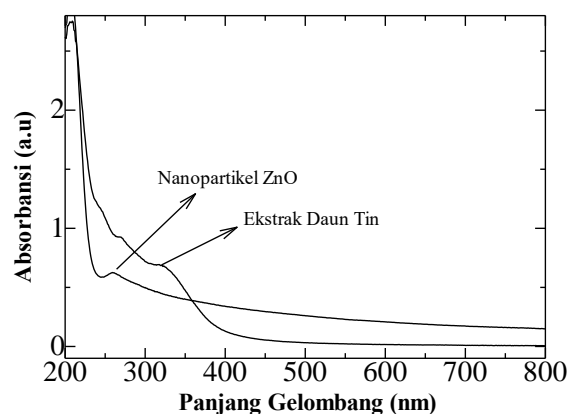
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis nanopartikel ZnO berhasil dilakukan dengan menggunakan media ekstrak daun tin (*Ficus carica L*). Proses pengeringan daun tin segar selama 7 hari berfungsi untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam daun tin. Ekstrak daun tin dan serbuk nanopartikel ZnO yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan UV-Vis dan UV-Vis DRS untuk

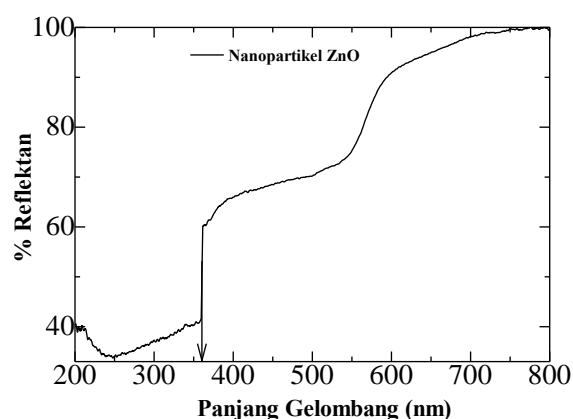
mengetahui panjang gelombang maksimum dan nilai absorbansi. Gambar 1 menunjukkan hasil spektrum nanopartikel ZnO dan ekstrak daun tin menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengukuran UV-Vis ekstrak daun tin didapatkan puncak serapan yang khas pada panjang gelombang maksimum 320 nm dan nilai absorbansi 0,8. Adanya puncak serapan pada ekstrak daun tin diprediksikan bahwa daun tin mengandung metabolit sekunder seperti alkaloid, flavonoid dan tannin.

Munculnya puncak serapan pada panjang gelombang maksimum 260 nm dan nilai absorbansi 0,6 menandakan nanopartikel ZnO terbentuk. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Chikkanna *et al.*, 2019). Munculnya puncak serapan pada panjang gelombang 260 nm diprediksikan bahwa nanopartikel ZnO memiliki fenomena SPR (*surface plasmon resonance*).

Setelah dilakukan perhitungan persen reflektan hasil UV-Vis DRS nanopartikel ZnO memiliki nilai *band gap* sebesar 3,32 eV pada panjang gelombang 353 nm (gambar 2).



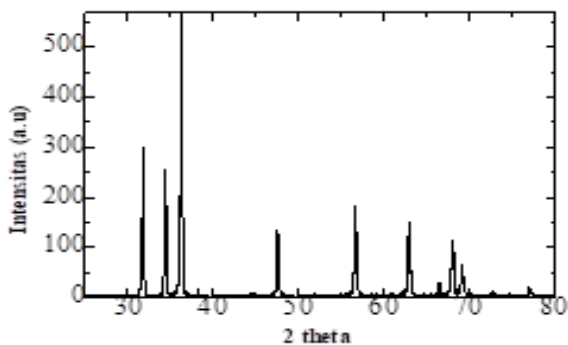
Gambar 1. Spektrum UV-Vis Nanopartikel ZnO



Gambar 2. Spektrum UV-Vis DRS Nanopartikel ZnO

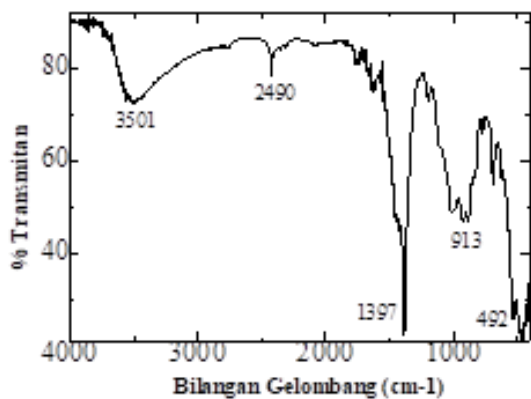
Hasil XRD menunjukkan puncak kristalinitas yang khas nanopartikel ZnO pada 2 *theta* 20-80°. Pola difraksi kristal nanopartikel ZnO sesuai dengan nilai JCPDS nomor 89-1397.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran XRD nanopartikel ZnO. Derajat kristalinitas nanopartikel ZnO muncul pada 2 theta: 30.71°, 33.36°, 37.20°, 45.50°, 54.56°, 60.84°, 68.03°, dan 66.99°. Nilai (h,k,l) kristal nanopartikel ZnO pada 2 *tetha* adalah (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112), dan (201). Setelah dilakukan perhitungan menggunakan persamaan *Scherer's* didapatkan rata-rata ukuran kristalinitas nanopartikel ZnO sebesar 15,9 nm.



**Gambar 3.** Kristalinitas XRD Nanopartikel ZnO

Perbedaan ukuran kristal ZnO pada hasil pengukuran XRD dengan ukuran partikel pada hasil SEM sangat berbeda, hal ini dimungkinkan pada XRD memperlihatkan setiap unit-unit kristal dalam partikel sedangkan pada SEM memperlihatkan bentuk keseluruhan partikel ZnO.



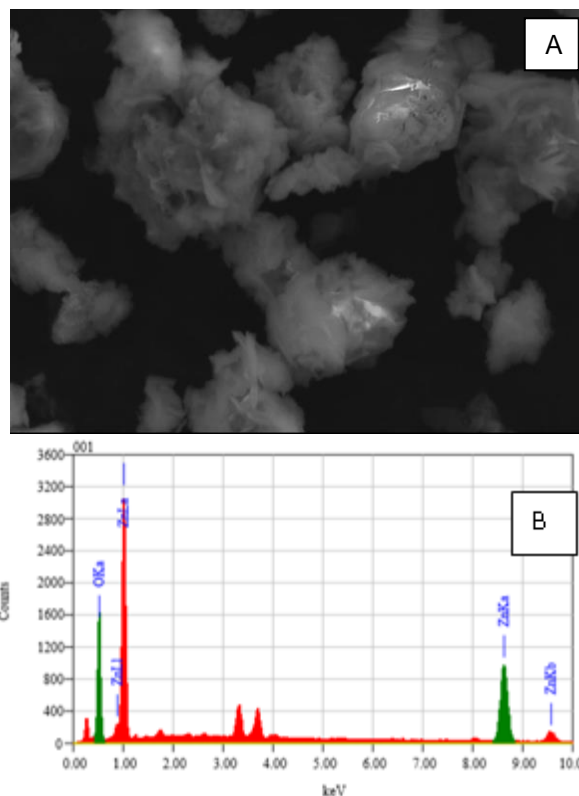
**Gambar 4.** Spektrum FTIR Nanopartikel ZnO

Gambar 4 menunjukkan spektrum hasil analisis menggunakan FTIR. FTIR berfungsi sebagai penentuan gugus fungsi pada ekstrak daun tin dan nanopartikel ZnO hasil *green synthesis*. Terdapat gugus fungsi yang aktif pada serbuk nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan ekstrak daun tin seperti gugus hidroksil (-OH) yang muncul pada bilangan gelombang 3501  $\text{cm}^{-1}$ , bilangan gelombang 2490  $\text{cm}^{-1}$  menandakan adanya gugus  $\text{-C=O}$ , pada bilangan gelombang 1397  $\text{cm}^{-1}$  menandakan adanya vibrasi *stretching* gugus fungsi C-O-H dengan mode bending, serapan gugus fungsi  $\text{-NH}$  (amina) terlihat pada bilangan gelombang 913  $\text{cm}^{-1}$  dan keberhasilan

terbentuknya nanopartikel ZnO terlihat puncak serapan pada bilangan gelombang 492  $\text{cm}^{-1}$ . Gugus amina pada ekstrak daun tin berperan penting sebagai sumber basa alami sehingga terbentuk  $\text{Zn(OH)}_2$  dan melalui proses kalsinasi terbentuk ZnO.

Hasil pengukuran SEM-EDX menunjukkan bentuk partikel ZnO dan komposisi senyawa yang terkandung pada material tersebut. Gambar 5a memperlihatkan bentuk partikel ZnO hasil sintesis menggunakan media ekstrak daun tin dan gambar 5b menunjukkan komposisi senyawa yang terlibat pada partikel ZnO.

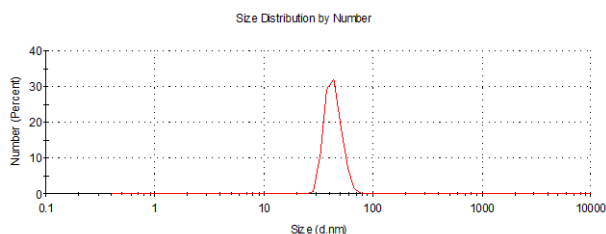
Nanopartikel ZnO memiliki bentuk partikel yang belum homogen (aglomerasi) dan seperti bentuk kapas yang terlihat pada perbesaran 2500 kali pada hasil SEM. Terjadinya aglomerasi pada nanopartikel ZnO dimungkinkan dari faktor pemberian ekstrak fraksi air daun tin yang terlalu banyak. Hasil EDX terlihat komponen yang tersusun adalah unsur Zn dengan kadar persen masa unsur sebesar 30,24% dan unsur O sebesar 69,76%. Persen komposisi ini merupakan jumlah total keseluruhan material ZnO yang terbentuk sebesar 100%.



**Gambar 5.** (a) Gambar SEM dan (b) Komposisi EDX Nanopartikel ZnO

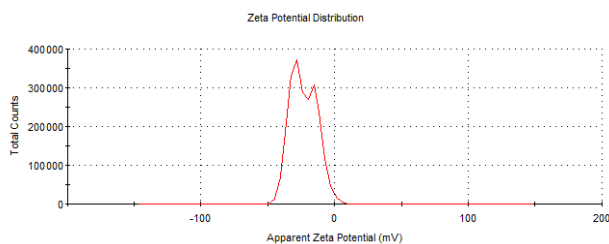
Penentuan intensitas muatan partikel, distribusi ukuran partikel dan nilai poli dispersi indeks (PDI) nanopartikel ZnO hasil dari sintesis menggunakan ekstrak daun tin dikarakterisasi menggunakan PSA (*particle size analyzer*) dan PZC (*Potential Zeta Charge*).

Ukuran rata-rata distribusi nanopartikel ZnO adalah 49,62 nm dengan nilai PDI sebesar 0,739 (gambar 6). Ukuran distribusi partikel ZnO pada PSA lebih besar dibanding dari hasil karakterisasi menggunakan XRD. Hal ini karena pada pengukuran PSA semua komponen baik ukuran partikel pada ekstrak dan partikel ZnO terukur secara keseluruhan sehingga ukuran menjadi besar.



**Gambar 6.** Spektrum PSA Nanopartikel ZnO

Gambar 7 menunjukkan hasil analisa menggunakan zeta potensial. Nanopartikel ZnO memiliki gaya tolak-menolak sebesar -23 mV. Hal ini mengindikasikan muatan (-) pada permukaan nanopartikel ZnO disebabkan adanya *capping agent* dari ekstrak daun tin.



**Gambar 7.** Spektrum PZC Nanopartikel ZnO

## KESIMPULAN

Ekstrak daun tin (*Ficus carica L*) berhasil dimanfaatkan sebagai media dalam sintesis nanopartikel ZnO. Metode *green synthesis* menggunakan bahan yang ramah lingkungan dari ekstrak daun dapat bertindak sebagai oksidator dan capping agent nanopartikel ZnO. Proses hidrolisis menunjukkan absorpsi nanopartikel ZnO terlihat pada panjang gelombang maksimum 260 nm dan pada bilangan gelombang 492  $\text{cm}^{-1}$ . Nanopartikel ZnO memiliki rata-rata ukuran kristal sebesar 15,9 nm dengan bentuk partikel seperti kapas. Komposisi masa unsur Zn sebesar 30,24% dan O sebesar 69,76%. Nanopartikel ZnO memiliki nilai PDI sebesar 0,739 dan distribusi rata-rata ukuran partikel sebesar 49,62 dengan nilai zeta potensial -23 mV.

## DAFTAR PUSTAKA

Agustina, E. 2017. "Uji Aktivitas Senyawa Antioksidan Dari Ekstrak Daun Tiin (*Ficus*

*Carica Linn*) Dengan Pelarut Air, Metanol Dan Campuran Metanol-Air." *Klorofil 1* (1): 38–47.

- Ahmad, J., I. Khan, S. Khan, and D. Iqbal. 2012. "Evaluation of Antioxidant and Antimicrobial Activity of *Ficus Carica* Leaves: An In Vitro Approach." *Journal of Plant Pathology & Microbiology* 04 (01): 1–4. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000157>.
- Ahmad, M., and J. Zhu. 2011. "ZnO Based Advanced Functional Nanostructures: Synthesis, Properties and Applications." *Journal of Materials Chemistry* 21 (3): 599–614. <https://doi.org/10.1039/c0jm01645d>.
- Chang, Y., W. Yang, C. Chang, P. Hsu, and L. Chen. 2009. "Controlled Growth of ZnO Nanopagoda Arrays with Varied Lamination and Apex Angles." *Crystal Growth and Design* 9 (7): 3161-3167.
- Chikkanna, M. M., S. E. Neelagund, and K. K. Rajashekarappa. 2019. "Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO NPs) and Their Biological Activity." *SN Applied Sciences* 1 (1): 1–10. <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0095-7>.
- Chu, Y., G. J. Lee, C. Y. Chen, S. H. Ma, J. J. Wu, T. L. Horng, K. H. Chen, and J. H. Chen. 2013. "Preparation of Bismuth Oxide Photocatalyst and Its Application in White-Light LEDs." *Journal of Nanomaterials* 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/596324>.
- Diallo, A., B. D. Ngom, E. Park, and M. Maaza. 2015. "Green Synthesis of ZnO Nanoparticles by *Aspalathus Linearis*: Structural & Optical Properties." *Journal of Alloys and Compounds* 646: 425–30. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.05.2>.
- Elumalai, K., S. Velmurugan, S. Ravi, V. Kathiravan, and S. Ashokkumar. 2015. "Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Moringa Oleifera* Leaf Extract and Evaluation of Its Antimicrobial Activity." *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 143:15864. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.02.011>.
- Hoan, B. T., P. D. Tam, and V. H. Pham. 2019. "Green Synthesis of Highly Luminescent Carbon Quantum Dots from Lemon Juice." *Journal of Nanotechnology* 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2852816>.
- Maryanti, E., N. Isnaini, and R. A. Hanum. 2012. "Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Terdoping Sulfur (ZnO:S) Melalui Metode Hidrotermal Suhu Rendah." *Jurnal Gradien* 8 (2): 815-818.
- Maryanti, E., D. Damayanti, I. Gustian, and S. Yudha S. 2014. "Synthesis of ZnO Nanoparticles by Hydrothermal Method in Aqueous Rinds Extracts of *Sapindus Rarak*

- DC." *Materials Letters* 118: 9698. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013>.
- Parra, M. R., and F. Z. Haque. 2014. "Aqueous Chemical Route Synthesis and the Effect of Calcination Temperature on the Structural and Optical Properties of ZnO Nanoparticles." *Journal of Materials Research and Technology* 3 (4): 363–69. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.07.001>.
- Permana, Y. N., and Y. Yulizar. 2016. "Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016)." *Journal of Physics: Conference Series* 755 (1). <https://doi.org/10.1088/17426596/755/1/011001>.
- Rackauskas, S., O. Klimova, H. Jiang, A. Nikitenko, K. A. Chernenko, S. D. Shandakov, E. I. Kauppinen, O. V. Tolochko, and A. G. Nasibulin. 2015. "A Novel Method for Continuous Synthesis of ZnO Tetrapods." *Journal of Physical Chemistry C* 119 (28): 16366–73. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b03702>.
- Samanta, P. K., A. Saha, and T. Kamilya. 2015. "Morphological and Optical Property of Spherical ZnO Nanoparticles." *Optik* 126 (18): 1740–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.04.025>.
- Sanna, V., N. Pala, V. Alzari, D. Nuvoli, and M. Carcelli. 2016. "ZnO Nanoparticles with High Degradation Efficiency of Organic Dyes under Sunlight Irradiation." *Materials Letters* 162: 257–60. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.10.031>.
- Saputra, I. S., and Y. Yulizar. 2016. "Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016)." *Journal of Physics: Conference Series* 755 (1). <https://doi.org/10.1088/17426596/755/1/011001>.
- Saragi, T., M. Oktaviani, Y. R. Purba, S. A. Dhiya U, Risdiana, and A. Bahtiar. 2015. "Kontrol Ukuran Kristal Nanopartikel ZnO Yang Disintesis Dengan Metode Hidrotermal," *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY ISSN: 0853-0823*.
- Sari, R. N., Nurhasni, and M. A. Yaqin. 2017. "Sintesis Nanopartikel ZnO Ekstrak Sargassum Sp. Dan Karakteristik Produknya." *JPHPI* 20 (2): 238–54.
- Umar, A., M. S. Akhtar, A. Al-Hajry, M. S. Al-Assiri, and N. Y. Almehbad. 2012. "Hydrothermally Grown ZnO Nanoflowers for Environmental Remediation and Clean Energy Applications." *Materials Research Bulletin* 47 (9): 2407–14. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.05.028>.
- Xu, Y., J. Jin, X. Li, Y. Han, H. Meng, T. Wang, and X. Zhang. 2016. "Simple Synthesis of ZnO Nanoflowers and Its Photocatalytic Performances toward the Photodegradation of Metamitron." *Materials Research Bulletin* 76: 235–39. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.11.062>.
- Zarrindokht Emami-Karvani, and Pegah Chehrazi. 2012. "Antibacterial Activity of ZnO Nanoparticle on Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria." *African Journal of Microbiology Research* 5 (18). <https://doi.org/10.5897/ajmr10.159>.
- Zheng Wei Pan, Zu Rong Dai, and Zhong Lin Wang. 2001. "Nanobelts of Semiconducting Oxides." *Science* 291 (5510): 1947–49. <https://doi.org/10.1126/science.1058120>.