

## Biosintesis Nanopartikel ZnO menggunakan Ekstrak Daun Betadin (*Jatropha multifida* L.) untuk Identifikasi Sidik Jari Laten

SRI ADELILA SARI<sup>1</sup>, MUHAMMAD RUDI AR<sup>2</sup>, HANISAH HASIBUAN<sup>1</sup>, NUR HARLIANDA<sup>3</sup>, ELVI SAYANI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Kimia, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, FKM Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Magister Kimia, Fakultas Pascasarjana, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

email: sriadelilasari@unimed.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Kata Kunci: ZnO, nanopartikel, ekstrak daun betadin (<i>jatropha multifida</i> L.), sidik jari laten</p>	<p>Karena pentingnya penegakan hukum, identifikasi sidik jari laten adalah topik terbuka yang menarik lebih banyak perhatian. Kehadiran seseorang di Tempat Kejadian Perkara (TKP) dapat ditentukan melalui sidik jari laten. Sidik jari laten dapat memberi polisi informasi yang dapat membantu mereka menangkap penjahat. Banyak formulasi bubuk sidik jari yang berbeda telah digunakan secara luas selama ini, dengan masing-masing formula terdiri dari zat resin dan pewarna kontras. Metode yang paling banyak digunakan untuk pengembangan sidik jari laten di masa lalu adalah pencelupan perak nitrat, yodium asap, pencelupan ninhidrin, dan bubuk debu. Metode kuno ini bekerja dengan baik pada berbagai permukaan. Para ilmuwan telah bekerja untuk mengembangkan teknik yang lebih akurat untuk visualisasi cetakan laten karena metode konvensional untuk deteksi cetakan laten tidak selalu berhasil. Beberapa zat yang digunakan untuk membuat bubuk sidik jari beracun dan mungkin berbahaya bagi kesehatan manusia. Studi ini menawarkan cara penggunaan ZnO yang dikombinasikan dengan proses produksinya dan dimodifikasi dengan ekstrak daun betadin untuk menghasilkan zat bubuk sidik jari yang aman dan tidak beracun. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ikatan Zn-O, gugus OH, gugus C-N, gugus C=O, serta adanya regangan N-O terdapat pada ekstrak daun betadin pada uji FTIR. Dengan demikian, maka temuan yang disajikan disini dapat menjadi titik awal untuk penyelidikan investigasi yang lebih canggih.</p>
<p>Keywords: ZnO, nanoparticles, latent fingerprint, betadin (<i>jatropha multifida</i> L.) leaf, biosynthesis</p>	<p><i>Due to its importance to law enforcement, latent fingerprint identification is an open subject that is drawing more attention. The presence of a person at a crime scene can be determined through latent fingerprints. Latent fingerprints can provide the police with information that can help them apprehend criminals. Many different fingerprint powder formulations have been widely employed during this time, with each formula consisting of a resin substance and a dye for contrast. The most widely used methods for latent fingerprint development in the past were silver nitrate immersion, smokey iodine, ninhydrin dipping, and dusting powder. These age-old methods work well on a variety of surfaces. Scientists have been working to develop more accurate techniques for latent print visualization because the conventional methods for latent print detection are not always successful. Some of the substances used to make fingerprint powders are poisonous and may be harmful to human health. This study offers a way for using ZnO in combination with its production process and modified by betadine leaf extract to create a safe and non-toxic fingerprint powder substance. The results of this investigation demonstrated that Zn-O bonds, OH groups, C-N groups, C=O groups, as well as the presence of N-O stretching are present in betadine leaf extract in the FTIR test. As a result, the findings presented here can act as a starting point for the investigation of more sophisticated investigations.</i></p>

### PENDAHULUAN

Nanopartikel merupakan suatu partikel yang memiliki ukuran sebesar 1-100 nm. Nanopartikel mampu menaikkan kestabilan bahan aktif terhadap kerusakan pada lingkungan

(penguraian enzimatis, pengoksidasian, dan hidrolisis), meningkatkan penyerapan senyawa makromolekul, meningkatkan ketersediaan hayati, mengurangi efek iritasi zat aktif pada saluran pencernaan, mengatasi kelarutan senyawa aktif yang tidak larut, dan mengubah sistem penghantaran obat sehingga obat dapat langsung menuju area tertentu. Saat ini, seng, emas, perak titanium, magnesium, tembaga, dan alginat digunakan untuk membuat berbagai struktur nano logam [1].

Nanopartikel menjadi sangat penting dibandingkan dengan partikel berukuran besar. Diantara nanopartikel logam lainnya, nanopartikel seng oksida sangat penting karena penggunaannya dalam sensor gas, biosensor, kosmetik, sistem pengiriman obat dan sebagainya. Seng oksida merupakan suatu senyawa inorganik yang memiliki rumus kimia ZnO. Serbuk seng oksida berwarna putih hampir tidak larut dalam air. ZnO adalah komponen yang banyak digunakan yang dapat ditemukan di berbagai macam produk dan bahan. Beberapa nanopartikel oksida logam diproduksi dengan kemungkinan aplikasi untuk masa depan. Diantaranya ZnO dianggap salah satu yang terbaik dieksploitasi di dimensi nano. Kesenjangan pita lebar dan energi pengikat rangsang yang besar membuat ZnO penting baik untuk aplikasi ilmiah maupun industri [2]. Perkembangan ilmu kimia dalam mensintesis ZnO yang tidak berbahaya telah banyak dilakukan, seperti Janjal [3] mensintesis nanopartikel ZnO dari ekstrak daun jambu. Awwad [4] mensintesis ZnO dari ekstrak daun *Oleaurope*.

Jenis-jenis nanopartikel dibagi menjadi perak, emas, alloy dan magnetik. Adapun fungsi dari jenis-jenis nanopartikel ini dapat dijadikan sebagai bahan untuk pelacak laboratorium dalam sidik jari DNA dalam sampel [5]. Sidik jari merupakan kesan garis-garis lengkung kulit pada ujung jari yang tertinggal di permukaan atau dibuat dengan menekan jari bertinta di atas kertas. Sidik jari memiliki ciri khas, tanda atau pola yang unik yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi seseorang atau sesuatu [6]. Sidik jari laten, plastik, dan terlihat adalah tiga kategori yang termasuk dalam sidik jari forensik [7].

Identifikasi sidik jari laten adalah masalah terbuka yang menarik minat yang meningkat karena relevansinya dengan penegakan hukum [8]. Sidik jari laten bisa mengungkapkan keberadaan seseorang di TKP. Sidik jari laten dapat berfungsi sebagai petunjuk untuk mengarahkan polisi untuk penangkapan kriminal.

Misalnya, penemuan seorang anak kriminal jaringan pornografi di AS, pada tahun 2017, dimulai dari sidik jari yang diperoleh dari foto digital [9]. Identifikasi sidik jari laten semakin menarik perhatian karena perannya yang penting dalam penegakan hukum

Teknik bedak telah digunakan sebagai teknik sejak awal 1900-an. Selama periode ini, banyak formulasi bubuk sidik jari telah banyak digunakan, dengan masing-masing formula terdiri dari pewarna untuk kontras dan bahan resin [10]. Dulu bedak debu, pencelupan ninhidrin, yodium berasap dan perendaman perak nitrat adalah teknik yang paling umum digunakan untuk pengembangan sidik jari laten. Teknik tradisional ini cukup efektif untuk banyak permukaan. Namun, metode tradisional untuk laten deteksi cetak tidak selalu efektif dan para ilmuwan telah mencoba untuk menyempurnakan metode yang lebih baik untuk visualisasi cetakan laten. Beberapa zat yang digunakan untuk membuat bubuk sidik jari berbahaya bagi kesehatan manusia [11].

Pada tahun 2019, Sari et al., telah melakukan penelitian terkait bahan sidik jari dari bahan alam yaitu gambir. Hasilnya menunjukkan bentuk sidik jari yang kecoklatan dan pola warna sidik jari yang kontras [12]. Selain itu, pada tahun 2021, Sari et al., juga meneliti dengan menggunakan bahan alam dari kulit buah naga. Hasil yang diperoleh yaitu menunjukkan warna kecoklatan yang kontras [13]. Sari & Hawari juga telah melakukan penelitian tentang sidik jari laten dengan menggunakan ekstrak daun jeruk (*Citrus aurantifolia*). Hasil yang diperoleh pada berbagai permukaan berpori dan tidak berpori menunjukkan visualisasi dengan ciri gurat-gurat yang terlihat bagus dan jelas [14].

Penelitian ini memberikan solusi dalam mengembangkan bahan serbuk sidik jari yang tidak berbahaya dan tidak beracun dengan cara memanfaatkan ZnO yang dikombinasikan dengan metode sintesisnya serta juga dimodifikasi dengan menggunakan ekstrak daun betadin. *Jatropha multifida* L., juga dikenal sebagai tanaman obat tradisional Benin sebagai dikenal sebagai bahan antibiotik. Tanaman betadin dikenal sebagai alovi aton dalam bahasa Fon lokal Benin dan memiliki sifat obat yang diakui secara luas. Tanaman betadin ini digunakan untuk mengobati berbagai penyakit populasi manusia di Afrika, Asia atau Amerika Latin [15].

*Jatropha* dapat digunakan untuk pengobatan, diambil dari kata Yunani "jatros"

yang bermakna "dokter" dan "trophe" yang bermakna "makanan". Secara geografis, famili Euphorbiaceae, yang memiliki 150-175 spesies berkayu yang tersebar luas, termasuk genus *Jatropha* L. Famili Euphorbiaceae mencakup genus *Jatropha*, yang mengandung berbagai spesies, termasuk *J. multifida*, *J. curcas*, *J. molissima*, dan *J. gossypifolia* [16]. Genus *Jatropha* menawarkan berbagai keuntungan, termasuk aksi antibakteri dan pestisida [17]. Alkaloid dan flavonoid diketahui terdapat pada tanaman betadin ini. Salah satu metabolit sekunder yang ditemukan pada tanaman adalah flavonoid, yang merupakan zat polar yang dapat larut dalam alkohol. Sifat antimikroba, antijamur, antibakteri, anti alergi, sitotoksik, dan anti hipertensi dari metabolit sekunder sebagai metabolit sekunder [18].

## EKSPERIMEN

### *Material*

Bahan yang digunakan yaitu daun betadin, aquabides, seng nitrat heksahidrat ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Smart-Lab), serbuk indestructible white (Sirchie) dengan komposisi titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), sampel permukaan berpori yang telah teruji (kertas karton hitam dan kertas minyak) dan sampel permukaan tidak berpori yang telah teruji (kaca preparat, aluminium foil dan compact disk).

### *Instrumentasi*

Gelas beaker (Pyrex) ukuran 500 ml, 250 mL dan 100 ml, serta gelas ukur (Pyrex) berukuran 150 ml, neraca analitik (Fujitsu), corong kaca (Pyrex) ukuran diameter 90 mm, blender, pengaduk magnetik (Thermo Scientific), furnace (Gallenhamp Hot Spot), mortal dan alu (PZ), spatula, gunting (Joyko), kaca pembesar (Joyko) ukuran 60mm dengan 5x pembesaran, kamera ponsel, sarung tangan (Sensi), selotip transparan (Joyko) ukuran sedang, lifted fingerprint backing card (Sirchie), Fourier Transform Infrared dan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray, digunakan dalam penelitian ini.

### *Prosedur*

#### *Preparasi Ekstrak Daun Betadin*

Daun betadin dicuci dengan aquabides untuk menghilangkan kotoran. Kemudian dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dalam suhu ruang. dan diblender selama empat menit hingga menjadi bubuk. Setelah itu, 2 g serbuk daun betadin ditambahkan ke dalam gelas beaker dengan 100 mL aquabides, diaduk hingga 10 menit di suhu  $70^\circ\text{C}$  dengan pengaduk magnetik, kemudian dipanaskan selama 10 menit pada suhu  $80^\circ\text{C}$  sebelum didinginkan pada suhu kamar. Larutan ekstrak daun betadin disaring melalui kertas saring Whatman No. 1 guna memisahkan filtrat dari residu, dan filtrat tersebut selanjutnya digunakan untuk membuat nanopartikel ZnO. (Sari & Hawari, 2022).

#### *Sintesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Betadin*

Sebanyak 85 mL ekstrak daun betadin dan 4 g seng nitrat dicampurkan, dan campuran tersebut kemudian diaduk selama satu jam menggunakan pengaduk magnetik. Lalu larutan ditempatkan di dalam penangas air di suhu  $60^\circ\text{C}$  hingga satu jam. Setelah itu, campuran tersebut dipanaskan pada suhu  $150^\circ\text{C}$  menggunakan pengaduk magnetik untuk menghasilkan suspensi atau endapan. Larutan akan berubah warna dan membentuk suspensi, hal ini menunjukkan bahwa bioreduksi garam ZnO menjadi nanopartikel telah selesai. Kemudian dikalsinasi pada suhu  $400^\circ\text{C}$  untuk menghasilkan nanopartikel ZnO murni [14].

#### *Karakterisasi Nanopartikel*

Identifikasi gugus fungsi dalam pembuatan nanopartikel pada ekstrak daun betadin menggunakan FTIR pada bilangan gelombang  $4.000-400\text{ cm}^{-1}$  dan morfologi serta komposisi unsur yang terkandung dalam nanopartikel ZnO ditentukan dengan menggunakan SEM-EDX [14].

#### *Identifikasi Sidik Jari Laten*

Partisipan penelitian ini sebanyak 30 orang diambil acak. Orang yang memiliki sidik jarinya diambil dengan diinstruksikan untuk mencuci tangan dengan sabun dan dikeringkan dengan udara, kemudian sentuh ujung ibu jari tangan kanan pada dahi atau wajah untuk mendapatkan cetakan minyak (sebum). Hal ini dapat membantu cetakan sidik jari yang akan diletakkan pada media. Setelah itu, responden juga diminta menempelkan sidik jari ibu jari kanannya

ke beberapa jenis permukaan berpori (karton hitam dan kertas minyak) dan permukaan tanpa pori (piring kaca, aluminium foil, dan C). Kemudian, bubuk nanopartikel ZnO dengan lembut dan hati-hati disikat ke laten sidik jari. Akhirnya tersisa bubuk harus dihilangkan dengan ketukan lembut dan sidik jari laten harus difoto menggunakan kamera hp sebelum dilepas dengan selotip [14].

### *Pengembangan Identifikasi Sidik Jari Laten*

Sidik jari laten pada sampel permukaan berpori dan tanpa pori dibandingkan pada serbuk nanopartikel ZnO dan serbuk indestructible white (Sirchie) yang mengandung titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) dengan ukuran mikro.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Sintesis Nanopartikel ZnO*

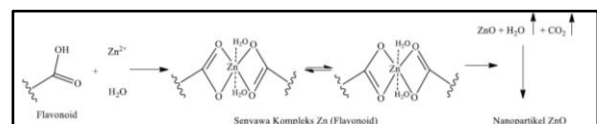
Tahap sintesis yang dilakukan dengan menggunakan ekstrak daun betadin sebanyak 85 mL dimasukkan ke gelas beaker yang berisi Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O sebanyak 4 gram. Proses pengadukan Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O dengan ekstrak daun betadin yang menghasilkan perubahan warna dari merah kecokelatan menjadi warna merah kecokelatan yang lebih pekat dari ekstrak daun betadin sebelum ditambahkan dengan Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O. Perubahan rona warna dari merah kecokelatan ke merah kecokelatan yang lebih pekat, mengindikasikan perubahan fisio-kimiawi yang dihasilkan selama proses pengadukan Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O dengan ekstrak daun betadin yang dianggap sebagai indikator awal dalam memproduksi nanopartikel. Hasil ini seperti pada penelitian sebelumnya tentang perubahan warna pada sintesis tanaman nanopartikel ZnO [14]. Flavonoid dianggap bertanggung jawab atas ion Zn menjadi nanopartikel ZnO. Dalam jangka waktu beberapa jam, warna larutan berhenti berubah lebih jauh. Hal tersebut menunjukkan bahwa bioreduksi garam ZnO menjadi nanopartikel ZnO.

ZnO adalah suatu senyawa anorganik dan biasanya berbentuk bubuk putih. ZnO juga dapat disebut sebagai bahan yang multifungsi karena sifat fisik dan kimianya yang unik [19]. ZnO adalah zat yang memiliki banyak kegunaan dalam optoelektronik, dioda laser, LED, fotovoltaiik, sel surya, dan teknologi lainnya. ZnO adalah penyerap sinar UV yang hebat, transparan

terhadap cahaya tampak, memiliki mobilitas elektron yang kuat, daya hantam yang luas, dan tahan terhadap suhu tinggi [20].

Penggunaan ekstrak daun betadin berfungsi untuk membuat media poliol (karena ekstrak daun betadin kaya akan flavonoid) yang bertindak baik sebagai pelarut maupun sebagai agen penstabil untuk mengatur pertumbuhan nanopartikel ZnO. Media poliol dapat diyakini untuk mengontrol pembentukan aglomerat keras yang terbentuk selama sintesis nanopartikel oksida logam yang diperoleh melalui rute berair. Oleh karena itu, penggunaan titik didih yang tinggi pada poliol telah direkomendasikan oleh peneliti sebelumnya [21].

Apalagi pada ekstrak daun betadin lebih banyak gugus hidroksil, dengan demikian dapat memfasilitasi tercapainya keseimbangan yang cepat antara reaksi hidrolisis dan kondensasi [22]. Maka dari itu, seng nitrat digunakan sebagai prekursor dapat dengan mudah mengalami hidrolisis pembentukan ion nitrat dan ion seng membuat ion seng mudah tersedia untuk berikatan dengan gugus hidroksil dari molekul alkohol. Hal tersebut produk antara, yaitu, seng hidroksida nitrat yang terbentuk dalam larutan berair dapat dengan mudah diubah menjadi ZnO melalui kalsinasi pada suhu yang lebih tinggi. Amonium nitrat terbentuk sebagai produk sampingan sangat larut dalam air dan dapat mudah dihapus [23]. Mekanisme reaksinya terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Mekanisme Reaksi Sintesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Betadin

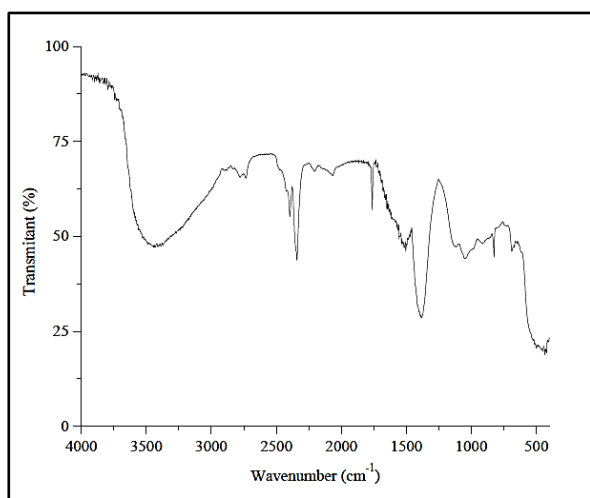
Penguraian seng pada suhu tinggi dapat membuatnya melepaskan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dan secara efektif kemudian menghasilkan molekul ZnO. Selanjutnya, pemanasan yang cukup diperlukan untuk menginduksi pembentukan nanopartikel ZnO yang terkristalisasi dengan. Suhu dianggap sebagai faktor penting dalam sintesis nanopartikel yang berukuran baik. Selain itu, diketahui juga bahwa semakin tinggi suhu pada proses reaksi sintesis ananopartikel, semakin kecil pula ukuran nanopartikel [24, 25].

### *Karakterisasi Nanopartikel ZnO*

#### *Karakterisasi Menggunakan FTIR*



Spektroskopi FTIR adalah salah satu spektroskopi vibrasi yang banyak digunakan untuk analisis kimia dalam sampel biomedis [26, 27], karena sebagian besar anorganik dan komponen organik di lingkungan aktif dalam radiasi *infrared* (IR) selain itu IR juga memiliki momen dipol [28, 29, 30]. Pengujian untuk mengamati gugus fungsi yang ada dalam nanopartikel ZnO, dengan FTIR [31]. Adapun hasil spektrum FTIR dari nanopartikel ZnO yang disintesis dengan menggunakan ekstrak daun betadin dapat dilihat pada Gambar 2.

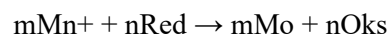


**Gambar 2** Hasil Spektrum Analisis FTIR Nanopartikel ZnO

Gambar 2 menunjukkan bahwa di wilayah bilangan gelombang antara 500 – 600  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan Zn-O [32, 33, 34]. Vibrasi ulur gugus hidroksil (OH) terjadi pada bilangan gelombang 3423,65  $\text{cm}^{-1}$  yang disebabkan oleh adsorpsi air pada permukaan nanopartikel ZnO [35, 36, 37] dan pada rentang bilangan 1047,35  $\text{cm}^{-1}$  memperlihatkan adanya gugus OH yang lentur dalam protein [38] dan juga diidentifikasi adanya vibrasi regangan gugus amina (C-N) [39]. Pada bilangan gelombang 1508,33  $\text{cm}^{-1}$  ditemukan puncak lemah gugus karbonil (C=O) simetri [40, 41]. Pada puncak 1764,87  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan peregangan gugus C=O [42]. Pada bilangan gelombang 1384,89  $\text{cm}^{-1}$  menandakan terdapat gugus alkana (C-H) [14] dan juga adanya peregangan N-O. Bilangan gelombang pada 1384,89  $\text{cm}^{-1}$  terjadi peningkatan pada saat sampel sebelum dikalsinasi. Hal ini diperkirakan disebabkan oleh jumlah gugus fungsi N-O yang dihasilkan prekursor  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  [43] Hasil FT-IR ini menunjukkan tidak ada perbedaan diantara semua perlakuan dan mengkonfirmasi komposisi kimia dari ZnO yang

diperoleh, seperti pada penelitian sebelumnya [44, 45, 46].

Senyawa dengan gugus fungsi OH diketahui berkontribusi dalam pembuatan nanopartikel, menurut data dari spektrum FTIR. Ada banyak zat dengan gugus fungsi ini dalam ekstrak daun betadine. Kompleksasi  $\text{Zn}^{2+}$  dan ekstrak daun betadine merupakan langkah kunci dalam produksi nanopartikel ZnO. Gugus fungsi ini bekerja sebagai ligan yang memberikan orbital  $\text{Zn}^{2+}$  pasangan elektron bebas, dan  $\text{Zn}^{2+}$  serta gugus polar kemudian bergabung untuk menghasilkan senyawa kompleks dalam templat berskala nano. Setelah prosedur kalsinasi, nanopartikel ZnO diproduksi [47]. Ketika nanopartikel logam di reduksi, reaksi umum yang berlangsung yaitu:



Dimana, Red adalah reduktor dan Oks adalah hasil oksidasi, lalu M adalah logam.

## SIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian, uji FTIR menunjukkan adanya ikatan Zn-O, gugus OH, gugus C-N, gugus C=O, dan peregangan N-O.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada seluruh pihak yang memberikan kontribusinya selama pelaksanaan penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] M. Fadhila, R. Wahyuni, Y. N. Sari, M. D. Octavia dan M. D. Lestari, "Nanoparticle of Telmisartan and Polyvinylpyrrolidone K-30: Characterization," *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, vol. 12, no. 4, pp. 56-59, 2022.
- [2] S. Sabir, M. Arshad dan S. K. Chaudhari, "Zinc Oxide Nanoparticles for Revolutionizing Agriculture: Synthesis and Applications," *Hindawi Publishing Corporation: The Scientific World Journal*, vol. 2014, pp. 1-8, 2014.
- [3] S. Janjal, A. Agale, A. Rajbhoj dan G. ST, "Synthesis and Electrochemical



- in Mauritius,” *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, vol. 8, no. 1, pp. 1-8, 2018.
- [18] N. Harlianda, Halimatussakdiah dan U. Amna, “Analisis Kualitatif Senyawa Metabolit Sekunder Daun Betadin (*Jatropha multifida* L.),” *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, vol. 1, no. 1, pp. 5-10, 2019.
- [19] R. Manjunantha, K. Usharani dan D. Naik, “Synthesis and characterization of ZnO Nanoparticles: A Review,” *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 1095-1101, 2019.
- [20] A. M. Famia dan M. Muldarisnur, “Pengaruh Temperatur Sintesis Hidrotermal Terhadap Diameter Nanopartikel Seng Oksida,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 8, no. 2, pp. 127-132, 2019.
- [21] S. Fakhari, M. Jamzad dan H. Kabiri Fard, “Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles: A Comparison,” *Green Chem. Lett. Rev*, vol. 12, no. 1, pp. 19-24, 2019.
- [22] J. Hasnidawan, H. Azlina, H. Norita, N. Bonnia, S. Ratim dan E. Ali, “Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method,” *Procedia Chemistry*, vol. 19, pp. 211-216, 2016.
- [23] S. Zahra, S. Qaisa, A. Sheikh, H. Bukhari dan C. A. Amin, “Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Struktur dan Morfologi Nanopartikel Seng Oksida yang Disintesis Melalui Proses Sol-Gel Berair yang Dikatalisis Basa,” *Jurnal Kimia Eropa*, vol. 13, no. 2, p. 162 – 167, 2022.
- [24] K. Saware dan A. Venkataraman, “Biosynthesis and Characterization of Stable Silver Nanoparticles Using *Ficus Religiosa* Leaf Extract: A Mechanism Perspective,” *Journal of Cluster Science*, vol. 25, pp. 1157-1171, 2014.
- [25] S. Jain dan M. S. Mehata, “Medicinal Plant Leaf Extract and Pure Flavonoid Mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Enhanced Antibacterial Property,” *Scientific Reports*, vol. 7, no. 15867, 2017.
- [26] K. A. Chan dan S. G. Kazarian, “Attenuated Total Reflection Fourier-transform Infrared (ATR-FTIR) Imaging of Tissues and Live Cells,” *Chemical Society Reviews*, vol. 45, no. 7, pp. 1850-1864, 2016.
- [27] V. Hospodarova, E. Singovszka dan N. Stevulova, “Characterization of Cellulosic Fibers by FTIR Spectroscopy for Their Further Implementation to Building Materials,” *American Journal of Analytical Chemistry*, vol. 9, no. 6, pp. 303-310, 2018.
- [28] P. R. Griffiths dan J. A. de Haseth, *Fourier Transform Infrared Spectrometry*, New York: John Wiley & Sons, 2007.
- [29] F. Xu, F. Dowell, D. Wang, J. Yu dan T. Tesso, “Qualitative and Quantitative Analysis of Lignocellulosic Biomass Using Infrared Techniques,” *Appl Energy*, vol. 104, pp. 801-809, 2013.
- [30] C. d. C. A. Lopes, P. H. J. O. Limirio, V. R. Novais dan P. Dechichi, “Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Application Chemical Characterization of Enamel, Dentin and Bone,” *Applied Spectroscopy Reviews*, vol. 53, no. 9, pp. 747-769, 2018.
- [31] R. K. Shah, F. Boruah dan N. Parween, “Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles Using Leaf Extract of *Camellia sinesis* and Evaluation of Their Antimicrobial Efficacy,” *International Journal of Current Microbiology Application Sciences*, vol. 4, no. 8, pp. 444-450, 2015.
- [32] W. Ahmad dan D. Karla, “Green Synthesis, Characterization and Anti Microbial Activities of ZnO Nanoparticles Using *Euphorbia hirta* Leaf Extract,” *Journal of King University*, vol. 32, p. 2015, 2358 – 2364.

- [33] H. Sadiq, F. Sher, S. Sehar, E. C. Lima, S. Zhang dan H. M. Iqbal, "Green Synthesis of ZnO Nanoparticles from Syzygium cumini Leaves Extract With Robust Photocatalysis Applications," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 335, p. 116567, 2021.
- [34] Y. Veronica, A. Astuti dan S. R. A. Usna, "Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@PEG:ZNO," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 11, no. 1, p. 30 – 36, 2022.
- [35] G. Xiong, U. Pal, J. G. Serrano, K. B. Ucer dan R. T. Williams, "Photoluminescence and FTIR Study of ZnO Nanoparticles: the Impurity and Defect Perspective," *Physica Status Solidi (C)*, vol. 3, no. 10, pp. 3577-3581, 2006.
- [36] N. M. Girouard, S. Xu, G. T. Schueneman, M. L. Shofner dan J. C. Meredith, "Site-Selective Modification of Cellulose Nanocrystals with Isophorone Diisocyanate and Formation of Polyurethane-CNC Composites," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 8, pp. 1458-1467, 2016.
- [37] A. M. Ismail, A. A. Menazea, H. A. Kabary, A. E. El-Serbiny dan A. Samy, "The Influence of Calcination Temperature on Structural and Antimicrobial Characteristics of Zinc Oxide Nanoparticles Synthesized by Sol-gel Method," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1196, pp. 332-337, 2019.
- [38] S. Vijayakumar, S. Mahadevan, P. Arulmozhi, S. Shiram dan P. K. Praseetha, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Atalantia monophylla* leaf extracts: Characterization and antimicrobial analysis," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 82, pp. 39-45, 2018.
- [39] D. Ramimoghadam, S. Bagheri dan S. B. Abd Hamid, "Biotemplated Synthesis of Anatase Titanium Dioxide Nanoparticles via Lignocellulosic Waste Material," *BioMed Research International*, 2014.
- [40] S. Husain, F. Rahman, N. Ali dan P. A. Alvi, "Nickel Sub-Lattice Effects on the Optical Properties of ZnO Nanocrystals," *Journal of Optoelectronics Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 28-32.
- [41] S. P. Rajendran dan K. Sengodan, "Synthesis and Characterization of Zinc Oxide and Iron Oxide Nanoparticles Using *Sesbania grandiflora* Leaf Extract as Reducing Agent," *Journal of Nanoscience*, 2017.
- [42] R. D. Kale dan P. Jagtap, "Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles Using Citrus Limon Leaves and Its Structural Investigation," *n: Advances in Health and Environment Safety: Select Proceedings of HSFEA 2016*, pp. 11-20, 2018.
- [43] R. N. Sari dan Y. M. Nurhasni, "Sintesis Nanopartikel ZnO Ekstrak Sargassum sp. dan Karakteristik Produknya," *JPHPI*, vol. 20, no. 2, pp. 238-254, 2017.
- [44] R. M. Alwan, Q. A. Kadhim, K. M. Sahan, R. A. Ali, R. J. MAhdi, N. A. Kassim dan A. N. Jassim, "Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles via Sol-gel Route and Their Characterization," *Nanosci. Nanotechnol*, vol. 5, no. 1, pp. 1-6, 2015.
- [45] S. Taghavi Fardood, S. Ramazani, S. Moradi dan A. Aslabi, "Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Arabic Gum and Photocatalytic Degradation of Direct Blue 129 Dye Under Visible Light," *J. Mater. Sci. Mater. Electron*, vol. 28, pp. 13596-13601, 2017.
- [46] A. Samy, A. E. El-Serbiny dan A. A. Menazea, "Green Synthesis of High Impact Zinc Oxide Nanoparticles," *Egypt. J. Chem*, vol. 62, 2019.
- [47] B. K. Tiwari dan D. J. Troy, "Seaweed Sustainability: Food and Non-Food Applications," *Elsevier Inc*, vol. 11, p. 288 – 313, 2013.



- [48] M. RL, U. KV dan N. Dhananjay,  
"Synthesis and characterization of ZnO  
nanoparticles: A review," *Journal of  
Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 8,  
no. 3, pp. 1095-1101, 2019.