

PREPARASI DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL ZNO/TIO₂ DENGAN EKSTRAK DAUN PEPAYA (CARICA PAPAYA L)

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ZNO/TIO₂ NANOPARTICLES WITH PAPAYA LEAF EXTRACT (CARICA PAPAYA L)

Defi Ayunda, dan Dina Kartika Maharani*

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

* Corresponding author dinakartika@unesa.ac.id

Abstrak. Sintesis hijau nanopartikel logam telah menjadi penelitian yang menarik karena menawarkan alternatif ramah lingkungan dan hemat biaya. Sintesis hijau berhasil dilakukan dengan menggunakan ekstrak daun pepaya (*Carica papaya* L) dimana senyawa polifenol yang bertanggung jawab sebagai agen pereduksi dan capping agent. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik nanopartikel yang telah berhasil disintesis menggunakan metode sol-gel. Nanopartikel ZnO/TiO₂ (ZT) telah berhasil disintesis menggunakan metode sintesis hijau dengan dan pepaya (*Carica papaya* L.) sebagai agen pereduksi. Hasil FTIR dari nanopartikel ZnO/TiO₂ menghasilkan pola serapan 880,18 cm⁻¹; 850,43 cm⁻¹; 868,57 cm⁻¹; dan 874,76 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur dari Zn-O-Ti. Ukuran partikel nanopartikel ZnO/TiO₂ pada variasi ZT-0, ZT-1, ZT-3, ZT-5, dan ZT-7 adalah 10,469 nm; 10,98 nm; 10,21 nm; 11,65 nm; dan 11,04 nm.

Kata kunci : Nanopartikel ZnO/TiO₂; Greensynthesis; Karakteristik

Abstract. Green synthesis of metal nanoparticles has become an interesting research area because it offers an environmentally friendly and cost-effective alternative. Green synthesis was successfully carried out using papaya leaf extract (*Carica papaya* L) where polyphenol compounds were responsible as reducing agents and capping agents. The aim of this research is to determine the characteristics of nanoparticles that have been successfully synthesized using the sol-gel method. ZnO/TiO₂ (ZT) nanoparticles have been successfully synthesized using the green synthesis method with papaya (*Carica papaya* L.) as a reducing agent. FTIR results from ZnO₂ nanoparticles produced an absorption pattern of 880.18 cm⁻¹; 850.43 cm⁻¹; 868.57 cm⁻¹; and 874.76 cm⁻¹ is the stretching vibration of Zn-O-Ti. The particle size of ZnO/TiO₂ nanoparticles in variations ZT-0, ZT-1, ZT-3, ZT-5, and ZT-7 is 10.469 nm; 10.98nm; 10.21nm; 11.65nm; and 11.04 nm.

Keywords: ZnO/TiO₂ nanoparticles; Greensynthesis; Characteristics

PENDAHULUAN

Pengembangan nanoteknologi telah pesat dan menjadi beberapa fokus peneliti selama kurun waktu satu dasawarsa terakhir [1]. Sintesis nanopartikel menggunakan metode fisika (*top-down*) dan metode kimia (*bottom-up*) menghasilkan limbah kimia beracun yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan manusia [2].

Penggunaan agen seperti hidrazin hidrat (H₆N₂O), natrium borohidrida (NaBH₄), dimetil formamida (DMF), dan etilen glikol (C₂H₆O₂) dapat menghasilkan limbah yang berpotensi menjadi polutan yang mencemari lingkungan [2].

Sebagai alternatif masalah tersebut, saat ini telah dikembangkan metode sintesis hijau. Metode sintesis kimia-hijau (*green synthesis*) adalah metode sintesis yang memanfaatkan sumber daya

alam seperti, ekstrak tumbuhan, bakteri dan jamur. Sintesis hijau nanopartikel logam telah menjadi penelitian yang menarik karena menawarkan alternatif ramah lingkungan dan hemat biaya dalam bidang sintesis nanopartikel daripada metode sintesis kimia konvensional. [3]. Beberapa peneliti membuktikan bahwa penggunaan metode sintesis hijau lebih ramah lingkungan dan hemat biaya daripada metode sintesis konvensional [4][5][6].

Penggunaan bahan alam seperti daun, batang, dan akar tumbuhan dalam sintesis nanopartikel dapat menekan biaya dalam sintesis nanopartikel karena ketersediaan bahan alam yang melimpah. Salah satu jenis tanaman yang sering digunakan dalam sintesis hijau adalah pepaya. Daun pepaya memiliki banyak senyawa aktif seperti flavonoid, tanin, dan polifenol menjadi salah satu alasan daun pepaya digunakan sebagai agen pereduksi dalam sintesis nanopartikel [7]. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya [8] bahwa sintesis nanopartikel perak yang dihasilkan dengan menggunakan ekstrak daun pepaya sebagai agen pereduksi memiliki ukuran partikel yang seragam dan stabil yaitu pada ukuran 35-50 nm. Daun pepaya banyak digunakan dalam sintesis hijau suatu nanopartikel, logam dan oksida logam yang sering digunakan adalah Ag, CuO, dan ZnO [4].

Sifat unggul yang dimiliki ZnO seperti stabilitas fotokimia yang tinggi, tidak mudah larut, dan tidak beracun bagi lingkungan membuat ZnO sering digunakan sebagai nanopartikel [9]. Ramadanti & Maharani [10] mensintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak daun *Carica papaya L* menghasilkan partikel dengan ukuran 39,6 nm dan dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dengan luas hambat 23,7 mm dan bakteri *Escherichia coli* dengan zona hambat sebesar 8,3 mm.

Salah satu senyawa oksida logam yang sering dikompositkan dengan ZnO adalah senyawa TiO₂. Penambahan senyawa oksida logam TiO₂ dalam nanopartikel ZnO dapat menambah efektivitas nanopartikel sebagai antibakteri [11]. Karthikeyan *et al.* [12] melakukan sintesis komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ menggunakan ekstrak bunga *Azadirachta indica* menghasilkan partikel berukuran 60-70 nm dengan zona hambat pada bakteri *Escherichia coli* sebesar 9 mm.

Berdasarkan pemaparan diatas, penelitian ini memanfaatkan daun pepaya sebagai agen pereduksi karena ukuran partikel yang dihasilkan

lebih kecil dibandingkan dengan bahan alam lain, selain itu penambahan TiO₂ diharapkan dapat menurunkan ukuran dari komposit nanopartikel ZnO/TiO₂.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis hijau komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ dan aktivitas antibakterinya terhadap bakteri *Escherichia coli*.

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian adalah: Daun pepaya yang diperoleh disekitar Sidoarjo, air suling, Zn(CH₃COO)₂·2H₂O (SAP), TiO₂ (ROFA), NaOH 2,5 M (Merck), etanol 70% (SAP).

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: Gelas kimia iwaki, cawan petri, gelas *erlenmeyer* Pyrex, labu ukur 100 mL iwaki, pengaduk, pipet, kaca arloji, neraca analitik Ohaus, termometer air raksa, neraca analitis, pH meter Pen Type PH-009, *magnetic stirrer-heater* Heildolph MR Hel-Standard, oven listrik, mortar-alu, pisau, tanur, jangka sorong, kertas saring Whatman No. 1, FT-IR (PerkinElmer Spectrum Two), dan XRD (X'pert PRO PANalytical).

Prosedur Penelitian

Sintesis Nanopartikel ZnO/TiO₂

Preparasi Ekstrak Daun Pepaya

Daun pepaya dicuci dan dipotong-potong halus dan dijemur di bawah sinar matahari langsung. 5 gram daun pepaya yang sudah dikeringkan dilarutkan dengan 100 mL air suling dan dipanaskan pada suhu 80°C menggunakan *magnetic stirrer-heater* selama 20 menit lalu disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 1 [5].

Pembuatan komposit nanopartikel ZnO/TiO₂

Sebanyak 20 mL ekstrak daun pepaya, 80 mL air suling dan 5 gram Zn(CH₃COO)₂·2H₂O sebagai prekursor distirer pada temperatur konstan 95°C selama 15 menit. Sol TiO₂ dibuat dengan variasi massa 1 gram, 3 gram, 5 gram, dan 7 gram. Serbuk TiO₂ masing-masing dilarutkan dengan menambahkan 10 mL aquades dan dihomogenkan selama 5 menit dengan pengadukan konstan. Sol

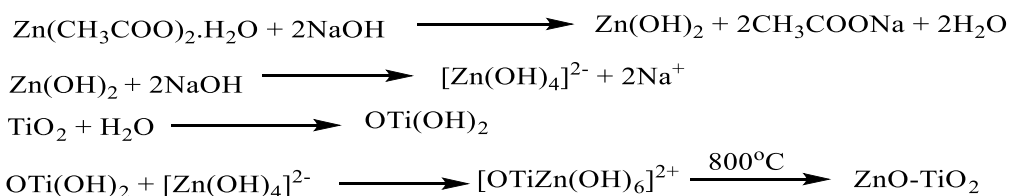
TiO₂ dicampurkan dengan sol ZnO secara perlahan dan ditambahkan NaOH tetes demi tetes ke dalam larutan sampai pH 7. Sampel dipanaskan terus menerus dan pengadukan hingga menjadi bubuk. Sampel diuapkan pada suhu 150°C selama 4 jam dan dilanjutkan kalsinasi selama 4 jam pada suhu 800°C untuk mendapatkan serbuk komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ [5].

Karakterisasi Nanopartikel ZnO/TiO₂

Karakterisasi kimia dengan FTIR

Satu milligram komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ dicampurkan dengan 10 mg KBr dan dipelet. Pellet yang terbentuk dianalisis dengan FTIR dengan jangkauan bilangan gelombang 500-4000 cm⁻¹.

Karakterisasi kimia dengan XRD



Gambar 1. Mekanisme reaksi pembentukan nanopartikel ZnO/TiO₂

Mekanisme reaksi yang terjadi pada proses sintesis komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ yang disajikan pada Gambar 1. Senyawa kompleks [OTiZn(OH)₆]²⁻ akan teroksidasi kembali membentuk ion Zn²⁺, Ti⁴⁺, dan OH⁻, lalu terjadi proses reduksi dari ion Zn²⁺ menjadi Zn dan Ti⁴⁺ menjadi Ti dengan adanya gugus-gugus fungsional yang berasal dari ekstrak daun pepaya.

Dalam reaksi reduksi komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ menggunakan bioreduktor ekstrak daun pepaya, bioreduktor dalam ekstrak daun yaitu polifenol akan berikatan dengan Zn²⁺ dan Ti⁴⁺ sebagai logam pusat dan kemudian akan mengalami proses reaksi reduksi Zn²⁺ menjadi Zn⁰ dan Ti⁴⁺ menjadi Ti⁰ [13]. Atom Zn⁰ dan Ti⁰ akan bergabung membentuk kluster Zn⁰ dan Ti⁰. Pertumbuhan partikel terjadi dimana laju pertumbuhan ini mempengaruhi ukuran artikel. Gugus fungsi dari daun pepaya yaitu polifenol akan menyelubungi kluster Zn⁰ dan Ti⁰ yang terbentuk atau disebut dengan capping sehingga permukaannya diselubungi oleh ion-ion negatif. Ion negatif ini mengakibatkan adanya gaya tolak-menolak antar muatan sejenis sehingga dapat mencegah terjadinya agregasi antara kluster Zn⁰ dan Ti⁰. Nurbayasari. [14] melaporkan bahwa diperlukan penstabil yang dapat mencegah

Sampel yang berupa komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ sebanyak 1 gram ditempatkan pada *sample holder* yang memiliki ukuran 2x2 cm² pada difraktometer. Sampel dikarakterisasi pada sudut difraksi 2θ dari 5° sampai 90° dengan target CuKα (λ=1,54056 Å).

HASIL DAN PEMBAHASAN

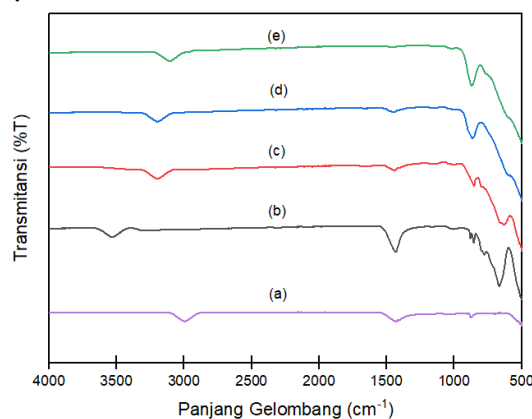
Sintesis Komposit Nanopartikel ZnO/TiO₂

Sintesis komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ dalam penelitian ini menggunakan metode sol-gel dengan prekursor seng asetat (Zn(CH₃COO)₂·2H₂O) dan titanium dioksida (TiO₂).

terjadinya agregasi sehingga dapat membatasi pertumbuhan kluster, sehingga kluster Zn⁰ dan Ti⁰ yang terbentuk tidak tumbuh menjadi ukuran yang lebih besar dan tetap berukuran nano.

Karakteristik dengan FTIR

Analisa FTIR digunakan untuk mengetahui adanya reaksi yang terjadi dengan adanya pergeseran bilangan gelombang, sampel dianalisis dalam panjang gelombang 4000 cm⁻¹ hingga 450 cm⁻¹.



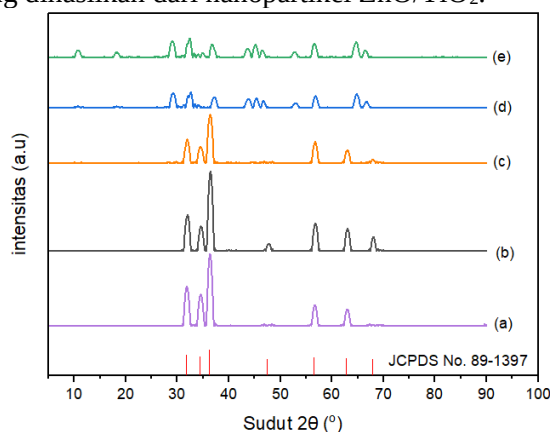
Gambar 2. Spektrum FTIR Komposit Nanopartikel ZnO/TiO₂. (a) ZT-0,

(b) ZT-1, (c) ZT-2, (d) ZT-5, dan (e) ZT-7.

Serbuk komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ dibuat dengan variasi komposisi TiO₂ sebanyak 0 gram dengan kode ZT-0, komposisi TiO₂ sebanyak 1 gram dengan kode ZT-1, komposisi TiO₂ sebanyak 3 gram dengan kode ZT-3, komposisi TiO₂ sebanyak 5 gram dengan kode ZT-5, dan komposisi TiO₂ sebanyak 7 gram dengan kode ZT-7. Pada ZT-0, ZT-1, ZT-3, ZT-5, dan ZT-7 memiliki nilai serapan antara lain, pola serapan 3561,15 cm⁻¹; 3537,11 cm⁻¹; 3191,02 cm⁻¹; 3202,63 cm⁻¹; dan 3105 cm⁻¹ merupakan pola serapan dari vibrasi ulur -OH [15]. Pada pola serapan 1432,98 cm⁻¹; 1427,96 cm⁻¹; 1446,10 cm⁻¹; 1433,77 cm⁻¹; dan 1451,38 cm⁻¹ merupakan vibrasi tekuk dari C-H [16]. Pada pola serapan 525,66 cm⁻¹; 486,71 cm⁻¹; 482,55 cm⁻¹; 479,29 cm⁻¹; dan 475,13 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur dari Zn-O sesuai dengan penelitian [17]. Pada ZT-1, ZT-3, ZT-5, dan ZT-7 terlihat terdapat pola serapan 494,99 cm⁻¹; 494,91 cm⁻¹; 495,87 cm⁻¹; dan 496,76 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur dari Ti-O dan pola serapan 880,18 cm⁻¹; 850,43 cm⁻¹; 868,57 cm⁻¹; dan 874,76 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur dari Zn-O-Ti [18]

Karakteristik dengan XRD

Hasil karakteristik menggunakan XRD disajikan pada Gambar 5, terlihat puncak-puncak yang dihasilkan dari nanopartikel ZnO/TiO₂.



Gambar 3. XRD Diffraction Pattern of ZnO/TiO₂ Nanoparticles. (a) ZT-0, (b) ZT-1, (c) ZT-3, (d) ZT-5, dan (e) ZT-7

Analisa XRD menunjukkan perolehan puncak pada komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ ZT-0, ZT-1, ZT-3, ZT-5, dan ZT-7. Pada ZT-0

menunjukkan puncak pada sudut 2θ 31,86°; 34,53°; 36,35°; 56,72°; dan 62,97°. Pada ZT-1 menunjukkan puncak pada sudut 2θ 31,94°; 34,59°; 36,41°; 47,72°; 56,78°; 63,03°; dan 68,03°. Pada ZT-3 juga menunjukkan puncak pada sudut 2θ 31,89°; 34,49°; 36,36°; 56,73°; dan 62,98°. Pada sudut 2θ ZT-1 dan ZT-3 memiliki puncak yang sama dimana puncak-puncak tersebut sudah sesuai dengan JCPDS No. 89-1397 [19].

Pada ZT-5, dan ZT-7 terdapat sedikit pergeseran puncak, terlihat pada puncak awal dari masing-masing variasi bergeser. Pada ZT-5 puncak terendah adalah 29,17° dan puncak terendah dari ZT-7 adalah 28,68°. Pergeseran ini disebabkan oleh semakin banyaknya penambahan TiO₂ pada setiap variasi. Berdasarkan penelitian Saeed et al. [20] puncak-puncak dari TiO₂ dengan fasa anatase dapat disesuaikan dengan JCPDS 21-1272. Pada penelitian Iradatullah & Muwarni [21] yang menyatakan bahwa proses doping logam dapat menimbulkan pergeseran 2θ apabila dibandingkan dengan standar, sehingga dapat dipastikan bahwa doping TiO₂ telah berhasil dilakukan tanpa mengubah struktur induknya.

Ukuran partikel dari nanopartikel dapat dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

dimana d adalah ukuran kristal, θ adalah sudut Bragg, K adalah konstanta Scherrer ($K=0.9$), λ adalah panjang gelombang sinar X ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) dan β adalah *Full Width at Half Maximum* (FWHM) [22]. Pada penelitian ini diperoleh rata-rata ukuran partikel dari komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ pada variasi ZT-0, ZT-1, ZT-3, ZT-5, dan ZT-7 adalah 10,469 nm; 10,98 nm; 10,21 nm; 11,65 nm; dan 11,04 nm.

KESIMPULAN

Komposit nanopartikel ZnO/TiO₂ telah berhasil disintesis menggunakan metode sintesis hijau dengan dan pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai agen pereduksi. Hasil FTIR dari nanopartikel ZnO/TiO₂ menghasilkan pola serapan 880,18 cm⁻¹; 850,43 cm⁻¹; 868,57 cm⁻¹; dan 874,76 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur dari Zn-O-Ti. Ukuran partikel nanopartikel ZnO/TiO₂ pada variasi ZT-0, ZT-1, ZT-3, ZT-5, dan ZT-7 adalah 10,469 nm; 10,98 nm; 10,21 nm; 11,65 nm; dan 11,04 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rajendra, C. Balakumar, H. Ahammed, S. Jayakumar, K. Vaideki, and E. Rajesh, "Use of zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 202–208, 2010, doi: 10.4314/ijest.v2i1.59113.
- [2] M. Nasrollahzadeh, M. Atarod, M. Sajjadi, S. M. Sajadi, and Z. Issaabadi, *Plant-Mediated Green Synthesis of Nanostructures: Mechanisms, Characterization, and Applications*, 1st ed., vol. 28. Elsevier Ltd., 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-813586-0.00006-7.
- [3] P. Kuppusamy, M. M. Yusoff, G. P. Maniam, and N. Govindan, "Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications – An updated report," *Saudi Pharm. J.*, vol. 24, no. 4, pp. 473–484, 2016, doi: 10.1016/j.jsps.2014.11.013.
- [4] H. Kaur, S. Kaur, J. Singh, M. Rawat, and S. Kumar, "Expanding horizon : green synthesis of TiO₂ nanoparticles using Carica papaya leaves for photocatalysis application Expanding horizon : green synthesis of TiO₂ nanoparticles using Carica papaya leaves for photocatalysis application," 2019.
- [5] E. Rusman, H. Heryanto, A. Nurul Fahri, D. Tahir, and I. Mutmainna, *Green Synthesis ZnO/TiO₂ for High Recyclability Rapid Sunlight Photodegradation Textile Dyes Applications*. 2021.
- [6] I. Ijaz, E. Gilani, A. Nazir, and A. Bukhari, "Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles," *Green Chem. Lett. Rev.*, vol. 13, no. 3, pp. 59–81, 2020, doi: 10.1080/17518253.2020.1802517.
- [7] A. A. Olajire and E. O. Adesina, "Green Approach to Synthesis of Pt and Bimetallic Au@Pt Nanoparticles using Carica Papaya Leaf Extract and their Characterization," *J. Nanostructures*, vol. 7, no. 4, pp. 338–344, 2017, doi: 10.22052/jns.2017.54219.
- [8] R. V Karthik S, Suriyaprabha R, Balu KS, Manivasakan P, "Green synthesis of silver nanoparticles using Carica papaya leaf extract and its biological activities," *Bioprocess Biosyst. Eng.*, vol. 40, no. 10, pp. 1593–1601, 2017, doi: DOI: 10.1007/s00449-017-1798-8.
- [9] R. Rathnasamy, P. Thangasamy, and R. Thangamuthu, "Green synthesis of ZnO nanoparticles using Carica papaya leaf extracts for photocatalytic and photovoltaic applications," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 0, no. 0, p. 0, 2017, doi: 10.1007/s10854-017-6807-8.
- [10] A. Halida Ramadanti and D. Kartika Maharani, "Green Synthesis of ZnO Nanoparticles with Papaya Leaf Extract (Carica papaya L.) as a Reductor and its Application on Cotton Fabrics," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 3, 2022.
- [11] H. Ali and N. Hameed, "Preparation of Cellulose Acetate Nanocomposite Films Based on TiO₂-ZnO Nanoparticles Modification as Food Packaging Applications," *J. Appl. Sci. Nanotechnol.*, vol. 2, no. 3, pp. 115–125, 2022, doi: 10.53293/jasn.2022.4542.1122.
- [12] K. Karthikeyan, M. N. Chandraprabha, R. Hari Krishna, K. Samrat, A. Sakunthala, and M. Sasikumar, "Optical and antibacterial activity of biogenic core-shell ZnO@TiO₂ nanoparticles," *J. Indian Chem. Soc.*, vol. 99, no. 3, p. 100361, 2022, doi: 10.1016/j.jics.2022.100361.
- [13] P. L. & A. S. Tournebize, J., A. Boudier, O. Joubert, H. Eidi, G. Bartosz, P. Maincent, "Impact of gold nanoparticle coating on redox homeostasis," *Int. J. Pharm.*, vol. 438, pp. 107–116, 2012.
- [14] N. Nurbayasari, R., Saridewi, "Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles with Extract of Green Seaweed," *J. Perikan. Univ. Gadjah Mada*, vol. 19, no. 1, pp. 17–28, 2017.
- [15] N. F. Hamedani and F. Farzaneh, "Synthesis of ZnO Nanocrystals with Hexagonal (Wurtzite) Structure in Water Using Microwave Irradiation," vol. 17, no. 3, pp. 231–234, 2006.
- [16] W. F. Wolkers, A. E. Oliver, F. Tablin, and J. H. Crowe, "A Fourier-transform infrared spectroscopy study of sugar glasses," *Carbohydr. Res.*, vol. 339, no. 6, pp. 1077–1085, 2004, doi: 10.1016/j.carres.2004.01.016.
- [17] R. A. Shathy *et al.*, "Natural Sunlight Driven Photocatalytic Removal of Toxic

- Textile Dyes in Water Using B-Doped,” 2022.
- [18] B. A. Bhanvase, A. Veer, S. R. Shirsath, and S. H. Sonawane, “Ultrasound Assisted Preparation , Characterization and Adsorption Study of Ternary Chitosan-ZnO-TiO₂ Nanocomposite : Advantage over conventional,” *Ultrason. - Sonochemistry*, 2018, doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.11.003.
- [19] M. Ramesh, M. Anbuvaran, and G. Viruthagiri, “Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy Green synthesis of ZnO nanoparticles using Solanum nigrum leaf extract and their antibacterial activity,” *Spectrochim. ACTA PART A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 2014, doi: 10.1016/j.saa.2014.09.105.
- [20] M. Saeed, M. Ibrahim, M. Muneer, N. Akram, M. Usman, and I. Maqbool, “ZnO – TiO₂ : Synthesis , Characterization and Evaluation of Photo Catalytic Activity towards Degradation of Methyl Orange,” 2019.
- [21] F. Iradatullah and I. K. Murwani, “Pembentukan Mg_{1-x}Ni_xF₂ Melalui Doping Logam Ni dalam MgF₂,” vol. 4, no. 2, pp. 117–119.
- [22] M. M. Ali, M. J. Haque, M. H. Kabir, M. A. Kaiyum, and M. S. Rahman, “Nano synthesis of ZnO–TiO₂ composites by sol-gel method and evaluation of their antibacterial, optical and photocatalytic activities,” *Results Mater.*, vol. 11, 2021, doi: 10.1016/j.rinma.2021.100199.